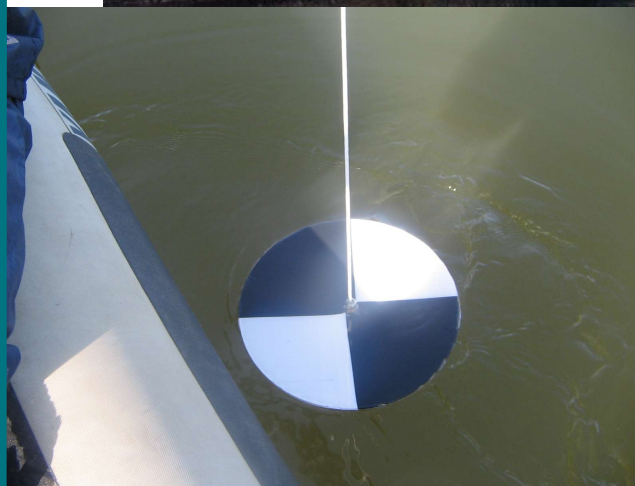




PLAN GENERAL DE ACTUACIÓN EN ZONAS SENSIBLES



PLAN GENERAL DE ACTUACIÓN EN ZONAS SENSIBLES



ÍNDICE

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Definición y problemática de la eutrofización	3
1.3. Presentación del documento	5
2. FASES PRINCIPALES DE UN ESTUDIO DE EUTROFIZACIÓN EN ZONAS SENSIBLES	8
2.1. Recopilación de información	9
2.2. Caracterización limnológico-funcional de los embalses	9
2.3. Trabajos de campo	11
2.3.1. Estratificación del ámbito y planteamiento de estaciones de muestreo	11
2.3.2. Frecuencia de muestreo	14
2.3.3. Toma de muestras	15
2.3.4. Análisis de laboratorio	17
2.3.5. Procesamiento de datos	18
2.4. Estado trófico de los embalses	19
2.4.1. Carga de fósforo	19
2.4.2. Concentración de nutrientes	20
2.4.3. Biomasa algal	20
2.4.4. Transparencia	21
3. ESTIMACIÓN DE LOS APORTES DE NUTRIENTES	21
3.1. Cálculo del aporte para fuentes puntuales	22
3.2. Cálculo del aporte para fuentes difusas	24
3.3. Otras metodologías. Guías HARP	25
3.4. Recarga interna de fósforo	27
3.5. Balance de masas	27
4. PLAN DE ACTUACIONES	28
5. OPCIONES PARA EL CONTROL DE LA EUTROFIZACIÓN. TABLAS SÍNTESIS.	30

6. FICHAS DESCRIPTIVAS DE TÉCNICAS DE CONTROL DE LA EUTROFIZACIÓN 41

6.1 TÉCNICAS DE REDUCCIÓN DE LA CARGA EXTERNA**6.1.1 Fuente difusa****GESTIÓN FUENTE DIFUSA. ASPECTOS GENERALES 45****CAPTURA DE NUTRIENTES MEDIANTE INFILTRACIÓN 49****CAPTURA DE NUTRIENTES MEDIANTE DETENCIÓN 53****CAPTURA DE NUTRIENTES MEDIANTE BANDAS DE VEGETACIÓN 57****TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO Y MANEJO DE TRIBUTARIOS 60****PREEMBALSES 64****6.1.2. Fuente puntual****DEPURACIÓN CONVENCIONAL PARA LA ELIMINACIÓN DEL FÓSFORO 69****SISTEMAS DE TRATAMIENTO MEDIANTE INFILTRACIÓN AL TERRENO 72****SISTEMAS DE TRATAMIENTO MEDIANTE LAGUNAJE 76****SISTEMAS DE TRATAMIENTO MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES 79****DEPURACIÓN MEDIANTE FILTRO DE MACROFITAS FLOTANTES (FMF) 82**

6.2. TÉCNICAS DE CONTROL EN EMBALSE

6.2.1. *Físico químicas*

CIRCULACIÓN ARTIFICIAL	89
AIREACIÓN/OXIGENACIÓN HIPOLIMNÉTICA	92
DILUCIÓN Y PURGA	95
MANEJO HIDRÁULICO. EXTRACCIÓN SELECTIVA DE AGUA	98
VACIADO	101
<i>- Técnicas de dragado:</i>	
DRAGADO "SECO"	104
DRAGADO "HUMEDO"	107
DRAGADO HIDRÁULICO	110
SELLADO DE SEDIMENTOS/BARRERAS BÉNTICAS	113
LIMITACIÓN DE LA LUZ. TINTES Y COBERTURAS SUPERFICIALES	115
ELIMINACIÓN MECÁNICA	118
ELIMINACIÓN DE ALGAS EMPLEANDO ULTRASONIDOS	121
ALGUICIDAS. COBRE, HERBICIDAS SINTÉTICOS Y OXIDANTES	124
INACTIVACIÓN DEL FÓSFORO	127
OXIDACIÓN DEL SEDIMENTO	131
AGENTES SEDIMENTADORES	134
ADICIÓN SELECTIVA DE NUTRIENTES	138

6.2.2. Biológicas

MANIPULACIÓN DE LA CADENA TRÓFICA	140
PECES HERVÍBOROS	143
EXTRACCIÓN DE BIOMASA PISCÍCOLA Y/O DE PECES BENTÓNICOS	146
ADICIÓN DE BACTERIAS	149
PLANTAS PARA EL CONTROL DE NUTRIENTES O LIMITACIÓN DE LA LUZ	152
PAJA DE CEBADA	155

1. INTRODUCCIÓN

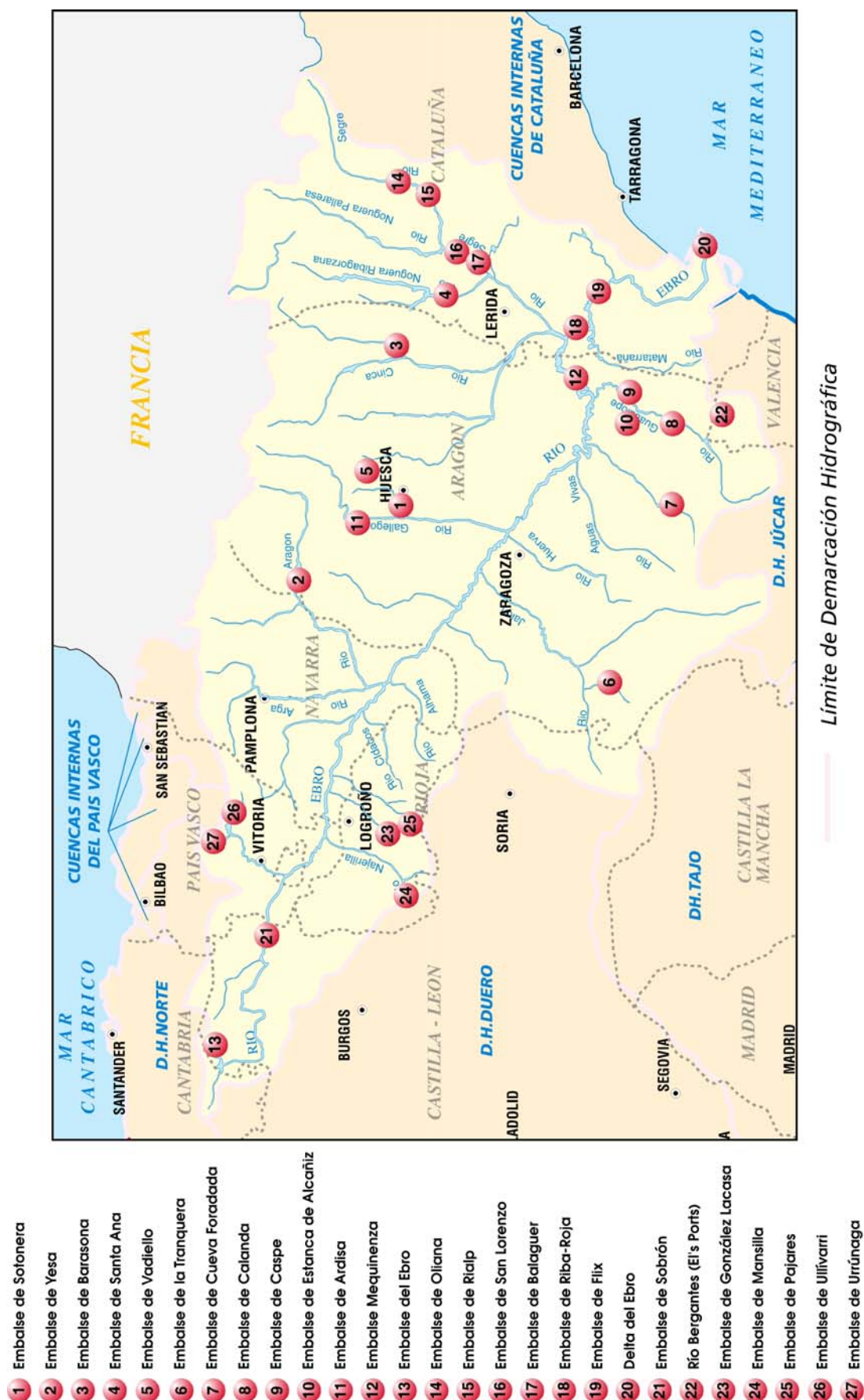
1.1. Antecedentes

La Directiva Marco de Aguas 60/2000/CE designa como zonas protegidas “todas las zonas incluidas en cada demarcación hidrográfica que hayan sido declaradas objeto de una protección especial en virtud de una norma comunitaria específica relativa a la protección de sus aguas superficiales”. El Anexo IV de esta norma comunitaria indica que el registro de zonas protegidas incluirá, entre otras, “las zonas sensibles en lo que a nutrientes respecta, incluidas... las zonas declaradas sensibles en el marco de la Directiva 91/271/CEE.”

Mediante resolución de la Secretaría General para el Territorio y la Biodiversidad, de fecha 10 de julio de 2006 (B.O.E. de 28 de julio), se declararon las zonas sensibles en las cuencas hidrográficas intercomunitarias. En la cuenca del Ebro esa declaración comprende 25 embalses, el Delta del Ebro y un tramo del río Bergantes (ver figura 1).

Los trabajos realizados por la Confederación Hidrográfica del Ebro para la determinación del potencial ecológico de los embalses efectuaron el diagnóstico del grado trófico de los mismos, confirmando en muchos casos la eutrofia que justifica su declaración como zona sensible.

El objetivo que la Directiva Marco pretende, alcanzar el buen estado de las masas de agua (buen potencial ecológico en el caso de embalses), supone la adopción de un programa de medidas para corregir esa tendencia a la eutrofización de los embalses ya que, aunque la eutrofia es una problemática conocida, se tiene menos conocimiento de las medidas a aplicar y de su efectividad.



1.2. Definición y problemática de la eutrofización

La eutrofización es un proceso de enriquecimiento de las aguas en sustancias nutritivas primarias (nitrógeno y fósforo principalmente), que si es excesivo conduce a modificaciones sintomáticas en los ecosistemas acuáticos, tales como un aumento de la producción primaria (pelágica en embalses), y una simplificación de la estructura de las comunidades biológicas del sistema.

La secuencia de cambios que acontecen como respuesta a una carga excesiva de nutrientes comienzan con un notable incremento de la productividad primaria. Este incremento es seguido por uno paralelo de los demás niveles tróficos del ecosistema. Como consecuencia, la cantidad de materia orgánica que se genera es mayor y los procesos oxidativos de la misma serán de mayor envergadura.

Si las capas superficiales de la masa de agua están sometidas a un intenso calentamiento estival que genere una estratificación térmica, la oxidación de los restos orgánicos que caen hacia el fondo de la cubeta y la preponderancia de la respiración sobre la fotosíntesis en las capas profundas, pueden acarrear finalmente un déficit de oxígeno en los estratos más profundos.

Se trata, además, de un proceso con retroalimentación positiva, puesto que a medida que se incrementan los aportes el sistema se descompensa, pierde capacidad de asimilación de los mismos y se incrementa la recarga interna desde los sedimentos hacia la columna de agua.

Como consecuencia del incremento del desarrollo algal hay una pérdida de transparencia del agua y pueden aparecer olores y sabores desagradables, e incluso compuestos tóxicos por el desarrollo de ciertas cianofíceas que, en sus máximas consecuencias, dificultan y limitan los posibles usos a los que se están destinados los recursos.

La problemática más comúnmente asociada a este proceso, y que repercute en detrimento de las posibilidades y coste de uso del agua, se glosa en los siguientes puntos:

- Degradación organoléptica del agua (olor, color, transparencia, sabor).
- Deterioro de las comunidades biológicas, con sustitución de especies sensibles por especies oportunistas de mayor rusticidad.
- Crecimiento de algas macrofitas en canales de riego y cauces inferiores, también en el propio embalse cuando hay cierta estabilidad de nivel.
- Incremento de materiales en suspensión que perjudica cualquier proceso que requiera el paso del agua por filtros, como la potabilización, la navegación a motor, etc.
- Aumento de la posibilidad de aparición de mortandades masivas de peces por asfixia o envenenamiento.
- Descenso de la vida media del embalse por incremento de la tasa de colmatación del vaso.
- Problemas sanitarios, socioeconómicos y ecológicos derivados de la proliferación de algas tóxicas.
- Mayor reciclaje interno de materiales y, por tanto, mayor tiempo de retención de los contaminantes en el agua.
- Disminución de la capacidad depuradora de los embalses, que repercute en la calidad de las aguas en los sistemas fluviales y embalses situados aguas abajo.
- Descompensaciones y fluctuaciones muy amplias de gases -sobresaturaciones de oxígeno, anoxias, formación de anhídrido sulfhídrico y metano-.
- Desplazamiento de equilibrios químicos, especialmente por la elevación del pH, como ocurre con la forma tóxica del amoníaco -forma no ionizada-. La

elevación del pH tiene efectos sanitarios negativos porque puede producir dermatitis y conjuntivitis.

- Obstrucción de conducciones de agua por la formación de concreciones de hierro y manganeso.
- Elevación del grado sapróbico de las aguas, es decir, estimulación de los ciclos microbiológicos relacionados con la materia orgánica. Esto tiene también consecuencias en la septicidad de las aguas y el riesgo de proliferación y propagación de agentes infecciosos.

La eutrofización puede tener un origen natural, siendo un proceso lento e irreversible, si se dan unas determinadas características geomorfológicas en la cuenca (vasos poco profundos y rocas no calizas), suelos ricos en nutrientes y climas templados. En este sentido, las masas de agua en el ámbito mediterráneo presentan una tendencia natural a la eutrofia. Sin embargo, el tipo de eutrofización que más preocupa a nivel internacional es la denominada cultural, mucho más rápida y grave que la natural.

Las causas más relevantes de la eutrofización cultural son el aumento de aportaciones de fósforo y nitrógeno por efluentes domésticos e industriales, el incorrecto uso del suelo, que acrecienta los procesos de erosión, y el uso abusivo de fertilizante, que en conjunto determinan la aceleración de los procesos de eutrofización natural.

1.3. Presentación del documento

De lo comentado anteriormente se desprende la necesidad de realizar el presente trabajo, cuyos objetivos son:

- a) desarrollo metodológico para cuantificar las distintas causas del alto contenido en nutrientes;
- b) recopilación de posibles actuaciones a implantar en cada zona sensible, de acuerdo a las causas que provocan la tendencia a la eutrofia. Estas actuaciones se plantean a su vez en dos direcciones:

- encaminadas a reducir la carga externa de nutrientes;
- tratamiento directo en la masa de agua de los síntomas, especialmente las proliferaciones algales y las depleciones de oxígeno disuelto.

El presente documento pretende ser una **guía orientativa** para la realización de estudios concretos de embalses con problemas de eutrofización, además de presentar las posibles actuaciones que se pueden realizar para corregir o mitigar sus efectos.

En él se pueden distinguir dos partes bien diferenciadas, en la primera se tratan los pasos principales a seguir en este tipo de estudio, mientras que en la segunda se recogen, en forma de fichas descriptivas, las posibles técnicas para la corrección, o mitigación, de los efectos producidos por un exceso de nutrientes en los embalses y sus áreas de drenaje. Estas fichas se han estructurado según recoge el modelo de la siguiente página.

ESTRUCTURA DE LAS FICHAS DESCRIPTIVAS**NOMBRE DE LA TÉCNICA O GESTIÓN****1. FUNCIONAMIENTO**

Descripción sintética del funcionamiento de la técnica y de los objetivos que persigue. En la mayoría de las fichas se adjuntan fotos o esquemas como apoyo a la descripción de la técnica, citando su procedencia en el caso de no ser de elaboración propia.

2. VENTAJAS

Descripción de los posibles beneficios potenciales tras la aplicación de la técnica.

3. DESVENTAJAS

Descripción de posibles resultados adversos, tanto en caso de una incorrecta aplicación de la técnica como inherentes a ella.

4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA SU APLICACIÓN

Listado general de los datos o análisis necesarios para aplicar la técnica y maximizar su beneficio.

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

Resumen de las condiciones que favorecen la aplicación de la técnica en cuestión.

6. APLICADO EN:

Sitios donde se ha empleado la técnica descrita.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Resumen de las principales referencias bibliográficas empleadas, o consultadas, en la elaboración de la ficha descriptiva.

8. PÁGINAS WEB

Resumen de las principales páginas web empleadas en la elaboración de la ficha descriptiva. En algunos casos se incluyen web de casas comerciales, ya que se considera pueden resultar útiles en el caso de necesidad de empleo de algún método.

2. FASES PRINCIPALES DE UN ESTUDIO DE EUTROFIZACIÓN EN ZONAS SENSIBLES

Los objetivos centrales en un Estudio de zonas sensibles susceptibles de sufrir procesos de EUTROFIZACIÓN, sin perjuicio de que se alcancen otros objetivos parciales como consecuencia de los resultados que se obtengan, son los siguientes:

- **Diagnosticar el grado trófico**, definiendo su **situación actual y evolución** histórica, de los embalses (zonas sensibles).
- **Evaluar los aportes de nutrientes** y establecer la importancia relativa de los diferentes tipos de fuentes, incluyendo tanto las puntuales como las difusas, así como la posible recarga interna.
- Conocer el **funcionamiento limnológico** de los embalses, objetivo parcial, que será una herramienta para realizar un balance de masas en los compartimentos físicos y biológicos más relevantes, y ayudará a la estimación del aporte de nutrientes desde los sedimentos.
- Plantear un **plan de medidas correctoras**, para lo cual se ha de obtener inevitablemente un conocimiento mínimo del metabolismo del embalse, es decir, qué procesos intervienen en la respuesta del embalse a la carga de nutrientes que recibe y cuál es su magnitud. Únicamente de esta forma se estará en condiciones de tomar decisiones fiables de gestión.
- Ejecutar las **medidas correctoras** necesarias para revertir el proceso de eutrofización o frenar su avance.
- Realizar un **seguimiento** de la efectividad de las medidas aplicadas.

Para la consecución de estos objetivos se deberán abordar, principalmente, las siguientes fases.

2.1. Recopilación de información

Esta actividad consistirá básicamente en recopilar información referente a las características morfológicas, hidroquímicas, riesgos ambientales (avenidas, descensos acusados de cota, mortandades piscícolas, proliferaciones algales, etc.). Para ello se atenderá a la información y datos existentes en las redes de control de las masas de agua superficiales (indicadores biológicos, físico-químicos, etc.) y estudios acometidos por distintos organismos.

2.2. Caracterización limnológico-funcional de los embalses

Se parte de la base de que, para alcanzar un diagnóstico no sesgado, se requiere información muy diversa acerca de los factores naturales y antrópicos, así como de las peculiaridades de cada embalse que pueden modificar la respuesta a esos factores.

Esta caracterización se llevará a cabo empleando los parámetros e indicadores más relevantes para el diagnóstico trófico de las aguas. Estos parámetros se pueden agrupar bajo el formato que, propuesto en el Anexo V de la Directiva Marco 60/2000/CE, ha sido establecido para determinar las condiciones genéricas de los sistemas acuáticos. Se trata de los siguientes:

A) INDICADORES HIDROMORFOLÓGICOS

Tasa de renovación hidráulica: que indica el número de veces que se renueva totalmente la masa de agua en un periodo determinado. Lo habitual es que se considere un año hidrológico y su estimación se realiza considerando los caudales de entrada (Te) y de salida (Ts).

Relación entre volumen hipolimnético/volumen total: uno de los indicadores del efecto de los procesos de estratificación, que se puede simplificar relacionando el grosor del epilimnion (E) frente al del hipolimnion (H); un ratio E/H elevado sugiere una afluencia de materiales oxidables importante para la capacidad asimiladora del estrato profundo y, en consecuencia, una probable depleción del oxígeno en este último.

Profundidad media: utilizada como un indicador básico de las posibles heterogeneidades verticales y de la capacidad de asimilación del sistema. En principio, cuanto más somero es un embalse menor capacidad de asimilación y mayor potencial trófico.

B) INDICADORES FÍSICO-QUÍMICOS

Duración y profundidad de la estratificación térmica: que informan de la dominancia entre los flujos de tipo laminar (estratificación) o turbulento (mezcla).

Concentraciones de nutrientes –fósforo y nitrógeno-: como los principales implicados en las condiciones limitantes del crecimiento de los productores primarios (fundamentalmente el fitoplancton en los sistemas acuáticos de tipo léntico) y evaluadores, en particular del estado trófico. Además de las distintas formas de nutrientes nitrogenados y fosforados se valorarán las concentraciones de sílice reactiva, como posible elemento limitante para el crecimiento de las bacillarofíceas (diatomeas).

Depleción hipolimnética del oxígeno disuelto: que depende de la cantidad de las materias oxidables (orgánicas o inorgánicas) que fluyan desde las capas superficiales y desde los tributarios y sedimentos. Estos aportes son más altos en las aguas de mayor grado trófico que traen como consecuencia depleciones más acusadas.

Se entiende por condiciones anóxicas cuando la concentración de oxígeno en el agua es inferior a 1 mg/l O₂. Por su parte, concentraciones por debajo de 4 mg/l O₂ pueden ser perjudiciales para los peces ciprinícolas, según establece la Directiva 2006/44/CEE, relativa a la calidad de las aguas continentales que requieren protección o mejora para ser aptas para la vida de los peces

Grado y tipo de mineralización: los elementos denominados de proporcionalidad constante son los que definen la composición mineralógica del agua y condicionan el potencial de eutrofización natural de la masa de agua. Por este motivo, se caracteriza la impronta mineral de las aguas, en una época (invierno) en la que están menos modificadas por el estado de calidad del agua.

C) INDICADORES DE CALIDAD BIOLÓGICA

Comunidad fitoplanctónica: término general que engloba aquellos organismos unicelulares o coloniales que ocupan la superficie de las aguas continentales o marinas constituyendo la comunidad sostenida o flotante de los ecosistemas acuáticos. Su densidad poblacional y la estructura de la comunidad está íntimamente relacionada con el estado trófico de las aguas.

La abundancia algal puede expresarse en cel/ml, aunque expresada como biovolumen (mm^3/l) permite una mejor comparación con la concentración de clorofila "a", la cual se usa habitualmente como indicador de la biomasa del fitoplancton. La relación entre la concentración de clorofila "a" y los recuentos expresados en células/ml puede tener desviaciones importantes, a consecuencia del tamaño de las células de diferentes especies. No obstante, el cálculo del biovolumen de las especies también puede incorporar errores de importancia. En cualquier caso, estos problemas se resuelven, en la actualidad, mediante la aplicación de técnicas de análisis de imagen, utilizando como base recuentos digitalizados.

Comunidad zooplanctónica: además de la cualidad bioindicadora de alguno de sus componentes, mantiene una relación estrecha con el fitoplancton por su capacidad de presionar o consumir directa o indirectamente al mismo.

Pigmentos fotosintetizadores: junto con el fitoplancton son descriptores de la biomasa algal. La concentración de clorofila *a* se utilizará, junto a otros parámetros, para catalogar el estado trófico de las aguas.

2.3. Trabajos de campo

2.3.1. Estratificación del ámbito y planteamiento de estaciones de muestreo

La selección de lugares de muestreo depende en gran medida de las propiedades morfométricas e hidrodinámica de una masa de agua. Por lo que en este apartado se presenta una manera genérica de las posibles ubicaciones de las estaciones de muestreo.

Con el objeto de poder cuantificar las posibles entradas de nutrientes a una masa de agua se debe delimitar su cuenca de drenaje, que se subdividirá en tantas subcuencas como **tributarios** se consideren. La primera asignación de tributarios se puede realizar en función de su superficie de drenaje relativa ($> 20\%$ del total), aunque posteriormente se pueden añadir aquellos que merezcan especial atención por su carga de nutrientes o porque reciban vertidos de entidad. En los puntos inferiores de las subcuencas, así delimitadas, se establecerá una estación de muestreo que será representativa de ella.

La zona de drenaje directo al embalse, denominada cuenca de escorrentía directa (CED), constituye una subcuenca más, pero en este caso su aportación es de carácter difuso, y no de entrada localizada como un tributario.

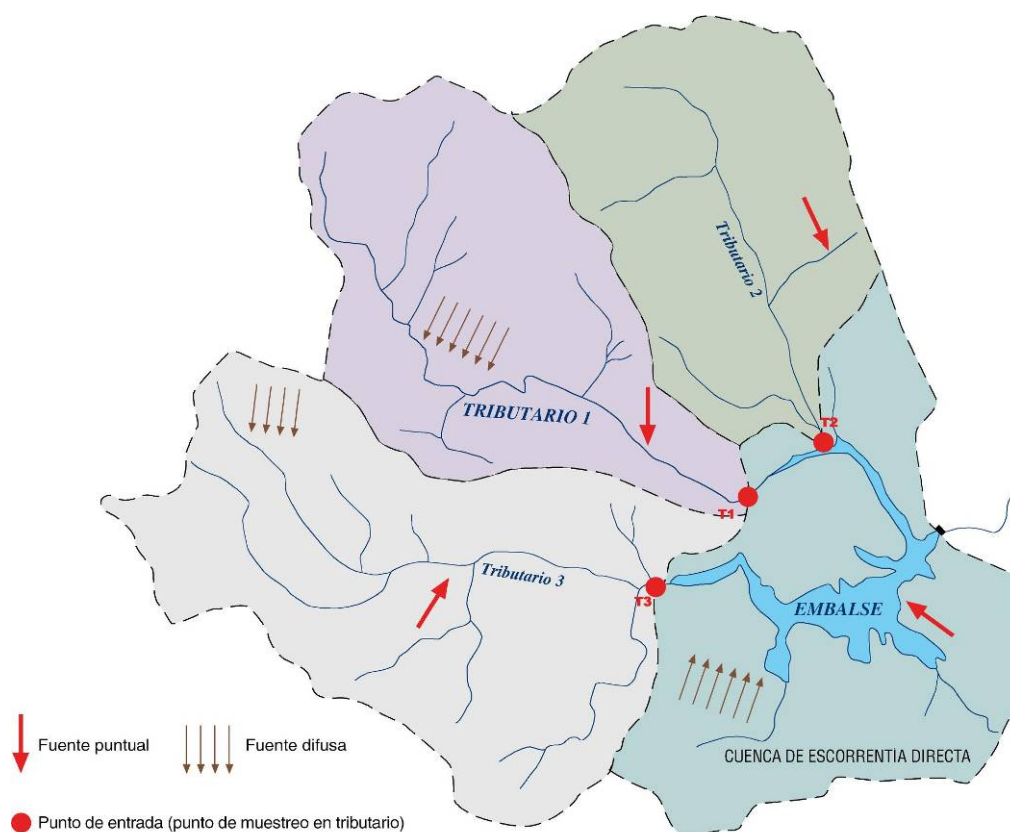


Figura 2. Esquema tipo de cuencas y subcuencas de drenaje

Para determinar los puntos de toma de muestra en el **embalse** se deben tener en cuenta las características morfológicas del embalse, así como la duración y situación de la estratificación térmica.

En el plano horizontal el proceso de la localización de estaciones depende de la superficie y morfología del embalse; además, otro factor a considerar serían las zonas de posibles entradas de nutrientes.



Figura 3. Ejemplos de compartimentación horizontal

En el plano vertical la compartimentación del embalse depende de la duración y situación de la estratificación térmica. El objetivo que se persigue con esta compartimentación es caracterizar los distintos estratos de embalse (epilimnion, hipolimnion, etc.); además, de ella dependerá el número de muestras a tomar en las distintas estaciones.

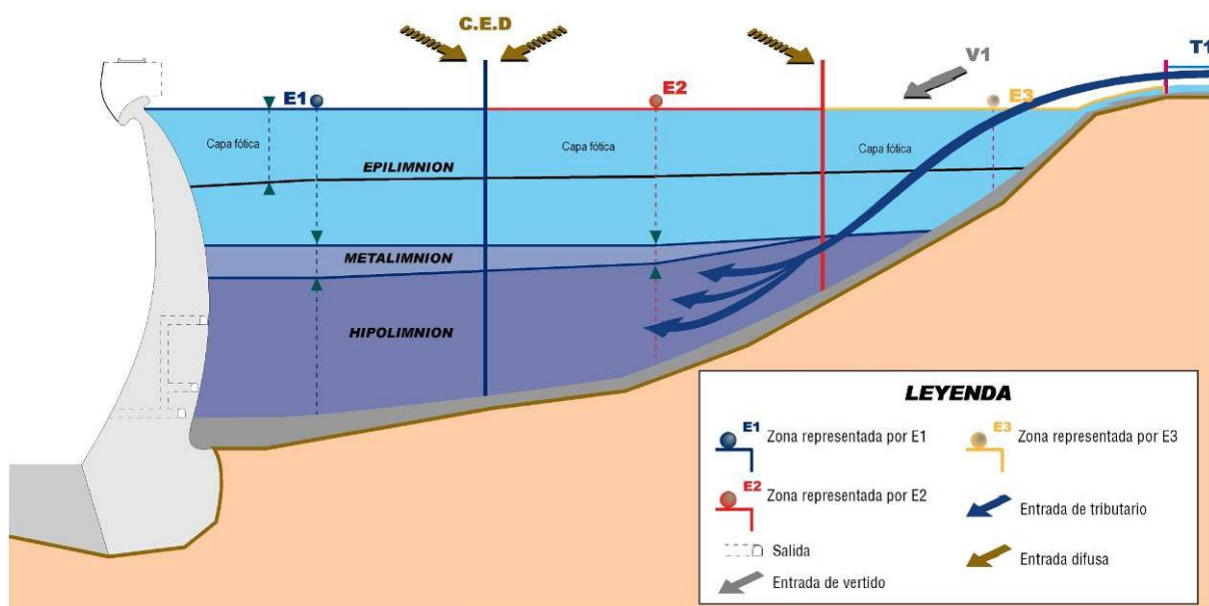


Figura 4. Esquema de compartimentación vertical

Como resulta obvio este planteamiento es genérico, y se adecua a la mayoría de los embalses de la cuenca del Ebro, que suelen presentar un único ciclo anual de mezcla-estratificación vertical (monomícticos). Por lo que en época de mezcla, o embalses en los que no se produzca estratificación, ya sea por una alta tasa de renovación hidráulica o por las características climatológicas del ámbito, los estratos de interés serán principalmente la capa fótica y la zona más profunda.

2.3.2. Frecuencia de muestreo

Los trabajos de campo se deben desarrollar preferentemente durante un ciclo hidrológico. En cada embalse se establece una delimitación de cuencas y segregación en subcuencas, como se citó anteriormente, en cuyo punto inferior se estiman las entradas al embalse mediante campañas de tributarios, 12 al año durante el año hidrológico de estudio es el número óptimo, aunque, como mínimo, se harán coincidir con las campañas de muestreo en embalse.

La respuesta del embalse se debe evaluar, como mínimo, mediante cuatro campañas de muestreo, coincidentes con las distintas estaciones del año. Los periodos apropiados serían: último tramo del invierno, el máximo de productividad primaveral, el estiaje pleno

y el periodo de desestratificación (otoño). Además, sería recomendable una quinta campaña a finales del periodo primaveral -comienzo de estratificación térmica-.

2.3.3. Toma de muestras

La toma de muestras en cada estación de embalse variará en función de su profundidad y de la estratificación térmica, oscilando entre tres y cinco muestras. En el caso de que la masa de agua se encuentre totalmente mezclada lo adecuado, por lo general, es tomar muestras aproximadamente 0,5 m por debajo de la superficie, 1 m por encima del fondo y una tercera a media profundidad. En el caso de aguas estratificadas, idealmente las muestras de agua deberían tomarse aproximadamente a 0,5 m por debajo de la superficie, a la mitad del epilimnion o fondo de la capa fótica, en la termoclina, 1 m por debajo de la termoclina; y 1 m por encima del fondo. Se puede añadir una muestra más en el caso de un máximo metalimnético de oxígeno.

Como norma general, en cada **estación de muestreo en el embalse** se realizarían los siguientes trabajos sistemáticos:

- Perfil metro a metro de parámetros físico-químicos de temperatura, conductividad, pH y oxígeno disuelto, como mínimo. Resultando conveniente medir también potencial redox, sólidos totales disueltos y turbidez.
- Medición de la transparencia mediante la profundidad de visión de un disco de Secchi de 30 cm de diámetro.
- Toma de muestras de agua para análisis químicos con hidrocaptor a distintas profundidades, previamente definidas con el perfil físico químico.
- Toma de muestras biológicas -fitoplancton y pigmentos fotosintetizadores- a tres profundidades: superficie, dos veces y media la profundidad de visión del disco de Secchi -equivalente al estrato inferior de la zona fótica-, y en ocasiones media profundidad.

En el caso de masas de agua no muy profundas y perfiles verticales bastante homogéneos, estas muestras discretas pueden ser sustituidas por una integrada para la zona fótica. La muestra integrada se puede obtener mezclando volúmenes iguales de muestra obtenidas mediante botella hidrográfica y a diferentes niveles, o bien mediante un tubo de plástico de 20 mm de diámetro convenientemente lastrado, y de longitud prefijada.

También resulta de gran utilidad el empleo de sondas fluorimétricas, que midan como mínimo la concentración de clorofila a, aunque normalmente miden diferentes tipos de pigmentos algales.

De forma opcional se pueden realizar arrastres de red (20 μm de luz de malla) como apoyo al inventariado del fitoplancton.

- Estudio del zooplancton mediante arrastres verticales con red de 250 μm .
- Toma de muestras de sedimentos (opcional) mediante una draga, tomando los 10 cm superficiales.

Por su parte, en las **estaciones de tributario**, los trabajos a realizar serían:

- Medición “in situ” de los parámetros físico-químicos de temperatura, conductividad, pH y oxígeno disuelto, como mínimo. Resultando conveniente medir también potencial redox, sólidos totales disueltos y turbidez.
- Toma de muestras de agua para análisis químicos en cada punto de muestreo.
- Estimación del caudal instantáneo, en el caso de no disponer de ninguna estación de aforo.

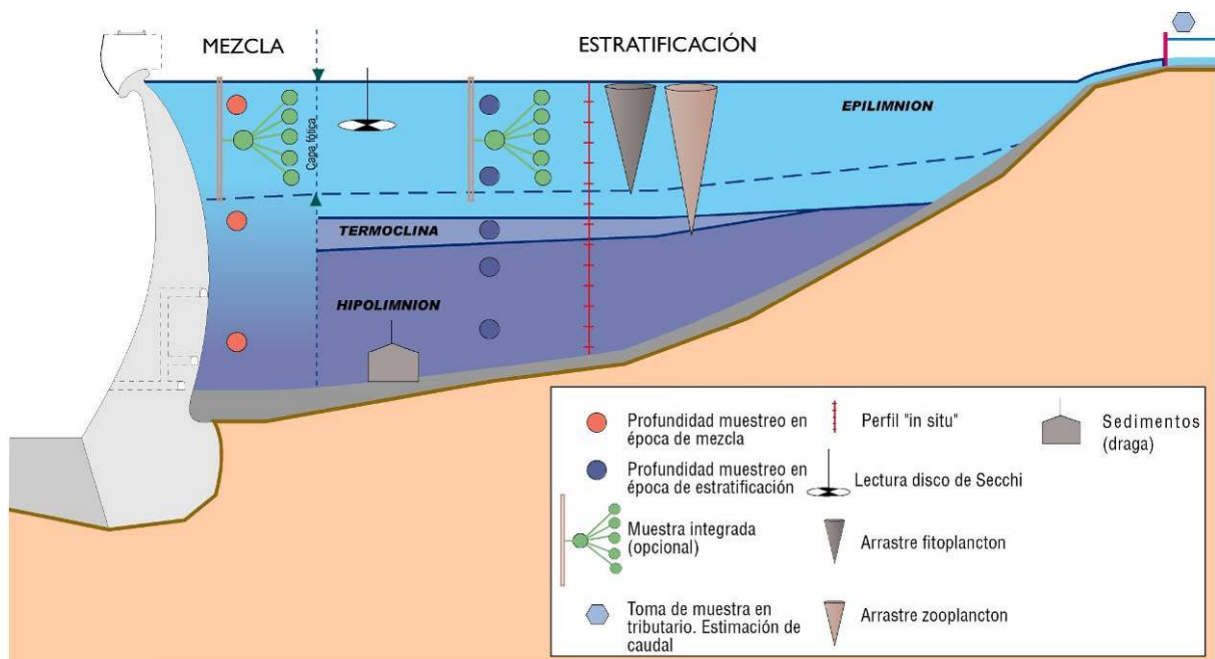


Figura 5. Esquema de muestreo básico

Las muestras de agua se recogen en frascos de polietileno, excepto las de las diferentes formas del fósforo y el fitoplancton, para los que se utilizan recipientes de vidrio. Las muestras biológicas se fijan inmediatamente con lugol. El resto se trata (una vez filtrado y conservado) en el laboratorio en un plazo máximo de 24 h; los nutrientes inorgánicos y los pigmentos fotosintetizadores se analizan en un plazo inferior a 2 días desde su llegada al laboratorio.

2.3.4. Análisis de laboratorio

Ya en el laboratorio sobre las muestras de agua se deben realizar las siguientes determinaciones.

- Pigmentos fotosintetizadores: clorofilas a, b y c y feofitinas
- Sólidos totales en suspensión
- DBO₅ y DQO, o en caso de bajo contenido en materia orgánica oxidabilidad

- Diferentes formas del fósforo: básicamente fósforo reactivo disuelto (equivalente a los ortofosfatos) y fósforo total, tanto disuelto como particulado.
- Diferentes formas del nitrógeno: amonio/amoniaco, nitratos, nitritos y nitrógeno kjeldahl
- Sílice reactiva
- Alcalinidad total
- Como parámetros determinantes de la composición iónica de las aguas se miden en una campaña, preferiblemente de invierno, la concentración de los siguientes iones: calcio, magnesio, potasio, bicarbonatos, carbonatos, sulfatos y cloruros
- Se pueden añadir análisis de sedimentos (granulometría, materia orgánica, nitrógeno y fósforo inorgánicos intercambiables), así como de anhídrido sulfhídrico, metales en fondo (principalmente hierro y manganeso), carbono orgánico total y toxinas algales, según indicios y necesidades concretas del diagnóstico o de la problemática del embalse.

Todos los parámetros se expresarán en mg/l, a excepción de los pigmentos fotosintetizadores que se expresan en $\mu\text{g/l}$. Los parámetros biológicos incluyen las estimaciones de biomasa (clorofila *a*) y densidad celular (n° de células/ml o biovolumen mm^3/l) en el fitoplancton y determinaciones taxonómicas en fito y zooplancton.

2.3.5. Procesamiento de datos

Los datos se deben someter a un cribado inicial para corregir errores y obtener los valores medios por estratos, estaciones y embalses, mediante ponderación por los volúmenes. Para la realización de esta ponderación es conveniente disponer de la batimetría del embalse; cuando ésta no se pueda conseguir, se pueden realizar transectos con ecosonda para determinar la morfometría general del vaso del embalse.

Cuando no existe estratificación térmica se obtiene directamente el valor medio del perfil vertical a partir de los puntos de muestreo de una misma estación. Cuando se detecta estratificación, se estiman los volúmenes de cada estrato y con las medias de los valores situados dentro de cada estrato, se obtiene por ponderación la media en la columna de agua.

Para obtener valores medios entre campañas, se pondera con el periodo de tiempo que representa cada campaña, que transcurre entre las mitades de los intervalos entre la campaña anterior y la posterior.

2.4. Estado trófico de los embalses

La catalogación trófica se alcanza mediante la aplicación e interpretación de una serie de indicadores de amplia aceptación. En cada caso, se tendrá en cuenta el valor de unos u otros en función de las características limnológicas básicas de los embalses. Así, se podrán interpretar las incoherencias entre índices y parámetros y establecer la catalogación final en función de aquellos que, en cada caso, responden a la eutrofización de las aguas. Los indicadores al uso son los siguientes:

2.4.1. Carga de fósforo

Se utiliza el concepto de carga crítica de Vollenweider que establece un límite de carga de fósforo por encima del cual se considera que la masa de agua tenderá a eutrofizarse. Este límite aumenta en función de la profundidad media del embalse (z) y del tiempo de residencia hidráulica (T_w), según la siguiente expresión, que considera una concentración crítica de $10 \mu\text{g-P/l}$:

$$L(P)_i = 10q_s \left(1 + \sqrt{\frac{z}{q_s}}\right), \text{ donde } q_s = Z/T_w$$

2.4.2. Concentración de nutrientes

La concentración de fósforo total en el embalse es un parámetro crucial en la eutrofización puesto que suele ser el elemento que limita el crecimiento de las algas. Los índices más aceptados que contemplan su concentración media anual son:

- EPA con tres categorías tróficas y límites de 10 y 20 $\mu\text{g/l}$.
- LEE, JONES & RAST, con cinco categorías tróficas y límites de 8, 12, 28 y 40 $\mu\text{g/l}$.
- MARGALEF, con dos categorías tróficas y límite de 15 $\mu\text{g/l}$.
- OCDE, con cinco categorías tróficas y límites de 4, 10, 35 y 100 $\mu\text{g/l}$.
- TSI, con cinco categorías tróficas y límites de 20, 40, 60 y 80, que representan valores de una escala relativa de 0 a 100 calculados según la transformación $10(6 - \log_2(54,9/PT))$.

En general, el índice de la OCDE refleja suficientemente el grado trófico real y es el más utilizado. Por otro lado, permite realizar la catalogación con un sistema probabilístico que asigna una cierta probabilidad a cada categoría, lo cual es más realista.

2.4.3. Biomasa algal

A diferencia del anterior, es un indicador de respuesta trófica y, por lo tanto, integra todas las variables causales, de modo que está influido por otros condicionantes ambientales, además de estarlo por los niveles de nutrientes.

Se utilizan dos parámetros como estimadores de la biomasa algal en los índices al uso: densidad celular (n° células/ml) y concentración de clorofila *a* ($\mu\text{g/l}$) en la zona fótica; en esta última se usan los valores medio y máximo anuales. Se pueden aplicar los siguientes índices:

- EPA con tres categorías tróficas y límites de 3 y 20 para la clorofila (máximo anual) y de 2000 y 5000 para la densidad celular.
- LEE, JONES & RAST, con cinco categorías tróficas y límites de 2.1, 3, 6.7, 10 $\mu\text{g/l}$ de clorofila (media anual).

- MARGALEF, con dos categorías tróficas y límite de 5 para la clorofila (media anual) y 5000 para la densidad celular.
- OCDE, con cinco categorías tróficas y límites de 1, 2.5, 8 y 25 para la media anual de clorofila y de 2.5, 8, 25 y 75 para el máximo anual.
- TSI, con cinco categorías tróficas y límites de 20, 40, 60 y 80, que representan valores de una escala relativa de 0 a 100 calculados según la transformación $10(6 - \log_2 7.7(1/\text{Clorofila } a^{0.68}))$.

2.4.4. Transparencia

Otro parámetro relacionado con la biomasa algal, aunque más indirectamente es la transparencia, medida con el disco de Secchi (media y mínimo anual en m), que da lugar a los siguientes índices:

- LEE, JONES & RAST, con cinco categorías tróficas y límites de 1.8, 2.4, 3.8 y 4.6.
- MARGALEF, con dos categorías tróficas y límite de 3.
- OCDE, con cinco categorías tróficas y límites de 1.5, 3, 6 y 12 para la media anual y de 0.7, 1.5, 3 y 6 para el mínimo anual.
- TSI, con cinco categorías tróficas y límites de 20, 40, 60 y 80, que representan valores de una escala relativa de 0 a 100 calculados según la transformación $10(6 - (\log_2 \text{Disco Secchi}))$.

3. ESTIMACIÓN DE LOS APORTES DE NUTRIENTES

Las fuentes de nutrientes serán diferenciadas en dos categorías: fuentes puntuales y fuentes difusas.

- fuentes puntuales, aquellas que son colectadas e ingresan de forma definida, ya sean de origen urbano, industrial o mixto.
- fuentes difusas que aglutinan a las sustancias nutritivas de origen natural (erosión del suelo, material vegetal, etc.), así como los aportes que no provienen de

descargas definidas y que son consecuencia de la actividad humana, tales como la lixiviación de abonos, excretas animales, etc.

Las diferentes formas de transporte de los nutrientes que ingresan a un cuerpo de agua exigen diferentes metodologías de cálculo. El fósforo y el nitrógeno pueden ser arrastrados a las masas de agua en forma disuelta, a través de las aguas superficiales o subterráneas; o en forma particulada, asociados a fenómenos de erosión. La forma particulada es suelo erosionado y está constituida por los materiales que lo componían junto a aquellas sustancias que se le hayan incorporado, en su caso, durante el cultivo (fertilizantes), por la ganadería en régimen extensivo, así como por las escorrentías de zonas urbanas. El excedente de agua arrastra esas partículas del suelo hacia arroyos, ríos, embalses, etc.

3.1. Cálculo del aporte para fuentes puntuales

Cuando se trate de una **fente puntual y con entrada directa al embalse -tributarios-**, y en los casos en los que se disponga de datos de caudal y concentraciones en una fuente (si no se dispone de estos datos se puede establecer una estación de muestreo, según lo descrito en apartados anteriores), la carga anual de nutrientes se puede calcular según dos criterios, ambos basados en dividir el año en intervalos, considerando el dato como punto medio de cada intervalo -SCHEIDER ET AL, 1979-.

El primer procedimiento utiliza los datos de aportes hidráulicos correspondientes al día del muestreo (Q_i) con lo que se obtienen cargas estimadas con aportes instantáneos de la forma:

$$\sum Q_i \cdot C_i \cdot (f_{i+1} - f_{i-1}) / 2$$

siendo,

C_i : Concentración de la sustancia en el muestreo i (mg/l)

f_i : Fecha del muestreo i ,

$(f_{i+1} - f_{i-1}) / 2$: Intervalo de tiempo días

o bien se puede utilizar la suma de las aportaciones hidráulicas diarias, en un periodo de tiempo que abarca la mitad del intervalo que transcurre el dato anterior hasta el actual y desde éste al posterior, para obtener la carga estimada con los aportes medios (QM = Qd) de la forma:

$$\sum C_i \cdot QM$$

El cálculo de la carga de nutrientes a través de esta ponderación temporal supone que la concentración de la sustancia es independiente del caudal de agua que la transporta. Se obtienen los resultados en aportes brutos (kg/año) y específicos (g/m²), es decir, por unidad de superficie de cuenca, calculados según ambos criterios.

Por el contrario, cuando se quiera estimar una **fuentes puntual que no tributa directamente al sistema**, para el cálculo de las aportaciones totales se tendrán en cuenta los procesos de autodepuración natural que ocurren en el seno de los cauces fluviales, en función de la distancia existente entre la fuente y el cauce receptor. El concepto de autodepuración será considerado también en el cálculo de las aportaciones difusas.

Para ello, se recopilará y analizará toda la información disponible referente a la calidad del efluente de las distintas fuentes puntuales. El cálculo anual de las cargas se segregará en aportes mensuales, con el fin de detectar pautas estacionales en el comportamiento de las cargas. En este sentido, se analizarán los máximos y los mínimos y las relaciones existentes entre los puntos de inflexión y las variaciones de caudales circulantes.

Cuando **no se disponga de datos de caudal y concentración de los vertidos**, la estimación de la carga, se efectuará en función de los hab-eq correspondientes.

A cada habitante equivalente, o en su defecto a cada habitante poblacional, le serán asociadas las cargas típicas de nutrientes y la dotación media de abastecimiento establecida en el ámbito. Si estos vertidos disponen de un sistema de depuración, a la carga resultante del efluente se le aplicará un coeficiente de reducción en función del tratamiento de depuración.

3.2. Cálculo del aporte para fuentes difusas

Los contaminantes procedentes de estas fuentes no tienen un punto claro de ingreso en los cursos de agua que los reciben, por lo que ofrecen grandes dificultades para su medición y control directo. Las técnicas empleadas para determinar el grado y la magnitud de los problemas de la contaminación asociada incluyen generalmente la utilización de modelos de simulación.

Los tres tipos de modelos basados en cuenca vertiente comúnmente empleados para estimar los aportes difusos de nutrientes son los basados en: a) coeficientes de exportación, b) de simulación química, c) funciones de carga.

- a) Los **coeficientes de exportación** representan cargas de nutrientes unitarias asociadas a un tipo de uso del suelo. Se calculan mediante la aplicación de relaciones empíricas sencillas que relacionan la carga de nutrientes que se exporta en un tiempo determinado y la superficie total de una cuenca vertiente homogénea en cuanto al tipo de uso del suelo. Dicha relación se expresa en unidades de masa del nutriente por unidad de superficie para un cierto uso de la tierra y por unidad de tiempo (kg/ha/año). Estos coeficientes proporcionan estimaciones anuales independientes de las condiciones climáticas, por lo tanto no son lo suficientemente precisas como para evaluar medidas de control y cargas estacionales
- b) Los **modelos de simulación química** son descripciones mecanicistas (balance de masas) de la disponibilidad, lavado, transporte y pérdida de nutrientes. Aunque proporcionan las descripciones más completas de las cargas de nutrientes, sus requerimientos de datos intensivos los hacen poco prácticos y caros para la mayoría de estudios de calidad de las aguas. Estos incluyen un conocimiento y control completo de los ciclos biogeoquímicos.
- c) Entre los dos tipos de aproximación anteriores, se encuentra los modelos de **funciones de carga**, en las que el modelado mecanicista está limitado al movimiento del agua y de los sedimentos. Se considera como condición

dinámica o variable en el tiempo la hidrología, dependiente directamente de las condiciones climáticas, y determinante de la cantidad de nutrientes disueltos y sedimento transportado. Las concentraciones de nutrientes (P y N) disueltas se estiman a partir de concentraciones medias calculadas para un flujo medio de las escorrentías que provienen de cuencas homogéneas en cuanto a un tipo de uso.

Entre los diversos modelos existentes, el de Funciones de Carga Generalizadas a la Cuenca (GWLF) ha sido empleado en diversas cuencas españolas. Este modelo proporciona la posibilidad de evaluar y comparar mensualmente las cargas de nutrientes (P y N) aportadas por fuentes difusas y puntuales en una cuenca de drenaje para un año hidrológico; o las cargas medias para un periodo de años. Según la estratificación del ámbito a estudiar, descrita en el punto 2.3.1. este tipo de modelo se aplicaría a la denominada cuenca de escorrentía directa (CED).

Cabe citar que este tipo de modelos precisan de una amplia información para su correcta aplicación, entre otros los datos imprescindibles se consideran: precipitación y temperatura diaria, inventario de vertidos, datos de caudal, datos de calidad de las aguas, censo ganadero, usos del suelo y censo de población.

3.3. Otras metodologías. Guías HARP

El reconocimiento de la importancia de las fuentes difusas a nivel internacional en la contaminación de las masas de agua ha llevado durante las dos últimas décadas a esfuerzos crecientes para identificar y cuantificar las cargas de nutrientes procedentes de estas fuentes.

En Europa el interés creciente por combatir los problemas consecuentes de la eutrofización, derivó en la realización del proyecto HARP¹ (Harmonized Reporting Procedures for Nutrients), cuyo objetivo principal era la realización de una metodología que reuniera métodos de cálculo para cuantificar el aporte de nutrientes (N y P) que

¹ El desarrollo de la metodología HARP tuvo lugar como parte de la estrategia para combatir la eutrofización de la Comisión OSPAR. Convenio para la Protección del Medio Marino del Noreste Atlántico.

ingresan en las aguas continentales y marinas. Esta metodología se desglosó en 9 guías técnicas (disponibles en <http://www.euroharp.org/rl/guidelines/index.htm>) que se especifican a continuación:

- Guía 1: Marco y procedimiento de la metodología HARP;
- Guía 2: Cuantificación y notificación de vertidos y pérdidas de nitrógeno y fósforo de plantas de acuicultura;
- Guía 3: Cuantificación y notificación de vertidos de nitrógeno y fósforo de instalaciones industriales;
- Guía 4: Cuantificación y notificación de vertidos de nitrógeno y fósforo de infraestructuras sanitarias de alcantarillado y tratamiento;
- Guía 5: Cuantificación y notificación de pérdidas de nitrógeno y fósforo de viviendas no conectadas a la red de alcantarillado;
- Guía 6: Cuantificación y notificación de sobre pérdidas de nitrógeno y fósforo de fuentes difusas, incluyendo recarga interna;
- Guía 7: Cuantificación y notificación de la carga fluvial de nitrógeno y fósforo en estaciones de seguimiento, incluyendo procedimientos para la normalización de datos;
- Guía 8: Principios para atribuir la carga contaminante a diferentes fuentes;
- Guía 9: Cuantificación y notificación de la retención de nitrógeno y fósforo en aguas superficiales.

En términos generales, la metodología permite la estimación del aporte de nutrientes mediante el uso de modelos simples, y otros de mayor complejidad, basados en estudios a largo plazo. Dentro de los objetivos de las guías destaca el planteamiento de métodos de cálculo a un nivel de macrocuenca, concretamente un área de cuenca comprendido entre 1.000 y 20.000 km². Todas las guías describen métodos empíricos o teóricos para realizar las estimaciones de nutrientes.

Conviene destacar que en la Guía 6, “Cuantificación y notificación de sobre pérdidas de nitrógeno y fósforo de fuentes difusas, incluyendo recarga interna”, no se lograron unificar los métodos utilizados por los diferentes países para cuantificar dichos aportes. Por lo que la guía se limita a identificar los factores a tener en cuenta, a la vez que

presenta ejemplos de procedimientos empleados por diferentes países (Suiza, Alemania, Reino Unido, Dinamarca, Holanda e Irlanda).

De aquí surgió un nuevo proyecto (EUROHARP) con el objetivo de proporcionar una metodología para unificar la determinación de aportes de nutrientes desde fuentes difusas. Este proyecto es un estudio comparativo de nueve métodos de cuantificación de fuentes difusas de nitrógeno y fósforo, propuestos por varios países europeos. Tras la finalización del proyecto se crearon una serie de herramientas específicas para las condiciones de cada país, dichos modelos se encuentran en la página web <http://euroharp.org/pd/pd/index.htm#5>.

3.4. Recarga interna de fósforo

Este tipo de aportes incluye la regeneración de nutrientes desde los sedimentos, que en determinadas condiciones vuelven al agua por difusión o por resuspensión mecánica. Este aporte ocurre más comúnmente en condiciones anóxicas, de modo que en los embalses más eutróficos puede llegar a ser una contribución significativa de nutrientes en el agua, y puede retrasar o impedir la recuperación de un sistema eutrofizado cuando se corrigen las fuentes externas.

La sedimentación neta de nutrientes es equivalente a la sedimentación total menos la recarga interna, de modo que cuando se dispone de datos periódicos de cargas externas, cargas evacuadas (detracciones) y cargas en el agua, se puede realizar un balance en el periodo comprendido entre fechas de muestreo contiguas.

Cabe la posibilidad de realizar algunas mediciones, tanto directas como en laboratorio, para la estimación de la recarga interna, aunque esto puede suponer un incremento en el coste total de los trabajos.

3.5. Balance de masas

Considerando las estimaciones de los aportes exógenos (tributarios, escorrentía directa y precipitación) y endógenos (recarga interna) de nutrientes a los embalses, junto a aquellas pérdidas que se producen a través de las detracciones de agua del embalse, es

posible realizar un balance global que informa en cada caso sobre la importancia que adquiere cada una de las fuentes consideradas en el cómputo global.

4. PLAN DE ACTUACIONES

Una vez analizadas las causas que provocan los altos contenidos en nutrientes y las cargas máximas que permitirían a una masa de agua alcanzar los objetivos de calidad definidos, se estaría en disposición de plantear un Plan de Actuaciones para cada zona sensible, que integrará una serie de medidas correctoras.

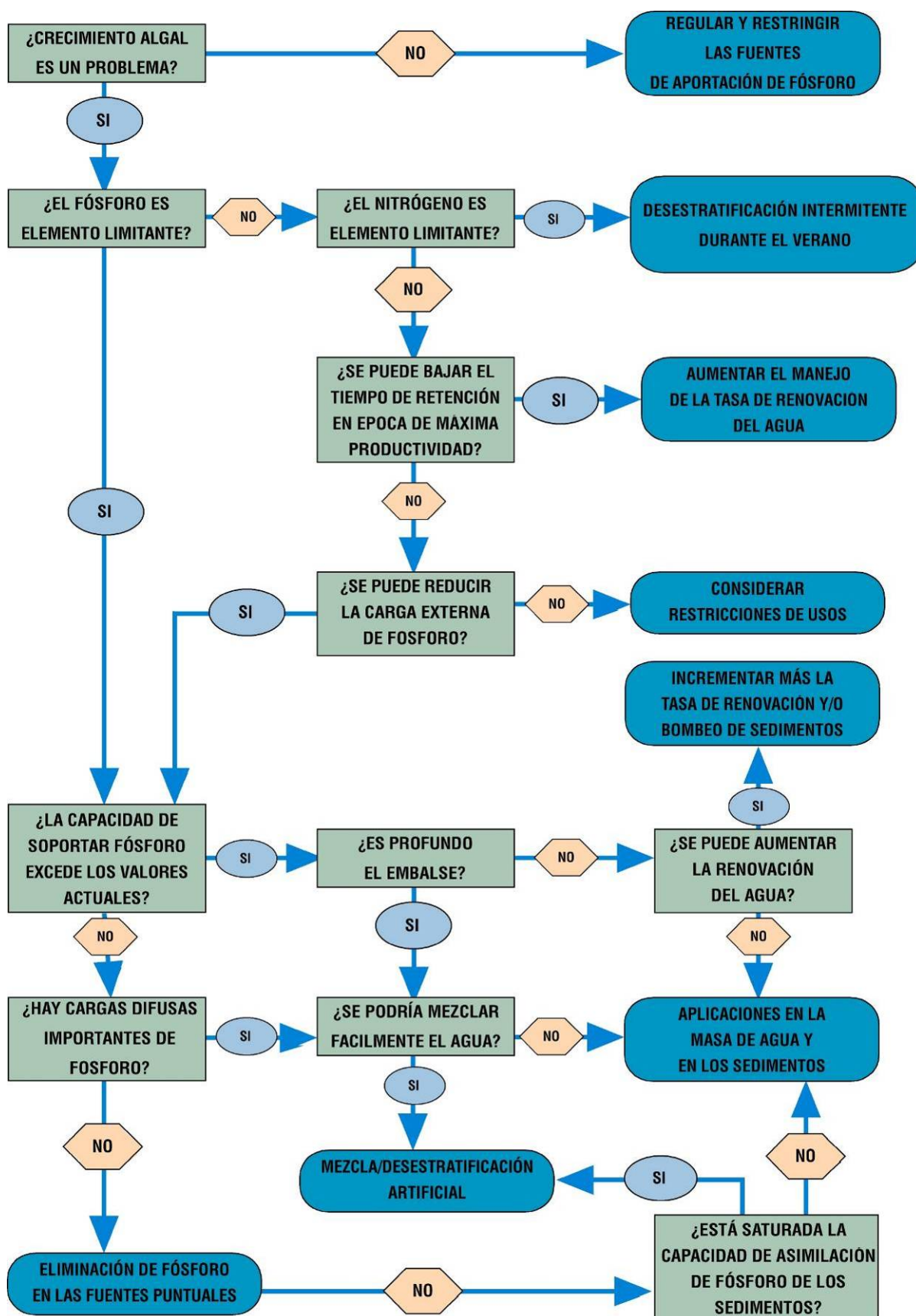
Las medidas correctoras de la eutrofización de embalses que se manejan para la elaboración del Programa de Actuaciones se agrupan en dos grandes tipos:

- a) Actuaciones encaminadas a **reducir la carga externa de nutrientes**: tributarios o vertidos que ingresan en el embalse, gestión de la cuenca, etc.
- b) Actuaciones que tratan **directamente los síntomas** más acuciantes para la gestión de embalses, especialmente los relacionados con las proliferaciones de algas y los descensos acusados de oxígeno disuelto.

Los diferentes tipos de medidas pueden ser aplicadas de forma aislada o complementaria, sucesiva o simultáneamente. Las medidas correctoras podrían derivarse de la aplicación de un sistema de decisión jerárquica, que permitiera asignar tratamientos según las características de la masa de agua.

En la figura 6, se muestra un cuadro de decisión jerárquica de tipos de medidas para la corrección de la eutrofización en embalses. En dicho esquema aparecen como variables clave el significado fisiológico de los niveles de nutrientes (si son o no limitantes para el crecimiento algal), la capacidad de asimilación del sistema (compartimentación vertical, especialmente las relaciones volumétricas entre estratos) y la reactividad del sistema que está determinada por el tiempo de residencia hidráulica.

Figura 6. Cuadro de decisión de las posibles medidas de corrección a adoptar



5. OPCIONES PARA EL CONTROL DE LA EUTROFIZACIÓN. TABLAS SÍNTESIS.

Existe una gran variedad de opciones para el control de la eutrofización. Dentro de las distintas medidas la experiencia práctica indica que la disminución de la carga externa es a largo plazo una medida efectiva del control de la eutrofización, mientras que las de control en propio embalse suelen ser efectivas a medio-corto plazo, y con ellas no se elimina el problema básico, ya que se ignoran las causas del mismo. No obstante, estos procedimientos pueden ser una alternativa razonable en los casos que las actuaciones externas resulten inviables. Aún así, y como se citó anteriormente, ambas pueden ser empleadas de forma aislada o complementaria.

En la siguiente tabla se presenta, de forma resumida, distintas posibilidades de remediación o mitigación empleadas para el control de la eutrofización. En ella se plantea tanto el modo de acción como las posibles ventajas, o desventajas, inherentes a la aplicación de la técnica.

Así mismo, se ha empleado un código de colores para identificar las opciones de control genéricas (**azul**), de las cuales no se han efectuado fichas descriptivas por desarrollarse en otras más específicas. Por su parte, algunas opciones se han resaltado en color **verde**, para indicar que se encuentran descritas en una ficha conjunta (ejemplo: Limitación de luz. Tintes y Coberturas).

OPCIONES	MODO DE ACCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Control de la cuenca / Técnicas de reducción de la carga externa			
1) Gestión de la entrada de nutrientes	Incluye todas las cuencas y subcuencas, así como las actividades en la cuenca de escorrentía directa. Intentan eliminar o reducir la entrada de nutrientes mediante planes, normas y leyes, guías de buenas prácticas, etc. y la realización de actuaciones y empleo de las técnicas necesarias	- Actúa sobre la fuente original de nutriente - Limitación del crecimiento algal - Puede controlar la entrada de otros contaminantes no deseados - Facilita el acercamiento a la gestión del ecosistema, más allá del control algal	- Pueden ser actuaciones a largo plazo - Pueden no cumplirse los objetivos, si no se complementa con actuaciones dentro del embalse - La reducción general de fertilidad del lago puede afectar a las piscifactorías - Puede cambiar la proporción de nutrientes favoreciendo a especies algales no deseables
Fuente difusa			
1a) Control de la fuente difusa. Aspectos generales	- Mediante normas o leyes se intenta reducir los aportes de nutrientes a una cuenca - Puede implicar la eliminación de usos del suelo o de actividades que aportan nutrientes - Puede implicar desvíos de ríos/arroyos - Puede implicar el uso de productos alternativos, como fertilizantes sin fosfatos - Puede implicar la revisión de diversas normas o leyes a nivel local, etc.	- Reduce la emisión de nutrientes - En el caso de cambios de usos, se elimina un tipo de fuente - No limitado por los costos	- Puede precisar la compra de terrenos o cambio de actividad - Algunos sectores pueden entenderlo como limitación de la "calidad de vida" - Usualmente requiere educación y una implementación gradual
1b) Captura de nutrientes mediante infiltración	- Captura de contaminantes entre la fuente y el lago/embalse - Puede implicar la alteración de la red de drenaje - Su objetivo es minimizar los impactos del agua de escorrentía, favoreciendo su infiltración al terreno	- Minimiza la interferencia de los usos del suelo con el lago/embalse - Permite el mantenimiento de los usos en la cuenca - Enfoque muy flexible - Trata gran variedad de cargas contaminantes - Pueden integrarse con el paisaje - Técnicas relativamente simples de construir	- No trata las fuentes reales - Puede resultar caro en la escala necesaria - Requieren mantenimiento - Precisan de bastante superficie - Las fuertes pendientes limitan su efectividad - Pueden afectar a las aguas subterráneas
1c) Captura de nutrientes mediante detención	- Captura de contaminantes entre la fuente y el lago/embalse - Puede implicar la alteración de la red de drenaje - Su objetivo es minimizar los impactos del agua de escorrentía, limitando su ingreso a las masas de agua	- Minimiza la interferencia de los usos del suelo con el lago/embalse - Permite el mantenimiento de los usos en la cuenca - Controlan las puntas de avenida - Enfoque muy flexible - Trata gran variedad de cargas contaminantes - Pueden integrarse con el paisaje - Técnicas relativamente simples de construir	- No trata las fuentes reales - Puede resultar caro en la escala necesaria - Requieren mantenimiento - Precisan de bastante superficie - Pueden afectar a las aguas subterráneas - La eliminación de vegetación en el mantenimiento de los sistemas puede reducir temporalmente su efectividad

OPCIONES	MODO DE ACCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1d) Captura de nutrientes mediante bandas de vegetación	• Captura de contaminantes entre la fuente y el lago/embalse • Implica la creación de corredores de vegetación, tanto en tributarios como en las riberas de lagos o embalses • Las plantas retienen y absorben los nutrientes de las aguas de escorrentía	• Minimiza la interferencia de los usos del suelo con el lago/embalse • Permite el mantenimiento de los usos en la cuenca • Pueden integrarse con el paisaje • Técnicas relativamente simples de construir	• No trata las fuentes reales • Requieren mantenimiento • Precisan de bastante superficie • Las fuertes pendientes limitan su efectividad
1e) Tratamiento físico químico y manejo de tributarios	• Tratamiento de tributarios con alta carga de nutrientes. • Pueden emplearse tratamientos físico químicos en el caso de que el tratamiento de fuentes puntuales no sea factible • Desvío de arroyos o ingreso forzado al sistema	• Puede resultar menos costoso que el tratamiento de distintas fuentes puntuales • No se requiere un alto consumo energético ni un alto mantenimiento • Se consiguen buenas reducciones de fósforo	• Los tratamientos se realizan en ríos o arroyo de escasa entidad • No se trata las fuentes de nutrientes reales • Se puede desplazar el problema aguas abajo del sistema
1f) Preembalses	• Creación de infraestructuras en tributarios para favorecer la retención de nutrientes	• Menor consumo energético y menor necesidad de personal que un sistema de depuración convencional • Puede favorecer el establecimiento de aves acuáticas	• El problema se desplaza a otro ámbito del embalse • Precisa de un riguroso control • Puede constituirse en una obra de gran envergadura
Fuente puntual			
1g) Control de la fuente puntual	• Requisitos de emisión más rigurosos • Puede implicar el uso de tecnología o de ajustes operacionales • Puede implicar planes de prevención de la contaminación • Puede implicar la creación de estanques de tormenta	• Prevé la reducción de la entrada principal • La mayoría de las veces es muy eficiente • El resultado es fácilmente comprobable	• Puede resultar caro • Puede transferirse el problema a otras cuencas • La variabilidad de los resultados puede ser alta en algunos casos
1h) Depuración convencional para la eliminación de fósforo	• Uso de tecnología para la depuración de aguas residuales incluyendo la eliminación de nutrientes	• Prevé la reducción de la entrada principal • La mayoría de las veces es muy eficiente • El resultado es fácilmente comprobable • Se pueden eliminar otros contaminantes	• Procedimientos caros • La descarga centralizada del efluente puede suponer un impacto potencial • No es factible su uso en pequeñas poblaciones
1i) Sistemas de tratamiento mediante infiltración al terreno	• Las aguas residuales se dispensan en el terreno • Pueden emplearse plantas para un mayor rendimiento en la depuración	• Menor consumo energético y de personal que un sistema convencional • Menor producción de fangos	• Precisa de grandes superficies • El vertido a tratar no debe contener otros contaminantes • Pueden verse afectadas las aguas subterráneas
1j) Sistema de tratamientos mediante lagunajes	• Consiste en el almacenamiento de las aguas residuales durante un tiempo variable • El proceso de depuración tiene lugar a reacciones biológicas, químicas y físicas	• Permite regular y almacenar aguas, que posteriormente pueden emplearse para otros usos • Su construcción y mantenimiento son de bajo coste • Se obtienen buenos resultados en la reducción de contaminantes	• Precisa de superficies relativamente grandes • Se producen elevadas pérdidas de agua por evaporación • El resultado es variable en función de la estación del año

OPCIONES	MODO DE ACCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1k) Sistemas de tratamiento mediante humedales artificiales	• Zonas encharcadas en las que existe vegetación acuática con capacidad para retener y extraer nutrientes del agua	• Menor consumo energético, menores necesidades de personal y menor producción de fangos que un sistema convencional • No requiere un alto consumo energético ni un alto mantenimiento • Pueden obtenerse buenos rendimientos en la eliminación del fósforo • Proporcionan un nuevo hábitat para la avifauna.	• Requieren de una gran superficie, • En los periodos fríos se puede reducir el rendimiento de la instalación, principalmente en los humedales de flujo superficial • Pueden producirse malos olores y aparecer mosquitos
1l) Depuración mediante macrófitas flotantes	• Su funcionamiento es similar al de los humedales de flujo horizontal, diferenciándose principalmente de estos en el empleo de vegetación emergente (carrizos, juncos, enneas o esparganios) como vegetación flotante.	• Pueden reconvertirse depuradoras con un tratamiento convencional • El sistema puede emplearse como tratamiento principal, secundario o como terciario • No requiere un alto consumo energético ni un alto mantenimiento	• Se debe disponer de suficiente superficie • El vertido a tratar no debe contener contaminantes especiales, tales como productos fitotóxicos • En algunos casos puede ser necesario el tratar las plantas contra alguna plaga (pulgón, ácaros o moscas)

OPCIONES	MODO DE ACCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Controles físicos en el lago/embalse			
2) Circulación artificial y desestratificación	• Uso de agua o aire para el movimiento del agua • Empleado para prevenir o eliminar la estratificación • Generalmente impulsado por la fuerza mecánica o neumática	• Reduce el aumento de blooms algales • Puede desestabilizar el crecimiento de algas verde-azules (cianofíceas) • La reducción de la anoxia mejora el hábitat para peces e invertebrados • Puede reducir la recarga interna de fósforo	• Puede propagarse el efecto localizado • Pueden disminuir las concentraciones de oxígeno y reducir la transparencia • Puede ocasionar impactos aguas abajo
3) Aireación hipolimnética u oxigenación	• Adición de aire u oxígeno a distintas profundidades para suministrar oxígeno • Se puede mantener o romper la estratificación • Se puede extraer el agua, oxigenarla, y reincorporarla al sistema	• La oxigenación favorece la precipitación/sedimentación del fósforo • La eliminación de la anoxia mejora el hábitat para peces e invertebrados • Se reduce la acumulación de hierro disuelto, manganeso, sulfuro, amoníaco y fósforo	• Accidentalmente se puede romper la estratificación térmica, afectando a las comunidades piscícolas • Teóricamente provoca gases tóxicos para los peces • La biota puede hacerse dependiente de la aireación continua
4) Dilución y purga	• La adición de agua de buena calidad puede diluir la concentración de nutrientes • La adición del agua de similar o peor calidad a presión limpia el sistema, reduciendo al mínimo la acumulación algal • Pueden ser adiciones continuas o periódicas	• La dilución reduce las concentraciones de nutrientes sin alterar las cargas • La suelta minimiza la retención de nutrientes; la respuesta de los contaminantes puede reducirse	• Desvía aguas de otros usos • La sueltas pueden lavar el zooplankton deseable del lago • El uso de aguas de baja calidad aumenta las cargas de nutrientes • Posibles impactos aguas abajo
5) Manejo hidráulico. Extracción selectiva de agua	• Descarga de aguas profundas que puedan contener (o ser susceptibles) de tener bajos niveles de oxígeno y altos niveles de nutrientes • Puede bombearse o por cota • Construcción de torres de toma	• Extracción de agua eficaz en distintos niveles • Complementa a otras técnicas, como la bajada de nivel o la aireación • Puede prevenir la anoxia y el incremento de fósforo en las capas más profundas • Puede extraer las fases iniciales del crecimiento algal que comienzan en zonas profundas • Puede crear condiciones de aguas frías aguas abajo	• Posible impacto aguas abajo • Puede eliminar el estrato más frío, donde habitan ciertas especies de peces • Puede facilitar la mezcla con las aguas más superficiales, empobreciendo su calidad • Puede provocar descensos en la lámina de agua, si las entradas son menores a las extracciones
6) Vaciado del embalse o bajada del nivel del agua	• La bajada de nivel en el período otoñal, favorece la oxidación, desecación y compresión de los sedimentos • Es importante el tiempo de exposición y el grado de desecación de las áreas expuestas • Las algas se ven afectadas, principalmente, por la reducción de nutrientes disponibles	• Puede reducir los nutrientes disponibles, o las proporciones de nutrientes, afectando a la composición y biomasa algal • Genera la oportunidad de efectuar tareas de mantenimiento, tanto en la línea de costa como en la infraestructura • Útil en el control de avenidas • Control de plantas sumergidas	• Posibles impactos en otras fuentes • Posible deterioro en el agua de abastecimiento • Alteración del nivel de agua y de la corriente aguas abajo en invierno • Una suelta (purgado) inadecuada, puede favorecer un incremento en la disponibilidad de nutrientes

OPCIONES	MODO DE ACCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
7) Dragado	- El sedimento se retira físicamente por excavación, seca o húmeda, y se deposita en un área de contención - El dragado debe aplicarse de forma limitada, pero a menudo se emplea en sistemas gravemente afectados - Las reservas de nutrientes son eliminadas y el crecimiento algal queda limitado por la disponibilidad de nutrientes	- Puede controlar las algas si el reciclaje interno es la fuente principal de nutrientes - Incrementa la profundidad del agua - Puede reducir la reserva de contaminantes - Puede reducir la demanda de oxígeno del sedimento - Puede favorecer a los frezaderos de muchas especies piscícolas - Permite la renovación completa del ecosistema acuático	- Elimina, temporalmente, los invertebrados bentónicos - Puede ocasionar turbidez - Puede eliminar las comunidades piscícolas (sólo en el caso del dragado "seco") - Posibles impactos en el área de descarga - Posibles impactos del sedimento extraído - Interferencias con los usos durante la operación de drenaje
7a) Dragado "seco"	- El lago/embalse se vacía o se baja de nivel lo máximo posible - El objetivo es desecar la mayor extensión posible - Se emplean equipos convencionales de excavación para eliminar los sedimentos	- Tiende a facilitar un trabajo muy preciso - Puede favorecer el secado de los sedimentos antes de la extracción - Permite el empleo de equipos convencionales	- Raramente se trata de una operación totalmente seca - Elimina la biota, a no ser que se extraiga antes del dragado - Elimina los usos asociados durante la operación de dragado
7b) Dragado "húmedo"	- El nivel del lago puede bajarse, pero los sedimentos no quedan expuestos - Se emplean dragas de largo alcance para la retirada de sedimento	- Requiere menos reparación o esfuerzo, tiende a ser el método de dragado menos costoso - El equipo adquirido es de fácil manejo - Puede preservar la biota acuática	- Normalmente provoca una alta turbidez - Normalmente precisa de un área de deposición intermedio para el secado de los sedimentos - Puede desestabilizar las funciones ecológicas - Desestabiliza los usos del lago/embalse
7c) Dragado hidráulico	- El nivel del lago no se reduce - La succión o las dragas "cutterhead" crean una lechada que es bombeada hidráulicamente al área de descarga - La lechada es desecada, el sedimento retenido y el agua descargada	- Crea poca turbidez y afecta poco a la biota - Pueden mantenerse los usos del embalse mientras se draga - Limita el disturbio provocado a un área localizada, o a la zona de costa	- A menudo deja un poco de sedimento sin extraer - No extrae materiales gruesos o piedras - Requiere un área de contención más cara y sofisticada
8) Sellado de sedimento. Barreras bénticas	- Recubrimiento de los sedimentos de manera que no entren en contacto con el agua, evitando así la resuspensión de nutrientes y el crecimiento de plantas no deseadas. - Se pueden emplear láminas de plástico (barreras bénticas) o materiales inertes (arcillas, arenas o grava)	- Reducen la interacción agua sedimento - Pueden reducir el crecimiento de plantas acuáticas no deseadas - En el caso de las barreras bénticas, algunos materiales pueden ser reutilizados en distintas áreas	- Las barreras bénticas no son selectivas - Aplicación a pequeñas superficies - Alto coste de instalación y mantenimiento
9) Limitación de la luz con tintes y coberturas superficiales	Crean limitación de luz	- Crean limitación de luz para el crecimiento algal, sin provocar una alta turbidez y a gran profundidad - Puede controlar el crecimiento de plantas sumergidas	- Puede crear estratificación térmica en lagos poco profundos - Puede propiciar la anoxia en la interfase sedimento-agua

OPCIONES	MODO DE ACCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
9a) Tintes	- El tinte soluble en agua se mezcla con el agua del embalse, limitando la penetración de la luz e inhibiendo el crecimiento algal - Los tintes se quedan en solución hasta que son lavados por el sistema	- Producen un color atractivo - Crea el efecto óptico de una mayor profundidad	- No controla las formaciones de blooms superficiales - No pueden controlar el crecimiento superficial de las algas - Alteran el régimen térmico
9b) Coberturas superficiales	Se trata de láminas de material opaco que se colocan en la superficie del agua	Minimiza la entrada atmosférica y los contaminantes procedentes de la avifauna u otros animales	- Minimiza el intercambio atmosférico de gas - Limita el uso recreativo
10) Eliminación mecánica	- Filtrado del agua bombeada para el abastecimiento - Recolección de elementos flotantes, natas, etc. con bombas, redes u otros elementos - Normalmente es necesaria su aplicación varias veces al año	- Las algas y los nutrientes asociados pueden ser eliminados del sistema - La recolección puede aplicarse cuando sea necesaria - Se pueden retirar residuos flotantes	- Con altas densidades algales, el filtrado requiere de la manipulación del fango y de altas corrientes de agua - Trabajo intensivo y/o costo - La eficiencia recolectora es variable - Posible impactos en la vida acuática
11) Eliminación de algas empleando ultrasonidos	Las ondas acústicas desestabilizan las células algales	- Supuestamente sólo afecta a las algas (nueva técnica) - Aplicable a zonas localizadas	- Efecto desconocido sobre otros organismos - Pueden liberarse toxinas u otros contenidos indeseables a la columna de agua
12) Alguicidas	- El alguicida se aplica en un área localizada - Las algas digieren el metabolito tóxico - Normalmente requiere una o más aplicaciones al año	- Rápida eliminación de algas en la columna de agua, normalmente supone un incremento en la transparencia del agua - Puede favorecer la sedimentación de los nutrientes	- Posible toxicidad en otras especies - Restricción en los usos del agua mientras se realiza el tratamiento - Posible toxicidad e incremento de la demanda de oxígeno - Posibilidad de reciclado de nutrientes
12a) Formas del cobre	- Tóxico celular, asegura la disfunción de la fotosíntesis, del metabolismo del nitrógeno y de la membrana del transporte - Se puede aplicar con una gran variedad de formulaciones, tanto líquidas como sólidas, y a menudo junto con quelantes, polímeros, surfactantes o herbicidas	Control rápido y efectivo de muchas especies algales	- Posible toxicidad para la fauna acuática - Inefectivo a bajas temperaturas - Acumulación de cobre en el sistema - Resistencia de ciertas algas molestas verde-azules (cianofíceas) - La ruptura de las células libera toxinas y nutrientes
12b) Herbicidas orgánicos sintéticos	- Productos químicos que absorbidos por la membrana desestabilizan metabolismo de la célula - Causan deterioro estructural en la célula	- Se pueden emplear donde el cobre es ineficaz - En dosis recomendadas limita la toxicidad a los peces - Acción rápida	- No selectivo dentro del área tratada - Posible toxicidad en la fauna acuática (en distintos grado según la dosis y la formulación)
12c) Oxidantes	- Desestabilizan la mayoría de funciones celulares, tienden a afectar a la membrana celular - Mayoritariamente se aplican en forma líquida	- Potencialmente selectivos de las algas verde-azules (cianofíceas) - Control moderado de macrófitos - Usado donde el cobre ineficaz	- Las formulaciones más altas resultaron ser tóxicas para algunas especies acuáticas - Las nuevas formulaciones no han sido testadas ni probadas en el campo

OPCIONES	MODO DE ACCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
13) Inactivación del fósforo	- Típicamente se emplean sales de aluminio, menos utilizados son las de hierro o las formas de calcio. Se pueden agregar, en líquido o en polvo - El fósforo tratado en la columna de agua precipita al fondo - El fósforo del estrato superior del sedimento es coagulado, reduciendo su liberación - La precipitación depende del potencial redox y del pH	- Puede provocar una rápida disminución de las formas de fósforo en la columna de agua - Puede minimizar la recarga interna del fósforo desde el sedimento - Puede eliminar otros nutrientes o contaminantes	- Posible toxicidad en peces e invertebrados, principalmente por aluminio, dependiendo del pH - Pueden producirse variaciones en la química de agua durante el tratamiento, especialmente del pH - Posible resuspensión de flocos en aguas poco profundas - El fósforo se suma al sedimento, aunque en una cantidad despreciable
14) Oxidación del sedimento	- Adición de oxidantes, floculantes y/o ajuste del pH, en el sedimento - Favorece la floculación del fósforo	- Puede reducir el suministro de fósforo a las algas - Puede alterar el ratio N:P en la columna de agua - Puede disminuir la demanda de oxígeno del sedimento	- Posible impacto sobre la fauna bentónica - La duración de los efectos no es conocida - Posible fuente de nitrógeno para las cianofíceas
15) Agentes sedimentadores	- Estrechamente relacionado con la desactivación del fósforo, pero puede usarse para la reducción de algas directamente - Cal, alumbre o polímeros, aplicados usualmente como un líquido o una lechada - Crea una masa flocosa con algas y otras partículas en suspensión - La masa flocosa se aloja en el fondo del lago - Típicamente es necesaria una aplicación por año	- Elimina las algas e incrementa la claridad del agua sin ruptura de las células - Reduce el reciclado de los nutrientes si la masa flocosa es lo suficientemente grande - Retira partículas algales y no algales - Al mismo tiempo puede reducir los niveles de fósforo disuelto	- Posibles impactos sobre la fauna acuática - Posibles variaciones de la química del agua durante el tratamiento - Posible resuspensión de la masa flocosa en aguas poco profunda y mezcladas
16) Adición selectiva de nutrientes	- El ratio de nutrientes cambia con la adición de nutrientes seleccionados - La adición de nutrientes no limitantes puede cambiar la composición algal	- Puede reducir los niveles algales cuando el control de limitación de nutrientes no resulta efectivo - Puede favorecer a las algas no molestas - Puede mejorar la productividad del sistema sin aumentar la posición de algas	- Puede favorecer el incremento algal por una respuesta biológica incierta - Puede precisar frecuentes aplicaciones para mantener las proporciones deseadas - Posibles efectos aguas abajo

OPCIONES	MODO DE ACCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Control biológico en el lago/embalse			
17) Biomanipulación cadena trófica. Zooplancton herbívoro	- Manipulación de los componentes biológicos del sistema para lograr el control del pastoreo sobre las algas - Generalmente, consiste en la alteración de la comunidad piscícola para propiciar el crecimiento del zooplancton herbívoro grande, o el "stock" de peces fitófagos - Las especies comestibles del fitoplancton se someten a un consumo por el zooplancton herbívoro. A su vez, el zooplancton herbívoro está controlado por el zooplancton carnívoro y por los peces planctívoros, de modo que los consumidores de estos dos últimos grupos (depredadores) pueden realizar un control indirecto del fitoplancton	- Puede incrementarse la claridad del agua con cambios en la biomasa algal, o en la distribución de tamaños de células, sin reducción de los niveles de nutrientes - Puede convertir biomasa no deseada en forma deseable (pez) y fácilmente extraíble - Maneja las cadenas tróficas naturales para conseguir condiciones deseables - La respuesta del zooplancton para los crecimientos de algas puede ser rápida - Generalmente, compatible con los objetivos de gestión de las piscifactorías	- Puede implicar la introducción de especies exóticas - Puede cambiar la composición algal y obtener formas menos deseables - La respuesta esperada es altamente variable. La variabilidad temporal y espacial puede ser alta - Requiere un seguimiento y control entre 1 y 5 veces al año - Las algas tóxicas, o de mayor tamaño, pueden beneficiarse y florecer
17a) Peces herbívoros	Incremento de los peces que comen plantas	- Los peces son fácilmente retirados, reduciendo así la biomasa del sistema - El incremento de peces herbívoros incrementa directamente el consumo de plantas	- Normalmente requiere la introducción de especies exóticas - Dificultad de control a largo plazo - Las formas más pequeñas de algas pueden beneficiarse y florecer
17 b) Extracción de biomasa piscícola y/o de peces bentónicos	- Retirada de peces con objeto de extraer fósforo del sistema - Retirada de peces bentónicos, que resuspenden nutrientes por excreción y remoción del fondo	- Se extrae fósforo del sistema - Reduce la turbidez y la adición de nutrientes de esta fuente - Puede reestructurar la comunidad piscícola	- El resultado deseado puede ser poco significativo si la carga de nutrientes debida a otras fuentes es elevada - Requiere del traslado de peces a otro sistema - Los peces bentónicos son difíciles del erradicar o controlar - Reducción de poblaciones apreciadas por algunos usuarios
18) Adición de bacterias (en agua o sedimento)	- Adición de inóculos para iniciar el ataque de las células algales - Pueden emplearse hongos bacterias o virus - Adición de bacterias consumidoras de nutrientes en sedimentos, este tipo de técnica se incluye en los métodos denominados de biorremediación	<i>Empleadas en el agua:</i> - Pueden provocar una "epidemia" en el lago y reducir la biomasa algal - Pueden proporcionar un control sostenido sobre los distintos ciclos - Pueden tener una alta especificidad sobre un género o grupo algal <i>Empleadas en el sedimento:</i> - Pueden ser efectivas para otros contaminantes, dependiendo de la especificidad de la cepa empleada - Pueden ser empleadas en ríos	- La aproximación a estas técnicas son experimentales - Puede producir formas resistentes - Puede causar alta demanda de oxígeno o liberación de toxinas por roturas de las células algales - Efectos indeterminados en otros organismos

OPCIONES	MODO DE ACCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
19) Competición y alelopatía (<i>Efecto de productos metabólicos de plantas que inhiben el crecimiento y desarrollo de otras especies de plantas próximas</i>)	- Las plantas pueden captar suficientes nutrientes para limitar crecimiento algal - Las plantas pueden crear una limitación de la luz afectando al crecimiento algal - La inhibición química de las algas puede producirse a través de sustancias emitidas por otros organismos	- Emplea interacciones biológicas naturales - Puede proporcionar un control ágil y continuado	- Algunas formas de algas pueden ser resistentes - El uso de plantas puede conducir a otros problemas con las plantas vasculares - El uso de plantas puede causar el descenso del nivel del oxígeno
19a) Plantas para el control de nutrientes o para limitación de la luz (<i>competición</i>)	- Crecimiento de plantas, en grandes densidades, para limitar el acceso de nutrientes - Las plantas pueden emitir sustancias aleopáticas que inhiben crecimiento algal - Pueden instalarse islas flotantes u otras estructuras - Las especies de plantas con hojas flotantes pueden crear sombra	- La productividad y el valor asociado del hábitat pueden seguir siendo altos, pero sin floraciones algales - Pueden manejarse para limitar las interferencias con los usos recreativos y para crear nuevos hábitat - Los humedales adyacentes al lago pueden disminuir la entrada de nutrientes - Las plantas vasculares se pueden cosechar más fácilmente que la mayoría de las algas - Muchas especies flotantes proporcionan alimento valioso a aves acuáticas	- Las plantas vasculares pueden alcanzar altas densidades, resultando molestas - El envejecimiento de las plantas vasculares puede incrementar los nutrientes y causar floraciones algales - El cambio en la composición de las plantas de un lago puede causar cambios inesperados o indeseables - En las densidades necesarias, las plantas flotantes, pueden ser perjudiciales para los usos recreativos - Pueden favorecer la anoxia
19b) Adición de paja de cebada (<i>alelopatía</i>)	- La adición de paja de cebada puede provocar una serie de reacciones químicas que limitan el crecimiento algal - La liberación de productos alelopáticos puede matar a las algas - La liberación de sustancias húmicas puede reducir al fósforo	- Los materiales y el uso son relativamente baratos - El descenso de la abundancia algal es más gradual que con los alguicidas, limitando la demanda del oxígeno y la expulsión del contenido de la célula	- El éxito parece ligado a factores inciertos, y potencialmente incontrolables, de la química del agua - Puede producirse descenso de las concentraciones de oxígeno - La química del agua puede alterarse de forma inadecuada, afectando a otros organismos

6. FICHAS DESCRIPTIVAS DE TÉCNICAS DE CONTROL DE LA EUTROFIZACIÓN

TÉCNICAS DE REDUCCIÓN DE CARGAS EXTERNAS

FUENTE DIFUSA

GESTIÓN FUENTE DIFUSA. ASPECTOS GENERALES

1. FUNCIONAMIENTO

La gestión de fuente difusa consiste en el empleo de técnicas o prácticas que reducen, o eliminan, el potencial de los agentes contaminantes (en este caso nutrientes) que son aportados desde un punto indefinido de la cuenca de drenaje. En términos generales se trata de prevenir la erosión en la cuenca, minimizar la posible contaminación agraria o urbana por escorrentía, emplear productos fertilizantes sin fosfatos, cambio en los usos del suelo, etc. El control de este tipo de fuente se consigue principalmente, mediante normas y leyes, aunque la educación ambiental también es una buena herramienta para la consecución de los objetivos. Se pueden distinguir, principalmente, dos tipos de fuentes difusas: urbanas y agrícolas.

Respecto a la gestión de la **fuentes agrícola** los objetivos a cubrir serían, entre otros, la buena gestión de los abonos, la máxima prevención de la erosión del suelo en todo el área de drenaje, la adecuada construcción de depósitos de estiércol, etc. Para ello, se deberán tener en cuenta la normas y leyes existentes para la reducción de contaminantes. En España la mayoría de las comunidades autónomas han desarrollado Guías de Buenas Practicas Agrarias, donde se recogen las recomendaciones precisas para minimizar la contaminación de las aguas, estos códigos contienen como mínimo las siguientes determinaciones:

- 1. Los períodos en que no es conveniente la aplicación de fertilizantes a las tierras.*
- 2. La aplicación de fertilizantes a tierras en terrenos inclinados y escarpados.*
- 3. La aplicación de fertilizantes a tierras en terrenos hidromorfos, inundados, helados o cubiertos de nieve.*
- 4. Las condiciones de aplicación de fertilizantes a tierras cercanas a cursos de aguas.*
- 5. La capacidad y el diseño de los tanques de almacenamiento de estiércol, las medidas para evitar la contaminación del agua por escorrentía y filtración en aguas superficiales o subterráneas de líquidos que contengan estiércol y residuos procedentes de productos vegetales almacenados como el forraje ensilado.*

6. Los procedimientos para la aplicación a las tierras de fertilizantes químicos y estiércol que mantengan las pérdidas de nutrientes en las aguas a un nivel aceptable considerando tanto la periodicidad como la uniformidad de la aplicación.

En el caso de que la mayor parte de la cabaña ganadera se encuentre estabulada (ganadería intensiva), puede ser considerada como una fuente puntual de nutrientes al embalse, en cuyo caso, los sistemas de depuración son similares a los que pueden emplearse en el tratamiento de vertidos urbanos. No obstante, es de gran utilidad la creación de guías técnico-ambientales, cuyo objetivo sea el asesoramiento e información a ganaderos y agricultores, de las distintas técnicas disponibles para la correcta gestión de sus vertidos y desechos. Dentro de este tipo de guías destaca la “Guía de los tratamientos de las deyecciones ganaderas” elaborada por el Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya (2004), donde se describen los posibles tratamientos unitarios a emplear en la depuración de las aguas residuales, así como la combinación de los mismos.

Del mismo modo, las condiciones técnicas ambientales que deben reunir las instalaciones ganaderas deben estar reguladas, y para su divulgación este tipo de guías suele ser de gran utilidad. Como ejemplo, destaca la guía elaborada por la Comunidad Foral de Navarra titulada “Nueva normativa técnico ambiental para las instalaciones ganaderas” (2003), donde se resume los aspectos más relevantes de la normativa existente, como son la gestión de residuos, la correcta localización de las instalaciones, etc.

Por su parte, el crecimiento de los **núcleos urbanos** conlleva una progresiva impermeabilización del suelo, incrementado el caudal del agua de lluvia y consecuentemente el aporte potencial de contaminantes a la red hidrográfica. En tiempo seco los sistemas unitarios conducen únicamente el agua residual hacia la estación depuradora y en tiempo de lluvia se conducen las aguas residuales y las de escorrentía, lo que produce que se tenga que depurar agua que en su origen era limpia, además de incrementar el caudal de diseño de las depuradoras imposibilitando su correcto funcionamiento.

Por lo tanto, la correcta gestión de las aguas pluviales pasa, a rasgos generales, por la separación de sistemas de alcantarillado, mejora en la limpieza de las calles, la creación de tanques de tormenta, la introducción de superficies permeables, entre otras. En sucesivas fichas se presenta una descripción más detallada de las distintas técnicas que pueden emplearse para la captura de nutrientes de carácter difuso.

2. VENTAJAS

- La prevención, eliminación o reducción de fuentes difusas reduce claramente la carga potencial de nutrientes
- La gestión y prevención de la contaminación puede minimizar los costes que suponen las medidas correctoras
- Pueden controlarse otros contaminantes

3. DESVENTAJAS

- El control de fuente difusa es un primer paso para el control de la eutrofización, pero raramente basta como única medida
- Normalmente requiere legislación y una buena educación ambiental de la población
- El cumplimiento de normas y leyes no siempre puede ser el deseado
- Pueden existir fuentes que no se puedan controlar de esta manera

4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA SU APLICACIÓN

- Conocimiento del grado de cumplimiento de normas y leyes
- Estudios de seguimiento de la calidad del agua en la cuenca
- Conocimiento del área de drenaje, pendientes, tipos y usos del suelo

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- Los estudios han demostrado que gran parte de los aportes de nutrientes se deben a la escorrentía directa

- Las posibles restricciones, o normas, son justificables y acordes con las leyes y economía locales

6. APLICADO EN:

- Ampliamente aplicado a nivel mundial.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- The Practical Guide to Lake Management Massachusetts 2004
- Guidelines of lakes management Vol9. ILEC 1999
- “El control de la eutrofización en lagos y pantano” (Sven-Olof Ryding/Walter Rast) UNESCO 1992
- “The Use of Best Management Practices (BMPs) in Urban Watersheds”. EPA/600/R-04/184
- “Stormwater Best Management Practice Design Guide” Volume 2. “Vegetative Biofilters” EPA/600/R-04/121A
- “Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia”. Sara Perales Momparler PMEnginyeria, Ignacio Andrés-Doménech (Dpto Ing. Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia.
- “Sistemas urbanos de drenaje sostenible”. Daniel Castro Fresno y otros Universidad de Cantabria, España. Profesor, Universidad de Cantabria. Grupo de Investigación de Tecnología de la Construcción (GITECO)

8. PÁGINAS WEB

www.mass.gov/dcr/waterSupply/lakepond/downloads/practical_guide.pdf

www.arc-cat.net/es/altres/purins/guia.html

www.navarraagraria.com/n141/arinsta.pdf

www.epa.gov/ORD/NRMRL/pubs/600r04184/600r04184.htm

www.epa.gov/nrmrl/pubs/600r04121/600r04121a.pdf

www.mass.gov/dcr/waterSupply/lakepond/downloads/practical_guide.pdf

www.atlantiscorp.com.au

FUENTE DIFUSA

CAPTURA DE NUTRIENTES MEDIANTE INFILTRACIÓN

1. FUNCIONAMIENTO

Estos sistemas de captura se engloban dentro de los denominados Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), también conocidos como BMP's (Best Management Practices). El objetivo principal de estos sistemas es minimizar los impactos del agua de escorrentía, tanto cuanti como cualitativamente. Principalmente están pensados para la escorrentía urbana, aunque también pueden emplearse en ámbitos rurales. Se pueden distinguir dos grandes grupos: de infiltración o de detención, aunque normalmente los sistemas se pueden combinar, incluso con sistemas de drenajes tradicionales.

Dentro de los sistemas de infiltración se pueden citar²:

Cubiertas vegetadas. Sistemas multicapa con cubierta vegetal que recubren tejados y terrazas de todo tipo. Están concebidas para interceptar y retener las aguas pluviales, reduciendo el volumen de escorrentía y atenuando el caudal pico. Además retienen contaminantes, actúan como capa de aislante térmico en el edificio y ayudan a compensar el efecto "isla de calor" que se produce en las ciudades.

Superficies Permeables. Pavimentos que permiten el paso del agua a su través, posibilitando que ésta se infiltre en el terreno, o bien, sea captada y retenida en capas sub-superficiales para su posterior reutilización o evacuación. Existen diversas tipologías, entre ellas: césped o gravas (con o sin refuerzo), bloques impermeables con juntas permeables, bloques y baldosas porosos, pavimentos continuos porosos (asfalto, hormigón, resinas, etc.).



Superficie permeable

² Los textos y las imágenes proceden del artículo "LOS SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE: UNA ALTERNATIVA A LA GESTIÓN DEL AGUA DE LLUVIA." Sara Perales Momparler PMEnginyeria, Ignacio Andrés-Doménech (Dpto Ing. Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia).

Franjas Filtrantes. Franjas de suelo vegetadas, anchas y con poca pendiente, localizadas entre una superficie dura y el medio receptor de la escorrentía (curso de agua o sistema de captación, tratamiento, y/o evacuación o infiltración). Propician la sedimentación de las partículas y contaminantes arrastrados por el agua, así como la infiltración y disminución de la escorrentía.

Pozos y Zanjas de Infiltración. Pozos y zanjas poco profundos (1 a 3 m) rellenos de material drenante (granular o sintético), a los que se vierte la escorrentía de superficies impermeables contiguas. Se conciben como estructuras de infiltración capaces de absorber totalmente la escorrentía generada por la tormenta para la que han sido diseñadas.



Zanja de infiltración

Cunetas de vegetación. son cunetas drenantes que, mediante arenas y/o plantas, favorecen la detención e infiltración de las aguas de escorrentía. Estas cunetas son adecuadas para la eliminación de nutrientes cuando su longitud es relativamente larga. La reducción del fósforo es muy variable, oscilando entre 0 y 70%.



Cuneta de vegetación

Depósitos de Infiltración. Depresiones del terreno vegetadas diseñadas para almacenar e infiltrar gradualmente la escorrentía generada en superficies contiguas. Se promueve así la transformación de un flujo superficial en subterráneo, consiguiendo adicionalmente la eliminación de contaminantes mediante filtración, adsorción y transformaciones biológicas.



Depósito de infiltración

La reducción de fósforo de estos sistemas es variable, oscilando entre el 60 y el 70%,

mientras que para el nitrógeno son ligeramente inferiores, con unos valores medios de reducción próximos al 50%. Sin embargo, la variabilidad depende mucho del diseño y de las condiciones locales.

2. VENTAJAS

- Eliminación de nutrientes de una manera pasiva, sin una detención larga del flujo
- Técnicas relativamente simples de construir y de fácil mantenimiento
- Pueden integrarse totalmente con el paisaje
- Además de la extracción de nutrientes, se pueden crear hábitats deseables
- Pueden emplearse para la depuración de vertidos de casas aisladas
- Son sistemas relativamente baratos

3. DESVENTAJAS

- Requieren de bastante superficie
- Las fuertes pendientes limitan el proceso de depuración
- La eliminación de vegetación en el mantenimiento de los sistemas puede reducir temporalmente su efectividad

4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA SU APLICACIÓN

- Datos climatológicos y conocimiento del área de drenaje, pendientes y tipos de suelo
- Datos relacionados con la planificación de la construcción
- Datos de la calidad del agua con conocimiento de las fracciones particuladas y disueltas, para permitir la valoración de la anchura y/o de la longitud necesaria

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- Los estudios han demostrado que gran parte de los aportes de nutrientes se deben a la escorrentía directa
- Disponibilidad de terreno para su aplicación

- El sistema no causará problemas de inundación ni afectará a las aguas subterráneas

6. APLICADO EN:

- Estados Unidos, Gran Bretaña, Francia, Italia, entre otros países
- En España, en diversos parques y aparcamientos se han empleado materiales filtrantes, y en obras lineales diversas estructuras drenantes filtrantes.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- "The Use of Best Management Practices (BMPs) in Urban Watersheds". EPA/600/R-04/184
- "Stormwater Best Management Practice Design Guide" Volume 2. "Vegetative Biofilters" EPA/600/R-04/121A
- The Practical Guide to Lake Management Massachusetts 2004
- "Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia". Sara Perales Momparler PMEnginyeria, Ignacio Andrés-Doménech (Dpto Ing. Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia.
- "Sistemas urbanos de drenaje sostenible". Daniel Castro Fresno y otros Universidad de Cantabria, España. Profesor, Universidad de Cantabria. Grupo de Investigación de Tecnología de la Construcción (GITECO)

8. PÁGINAS WEB

www.epa.gov/ORD/NRMRL/pubs/600r04184/600r04184.htm

www.epa.gov/nrmrl/pubs/600r04121/600r04121a.pdf

www.mass.gov/dcr/waterSupply/lakepond/downloads/practical_guide.pdf

www.atlantiscorp.com.au

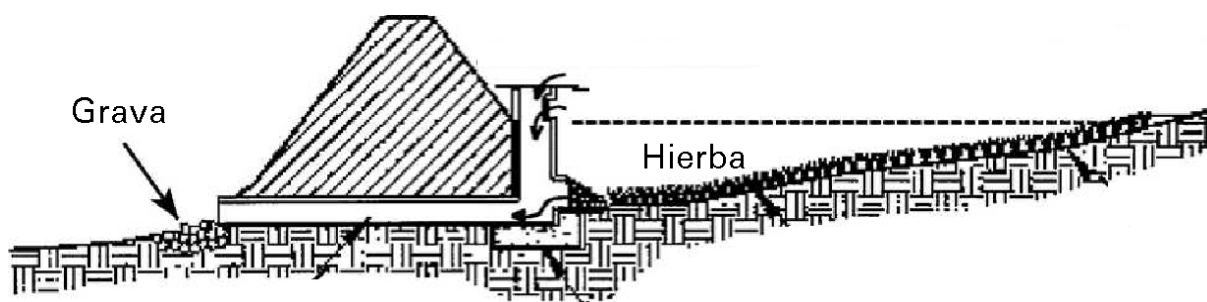
www.greenworks.tv/stormwater/vegetatedswales.htm

FUENTE DIFUSA

CAPTURA DE NUTRIENTES MEDIANTE DETENCIÓN**1. FUNCIONAMIENTO**

Estos sistemas de captura se engloban en los denominados Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), también conocidos como BMP's (Best Management Practices). El objetivo principal de estos sistemas es minimizar los impactos del agua de escorrentía, tanto cuanti como cualitativamente. Principalmente están pensados para la escorrentía urbana, aunque también pueden emplearse en ámbitos rurales. Se pueden distinguir dos grandes grupos: de infiltración o de detención, aunque normalmente los sistemas se pueden combinar, incluso con sistemas de drenajes tradicionales.

Los depósitos de detención, pueden ser depósitos superficiales o, en el caso de no disponer de suficiente terreno, ser subterráneos. Ambos se diseñan para almacenar temporalmente los volúmenes de escorrentía generados aguas arriba, laminando los caudales punta. Favorecen la sedimentación y con ello la reducción de la contaminación. Pueden emplazarse en zonas sin usos específicos o ser compaginados con otros usos, como los recreativos, ubicándose en parques e instalaciones deportivas.



Esquema de sistema de detención (USEPA, 1999).

Obtenido de "The Practical Guide to Lake Management Massachusetts" 2004

En los casos que las condiciones del entorno no favorece la instalación superficial, pueden construirse depósitos subterráneos. Se fabrican con materiales diversos, siendo el hormigón armado y los materiales plásticos los más habituales.

Dentro de este grupo se pueden englobar los estanques de tormenta, ampliamente empleado para el control de pluviales. También se incluyen el **lagunaje y los humedales**, sistemas a los cuales se les dedica una ficha independiente, ya que pueden emplearse también como tratamiento de fuentes puntuales.



Depósito de detención en un periodo seco. Reino Unido.

Fotografía obtenida del artículo "Sistemas urbanos de drenaje sostenible".

Daniel Castro Fresno y otros. Universidad de Cantabria

Por último citar que todos estos sistemas pueden alimentarse con los sistemas de infiltración, anteriormente citados: cunetas verdes, red de drenaje filtrantes, etc.

2. VENTAJAS

- Controla las puntas de avenida además de facilitar la eliminación de nutrientes de una manera pasiva
- Técnicas relativamente simples de construir, de bajo coste y fácil mantenimiento
- Pueden integrarse totalmente con el paisaje
- Se pueden crear hábitats deseables
- Pueden emplearse para la depuración de vertidos de casas aisladas

3. DESVENTAJAS

- Requieren bastante superficie
- Se debe prestar especial atención a las aguas subterráneas, por su posible afección y porque pueden acarrear problemas de construcción
- La eliminación de vegetación en el mantenimiento de los sistemas puede reducir temporalmente su efectividad

4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA SU APLICACIÓN

- Datos climatológicos y conocimiento del área de drenaje, pendientes y tipos de suelo
- Datos relacionados con la planificación de la construcción
- Datos de la calidad del agua con conocimiento de las fracciones particuladas y disueltas.

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- Los estudios han demostrado que gran parte de los aportes de nutrientes se deben a la escorrentía directa
- Disponibilidad de terreno para su aplicación
- El sistema no causará problemas de inundación ni afectará a las aguas subterráneas

6. APLICADO EN:

- Estados Unidos, Gran Bretaña, Francia, Italia, entre otros países

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- "The Use of Best Management Practices (BMPs) in Urban Watersheds". EPA/600/R-04/184
- "Stormwater Best Management Practice Design Guide" Volume 2. "Vegetative Biofilters" EPA/600/R-04/121A
- Guidelines of lakes management Vol9. ILEC 1999
- "Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia". Sara Perales Momparler PMEnginyeria, Ignacio Andrés-Doménech (Dpto Ing. Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia.
- "Sistemas urbanos de drenaje sostenible". Daniel Castro Fresno y otros Universidad de Cantabria, España. Profesor, Universidad de Cantabria. Grupo de Investigación de Tecnología de la Construcción (GITECO)

8. PÁGINAS WEB

www.epa.gov/ORD/NRMRL/pubs/600r04184/600r04184.htm

www.epa.gov/nrmrl/pubs/600r04121/600r04121a.pdf

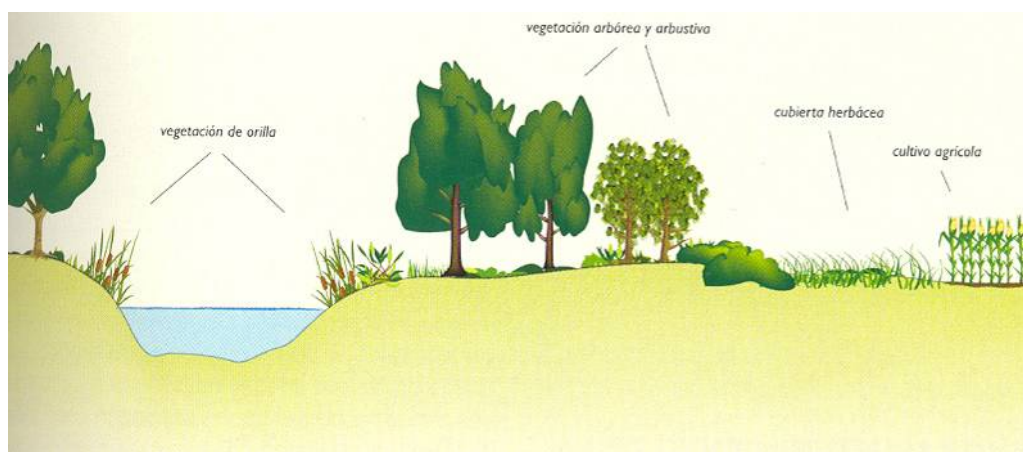
www.mass.gov/dcr/waterSupply/lakepond/downloads/practical_guide.pdf

FUENTE DIFUSA

CAPTURA DE NUTRIENTES MEDIANTE BANDAS DE VEGETACIÓN

1. FUNCIONAMIENTO

Las bandas de vegetación son unos corredores de vegetación que se crean, tanto en los ríos tributarios como en las riberas de los lagos o embalses, para separar los cuerpos de agua de zonas potencialmente contaminantes, principalmente agrícolas, que son una importante fuente de nutrientes. Aunque también pueden emplearse en zonas urbanas, a lo largo de carreteras u otras vías de transporte, por su capacidad retenedora de sedimentos, y otros contaminantes, que pueden llevar las aguas de escorrentía.



Esquema tipo de banda de vegetación en zona agrícola.

Obtenido de "Restauración de ríos. Guía metodológica para la elaboración de proyectos" Ministerio de Medio Ambiente

Básicamente están constituidas por tres franjas. La primera, y más cercana a la zona agrícola, es una franja herbácea densa, cuya finalidad es filtrar las escorrentías superficiales que pueden llegar al cauce, reteniendo así los sedimentos a los que pueden ir adheridos los fosfatos. La segunda es una masa arbórea cuyo sistema radicular tiene por objeto filtrar la escorrentía subsuperficial, absorbiendo los nitratos solubles que contenga. Por último, y más próxima al curso o masa de agua, se sitúa una banda protectora correspondiente a la vegetación riparia nativa del lugar.

La eficacia de estas bandas depende de su anchura, empezando a notarse algún efecto positivo a partir de los 8 metros de ancho. Aunque, para obtener unos buenos resultados, el ancho de banda debería ser como mínimo de 30-40 m. La extracción de fósforo y nitrógeno varía sustancialmente (entre el 20 y 90%), con promedios de, aproximadamente, el 30 %, la máxima extracción de nutrientes depende principalmente de la realización de un diseño correcto.

2. VENTAJAS

- Eliminación de nutrientes de una manera pasiva, sin una detención larga del flujo
- Técnicas relativamente simples de construir y de fácil mantenimiento
- Pueden integrarse totalmente con el paisaje
- Además de la extracción de nutrientes, se pueden crear hábitats deseables
- Pueden emplearse para la depuración de vertidos de casas aisladas
- Son sistemas relativamente baratos

3. DESVENTAJAS

- Requieren de bastante superficie
- Las fuertes pendientes limitan el proceso de depuración
- La eliminación de vegetación en el mantenimiento de los sistemas puede reducir temporalmente su efectividad

4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA SU APLICACIÓN

- Datos climatológicos y conocimiento del área de drenaje, pendientes y tipos de suelo
- Datos relacionados con la planificación de la construcción
- Datos de la calidad del agua con conocimiento de las fracciones particuladas y disueltas, para permitir la valoración de la anchura y/o de la longitud necesaria

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- Los estudios han demostrado que gran parte de los aportes de nutrientes se deben a la escorrentía directa
- Disponibilidad de terreno para su aplicación

6. APLICADO EN:

- Estados Unidos, Gran Bretaña, Italia, entre otros países

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Guidelines of lakes management Vol9. ILEC 1999
- “Restauración de ríos. Guía metodológica para la elaboración de proyectos” Ministerio de Medio Ambiente. 2007
- “Stormwater Best Management Practice Design Guide” Volume 2. “Vegetative Biofilters” EPA/600/R-04/121A

8. PÁGINAS WEB

www.mass.gov/dcr/waterSupply/lakepond/downloads/practical_guide.pdf

<http://www.epa.gov/nrmrl/pubs/600r04121/600r04121a.pdf>

<http://www.restauracionderios.org/>

FUENTE DIFUSA

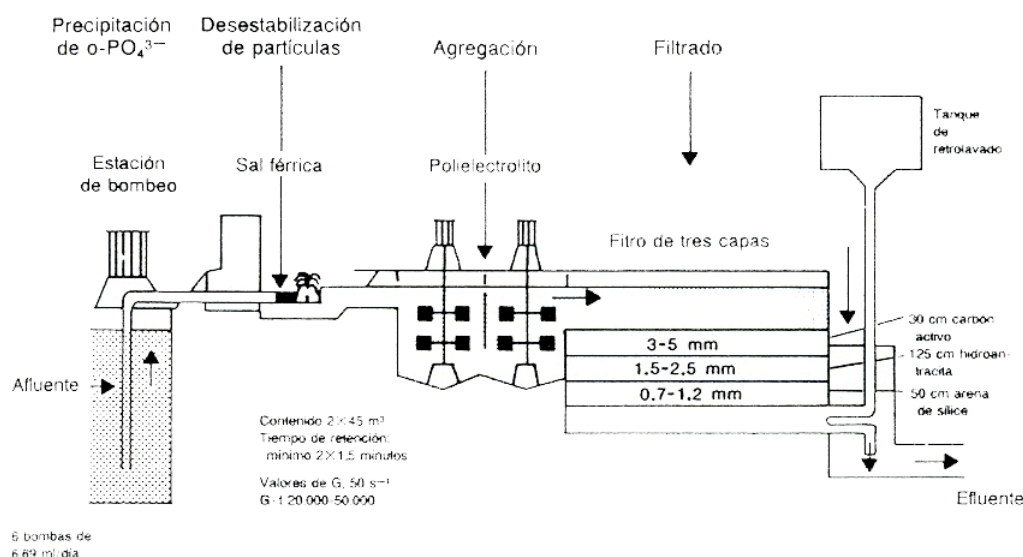
TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO Y MANEJO DE TRIBUTARIOS

1. FUNCIONAMIENTO

En el caso de que se demuestre que la disminución de la carga debida a fuentes puntuales no evita el problema de la eutrofización, o que su tratamiento resulte muy caro, se puede recurrir al tratamiento químico de las aguas tributarias o a su manejo hidráulico antes de su ingreso al embalse.

Respecto al tratamiento químico se pueden distinguir, básicamente, tres técnicas: tratamiento físico químico del tributario, adición directa de floculantes, filtración de las aguas a través de un filtro de óxido de aluminio.

El tratamiento físico-químico del tributario consiste, principalmente, en la precipitación y posterior filtrado del fósforo. El ejemplo más destacado de este procedimiento es la planta de eliminación de fósforo (PEP) del pantano Wahnbanach (BERNHARDT, 1983). Tras cinco años de funcionamiento se consiguieron unos rendimientos de entre el 95 y el 99% en la reducción del fósforo, con unas concentraciones medias de fósforo total menores de 5 $\mu\text{g/l}$. El coste final de esta planta era un 60% inferior al tratar de forma individualizada las distintas fuentes de fósforo en la cuenca.



*Esquema de la planta de eliminación de fósforo del pantano de Wahnbach
"El control de la eutrofización en lagos y pantano" UNESCO 1992*

En el caso de embalses poco profundos con elevadas cargas de fósforo cabe la posibilidad de aplicar sustancias precipitantes de fosfatos (sulfato de hierro o sales de aluminio) directamente en la entrada del tributario al embalse, especialmente en aquellos casos que resulta muy costoso un pretratamiento de aguas afluentes. Se requiere un cierto tiempo de retención (más de un mes) del agua en el embalse, para permitir que precipite el complejo metálico.

Para pequeños tributarios (< 50 l/s) con alto contenido en fósforo se pueden utilizar filtraciones en columnas de alúmina activada. Se usan mucho en efluentes de piscifactorías o pequeños arroyos que reciben vertidos. Tienen bajo coste de mantenimiento y no exigen electricidad.

Además del tratamiento físico químicos de las aguas tributarias se pueden emplear métodos físicos para su manejo. Una posibilidad es el desvío de las aguas tributarias aguas abajo del sistema, en el caso que su contribución hidráulica no sea necesaria para la explotación del embalse. Ésta técnica normalmente se ha empleado en sistemas muy sensibles, no obstante, supone la derivación del problema a otro lugar. En el caso de que la entrada del tributario se produzca en la zona epilimnética del embalse, se puede forzar, mediante tuberías, su ingreso al hipolimnion, permitiendo así que se retenga una mayor proporción de fósforo en los sedimentos y evitando que se ponga antes a disposición de las algas.

También se puede forzar el paso de pequeños tributarios por zanjas poco profundas rellenos de material drenante (granular o sintético), en los que se produce una retención de fósforo efectiva (ver ficha de trampas de infiltración).

2. VENTAJAS

- Menor consumo energético, menores necesidades de personal que un sistema convencional
- No requiere un alto consumo energético ni un alto mantenimiento
- Puede resultar menos costoso que el tratamiento de distintas fuentes puntuales de fósforo
- Se consiguen buenas reducciones de fósforo

3. DESVENTAJAS

- Los tratamientos se realizan en ríos o arroyos de poca entidad
- No trata las fuentes de nutrientes reales
- Requieren de un mantenimiento
- En el caso del desvío de aguas tributarias el problema se desplaza a otro lugar

4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA SU APLICACIÓN

- Se requiere un análisis detallado del balance de nutrientes para determinar si el principal aporte de fósforo procede de los tributarios
- Conocimiento de las fuentes puntuales en la cuenca vertiente
- Datos climatológicos y conocimiento del área de drenaje
- Datos relacionados con la planificación de la construcción

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- El aporte de nutrientes se debe principalmente a los tributarios
- El tratamiento de diversas fuentes puntuales resulta más costoso

6. APLICADO EN:

- Pantano Wahnbach. Alemania (Bernhardt 1981;1983).
- Aguas tributarias de Grote Rug (Holanda)

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- “El control de la eutrofización en lagos y pantano” (Sven-Olof Ryding/Walter Rast) UNESCO 1992
- Guidelines of lakes management Vol9. ILEC 1999
- Diagnóstico del estado trófico de los embalses de Cuerda del Pozo, Los Rábanos, San José, Aguilar de Campoo, Barrios de Luna, Burgomillodo y las Vencias en el ámbito de la Confederación Hidrográfica del Duero. Infraestructura y Ecología 1999.

8. PÁGINAS WEB

<http://www.ilec.or.jp/>

PREEMBALSES

1. FUNCIONAMIENTO

Consiste en la creación de preembalses en el tributario/s principal/es, con el objeto de favorecer la retención del agua rica en nutrientes durante un corto periodo de tiempo, antes de que éstas ingresen en el cuerpo central del embalse. El fósforo se pierde hacia los sedimentos por precipitación y sedimentación, tras quedar fijado en la biomasa fitoplanctónica. En este proceso adquiere un papel relevante la disminución en la velocidad del flujo. De hecho este último mecanismo es, en algunas ocasiones, el proceso dominante, ya que, si el agua se encuentra oxigenada, el fósforo se acumula en el fondo y queda retenido en los sedimentos.

Estos sistemas constituyen bioreactores que, cuando se colocan en cascada pueden conseguir rendimientos en PRS del 70 al 90% durante el verano y del 30% en invierno (BENNDORF et al., 1975).

Si el preembalse es de aguas someras (menos de 1 m) y nivel constante, se convierte en un humedal en el que crecen los macrófitos acuáticos o en un lagunaje (0 a 3 m) que puede ser de varios tipos (facultativo, aireado, aeróbico o anaeróbico). En caso contrario (gran desarrollo vertical con estratificación), se convierte en una obra de gran magnitud que estará justificada en la medida en que se use con fines de regulación hidráulica u otros.

La creación de preembalses también puede entenderse como una actuación dentro del embalse, pudiendo emplearse en reculadas o ensenadas que puedan presentar problemas de eutrofización y reciban una alta carga de nutrientes.

2. VENTAJAS

- Menor consumo energético, menores necesidades de personal que un sistema convencional
- No requiere un alto consumo energético ni un alto mantenimiento
- Puede favorecer el establecimiento de aves acuáticas

3. DESVENTAJAS

- El problema de la eutrofización se desplaza a otro ámbito, aunque de una manera más controlada y localizada.
- El uso del agua del preembalse debe sufrir un riguroso control
- Puede constituirse en una obra de gran envergadura

4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA SU APLICACIÓN

- Datos climatológicos y conocimiento del área de drenaje
- Estimación de los aportes de nutrientes procedentes de los distintos tributarios
- Datos relacionados con la planificación de la construcción

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- El aporte de nutrientes se debe principalmente a los tributarios
- La obra queda justificada en medida que se use con fines de regulación hidráulica, ambientales u otros.

6. APLICADO EN:

- Pantano Wahnbach. Alemania (Bernhardt 1981;1983)

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- “El control de la eutrofización en lagos y pantano” (Sven-Olof Ryding/Walter Rast) UNESCO 1992
- Guidelines of lakes management Vol9. ILEC 1999
- Diagnóstico del estado trófico de los embalses de Cuerda del Pozo, Los Rábanos, San José, Aguilar de Campoo, Barrios de Luna, Burgomillodo y las Vencias en el ámbito de la Confederación Hidrográfica del Duero. Infraestructura y Ecología 1999.

8. PÁGINAS WEB

<http://www.ilec.or.jp/>

FUENTE PUNTUAL

FUENTE PUNTUAL.

**DEPURACIÓN CONVENCIONAL PARA LA
ELIMINACIÓN DEL FÓSFORO**

1. FUNCIONAMIENTO

A.- Tratamiento en EDAR mediante precipitación química

La precipitación química del fósforo es el método más ampliamente utilizado para reducir los aportes de fósforo en las aguas residuales.

La más antigua de las modalidades es con aplicación de cal $-Ca(OH)_2-$, que persigue la precipitación de compuestos insolubles de calcio y fosfato. La cantidad de cal requerida depende de la capacidad de tamponamiento del sistema, pero en general hay que alcanzar un pH de 10,5 a 11 para reducir la concentración de fosfato por debajo de 1 mg/l. Esto significa que hay que aplicar una cantidad de cal de 1,5 veces la dureza de carbonato del agua. El reactivo se puede aplicar en la etapa primaria del tratamiento, pero se incrementa en un 100% la cantidad de fangos.

Otra forma de precipitar fósforo es con sales de hierro o aluminio. El óptimo se alcanza a un pH de 5,3 y 6,3, respectivamente, pero a pH más altos también se produce coprecipitación por la formación de hidroxifosfatos metálicos. El método tiene el inconveniente de que las sales formadas precipitan con dificultad y hay que emplear un exceso de metales, de modo que resulta un método caro. Las sales se pueden aplicar en cualquiera de las etapas del tratamiento, aunque es más efectivo el postratamiento en un tanque separado -terciario- con un polielectrolito adecuado -sustancias aniónicas- para ayudar en la floculación y sedimentación de la combinación de hidroxifosfato con el metal.

B.- Tratamiento en EDAR mediante sistemas biológicos

Son sistemas basados en la capacidad de los microorganismos de los fangos activados de tomar ortofosfatos del medio para su crecimiento y de hidrolizar los polifosfatos y los

fosfatos orgánicos. Se ha observado que mediante una vigorosa aireación se puede estimular este proceso y aumentar el rendimiento hasta una reducción de más del 80% del fósforo en las aguas residuales.

Entre los métodos más conocidos están el proceso A2O, el sistema Bardenpho y el proceso Phostrip. El proceso A2O aplica una secuencia anaeróbica-aeróbica para desarrollar una población biológica que puede conseguir altos niveles de retirada de fósforo a través de los fangos activados. El sistema Bardenpho se desarrolló para reducir los niveles de nitrógeno y luego se modificó para tratar el fósforo; consta de un reactor anaeróbico en cabeza para desnitrificar que prepara el fango para la remoción de fósforo en la subsiguiente zona aeróbica. El proceso Phostrip consiste en exponer los fangos de retorno a condiciones anaeróbicas donde se libera el fósforo y se trata mediante precipitación química.

C.- Tratamiento en EDAR mediante sistemas físicos

Hay varios métodos, como la ultracentrifugación, la ósmosis inversa y el intercambio iónico, que se pueden aplicar a la reducción de fósforo pero son de alto coste de inversión y de mantenimiento y permiten tratar sólo pequeños caudales, por lo que no se incide más en ellos, dado que se aplican en casos muy específicos y concretos en los que se requiere un efluente de alta calidad, generalmente para determinados procesos industriales.

2. VENTAJAS

- Al centralizar la carga se consiguen buenos rendimientos en la reducción del fósforo
- Se pueden eliminar otros contaminantes
- Grandes rendimientos de la reducción de nutrientes

3. DESVENTAJAS

- Procedimientos caros
- La descarga centralizada del efluente puede suponer un impacto potencial

- No es factible su uso en poblaciones pequeñas

4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA SU APLICACIÓN

- Datos relacionados con la planificación de la construcción
- Datos de calidad del efluente para determinar el tratamiento
- Datos hidrológicos
- Muestreos actuales para determinar impactos y posibles necesidades adicionales de gestión

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- Existencia de legislación que determina su empleo
- Se ha demostrado el impacto de la fuente puntual en el embalse

6. APLICADO EN:

- Sistemas de depuración ampliamente empleados

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Olem, H. and G. Flock, eds. 1990. Lake and Reservoir Restoration Guidance Manual. 2nd edition. EPA 440/4-90-006.
- The Practical Guide to Lake Management Massachusetts 2004
- Guidelines of lakes management Vol9. ILEC 1999
- El control de la eutrofización en lagos y embalses. Sven-Olof Ryding, Walter Rasst. UNESCO 1992
- Curso sobre: "Limnología aplicada: Embalses, lagunas y ríos". CEDEX 2007

8. PÁGINAS WEB

www.mass.gov/dcr/waterSupply/lakepond/downloads/practical_guide.pdf

<http://nepis.epa.gov/EPA/html/Pubs/pubtitleOAR.htm>

FUENTE PUNTUAL

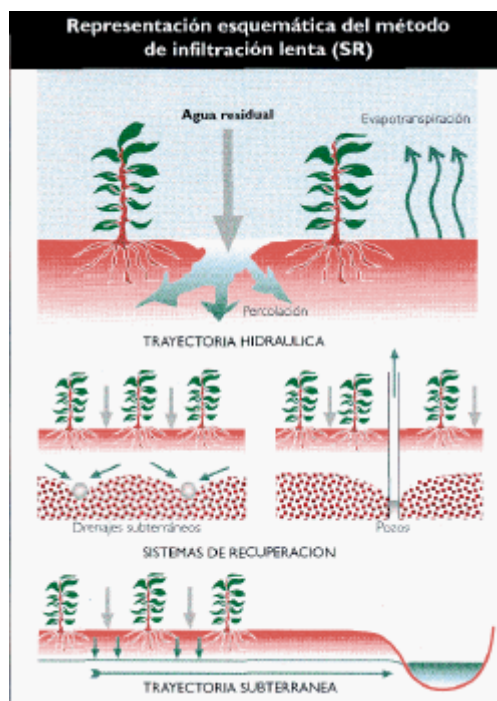
SISTEMAS DE TRATAMIENTO MEDIANTE INFILTRACIÓN AL TERRENO

1. FUNCIONAMIENTO

Se trata de dispensar las aguas residuales directamente en el terreno. Bajo tasas de aplicación controladas y en condiciones aeróbicas del suelo, se consigue una retirada y degradación de nutrientes y otros contaminantes por mecanismos diversos: actividad de los microorganismos en los horizontes superficiales del suelo, precipitación química, intercambio iónico, transformación biológica y absorción a través de los sistemas radicales de la cubierta vegetal.

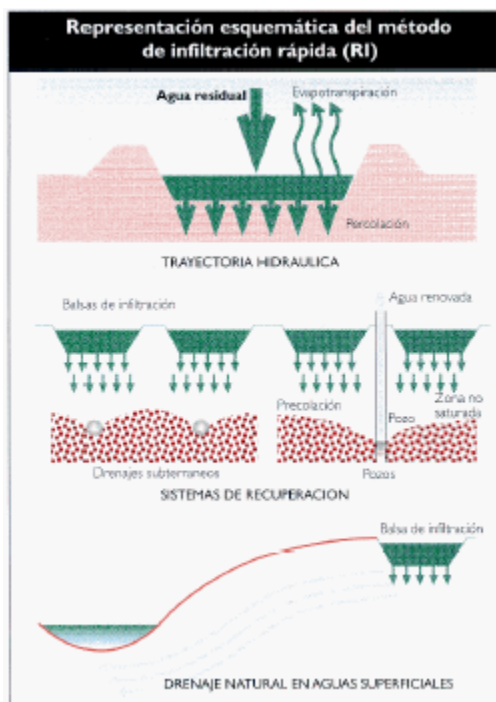
Se distinguen varios tipos³:

- a) **Sistemas de infiltración lenta,** consisten básicamente en la aplicación de un caudal controlado de agua residual sobre una superficie de terreno con cubierta vegetal cultivada. Cuanto mayor es la cantidad de arcillas en el suelo, mejor es su rendimiento en la retención de fósforo. Se estima que cada 10 años se satura con fósforo una profundidad de suelo de 30 cm. Se obtienen valores en el efluente inferiores a 0,1 mg PT/l. El sistema más representativo es el filtro verde que, además de favorecer la depuración, permite la explotación maderera del cultivo.

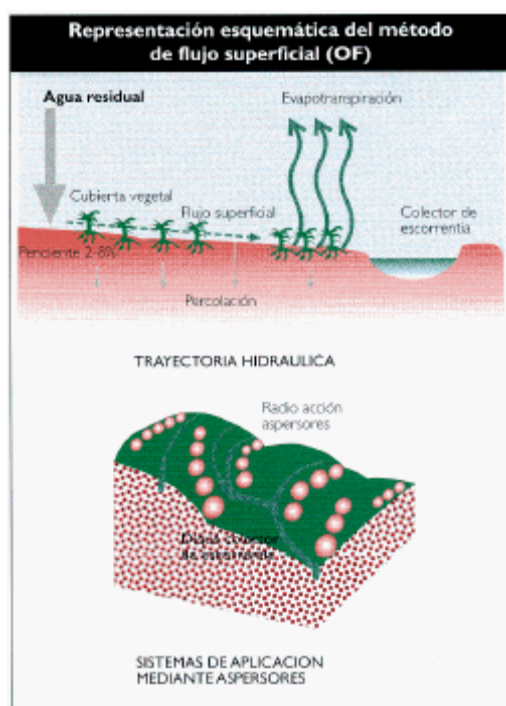


³ Todos los esquemas pertenecen al documento "Nuevas tecnologías para el saneamiento, depuración y reutilización de las aguas residuales en la provincia de Alicante" IGME 1995

- b) **Sistemas de infiltración rápida**, consisten en la aplicación controlada de agua residual sobre balsas superficiales construidas en suelos de permeabilidad media a alta. El agua residual requiere, al menos, tratamiento primario previo a la aplicación. El agua se trata a medida que percola en el suelo, de modo que no inciden las plantas en el rendimiento. Se obtienen valores en el efluente inferiores a 1 mg PT/l.



- c) **Flujo superficial**, es adecuado para zonas con suelos relativamente impermeables, consiste en forzar la escorrentía del agua residual sobre un suelo previamente acondicionado (en pendiente y vegetación), para ser recogida mediante diques artificiales. Con esta técnica se consiguen concentraciones inferiores a 6 mg PT/l en el efluente.



2. VENTAJAS

- Menor consumo energético, menores necesidades de personal y menor producción de fangos que un sistema convencional
- No requiere un alto consumo energético ni un alto mantenimiento, normalmente con un corte o siega una vez al año es suficiente

3. DESVENTAJAS

- Se debe disponer de suficiente superficie
- El vertido a tratar no debe contener contaminantes especiales, tales como productos fitotóxicos
- Posible afección a las aguas subterráneas

4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA SU APLICACIÓN

- Volumen y características del vertido a tratar
- Tipo, uso y permeabilidad del suelo
- Profundidad y calidad del agua subterránea
- Condiciones climatológicas

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- Disponibilidad de superficie para su ubicación
- Se trata de técnicas relativamente económicas (gastos de mantenimiento muy bajos)
- La naturaleza del vertido debe ser totalmente biodegradable
- La distancia al nivel freático deber ser apropiada para que no se vean afectadas captaciones de agua para abastecimiento

6. APLICADO EN:

- Los filtros verdes se han empleado en diversas poblaciones españolas
- La infiltración rápida se ha empleado en las dehesas de Guadix (Granada) y en Mazagón (Murcia)
- Sistemas de infiltración-percolación se han empleado en la EDAR de Torrevieja (Alicante), Piera (Barcelona), Els Hostalets de Pierola (Barcelona), etc.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- “La depuración de aguas residuales urbanas de pequeñas poblaciones mediante infiltración directa en el terreno” Fundamentos y casos prácticos. IGME 2003
- “Nuevas tecnologías para el saneamiento, depuración y reutilización de las aguas residuales en la provincia de Alicante”. IGME 1995

8. PÁGINAS WEB

<http://aguas.igme.es/igme/homec.htm>

http://aguas.igme.es/igme/publica/depuracion_aresidual/indice.htm

<http://www.searsa.es/html/tratamientosterciarios.htm>

FUENTE PUNTUAL

SISTEMAS DE TRATAMIENTO MEDIANTE LAGUNAJE

1. FUNCIONAMIENTO

La depuración por lagunaje de aguas residuales consiste en el almacenamiento de éstas durante un tiempo variable en función de la carga aplicada y de las condiciones climáticas, de forma que la materia orgánica resulte degradada mediante la actividad de los microorganismos presentes en el medio acuático.

El proceso de depuración tiene lugar gracias a reacciones biológicas, químicas y físicas, que ocurren en las lagunas y que tienden a estabilizar el agua residual. Los fenómenos que se producen tienen relación con la sedimentación, oxidación, fotosíntesis, digestión, aireación y evaporación, en función de los tipos de microorganismos existentes, que dependen, a su vez, de la presencia de oxígeno disuelto. Las lagunas son también conocidas como estanques de estabilización. Dependiendo de su profundidad pueden distinguirse tres tipos: lagunas anaerobias (más de 2,5 m), facultativas (entre 1,2 y 2,5 m) y aerobias o de maduración (entre 0,3 y 0,6). Estos sistemas pueden ser emplearse de manera independiente, pero también pueden colocarse en serie o en paralelo, recibiendo el nombre de lagunaje múltiple.

El lagunaje se puede aplicar a núcleos de población superiores a los 200 habitantes y menores de 2.000, siempre que se disponga de una superficie de terreno de al menos 6,5 m²/hab.

2. VENTAJAS

- Altos rendimientos en la disminución DBO₅, sólidos en suspensión, nutrientes y patógenos.
- Permite regular y almacenar agua que por sus características es sanitaria y agrícolamente apta para el riego.
- La retirada de fangos se realiza cada 5-10 años, dependiendo del agua residual.
- Los ajustes necesarios para un buen funcionamiento son sencillos.
- Almacenan importantes reservas de agua.
- Su construcción y mantenimiento es de bajo coste.

3. DESVENTAJAS

- Se necesitan superficies de aplicación relativamente extensas.
- Se producen elevadas pérdidas de agua por evaporación.
- A veces las aguas depuradas presentan una elevada concentración de algas.
- Calidad del vertido variable en función de la estación del año

4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA SU APLICACIÓN

- Características del efluente
- Topografía, características y usos del suelo
- Datos climatológicos

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- Se trata de técnicas relativamente económicas (gastos de mantenimiento muy bajos)
- La naturaleza del vertido debe ser, preferentemente, biodegradable
- Disponibilidad de terreno
- Los suelos no son arenosos

6. APLICADO EN:

- Diversos municipios españoles, entre otros Sierra de Fuentes y Casar de Cáceres (Cáceres)

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- “La depuración de aguas residuales urbanas de pequeñas poblaciones mediante infiltración directa en el terreno” Fundamentos y casos prácticos. IGME 2003
- “Guía de Procesos extensivos de depuración de las aguas residuales. Adaptadas a las pequeñas y medias colectividades 500-5.000 he)”. Oficina Internacional del Agua 2001
- Manual de fitodepuración, filtros de macrofitas en flotación. Proyecto LIFE

8. PÁGINAS WEB

<http://aguas.igme.es/igme/homec.htm>

<http://www.oieau.fr/eaudoc/pdf/Guide%20Espagnol.pdf>

http://ab.dip-caceres.org/alcantara/alcantara_online/55/55_005.htm

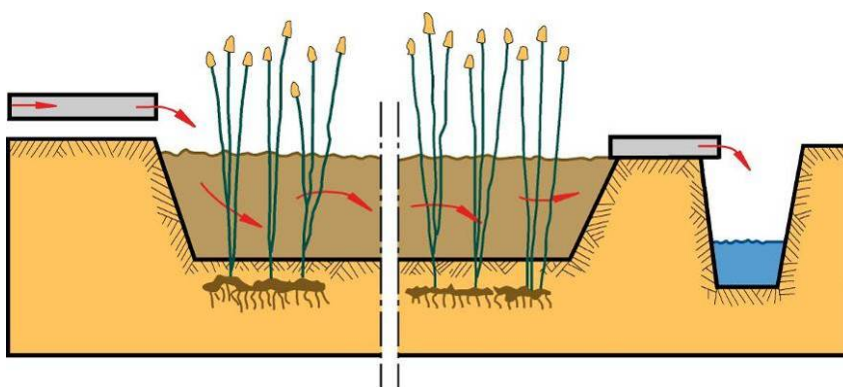
FUENTE PUNTUAL

SISTEMAS DE TRATAMIENTO MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES

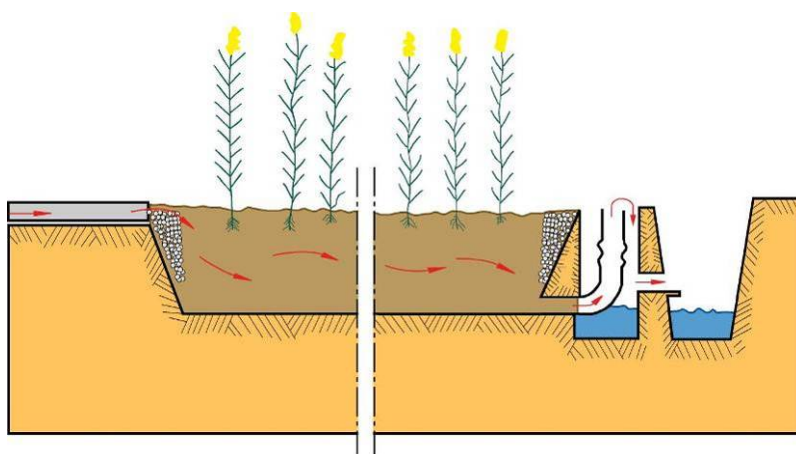
1. FUNCIONAMIENTO

Los humedales son zonas encharcadas, en las que existe una vegetación acuática (macrofitas) perfectamente adaptadas a tener todos, o parte, de sus órganos sumergidos en el medio acuoso. Pueden ser naturales o artificiales y la inundación puede ser temporal o permanente. En estos humedales se da una actuación simultánea y complementaria de las plantas superiores y los microorganismos que favorece la degradación de la materia orgánica. Por este motivo se utilizan los humedales naturales o artificiales para la depuración de aguas residuales.

Los humedales artificiales procuran idéntica capacidad de tratamiento que los naturales, con la ventaja añadida de que al formar parte del sistema proyectado, no están sujetos a las limitaciones de vertidos a ecosistemas naturales. Suelen tener un fondo o base impermeable sobre la que se deposita un lecho de gravas, suelo u otro medio para el desarrollo de las plantas, que constituyen el principal agente depurador. Existen dos tipos de humedales artificiales desarrollados para el tratamiento del agua residual, dependiendo de la situación del nivel de agua: el denominado de superficie libre de agua (FLS), en el que el agua está en contacto con la atmósfera y constituye la fuente principal del oxígeno para aireación; y el denominado de flujo subsuperficial (FS), donde la superficie del agua se mantiene a nivel de la superficie del lecho permeable o por debajo de la misma.



Esquema básico de humedal artificial de superficie libre de agua



Esquema básico de humedal artificial de flujo subsuperficial

2. VENTAJAS

- Menor consumo energético, menores necesidades de personal y menor producción de fangos que un sistema convencional
- No requiere un alto consumo energético ni un alto mantenimiento, normalmente con un corte o siega una vez al año es suficiente
- Pueden obtenerse buenos rendimientos en la eliminación del fósforo
- Los humedales artificiales proporcionan un nuevo hábitat para la avifauna, pudiéndose convertir así en una zona recreativa.

3. DESVENTAJAS

- Requieren de una gran superficie, en comparación con sistemas algunos convencionales de depuración
- En los periodos fríos se puede reducir el rendimiento de la instalación, principalmente en los humedales de flujo superficial
- Necesidad de dos o tres estaciones de crecimiento de las plantas para llegar al máximo rendimiento.
- Si se realiza una mala gestión del humedal, pueden producirse malos olores y aparecer mosquitos

4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA SU APLICACIÓN

- Características del efluente
- Topografía, características y usos del suelo
- Datos climatológicos

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- Disponibilidad de superficie para la ubicación del humedal
- Pendiente del terreno menor del 6%
- Se trata de técnicas relativamente económicas (gastos de mantenimiento muy bajos)
- La naturaleza del vertido debe ser, preferentemente, biodegradable

6. APLICADO EN:

- Ampliamente empleado a nivel mundial.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- “Aguas residuales: Tratamiento por humedales artificiales” Fundamentos científicos. Tecnologías. Diseño. Mariano Seoáñez Calvo
- “La depuración de aguas residuales urbanas de pequeñas poblaciones mediante infiltración directa en el terreno” Fundamentos y casos prácticos. IGME 2003
- Humedales de flujo subsuperficial (EPA 832-F-00-023) y Humedales de flujo libre superficial (EPA 832-F-00-024)

8. PÁGINAS WEB

<http://www.oieau.fr/eaudoc/pdf/Guide%20Espagnol.pdf>

http://www.epa.gov/owm/septic/pubs/cs_00_024.pdf

http://www.epa.gov/owm/septic/pubs/cs_00_023.pdf

<http://aguas.igme.es/igme/homec.htm>

FUENTE PUNTUAL

DEPURACIÓN MEDIANTE FILTRO DE MACROFITAS FLOTANTES (FMF)

1. FUNCIONAMIENTO

Dentro de la depuración mediante humedales se encuentra el sistema de macrofitas flotantes (FMF), desarrollado por el grupo de Agroenergética del Departamento de Producción Vegetal, de la ETS de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid.

Su funcionamiento es similar al de los humedales de flujo horizontal, diferenciándose principalmente de estos en el empleo de vegetación emergente (carrizos, juncos, eneas o esparganios) como vegetación flotante.

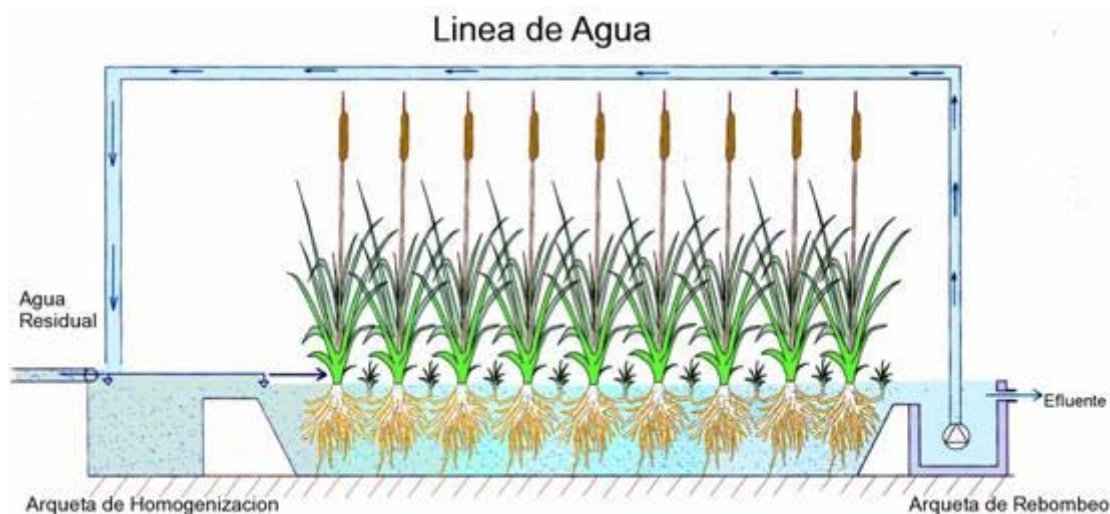
Al flotar, las plantas forman un tapiz de denso de raíces y rizomas que ocupa todo el volumen del colector (laguna o canal), forzando a que todo el agua circule por la esponja de raíces que soporta microorganismos que degradan la materia orgánica. El sistema de Filtros de Macrofitas en Flotación elimina los elementos eutrofizantes, particularmente el fósforo y el nitrógeno, así como metales pesados y fenoles



Canal de macrofitas flotantes. Pedanía de Avilés (Lorca)

Fotografía obtenida de la web del Proyecto Life

"Nuevos Filtros Verdes con Macrófitas en Flotación para la región mediterránea"



Esquema básico del sistema FMF. Fotografía obtenida de la web de MACROFITAS S.L.

2. VENTAJAS

- Pueden reconvertirse depuradoras con un tratamiento convencional

Reconversión de la EDAR del Goloso (Madrid) .Fotografía obtenida de la web de MACROFITAS S.L.



- El sistema puede emplearse como tratamiento principal, secundario o como terciario
- No requiere un alto consumo energético ni un alto mantenimiento, normalmente con un corte o siega una vez al año es suficiente
- Facilidad de cosecha de la biomasa, tanto aérea como sumergida. No implica la destrucción del sistema como en el caso de los sistemas con plantas enraizadas.
- La biomasa producida puede emplearse para fines agropecuarios

3. DESVENTAJAS

- Se debe disponer de suficiente superficie (alrededor de 5 m² por habitante equivalente)
- El vertido a tratar no debe contener contaminantes especiales, tales como productos fitotóxicos
- En algunos casos puede ser necesario el tratar las plantas contra alguna plaga (pulgón, ácaros o moscas)

4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA SU APLICACIÓN

- Volumen y características del vertido a tratar
- Topografía y naturaleza del terreno
- Conocimiento de las características del cauce receptor del vertido

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- Disponibilidad de superficie para su ubicación
- Pretensión de mejora de rendimientos en depuradoras existentes
- El vertido es de origen urbano y no presenta sustancias tóxicas para las macrofitas

6. APLICADO EN:

- El Programa LIFE de la Comisión Europea cofinancia un proyecto demostrativo en el municipio de Lorca (Murcia). Su objetivo es el diseño de 8 prototipos de Filtros de Macrofitas en Flotación para tres núcleos de población de entre 150 y 500 habitantes (Avilés, Coy y Doña Inés), explotaciones porcinas de entre 50 y 500 animales, viviendas unifamiliares y un Centro de Educación Ambiental.
- Varios aeropuertos españoles (Barajas, Reus, etc)
- Varios municipios de Ávila y Madrid

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Manual de fitodepuración, filtros de macrofitas en flotación. Proyecto LIFE
- “El Filtro de Macrofitas en Flotación para la depuración de las aguas residuales y la regeneración de lagos y lagunas”. Vicente Juan Torres Junco. Marzo 2004

8. PÁGINAS WEB

<http://www.macrofitas.com>

<http://www.macrophytes.info/>

TÉCNICAS DE CONTROL EN EMBALSE

CIRCULACIÓN ARTIFICIAL

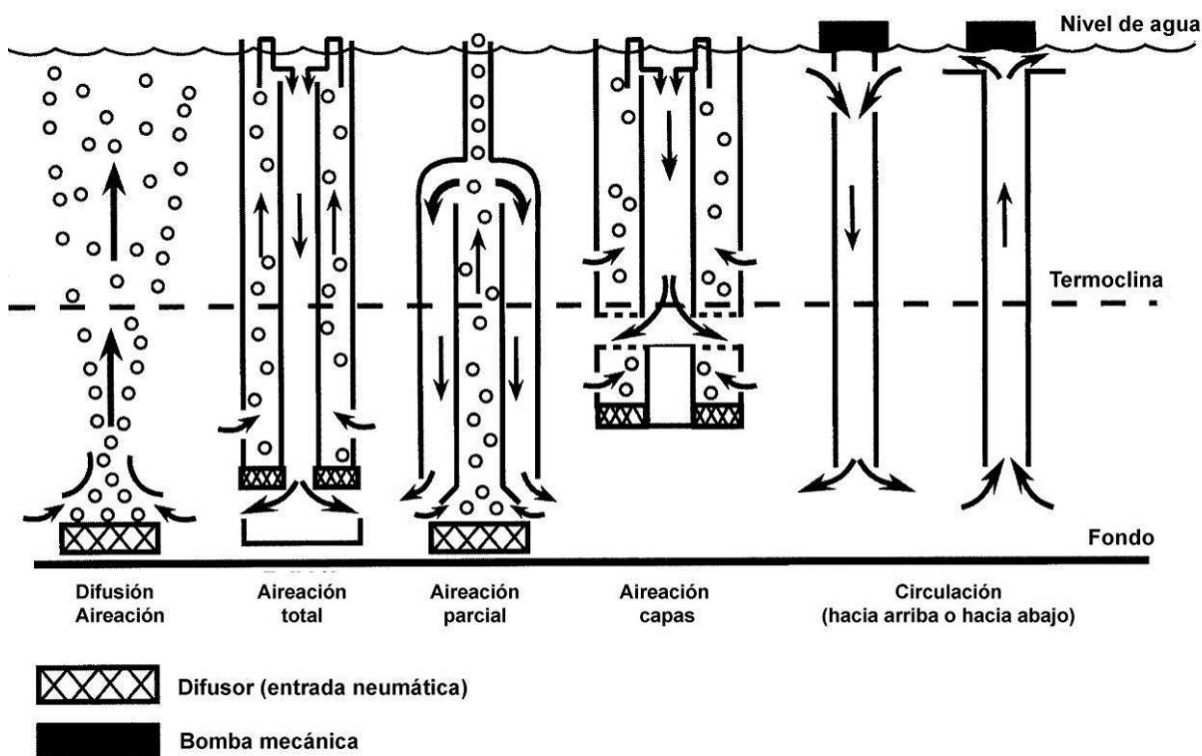
1. FUNCIONAMIENTO

Son técnicas que generan la circulación de la columna de agua. Esta circulación puede realizarse de manera mecánica o mediante el empleo de aire. El aire se introduce mediante un compresor y se hace pasar a través de una cadena de difusores, que forman una pluma de burbujas que, al ascender, crea una corriente que se mueve lateralmente en la superficie.

El objetivo principal que persigue esta técnica es la introducción de más oxígeno para limitar el reciclaje interno de fósforo y, por consiguiente, controlar las poblaciones algales.

Esquema de distintos métodos de aireación y circulación

Esquema obtenido de " The Practical Guide to Lake Management in Massachusetts"



2. VENTAJAS

- Desestratifica el sistema o previene su estratificación
- Incrementa los niveles de oxígeno.
- Aumenta el hábitat para los peces
- Puede disminuir las concentraciones de algunos tipos de algas

3. DESVENTAJAS

- Puede disminuir la transparencia del agua
- Según el sentido de la circulación, puede disminuir la concentración de oxígeno en el epilimnion o calentar el hipolimnion
- Pueden distribuirse en toda la columna de agua sustancias no deseables
- En algunos casos, puede favorecer el crecimiento de algunas algas

4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA SU APLICACIÓN

- Se requiere un análisis detallado del balance de nutrientes para determinar si existe un aporte de fuentes internas de fósforo
- La información más importante para el diseño de un sistema de aireación es conocer la demanda de oxígeno
- Se debe conocer la morfometría del embalse y tener datos precisos de la estratificación para facilitar la elección del aireador, así como su correcta ubicación
- Son necesarios conocer todos los datos de aireador (efectividad, posición, detalles de compresor; etc.)
- Tras su aplicación es necesario el control y seguimiento del oxígeno, los niveles de nutrientes y composición y abundancia del fitoplancton

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- Una parte sustancial de la carga de fósforo se asocia a los sedimentos anóxicos del sistema

- El balance de nutrientes ha demostrado el impacto de la recarga interna en el embalse
- La carga externa de fósforo es pequeña, o ya se ha controlado
- La demanda hipolimnética de oxígeno es alta
- El embalse no debe presentar una morfología irregular
- Existe, en la línea de costa, espacio suficiente para la instalación del compresor o bomba. Se deberá tener en cuenta que el ruido no afecte a poblaciones próximas

6. APLICADO EN:

- Embalse del Zújar (C.H.Guadiana) 1995
- Ampliamente aplicado en diversos lagos y embalses estadounidenses
- Bahía Cardiff. Reino Unido

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Olem, H. and G. Flock, eds. 1990. Lake and Reservoir Restoration Guidance Manual. 2nd edition. EPA 440/4-90-006.
- The Practical Guide to Lake Management Massachusetts 2004
- Guidelines of lakes management Vol9. ILEC 1999
- Control intensivo de la calidad del agua en los embalses de abastecimiento de la C.H.Guadiana. Verano de 2005
- Protección del lago Parque General Belgrano. Aplicaciones de Ingeniería Química del Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química - INTEC (CONICET- UNL). Argentina

8. PÁGINAS WEB

www.mass.gov/dcr/waterSupply/lakepond/downloads/practical_guide.pdf

<http://www.airation.com/>

<http://www.wikipatents.com/6787045.html>

http://www.airmasteraerator.com/index_es.html

<http://ecosystemconsulting.com/products.htm>

<http://www.ilec.or.jp/>

<http://www.qcaambiental.santafe-conicet.gov.ar/transfereencia/Lago/contenidoinf.htm>

<http://www.morayfirth-partnership.org/assets/files/BeachGuardians/cardiff.pdf>

AIREACIÓN/OXIGENACIÓN HIPOLIMNÉTICA

1. FUNCIONAMIENTO

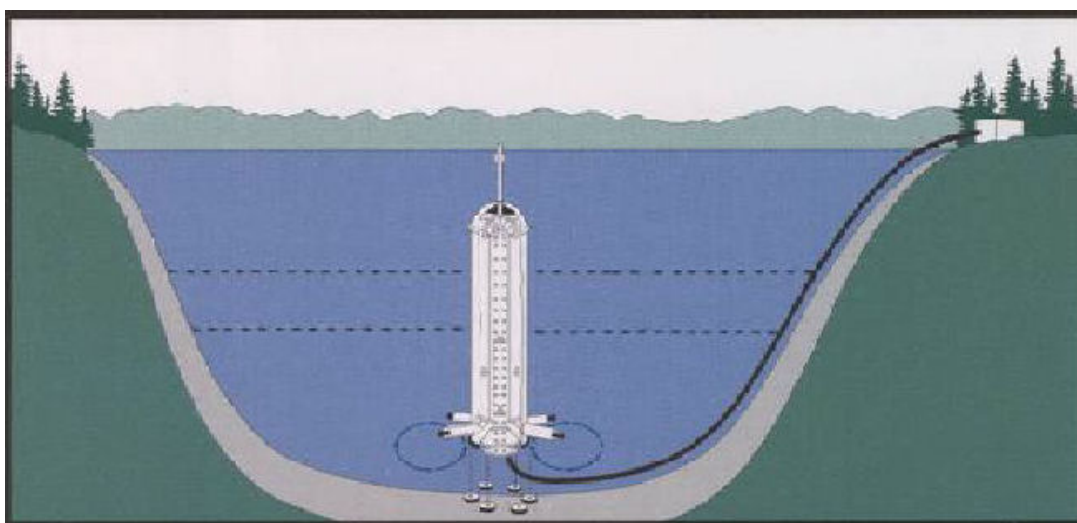
Son técnicas que introducen aire u oxígeno en el hipolimnion sin romper la estratificación térmica. Se aplica en embalses en los que la recarga interna de fósforo por la anoxia hipolimnética constituye un problema, también se puede confinar a determinadas zonas del embalse en las que se produce ese proceso con mayor intensidad.

Al igual que en los sistemas de circulación se suele emplear un compresor de aire, pero en este caso la pluma ascendente se controla para evitar la mezcla vertical de las aguas, procurando mantener la estratificación térmica. El mantenimiento de esta estratificación hace que se reduzca el transporte de nutrientes del hipolimnion al epilimnion, donde se puede estimular el crecimiento algal.

Estos sistemas pueden usar también oxígeno líquido que requieren cinco veces menos de volumen que los que utilizan gas.

Esquema de aireación hipolimnética

Esquema obtenido de la web de General Environmental Systems



2. VENTAJAS

- Reduce la liberación del fósforo del sedimento
- Reduce las concentraciones de hierro, manganeso, amonio y sulfhídrico
- Aumenta niveles de oxígeno del hipolimnion

3. DESVENTAJAS

- Accidentalmente se puede romper la estratificación térmica, afectando a las comunidades piscícolas
- Puede provocar gases tóxicos para los peces
- La biota puede hacerse dependiente de la aireación continua

4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA SU APLICACIÓN

- Se requiere un análisis detallado del balance de nutrientes para determinar si existe un aporte de fuentes internas de fósforo
- La información más importante para el diseño de un sistema de aireación es conocer la demanda de oxígeno
- Se debe conocer la morfometría del embalse y tener datos precisos de la estratificación para facilitar la elección del aireador así como su correcta ubicación
- Son necesarios conocer todos los datos de aireador (efectividad, posición, detalles de compresor; etc)

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- Una parte sustancial de la carga de fósforo se asocia a los sedimentos anóxicos del sistema
- Los estudios han demostrado el impacto de la recarga interna en embalse
- La carga externa de fósforo es pequeña o ya se ha controlado
- La demanda hipolimnética de oxígeno es alta
- Además del control del fósforo, se desea la reducción de otros compuestos, como el sulfuro de hidrógeno, amoníaco, hierro y manganeso

- El embalse no debe presentar una morfología irregular

6. APLICADO EN:

- Ampliamente aplicado en diversos lagos y embalses estadounidenses

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Olem, H. and G. Flock, eds. 1990. Lake and Reservoir Restoration Guidance Manual. 2nd edition. EPA 440/4-90-006.
- The Practical Guide to Lake Management Massachusetts 2004
- Guidelines of lakes management Vol9. ILEC 1999
- Protección del lago Parque General Belgrano. Aplicaciones de Ingeniería Química del Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química - INTEC (CONICET- UNL). Argentina

8. PÁGINAS WEB

www.mass.gov/dcr/waterSupply/lakepond/downloads/practical_guide.pdf

<http://www.airation.com/>

http://www.airmasteraerator.com/index_es.html

<http://ecosystemconsulting.com/products.htm>

<http://www.ilec.or.jp/>

DILUCIÓN Y PURGA

1. FUNCIONAMIENTO

La dilución y el purgado consisten básicamente en agregar agua al embalse, o lago, en cantidades suficientes como para diluir las concentraciones de nutrientes y/o reducir al mínimo la acumulación algal. La principal diferencia entre la dilución y la purga reside en que, con ésta última, sólo se consigue la reducción algal.

La dilución se basa en agregar agua con un bajo contenido en nutrientes y en cantidad suficiente para conseguir una reducción de la concentración de ellos en el lago/embalse. Por su parte, en el caso de la purga, la concentración de nutrientes del agua a añadir puede ser similar a la del lago/embalse, aunque no debe presentar ningún otro condicionante físico, químico o bacteriológico.

Tanto la dilución como la purga eliminan las acumulaciones algales, pero puesto que la tasa reproductiva de las algas es alta (las floraciones algales se forman en periodos de días), se deberán emplear volúmenes altos de agua. Se estima que para una eficaz retirada de la biomasa algal el volumen de agua agregada debe suponer entre el 10-15% del volumen del lago/embalse por día.

Para que el empleo de estas técnicas sea factible debe considerarse la capacidad de desagües de los sistemas y los posibles impactos que se pueden producir aguas abajo de ellos. Normalmente, el empleo de éstas técnicas se encuentra limitado a la disponibilidad del agua y a su calidad. Suelen ser efectivas en lagos o embalses pequeños, aunque si se dispone de agua suficiente, pueden resultar apropiadas en masas de agua de mayor tamaño.

2. VENTAJAS

- Reduce la biomasa algal sin la necesidad de reducir la carga de nutrientes
- Al realizarse sueltas de agua se minimiza la retención de nutrientes

3. DESVENTAJAS

- El agua empleada podría emplearse para otros usos
- Las sueltas pueden retirar zooplancton deseable del embalse
- El empleo de aguas de baja calidad aumenta las cargas de nutrientes
- Se pueden generar impactos aguas abajo

4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA SU APLICACIÓN

- Balances hidráulicos y de nutrientes, para evaluar las ventajas potenciales de su aplicación
- Valoración de los posibles efectos en el lago/embalse
- Evaluación de los riesgos aguas abajo
- Conocimiento detallado de la calidad del agua agregada e información sobre su recorrido
- Control y seguimiento de las condiciones, tanto cualitativas como cuantitativas, en el embalse

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- No es factible la reducción de las entradas de nutrientes al embalse, por razones técnicas o legales
- Las fluctuaciones de nivel que pueden producirse no deberán ser muy distintas a las condiciones pre-tratamiento
- Se dispone de una fuente de agua adecuada
- No se causan problemas aguas abajo del lago o embalse

6. APLICADO EN:

- Aplicado en los lagos Moses y Green.-Washington-

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- The dilution/flushing technique in lake restoration. EPA-600/3-81-016.
- The Practical Guide to Lake Management Massachusetts 2004
- Protección del lago Parque General Belgrano. Aplicaciones de Ingeniería Química del Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química - INTEC (CONICET- UNL). Argentina

8. PÁGINAS WEB

www.mass.gov/dcr/waterSupply/lakepond/downloads/practical_guide.pdf

<http://nepis.epa.gov/EPA/html/Pubs/pubtitleOAR.htm>

<http://www.qcaambiental.santafe-conicet.gov.ar/transferecia/Lago/contenidoinf.htm>

MANEJO HIDRÁULICO. EXTRACCIÓN SELECTIVA DE AGUA

1. FUNCIONAMIENTO

Este método consiste, principalmente, en localizar la profundidad donde la extracción de agua puede suponer un beneficio en la calidad del agua del embalse. Para ello es importante conocer el funcionamiento limnológico del embalse y que todos los elementos de regulación del embalse se encuentren en perfecto estado de funcionamiento. Cabe la posibilidad de emplear bombas hidráulicas de gran potencia, pero lo más efectivo es la construcción de **torres de tomas selectivas**, ya que este tipo de tomas favorece ampliamente la aplicación de éste método.



*Torre de toma en el
embalse de La Sotonera*

En definitiva, se trata de conseguir un aumento en la tasa de renovación del agua, según el estrato que interese extraer en cada momento. Por ejemplo, en primavera se pueden extraer aguas epilimnéticas, con el objeto de evitar grandes desarrollos algales, o en verano se pueden extraer aguas hipolimnéticas para favorecer la eliminación de fósforo. No obstante, la

detracción del agua debe basarse en el conocimiento del funcionamiento del sistema, no existiendo un patrón fijo de gestión hidráulica.

2. VENTAJAS

- Se puede eliminar agua de mala calidad antes de que se produzca la mezcla en la columna de agua
- El efluente se puede manejar de la forma más beneficiosa para los usos a los que el agua está destinada

3. DESVENTAJAS

- Se puede causar un descenso no deseado del nivel de la lámina de agua
- Puede desestabilizarse la estratificación térmica.
- Puede que se aporten aguas de mala calidad al tramo aguas abajo del embalse

4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA SU APLICACIÓN

- Conocimiento detallado del balance hidráulico y de nutrientes para valorar su aplicabilidad. Además el balance hidráulico debe emplearse para evitar descensos en el nivel de agua no deseados
- Conocimiento detallado de la morfometría y del régimen térmico del embalse, para poder determinar la profundidad de extracción
- Valoración de los posibles impactos, tanto en el embalse como aguas abajo
- Conocimiento de la ubicación de las salidas del embalse
- Programa de supervisión para determinar calidad del agua descargada, la calidad del agua en el embalse, y la estabilidad del nivel y de la estratificación del agua del embalse

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- Los estudios han demostrado el impacto de la carga hipolimnética en el embalse
- Se asocia una carga de fósforo o nitrógeno a la capa objeto de extracción
- No se causaran problemas significativos aguas abajo (ni en calidad ni en cantidad)
- La reducción de entradas de nutrientes al sistema no es viable, por razones técnicas o legales

6. APLICADO EN:

- Diversos embalses españoles (Minilla, Gergal, Sau, entre otros).

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Olem, H. and G. Flock, eds. 1990. Lake and Reservoir Restoration Guidance Manual. 2nd edition. EPA 440/4-90-006.
- The Practical Guide to Lake Management Massachusetts 2004
- Guidelines of lakes management Vol9. ILEC 1999
- El control de la eutrofización en lagos y embalses. Sven-Olof Ryding, Walter Rasst. UNESCO 1992
- Curso sobre "Limnología aplicada": Embalses, lagunas y ríos. CEDEX 2007
- "Sequía y medio natural" Ministerio de Medioambiente 2006

8. PÁGINAS WEB

www.mass.gov/dcr/waterSupply/lakepond/downloads/practical_guide.pdf

<http://nepis.epa.gov/EPA/html/Pubs/pubtitleOAR.htm>

www.mma.es/secciones/acm/aguas_continent_zonas_asoc/ons/noticias_notaspre/pdf/ca_p_8.pdf

VACIADO

1. FUNCIONAMIENTO

El vaciado de un embalse supone desalojar total o parcialmente el agua embalsada. Normalmente, los motivos que provocan el vaciado de un embalse suelen ser el mantenimiento de las infraestructuras. No obstante, el vaciado del embalse facilita la oxidación de los sedimentos, reduciendo la disponibilidad de nutrientes. Este tipo de acciones acarrearán efectos ambientales negativos, incluso aguas abajo, por lo que se debe considerar esta solución con precaución y adoptarla solamente en casos muy justificados.

En época de sequía, donde los niveles embalsados bajan drásticamente, puede ser una acción a considerar, ya que los efectos beneficiosos también pueden ser amplios (secado de los sedimentos, eliminación de peces exóticos, etc.). Además de ser un momento propicio para realizar el mantenimiento de infraestructuras y equipos, dragado de sedimentos, etc.

En España se han realizado varias experiencias de este tipo, entre las que destaca el vaciado y dragado del embalse de Barasona.

Cabe destacar que existen distintos procedimientos de actuación para minimizar los efectos ambientales derivados del vaciado de un embalse, entre ellos se encuentra el procedimiento L.I.V.E. (Limitación del Impacto de Vaciado de Embalses) (Cardinal 1989), basado en numerosas experiencias del seguimiento ambiental de vaciado de embalses franceses.

2. VENTAJAS

- Reduce la liberación del fósforo del sedimento, tras el primer llenado, por oxidación y secado
- Genera la oportunidad de efectuar tareas de mantenimiento de infraestructuras y equipos, del dragado de sedimentos y/o de eliminación de especies exóticas

3. DESVENTAJAS

- Efectos ambientales negativos aguas abajo
- Deterioro de la calidad del agua
- Posibles mortandades piscícolas, si no se actúa con antelación al vaciado

4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA SU APLICACIÓN

- Conocimiento detallado de la hidrología y morfometría del embalse
- Conocimiento del funcionamiento limnológico del embalse
- Estudio de las poblaciones piscícolas
- Estudio detallado de la composición de los sedimentos
- Conocimiento del río aguas abajo

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- El vaciado del embalse puede realizarse de una manera sencilla
- Las áreas que quedan expuestas contienen sedimentos, y se encuentran en pendiente para favorecer su desecación
- Tanto el vaciado como la recarga, en condiciones normales de flujo, pueden realizarse en pocas semanas
- El vaciado puede realizarse en un tiempo concreto, para así evitar los periodos cruciales de desove
- Las poblaciones de moluscos, y de otros organismos de movilidad reducida, no son significativas
- El uso principal de embalse no es el abastecimiento
- Los recursos aguas abajo del embalse no se verán muy afectados por los efectos del vaciado o de la recarga

6. APLICADO EN:

- Diversos embalses españoles, aunque principalmente por causas de mantenimiento. A citar, embalse de Santa Ana, Cavallers, Llesp, Graus, Sant Joan de Torán, Tavesca, Allos, Doiras, Zújar, El Villar, Sau.... destacando entre todos ellos el vaciado y dragado del embalse de Barasona

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Olem, H. and G. Flock, eds. 1990. Lake and Reservoir Restoration Guidance Manual. 2nd edition. EPA 440/4-90-006.
- The Practical Guide to Lake Management Massachusetts 2004
- Guidelines of lakes management Vol9. ILEC 1999
- El control de la eutrofización en lagos y embalses. Sven-Olof Ryding, Walter Rasst. UNESCO 1992
- Limnología aplicada: Embalses, lagunas y ríos. CEDEX 2007
- “Sequía y medio natural” Ministerio de Medioambiente 2006

8. PÁGINAS WEB

www.mass.gov/dcr/waterSupply/lakepond/downloads/practical_guide.pdf

<http://nepis.epa.gov/EPA/html/Pubs/pubtitleOAR.htm>

www.mma.es/secciones/acm/aguas_continent_zonas_asoc/ons/noticias_notaspre/pdf/cap_8.pdf

DRAGADO “SECO”

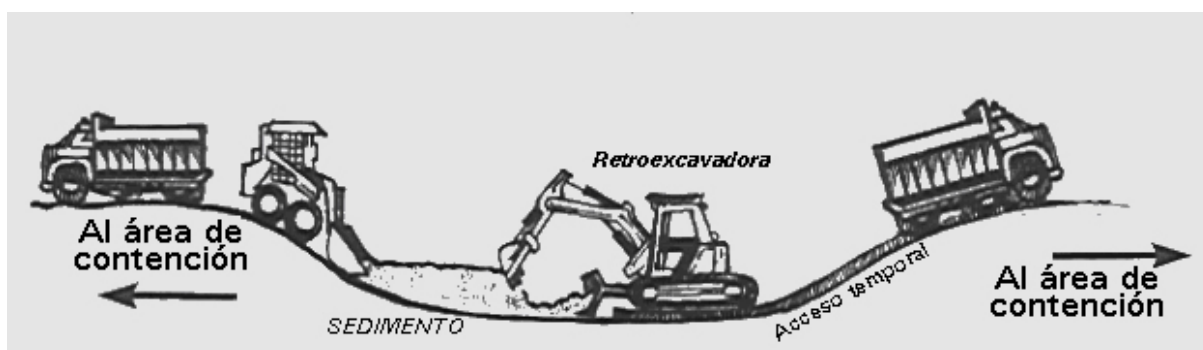
1. FUNCIONAMIENTO

El dragado consiste en la extracción, transporte y descarga de cualquier material de un terreno, situado por debajo de una lámina de agua. Normalmente, en lagos/embalse, se utiliza para conseguir una mayor profundidad, pero puede emplearse, entre otros objetivos, para conseguir una reducción en la concentración de nutrientes, retirar sustancias tóxicas o eliminar macrofitas enraizadas. Se pueden distinguir tres grandes tipos de dragados: seco, húmedo o hidráulico/neumático.

El dragado “seco” consiste, principalmente, en el vaciado parcial o total del embalse, para posteriormente, mediante equipos convencionales de extracción, retirar la mayor parte del sedimento. Normalmente se requieren áreas de contención del sedimento, para su posterior transporte a vertedero o para, en los casos que sea factible, se reutilización.

No obstante, la cantidad de efectos ambientales negativos que puede tener este tipo de acciones, especialmente en el río aguas abajo, obliga a considerar con precaución esta solución y a adoptarla solamente en casos muy justificados.

*Esquema básico de dragado “seco”
Esquema obtenido de “ The Practical Guide to Lake Management in Massachusetts”*



2. VENTAJAS

- Se incrementa la profundidad del lago/embalse
- Reducción de la disponibilidad de nutrientes
- Extracción de sustancias tóxicas u otros contaminantes

3. DESVENTAJAS

- Efectos ambientales negativos aguas abajo
- Deterioro de la calidad del agua
- Posibles mortandades piscícolas, si no se actúa con antelación al vaciado
- Eliminación de la biota existente, a no ser que se extraiga previamente
- Aumento de la turbidez, afección aguas abajo del embalse
- Se debe disponer de espacio suficiente para la deposición de los sedimentos
- La ubicación de los sedimentos se encuentra supeditada a su potencial contaminante

4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA SU APLICACIÓN

El vaciado y dragado de un embalse requiere una profusión de estudios previos de la ecología del embalse y del tramo de afección en el río aguas abajo de la presa (limnología, vegetación y fauna). Pero como puntos generales, se pueden citar los siguientes:

- Calidad del sedimento, que determinará las opciones y coste del depósito
- Cantidad de sedimento, que determina el tamaño del área de deposición y la posible afectación a la costa
- Capacidad para el control del nivel, que afectará en la elección del método de dragado a emplear
- Conocimiento biológico del lago/embalse, que determinará el permiso y los objetivos del proyecto

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- Los estudios han demostrado que hay recarga interna de nutrientes en el embalse o que hay productos contaminantes que afectan a sus usos
- Se puede realizar el vaciado del embalse limitando al máximo los posibles efectos adversos
- Existen áreas adecuadas para la deposición del sedimento

6. APLICADO EN:

- Diversos lagos y embalses estadounidenses
- Embalse de Barasona

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Protección y restauración del Lago del Parque General Belgrano. Mg. Qca. Luís A Kieffer, Ing. Federico Emiliani, M.Sc. María O. García de Emiliani 2002-2005
- The Practical Guide to Lake Management Massachusetts 2004
- "Sequía y medio natural" Ministerio de Medioambiente 2006

8. PÁGINAS WEB

www.mass.gov/dcr/waterSupply/lakepond/downloads/practical_guide.pdf

<http://www.ilec.or.jp/>

www.mma.es/secciones/acm/aguas_continent_zonas_asoc/ons/noticias_notaspre/pdf/ca_p_8.pdf

DRAGADO “HUMEDO”

1. FUNCIONAMIENTO

El dragado consiste en la extracción, transporte y descarga de cualquier material de un terreno, situado por debajo de una lámina de agua. Normalmente, en lagos/embalse, se utiliza para conseguir una mayor profundidad, pero puede emplearse, entre otros objetivos, para conseguir una reducción en la concentración de nutrientes, retirar sustancias tóxicas o eliminar macrofitas enraizadas. Se pueden distinguir tres grandes tipos de dragados: seco, húmedo o hidráulico/neumático.

Se entiende por dragado húmedo aquel en el que no se efectúa el vaciado total del embalse, aunque sí puede requerir un descenso de la lámina de agua. Los equipos empleados pueden ser retroexcavadoras, dragalinas o dragas de rosario.

El sedimento que se extrae es muy líquido, normalmente presenta una proporción de sólidos entre el 10 y el 30%. Tras su extracción es necesario depositarlo en áreas adyacentes al lago/embalse para lograr su completa desecación.

Este tipo de dragado crea una alta turbidez en el agua, por lo que se debe prestar especial atención a los efectos de dragado aguas abajo. Normalmente esta técnica es la empleada en el dragado de puertos.

Detalle draga de rosario.



Esquema básico de dragado “húmedo”

Esquema obtenido de “ The Practical Guide to Lake Management in Massachusetts”



No obstante, la cantidad de efectos ambientales negativos que puede tener este tipo de acciones, especialmente en el río aguas abajo, obliga a considerar con precaución esta solución y a adoptarla solamente en casos muy justificados.

2. VENTAJAS

- Se incrementa la profundidad del lago/embalse
- Reducción de la disponibilidad de nutrientes
- Extracción de sustancias tóxicas u otros contaminantes
- Mejora potencial de la calidad de las aguas

3. DESVENTAJAS

- Si se realiza un alto descenso de la lámina de agua, todas las descritas en la ficha bajada de nivel del agua
- Pérdida de componentes biológicos por la alta turbidez y el alto disturbio provocado
- Aumento de la turbidez aguas abajo del embalse
- Se debe disponer de espacio suficiente para la deposición de los sedimentos
- La ubicación de los sedimentos se encuentra supeditada a su potencial contaminante
- Desestabiliza los usos del embalse durante el proceso de dragado

4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA SU APLICACIÓN

El vaciado y dragado de un embalse requiere una profusión de estudios previos de la ecología del embalse y del tramo de afección en el río aguas abajo de la presa (limnología, vegetación y fauna). Pero como puntos generales, se pueden citar los siguientes:

- Calidad del sedimento, que determinará las opciones y coste del depósito
- Cantidad de sedimento, que determina el tamaño del área de deposición y la posible afección a la costa

- Capacidad para el control del nivel, que afectará en la elección del método de dragado a emplear
- Conocimiento biológico del lago/embalse, que determinará el permiso y los objetivos del proyecto

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- Los estudios han demostrado que hay recarga interna de nutrientes en el embalse o que hay productos contaminantes que afectan a sus usos
- No se puede realizar el vaciado del embalse o se debe mantener el nivel de agua, por el mantenimiento de algún uso del embalse
- El dragado puede realizarse limitando al máximo la afección de la fauna acuática
- Existen áreas adecuadas, y con el volumen requerido, cerca del embalse, para la deposición del sedimento

6. APLICADO EN:

- Diversos lagos y embalses estadounidenses
- En diverso puertos españoles

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Olem, H. and G. Flock, eds. 1990. Lake and Reservoir Restoration Guidance Manual. 2nd edition. EPA 440/4-90-006.
- The Practical Guide to Lake Management Massachusetts 2004
- Guidelines of lakes management Vol9. ILEC 1999

8. PÁGINAS WEB

www.mass.gov/dcr/waterSupply/lakepond/downloads/practical_guide.pdf

<http://www.ilec.or.jp/>

<http://nepis.epa.gov/EPA/html/Pubs/pubtitleOAR.htm>

<http://www.dredge.com/espanol/espanol.htm>

<http://www.imsdredge.com/products/versidredge/spanish-dredges/main-sp.html>

<http://www.dredgesource.com/>

DRAGADO HIDRÁULICO

1. FUNCIONAMIENTO

El dragado consiste en la extracción, transporte y descarga de cualquier material de un terreno, situado por debajo de una lámina de agua. Normalmente, en lagos/embalse, se utiliza para conseguir una mayor profundidad, pero puede emplearse, entre otros objetivos, para conseguir una reducción en la concentración de nutrientes, retirar sustancias tóxicas o eliminar macrofitas enraizadas. Se pueden distinguir tres grandes tipos de dragados: seco, húmedo o hidráulico/neumático.

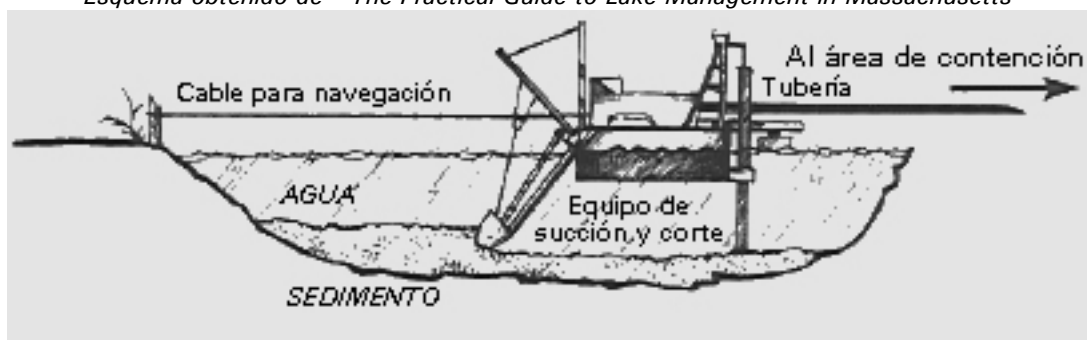
El dragado hidráulico se puede considerar como el dragado húmedo más avanzado, esta técnica implica el uso de equipos que disponen de herramientas de corte y succión de los sedimentos. Mediante la acción combinada de la agitación y la succión, se retiran los sedimentos en forma de "lechada", con un contenido de entre el 15-20% de sólidos. Esta lechada se bombea al área de depósito, donde mediante sedimentación y/o precipitación, se separan los sólidos del agua, pudiendo volver esta última a ingresar en el lago/embalse, aunque también puede derivarse a otras vías acuáticas. Posteriormente los sedimentos depositados deberán ser evacuados del área de contención.



Deposición de "lechada" en el área de sedimentación.

No obstante, la cantidad de efectos ambientales negativos que puede tener este tipo de acciones, especialmente en el río aguas abajo, obliga a considerar con precaución esta solución y a adoptarla solamente en casos muy justificados.

*Esquema básico de dragado hidráulico
Esquema obtenido de " The Practical Guide to Lake Management in Massachusetts"*



2. VENTAJAS

- Incremento de la profundidad del lago/embalse
- Reducción de la disponibilidad de nutrientes
- Extracción de sustancias tóxicas u otros contaminantes
- Mejora potencial de la calidad del agua
- Menor afección al sistema que un dragado convencional

3. DESVENTAJAS

- Requiere de un área de deposición para el sedimento, lo que supone una alteración temporal del terreno
- La ubicación de los sedimentos se encuentra supeditada a su potencial contaminante
- Pérdida de componentes biológicos por la alta turbidez y el alto disturbio provocado
- Aumento de la turbidez aguas abajo del embalse
- Menos efectiva que el dragado convencional

4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA SU APLICACIÓN

El vaciado y dragado de un embalse requiere una profusión de estudios previos de la ecología del embalse y del tramo de afección en el río aguas abajo de la presa (limnología, vegetación y fauna). Pero como puntos generales, se pueden citar los siguientes:

- Calidad del sedimento, que determinará las opciones y coste del depósito
- Cantidad de sedimento, que determina el tamaño del área de deposición y la posible afección a la costa
- Capacidad para el control del nivel, que afectará en la elección del método de dragado a emplear
- Conocimiento biológico del lago/embalse, que determinará el permiso y los objetivos del proyecto

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- Los estudios han demostrado que hay recarga interna de nutrientes en el embalse, o que hay productos contaminantes que afectan a sus usos
- No se puede realizar el vaciado del embalse o se debe mantener el nivel de agua, por el mantenimiento de algún uso del embalse
- El dragado puede realizarse limitando al máximo la afección de la fauna acuática
- Existen áreas adecuadas, y con el volumen requerido, cerca del embalse, para la deposición del sedimento
- El sedimento es principalmente cieno, para evitar al máximo las posibles obstrucciones que pueden provocar rocas, troncos cortados, etc.

6. APLICADO EN:

- Diversos lagos y embalses estadounidenses
- En diversos puertos españoles

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Olem, H. and G. Flock, eds. 1990. Lake and Reservoir Restoration Guidance Manual. 2nd edition. EPA 440/4-90-006.
- The Practical Guide to Lake Management Massachusetts 2004
- Guidelines of lakes management Vol9. ILEC 1999

8. PÁGINAS WEB

www.mass.gov/dcr/waterSupply/lakepond/downloads/practical_guide.pdf

<http://www.ilec.or.jp/>

<http://nepis.epa.gov/EPA/html/Pubs/pubtitleOAR.htm>

<http://www.dredge.com/espanol/espanol.htm>

<http://www.imsdredge.com/products/versidredge/spanish-dredges/main-sp.html>

<http://www.dredgesource.com/>

SELLADO DE SEDIMENTOS/BARRERAS BÉNTICAS

1. FUNCIONAMIENTO

Consiste en el recubrimiento de los sedimentos de manera que no entren en contacto con el agua, evitando así la resuspensión de nutrientes y el crecimiento de plantas no deseadas.

Normalmente ésta técnica se emplea en balsas o pequeños estanques, donde se pueden utilizar láminas de materiales plásticos, pero en los embalses esto resulta muy oneroso. Otra posibilidad para el sellado del sedimento es la aplicación de arcillas, arenas o grava que depende de la disponibilidad de las mismas.

Existe una técnica experimental que, dependiendo de la composición del suelo del vaso del lago o embalse, consiste en extraer arenas que se encuentran bajo el sedimento, para posteriormente aplicarlo sobre él, logrando el efecto de su sellado. Este cambio de estratos se realiza mediante métodos hidráulicos. Al extraer la capa más profunda del estrato se facilita el hundimiento de los sedimentos activos para posteriormente sellarlos con el material extraído. Este método no precisa eliminación de los materiales dragados, ni hace más profundo el embalse o lago, simplemente invierte la posición de los estratos del sedimento.

2. VENTAJAS

- Reducen la interacción agua sedimento
- Pueden reducir el crecimiento de plantas acuáticas no deseadas
- En el caso de las barreras bénticas, algunos materiales pueden ser reutilizados en distintas áreas

3. DESVENTAJAS

- Las barreras bénticas no son selectivas y requieren de un alto coste de instalación y mantenimiento. Se aplican, normalmente, en pequeñas superficies.

- La inversión de capas de sedimento es un método experimental. Puede provocar la dispersión de sedimento fino asociado al material más profundo, que puede implicar a su vez la dispersión de otros contaminantes

4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA SU APLICACIÓN

- Conocimiento batimétrico del lago/embalse
- Calidad y cantidad de sedimento
- Valoración de las características físicas y biológicas de la zona susceptible de tratamiento

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- Los estudios han demostrado la recarga interna en el embalse
- La zona a tratar es pequeña, no presenta una gran profundidad y representa una pequeña parte del lago/embalse
- La zona objetivo necesita de un mantenimiento de la calidad a medio plazo

6. APLICADO EN:

- Pequeños estanques y lagos de Estados Unidos
- En España se han empleado ocasionalmente en balsas de riego

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Protección y restauración del Lago del Parque General Belgrano. Mg. Qca. Luís A Kieffer, Ing. Federico Emiliani, M.Sc. María O. García de Emiliani 2002-2005
- The Practical Guide to Lake Management Massachusetts 2004
- Curso sobre: "Limnología aplicada: Embalses, lagunas y ríos". CEDEX 2007

8. PÁGINAS WEB

www.mass.gov/dcr/waterSupply/lakepond/downloads/practical_guide.pdf

<http://www.qcaambiental.santafe-onicet.gov.ar/transferencia/Lago/contenidoinf.htm>

LIMITACIÓN DE LA LUZ.

TINTES Y COBERTURAS SUPERFICIALES

1. FUNCIONAMIENTO

Los tintes se usan para limitar la penetración de luz y, por consiguiente, restringir la cantidad total de luz disponible controlando así el crecimiento algal o plantas acuáticas no deseadas. Generalmente no son tóxicos para las distintas especies acuáticas. Además de camuflar la coloración debida a las algas y/o al sedimento resuspendido, en lagos con transparencia alta, profundidad moderada y/o pequeñas acumulaciones de sedimento, los tintes pueden crear el efecto óptico de una mayor profundidad del lago.

El tratamiento debe repetirse varias veces para compensar los lavados del sistema, ya que su efectividad se mantiene en cortos espacios de tiempo. Normalmente son empleados en estanques ornamentales y pequeños lagos.



Existen productos comerciales, entre los que destaca AQUASHADE[®], colorante orgánico aprobado por Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). La dosis típica empleada para este producto es de 3,8 litros por cada 3.800.000 litros de agua (Fuente: Comercial de acuicultura).

Las coberturas superficiales, por su parte, se emplean, principalmente, para el control de plantas acuáticas no deseadas. Las plantas, y a su vez las algas, al encontrarse limitadas de luz, reducen su crecimiento al mínimo. Normalmente, el material empleado son planchas de polietileno. No obstante, su empleo se reduce a pequeñas superficies; además, pueden interferir en otros usos de lago/embalse y minimizan el intercambio atmosférico de gas.

2. VENTAJAS

- No presentan toxicidad
- Los tintes producen un color atractivo, crean el efecto óptico de una mayor profundidad y puede controlar el crecimiento algal
- Las coberturas superficiales minimizan los contaminantes procedentes de la avifauna u otros animales

3. DESVENTAJAS

- Aumenta la absorción de calor, pudiendo causar estratificación en lagos poco profundos, con la posible pérdida de oxígeno en capas inferiores
- La alteración del color puede parecer “antinatural”
- Empleados en pequeñas superficies de agua
- No pueden controlar el crecimiento más superficial de las algas
- Las coberturas superficiales minimizan el intercambio atmosférico de gas

4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA SU APLICACIÓN

- Conocimiento batimétrico del lago/embalse para calcular correctamente la dosis a emplear
- Valoración de las características físicas y biológicas de la zona susceptible de tratamiento

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- La zona objetivo del tratamiento no tiene grandes salidas de agua
- El posible incremento de la estratificación no supone una amenaza grave para otras especies

6. APLICADO EN:

- Pequeños estanques y lagos de Estados Unidos

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Protección y restauración del Lago del Parque General Belgrano. Mg. Qca. Luís A Kieffer, Ing. Federico Emiliani, M.Sc. María O. García de Emiliani 2002-2005
- The Practical Guide to Lake Management Massachusetts 2004

8. PÁGINAS WEB

www.mass.gov/dcr/waterSupply/lakepond/downloads/practical_guide.pdf

<http://www.qcaambiental.santafe-onicet.gov.ar/transferencia/Lago/contenidoinf.htm>

<http://www.comercialdeacuicultura.com/>

ELIMINACIÓN MECÁNICA

1. FUNCIONAMIENTO

Consiste básicamente en la retirada mecánica de componentes no deseables de la masa de agua. Para ello pueden emplearse bombas hidráulicas que extraigan el agua del embalse para su posterior filtrado. La extracción también puede efectuarse mediante redes u otros elementos. Así las algas, y nutrientes asociados a ellas, son retiradas del sistema, evitando su descomposición y sedimentación al fondo del embalse.

Esta medida suele ir asociada a grandes blooms algales; se trata de una medida tan sólo paliativa, que puede resultar muy laboriosa, y cuyos resultados son variables.

Destaca la actuación llevada a cabo en el embalse de Zújar (Confederación Hidrográfica del Guadiana) en verano de 1995, donde se efectuó la retirada de biomasa con redes, tras la oxigenación del embalse. Los volúmenes medios retirados oscilaron entre los 50 y 900 l/día, estimándose el volumen total húmedo de biomasa extraída de unos 30-35 m³.



*Extracción de biomasa en el embalse del Zújar mediante redes de plancton (verano 1995).
Fotografía obtenida de "Control intensivo de la calidad del agua en los embalses de abastecimiento de la
cuenca hidrográfica del Guadiana". Verano de 1995*

Por otro lado, la eliminación mecánica es una técnica habitualmente empleada para la eliminación de plantas acuáticas no deseables en las masas de agua que, a su vez, favorece la retirada de nutrientes asociadas a ellas. Puede realizarse mediante embarcaciones, a las que se acopla un dispositivo cosechador, o mediante maquinaria industrial específica. Las plantas cosechadas pueden ser empleadas posteriormente como forraje para el ganado o para la elaboración de compost.

Esta técnica ha sido utilizada por la Confederación Hidrográfica del Guadiana para el control y erradicación del jacinto de agua, especie exótica invasora.



*Distinto tipo de maquinaria empleado en la erradicación del jacinto de agua.
Fotografía obtenida del "Plan Integral de lucha contra el jacinto de agua".
Confederación Hidrográfica del Guadiana*

2. VENTAJAS

- Las algas y los nutrientes asociados pueden ser eliminados del sistema
- La recolección puede aplicarse cuando sea necesaria
- Se pueden retirar residuos flotantes
- Las plantas recolectadas pueden ser empleadas para otros fines

3. DESVENTAJAS

- Con altas densidades algales, el filtrado requiere de la manipulación del fango y altas corrientes de agua
- Trabajo intensivo y/o costo
- La eficiencia recolectora es variable

4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA SU APLICACIÓN

- Conocimiento de la sucesión temporal de la biomasa algal y de la posibilidad de blooms algales
- Localización de zonas del embalse con riesgo de que se produzcan blooms algales

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- Accesos adecuados a la lámina de agua
- Áreas accesibles para la instalación de los equipos

6. APLICADO EN:

- Embalse del Zújar. Confederación Hidrográfica del Guadiana (1995)
- Tramo del río Guadiana. Confederación Hidrográfica del Guadiana

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- The Practical Guide to Lake Management Massachusetts 2004
- Control intensivo de la calidad del agua en los embalses de abastecimiento de la C.H.Guadiana. Verano de 1995
- Plan Integral de lucha contra el jacinto de agua. C.H.Guadiana 2005-2006

8. PÁGINAS WEB

www.mass.gov/dcr/waterSupply/lakepond/downloads/practical_guide.pdf

www.conama9.org/conama9/download/files/SDs/89789151_ppt_NCifuentes.pdf

ELIMINACIÓN DE ALGAS EMPLEANDO ULTRASONIDOS

1. FUNCIONAMIENTO

La técnica se basa en el empleo de ultrasonidos que producen la implosión de la vacuola celular de las algas y, por lo tanto, su muerte, limitando de esta forma su capacidad de crecimiento y desarrollo.

Se trata de una técnica relativamente nueva y no existe mucha bibliografía científica respecto a su empleo. Ésta técnica supone una mejora del sistema sólo a corto plazo, pero puede ser una opción viable para los embalses más pequeños, ensenadas y/o calas. En principio, esta técnica no afecta ni al zooplancton ni a los peces

Existen productos ya comercializados, donde el consumo máximo de los aparatos no supera los 70 W. Según la información de algunas casas comerciales las algas se depositan en el fondo, mientras que otras recomiendan retirar las algas muertas para evitar procesos de descomposición.



*Fotografía obtenida de la web de
Sonicsolution*



Fotografía obtenida de la web de Control y Dosificación

2. VENTAJAS

- Rápida reducción de la biomasa algal sin adición química
- Mejora apreciable del aspecto del agua
- Facilita procesos de filtración

3. DESVENTAJAS

- Pueden liberarse los contenidos de las células
- En general, se emplea en pequeñas superficies

4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA SU APLICACIÓN

- No parece necesaria una información especial sobre las poblaciones algales, pero para lograr su máxima efectividad pueden necesitarse pruebas adicionales de investigación, así como del flujo y régimen de mezcla del lago/embalse

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- Que el problema sea localizado, ya que los transductores se emplean en áreas reducidas

6. APLICADO EN:

- Lago del Parque General Belgrano. Santa Fe de la Veracruz. Argentina
- Varios parques en la provincia de Murcia
- Otros EEUU

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Protección y restauración del Lago del Parque General Belgrano. Mg. Qca. Luís A Kieffer, Ing. Federico Emiliani, M.Sc. María O. García de Emiliani 2002-2005
- The Practical Guide to Lake Management Massachusetts 2004

8. PÁGINAS WEB

<http://www.qcaambiental.santafe-onicet.gov.ar/transferencia/Lago/contenidoinf.htm>

<http://www.sonicsolutionsllc.com/>

<http://www.toscano.es/>

<http://www.controlydosificacion.com/tisu-sistema-integrado-ultrasonidos-p-98.html>

<http://www.lenntech.com/espanol/Eutroficacion-de-las->

[aguas/radiacion% 20ultrasonica.htm](http://www.lenntech.com/espanol/Eutroficacion-de-las-aguas/radiacion%20ultrasonica.htm)

www.mass.gov/dcr/waterSupply/lakepond/downloads/practical_guide.pdf

ALGUICIDAS. TRATAMIENTO CON COBRE, HERBICIDAS SINTÉTICOS Y OXIDANTES

1. FUNCIONAMIENTO

La forma de cobre más empleada como alguicida es el sulfato de cobre hidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). El cobre es un herbicida de contacto que, generalmente, se considera no selectivo. Elimina las algas, casi instantáneamente, actuando sobre las paredes celulares impidiendo, o bloqueando, la llegada de oxígeno al protoplasma.

Las dosis empleadas para que el sulfato de cobre sea efectivo varía entre 0,1 y 2 mg/l de ión cobre, aunque parece que el control de algunas algas se puede alcanzar en niveles más bajos ($<0,10$ mg/l). Es conveniente la dosificación del producto antes de que se produzca el desarrollo algal, ya que una vez producida la muerte de las algas, se incrementa la materia orgánica, con el consecuente descenso de oxígeno, además se requieren unas menores concentraciones de cobre.

Dependiendo de las circunstancias individuales de cada embalse, es aconsejable el empleo de este tratamiento por secciones para reducir al mínimo el agotamiento del oxígeno, dando un plazo de 1 ó 2 semanas entre las distintas aplicaciones, de modo que los niveles del oxígeno puedan recuperarse.

Cuando los tratamientos con compuestos cúpricos no resultan eficaces, en ocasiones se suelen emplear herbicidas sintéticos u oxidantes. Estos son productos químicos que absorbidos por la membrana desestabilizan el metabolismo de la célula algal, matando o inhibiendo su crecimiento. La USEPA, acepta el uso, siempre con grandes restricciones, de una serie de productos, entre los oxidantes destaca el carbonato de sodio-peróxido de oxígeno -EPA Reg. N°. 70299-4-, compuesto que se puede aplicar para prevenir la proliferación de algas o para su eliminación, y que algunas marcas lo consideran selectivo de las cianofíceas. Entre los herbicidas sintéticos, se suele emplear Endothall-sal amina, herbicida de contacto, no selectivo y de gran rapidez de acción.

No obstante, el empleo de estas sustancias se encuentra restringido por la legislación fitosanitaria vigente, ya que tienen multitud de efectos secundarios negativos: las algas al morir pueden liberar toxinas al medio, pueden generar un descenso de oxígeno en el

agua y además se pueden ver afectados otros organismos, como el bentos y los peces, para los cuales también resulta tóxico. Por lo tanto, antes del empleo de cualquier alguicida, se deberá tener en cuenta la citada legislación fitosanitaria.

2. VENTAJAS

- Control rápido y efectivo de muchas especies de algas

3. DESVENTAJAS

Compuestos del cobre:

- Posible toxicidad para la fauna acuática
- Inefectivo a bajas temperaturas
- Acumulación de cobre en el sistema
- Resistencia de ciertas algas molestas verde-azules (cianofíceas)
- La ruptura de las células libera toxinas, nutrientes y propicia un descenso del oxígeno

Oxidantes:

- Las formulaciones altas pueden resultar tóxicas para algunas especies acuáticas
- Las nuevas formulaciones no han sido testadas ni probadas en campo

Herbicidas sintéticos:

- No son selectivos
- Posible toxicidad en la fauna acuática (en distintos grados, según la dosis y la formulación)
- Posibles restricciones de su empleo

4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA SU APLICACIÓN

- Datos de la composición y abundancia del fitoplancton para seleccionar el momento idóneo de tratamiento
- Datos de calidad del agua para determinar la necesidad y efectividad del tratamiento
- Inventario de la biota susceptible de sufrir impactos

- Programa de muestreos para evaluar los posibles impactos y efectividad del tratamiento

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- Los crecimientos algales (blooms) afectan a los usos del embalse
- Los estudios determinan con precisión las floraciones algales, para poder anticiparse a ellas

6. APLICADO EN:

- Diversos países. Técnica empleada desde 1949.
- Embalse de Valmayor (Madrid) 1981-1982 ("Cambios en la estructura del fitoplancton del embalse de Valmayor por tratamiento con sulfato cúprico" F.J Haering)
- Los herbicidas sintéticos se emplean en Estados Unidos, principalmente para la eliminación de plantas acuáticas

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Olem, H. and G. Flock, eds. 1990. Lake and Reservoir Restoration Guidance Manual. 2nd edition. EPA 440/4-90-006.
- The Practical Guide to Lake Management Massachusetts 2004
- Guidelines of lakes management Vol9. ILEC 1999
- El control de la eutrofización en lagos y embalses. Sven-Olof Ryding, Walter Rasst. UNESCO 1992

8. PÁGINAS WEB

www.mass.gov/dcr/waterSupply/lakepond/downloads/practical_guide.pdf

<http://nepis.epa.gov/EPA/html/Pubs/pubtitleOAR.htm>

<http://www.ilec.or.jp/>

<http://www.ecy.wa.gov/programs/wq/plants/algae/lakes/ControlOptions.html>

INACTIVACIÓN DEL FÓSFORO

1. FUNCIONAMIENTO

Son técnicas que consisten en la adición de productos químicos para disminuir las concentraciones de fósforo en la columna de agua, o para inhibir la liberación del mismo desde los sedimentos. Este tipo de técnica suele ser más efectiva cuando se han reducido las aportaciones externas de fósforo.

Se pueden emplear sales de aluminio, de hierro o compuestos cálcicos. También puede emplearse el nitrato cálcico en el sedimento para favorecer la inmovilización del fósforo, aunque este tipo de tratamiento es menos usual.

Los compuestos de aluminio son los empleados normalmente, en forma de sulfato de aluminio ($\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \times \text{H}_2\text{O}$) o aluminato sódico ($\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4 \times \text{H}_2\text{O}$). Las formas de los compuestos férricos suelen ser cloruro férrico (FeCl_3) o sulfato férrico ($\text{Fe}_2 (\text{SO}_4)_3$) y, por su parte, los compuestos de calcio más empleados son la cal ($\text{Ca} (\text{OH})_2$) o el carbonato de calcio (CaCO_3).

Estos compuestos se disuelven y forman hidróxidos, $\text{Al} (\text{OH})_3$, $\text{Fe} (\text{OH})_3$, o en el caso de calcio, carbonatos como calcita (CaCO_3), que precipitan el fósforo formando una masa flocosa, que tras sedimentarse, inhiben la liberación del fósforo de los sedimentos. Este proceso se encuentra muy condicionado por el pH y la concentración de oxígeno del agua, siendo el aluminio el que mejor funciona en rangos amplios de pH y oxígeno.

Los embalses candidatos para el empleo de este método son aquellos en los que se ha reducido la entrada de fósforo, o ésta es pequeña, y presentan recarga interna de fósforo. También es conveniente que presenten una alcalinidad moderada-alta, ya que el tratamiento tiende a reducir el pH, por lo que en embalses poco alcalinos se debería agregar además un tamponador (como cal).

Normalmente las concentraciones de alumbre para eliminar fósforo de la columna de agua varía en el rango de 1-20 mg/l, mientras que para conseguir la inactivación en el sedimento, el rango empleado oscila entre 10 y 150 g/m². El tratamiento con bajas

dosis de alumbre (1-5 mg/l) limita los efectos sobre el pH, u otras variables de calidad, pero puede resultar ineficaz para prevenir la liberación del fósforo del sedimento.

Por otro lado, las sales de hierro son efectivas en ambientes oxigenados, pero en condiciones anóxicas pierden efectividad. No obstante pueden emplearse como tratamiento de apoyo a los sistemas de aireación.

Así mismo, el tratamiento de los sedimentos con nitrato cálcico es un método indirecto de inactivación de fósforo. Se basa en inyectar un aporte de oxígeno a este para favorecer la formación de óxidos, que inactive el fósforo del sedimento. No obstante y como se citó anteriormente su empleo es poco usual (ver oxidación del sedimento).

2. VENTAJAS

- Extracción rápida del fósforo en la columna de agua
- Minimiza la recarga interna de fósforo
- Extracción potencial otros contaminantes y de algas

3. DESVENTAJAS

- Posible toxicidad en peces e invertebrados, principalmente por el aluminio, dependiendo del pH
- Pueden producirse variaciones en la química de agua durante el tratamiento, especialmente del pH
- Posible resuspensión de flocos en aguas poco profundas
- El fósforo se suma al sedimento, aunque en una cantidad insignificante
- Si la carga de nutrientes es significativa se reduce la efectividad del tratamiento en el tiempo

4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA SU APLICACIÓN

- Se requiere un análisis detallado del balance de nutrientes para determinar si existe un aporte de fuentes internas de fósforo
- Análisis detallado del sedimento

- Valores recientes de pH y alcalinidad en toda la columna de agua
- Conocimiento batimétrico del vaso del embalse, para un correcto cálculo de las dosis a aplicar
- Sería conveniente realizar pruebas toxicológicas en los peces que habitan el embalse
- Durante la aplicación es conveniente mantener un control exhaustivo, con el objetivo de detectar posibles variaciones en la química del agua, que se encuentren fuera de lo previsto.

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- Una parte sustancial de la carga de fósforo se asocia a los sedimentos anóxicos del sistema
- Los estudios han demostrado el impacto de la recarga interna en embalse
- La carga externa de fósforo es pequeña o ya se ha controlado
- Una adecuada alcalinidad de las aguas que amortigüe los efectos de cambio en el pH durante el tratamiento
- Los análisis efectuados descartan posibles efectos tóxicos en la ictiofauna
- En el caso de emplear compuestos de hierro debe confirmarse una buena oxigenación en toda la columna de agua

6. APLICADO EN:

- Ampliamente aplicado en diversos lagos y embalses estadounidenses, y en distintos embalses europeos (Holanda Alemania). Recientemente aplicada en el lago Honeoye, en el condado de Ontario (Nueva York)

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Olem, H. and G. Flock, eds. 1990. Lake and Reservoir Restoration Guidance Manual. 2nd edition. EPA 440/4-90-006.
- The Practical Guide to Lake Management Massachusetts 2004
- Guidelines of lakes management Vol9. ILEC 1999

- El control de la eutrofización en lagos y embalses. Sven-Olof Ryding, Walter Rasst. UNESCO 1992

8. PÁGINAS WEB

www.mass.gov/dcr/waterSupply/lakepond/downloads/practical_guide.pdf

<http://nepis.epa.gov/EPA/html/Pubs/pubtitleOAR.htm>

www.nalms.org/Resources/PDF/nalms_position_2_alum.pdf

<http://www.ilec.or.jp/>

<http://www.teemarkcorp.com/sweetwater/index.html>

OXIDACIÓN DEL SEDIMENTO

1. FUNCIONAMIENTO

Básicamente consiste en introducir oxígeno en el sedimento para favorecer la descomposición de la materia orgánica acumulada; además, como en presencia de oxígeno la mayoría de los compuestos que contienen fósforo son insolubles, se reduce la recarga interna al embalse.

Existen varias maneras de oxigenar el sedimento, entre las más usuales se encuentran la oxigenación hipolimnética o la aireación (descritas anteriormente). Otro método empleado es el 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 de hierro, aumentando la retención del fósforo. El pH es estabilizado con la adición de $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

2. VENTAJAS

- Puede reducir el suministro de fósforo a las algas
- Puede alterar el ratio N:P en la columna de agua
- Puede disminuir la demanda de oxígeno del sedimento

3. DESVENTAJAS

- Posible impacto sobre la fauna bentónica
- La duración de los efectos no es conocida
- Posible fuente de nitrógeno para las cianofíceas

4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA SU APLICACIÓN

- Se requiere un análisis detallado del balance de nutrientes para determinar si existe un aporte de fuentes internas de fósforo

- Análisis detallado del sedimento
- Valores recientes de pH y alcalinidad en toda la columna de agua
- Conocimiento batimétrico del vaso del embalse, para un correcto cálculo de las dosis a aplicar
- Sería conveniente realizar pruebas toxicológicas en los peces que habitan el embalse
- Durante la aplicación es conveniente mantener un control exhaustivo, con el objetivo de detectar posibles variaciones en la química del agua, que se encuentren fuera de lo previsto.

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- Una parte sustancial de la carga de fósforo se asocia a los sedimentos anóxicos del sistema
- Los estudios han demostrado el impacto de la recarga interna en embalse
- La carga externa de fósforo es pequeña o ya se ha controlado
- Una adecuada alcalinidad de las aguas que amortigüe los efectos de cambio en el pH durante el tratamiento
- Los análisis efectuados descartan posibles efectos tóxicos en la ictiofauna
- En el caso de emplear compuestos de hierro debe confirmarse una buena oxigenación en toda la columna de agua

6. APLICADO EN:

- Aplicado en diversos lagos y embalses estadounidenses

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Olem, H. and G. Flock, eds. 1990. Lake and Reservoir Restoration Guidance Manual. 2nd edition. EPA 440/4-90-006.
- The Practical Guide to Lake Management Massachusetts 2004
- Guidelines of lakes management Vol9. ILEC 1999
- El control de la eutrofización en lagos y embalses. Sven-Olof Ryding, Walter Rasst. UNESCO 1992

8. PÁGINAS WEB

www.mass.gov/dcr/waterSupply/lakepond/downloads/practical_guide.pdf

<http://www.ilec.or.jp/>

<http://nepis.epa.gov/EPA/html/Pubs/pubtitleOAR.htm>

AGENTES SEDIMENTADORES

1. FUNCIONAMIENTO

Los agentes sedimentadores se encuentran estrechamente relacionados con la inactivación del fósforo, empleándose para la reducción de algas y de nutrientes. Como se citó anteriormente, los agentes sedimentadores usualmente empleados son la cal y el alumbre, aunque existen otros tipos de compuestos, como son los preparados de lantano o los polímeros, que se puede emplear en el tratamiento de sistemas eutróficos, aunque su uso es menos habitual.

El lantano, normalmente, se mezcla con arcillas, con lo que se evita se libere en el agua. El funcionamiento es similar al de los compuestos de aluminio, el lantano atrapa el fósforo disuelto, formando fosfato de lantano, insoluble, y que pasa a formar parte de la matriz de arcilla. Posteriormente sedimenta en el fondo de la cubeta.



Aplicación del agente sedimentador en un lago alemán

En principio, y según las casas comerciales, el empleo de lantano precisa de una menor cantidad de producto que el empleado en los compuestos de aluminio, por lo que puede resultar una opción más económica, también defienden que afecta en menor grado al pH del sistema, siendo su aplicación más adecuada que la de compuestos aluminicos.

Los polímeros, por su parte, se emplean habitualmente como ayudantes de la coagulación o floculación en muchas plantas de tratamiento de agua. Pueden tener un origen sintético o natural. El empleo de estos últimos se ha experimentado en países latinoamericanos con el objetivo de reducir los costes de la obtención de los polímeros sintéticos. Entre ellos se pueden citar el alginato de sodio o la goma de tuna "Cochifloc"; en principio, la toxicidad de estos productos es mínima, pues se emplean en muchos casos como comestibles o como aditivos alimenticios. No obstante, su empleo en sistemas lacustres no se encuentra bien documentado.

2. VENTAJAS

- Extracción potencial de algas y otros contaminantes
- Extracción rápida del fósforo en la columna de agua
- Minimiza la recarga interna de fósforo

3. DESVENTAJAS

- Posible toxicidad en peces e invertebrados,
- Pueden producirse variaciones en la química de agua durante el tratamiento, especialmente del pH
- Posible resuspensión de flocos en aguas poco profundas
- El fósforo se suma al sedimento, aunque en una cantidad insignificante
- Si la carga de nutrientes al embalse es significativa se reduce la efectividad del tratamiento en el tiempo

4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA SU APLICACIÓN

- Se requiere un análisis detallado del balance de nutrientes para determinar si existe un aporte de fuentes internas de fósforo
- Análisis detallado del sedimento
- Valores recientes de pH y alcalinidad en toda la columna de agua
- Conocimiento batimétrico del vaso del embalse, para un correcto cálculo de las dosis a aplicar

- Sería conveniente realizar pruebas toxicológicas en los peces que habitan el embalse
- Durante la aplicación es conveniente mantener un control exhaustivo, con el objetivo de detectar posibles variaciones en la química del agua, que se encuentren fuera de lo previsto.

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- Una parte sustancial de la carga de fósforo se asocia a los sedimentos anóxicos del sistema
- Los estudios han demostrado el impacto de la recarga interna en embalse
- La carga externa de fósforo es pequeña o ya se ha controlado
- Una adecuada alcalinidad de las aguas que amortigüe los efectos de cambio en el pH durante el tratamiento
- Los análisis efectuados descartan posibles efectos tóxicos en la ictiofauna

6. APLICADO EN:

- El lantano se ha aplicado en diversos lagos del todo el mundo, entre los que destaca el Lago Bärensee (Estado de Hensen, Alemania)
- Los polímeros naturales se han empleado en países sudamericanos

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- The Practical Guide to Lake Management Massachusetts 2004
- Protección del lago Parque General Belgrano. Aplicaciones de Ingeniería Química del Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química - INTEC (CONICET- UNL). Argentina
- "Polímeros naturales y su aplicación como ayudantes de floculación". Centro Panamericano e Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS)

8. PÁGINAS WEB

www.mass.gov/dcr/waterSupply/lakepond/downloads/practical_guide.pdf

<http://www.qcaambiental.santafe-conicet.gov.ar/transferencia/Lago/contenidoinf.htm>

<http://www.phoslock.com.au/about.php>

<http://www.phoslock.com.au/Alum%20and%20Phoslock%20Comparison.pdf>

<http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/cd26/004200.pdf>

ADICIÓN SELECTIVA DE NUTRIENTES

1. FUNCIONAMIENTO

Esta técnica se basa en variar el ratio de nutrientes en un sistema para limitar el desarrollo algal de especies molestas favoreciendo a otros grupos algales.

No obstante, presenta unos resultados inciertos y no todos los autores confirman su efectividad. De un estudio realizado sobre 17 lagos en diversas partes del mundo, Smith (1983) concluyó que las cianobacterias (que forman afloramientos) tienden a dominar en lagos donde la relación NT:PT es menor de 29. Esto le permitió aseverar que incrementando (por adición de N) esa relación por encima de 30 se reducirá la proporción de cianobacterias en la biomasa total de algas. Sin embargo, las diversas revisiones posteriores (p. ej., Jensen et al., 1994), que discutieron el impacto de la relación NT:PT sobre las poblaciones de fitoplancton, han encontrado pocas evidencias para sustentar el argumento de que la relación antedicha es un determinante importante de la dominancia de las cianobacterias (tanto en estudios de laboratorio como en lagos)⁴.

2. VENTAJAS

- Puede reducir los niveles algales cuando el control de limitación de nutrientes no resulta efectivo
- Puede favorecer a las algas no molestas
- Puede mejorar la productividad del sistema sin aumentar la proporción de algas tóxicas

3. DESVENTAJAS

- Puede favorecer el incremento algal por una respuesta biológica incierta
- Puede precisar frecuentes aplicaciones para mantener las proporciones deseadas
- Posibles efectos aguas abajo

⁴ Fuente: Protección del lago Parque General Belgrano. Aplicaciones de Ingeniería Química del Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química - INTEC (CONICET- UNL). Argentina

4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA SU APLICACIÓN

- Datos de la composición y abundancia del fitoplancton para seleccionar el momento idóneo de tratamiento
- Datos de calidad del agua para determinar la necesidad y efectividad del tratamiento
- Inventario de la biota susceptible de sufrir impactos
- Programa de muestreos para evaluar los posibles impactos y efectividad del tratamiento

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- No es factible la reducción de las entradas de nutrientes al embalse, por razones técnicas o legales
- Los crecimientos algales (blooms) afectan a los usos del embalse
- Los estudios determinan con precisión las floraciones algales, para poder anticiparse a ellas

6. APLICADO EN:

- A nivel experimental en varios lagos en diversas partes del mundo
- En aguas ultraoligotróficas se suele emplear para incrementar la biomasa piscícola

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Protección y restauración del Lago del Parque General Belgrano. Mg. Qca. Luís A Kieffer, Ing. Federico Emiliani, M.Sc. María O. García de Emiliani 2002-2005
- The Practical Guide to Lake Management Massachusetts 2004

8. PÁGINAS WEB

www.mass.gov/dcr/waterSupply/lakepond/downloads/practical_guide.pdf

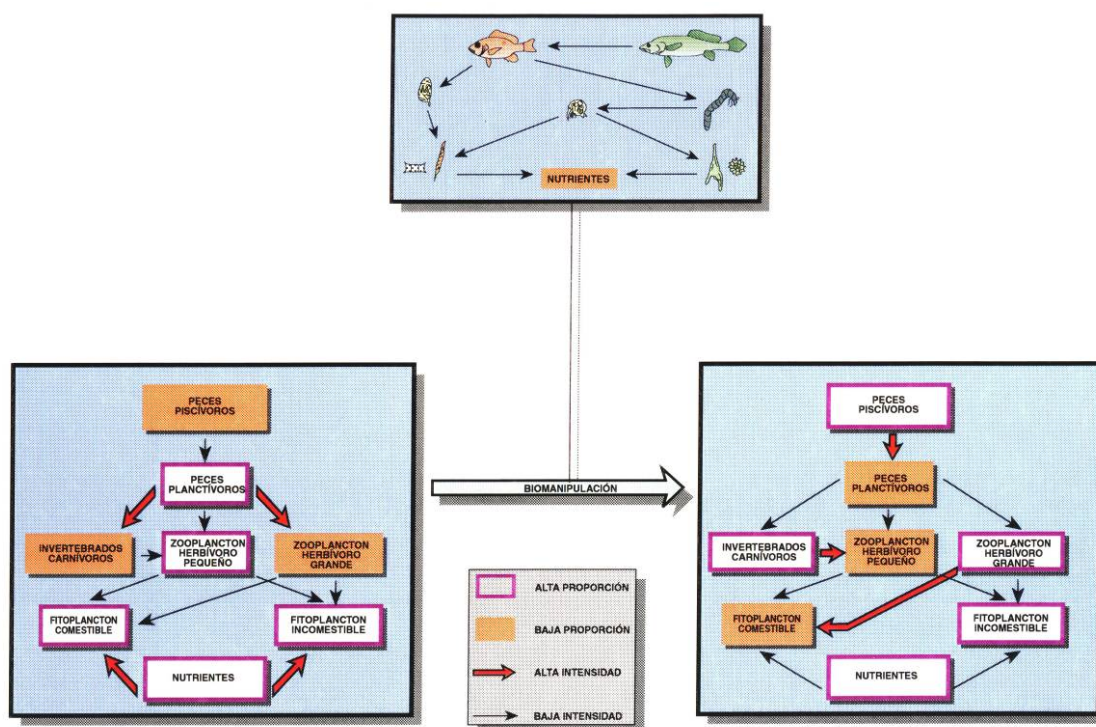
<http://www.qcaambiental.santafe-conicet.gov.ar/transferecia/Lago/contenidoinf.htm>

BIOMANIPULACIÓN. MANIPULACIÓN DE LA CADENA TRÓFICA

1. FUNCIONAMIENTO

Son técnicas que se basan en el control de las poblaciones fitoplanctónicas desde niveles superiores (control tipo top-down), frente al control que se puede realizar desde el nivel inferior que es el de la limitación de los recursos tróficos y energéticos (nutrientes, luz, hidrodinámica, temperatura).

Las especies comestibles del fitoplancton están sometidas a un consumo por el **zooplancton herbívoro**, especialmente el de gran talla como los cladóceros macrofiltradores. A su vez, el zooplancton herbívoro está controlado por el zooplancton carnívoro y por los peces planctívoros, de modo que los consumidores de estos dos últimos grupos (depredadores) pueden realizar un control indirecto del fitoplancton a través de una cadena de interacciones.



Esquema de biomaniplulación tipo "top-down"

Es posible, por tanto, incrementar la presión sobre el fitoplancton al introducir especies ictiófagas o también extrayendo especies planctófagas. No obstante, la ecología de las especies de ciprínidos ibéricos limita esta aplicación porque suelen tener hábitos omnívoros.

2. VENTAJAS

- Emplea procesos naturales para conseguir condiciones deseables
- Es una técnica que no necesita de ningún tipo de mantenimiento

3. DESVENTAJAS

- Alta variabilidad en los resultados

4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA SU APLICACIÓN

- Amplio conocimiento de la cadena trófica y de la abundancia relativa de los componentes dominantes
- Conocimiento de la calidad del agua
- Programa de seguimiento y control

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- Se pueden realizar ensayos a pequeña escala, para evaluar su efectividad y los posibles efectos adversos
- Es aceptable una mejora a medio plazo del sistema
- Es tolerable un cierto grado de incertidumbre y variabilidad en los resultados

6. APLICADO EN:

- Lagunas de Adra (Almería)
- Alemania, Suecia, Estados Unidos

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- The Practical Guide to Lake Management Massachusetts 2004
- Olem, H. and G. Flock, eds. 1990. Lake and Reservoir Restoration Guidance Manual. 2nd edition. EPA 440/4-90-006
- El control de la eutrofización en lagos y embalses. Sven-Olof Ryding, Walter Rasst. UNESCO 1992
- Guidelines of lakes management Vol9. ILEC 1999
- Aplicación de técnicas de biomanipulación para la gestión de la eutrofización en las albuferas de Adra. Luís Cruz-Pizarro y otros. Instituto del Agua, Universidad de Granada

8. PÁGINAS WEB

www.mass.gov/dcr/waterSupply/lakepond/downloads/practical_guide.pdf

<http://www.ilec.or.jp/>

<http://lakes.chebucto.org/biomanip.html>

http://www.almediam.org/articulos/articulos_132.htm

BIOMANIPULACIÓN. PECES HERVÍBOROS

1. FUNCIONAMIENTO

Consiste en incrementar la tasa de peces herbívoros para que se coman las plantas no deseadas del lago, para posteriormente retirarlos del sistema.

La ecología de las especies de ciprínidos ibéricos limita esta aplicación al tener hábitos omnívoros, por lo que se debe proceder a la introducción de especies exóticas, con el consecuente riesgo para las especies autóctonas. No obstante, y para evitar su proliferación en el sistema, su reproducción se limita mediante técnicas de laboratorio, evitando que desoven espontáneamente en ambientes naturales o cerrados y que formen poblaciones estables.

Las especies habitualmente utilizadas son: *Ctenopharyngodon idella* (carpa verde o pez amur); *Hypophthalmichthys molitrix* (carpa plateada), ciprínidos y procedentes de Asia. Ambos han sido empleados por el CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas) para la eliminación de macrófitos en balsas y canales de riego del sureste español.



Carpa verde



Carpa plateada

No obstante, conviene citar que, la introducción de estas especies en caso de necesidad, debe efectuarse bajo un riguroso control. Como mínimo los individuos a introducir deben tener un certificado de “esterilización”, además de un registro sanitario,

que certifique que no se introducen enfermedades de obligatoria declaración u otros elementos indeseable en el sistema.

2. VENTAJAS

- Extracción efectiva de macrófitos indeseables
- Retirada de nutrientes en forma de biomasa

3. DESVENTAJAS

- Requiere de la introducción de especies exóticas
- Pueden alimentarse de plantas que no son objeto de control
- Existe la posibilidad de que escapen a otros ámbitos, convirtiéndose en especie invasora
- Requiere de un estricto control anual

4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA SU APLICACIÓN

- Conocimiento preciso de la fauna piscícola y de las plantas del ámbito
- Conocimiento de la legislación, por si el empleo de la técnica está restringido

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- El sistema es artificial (balsas o canales) y no existe posibilidad de proliferación de las especies introducidas
- El crecimiento de macrófitas limita el uso del agua almacenada

6. APLICADO EN:

- Sureste español
- Varios lagos norteamericanos

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- The Practical Guide to Lake Management Massachusetts 2004
- Curso sobre: "Limnología aplicada: Embalses, lagunas y ríos". CEDEX 2007
- El control de la eutrofización en lagos y embalses. Sven-Olof Ryding, Walter Rasst. UNESCO 1992

8. PÁGINAS WEB

www.mass.gov/dcr/waterSupply/lakepond/downloads/practical_guide.pdf

http://hercules.cedex.es/Ecosistemas/control_veg_acu.htm

BIOMANIPULACIÓN. EXTRACCIÓN DE BIOMASA PISCÍCOLA Y/O DE PECES BENTÓNICOS

1. FUNCIONAMIENTO

Dentro de las técnicas de biomanipulación se puede considerar la retirada de biomasa piscícola del sistema, con lo cual se retira fósforo. La retirada de biomasa piscícola puede ser eficaz porque se encuentra en unidades discretas de fácil recolección, a diferencia del plancton. Esta posibilidad se puede abordar de múltiples formas, que van desde la extracción deportiva hasta la industrial.

La extracción puede realizarse de una forma más selectiva, retirando los peces bentónicos que, además, resuspenden nutrientes por excreción y remoción del fondo.



Suelta de peces al medio receptor

Normalmente, requiere el traslado de los individuos extraídos a sistemas receptores de características similares, aunque cabe la posibilidad de la eliminación de especies exóticas no deseadas, empleándolas, por ejemplo, para la elaboración de pienso animal.

Este tipo de técnica se ha realizado en España principalmente para evitar mortandades piscícolas en situaciones de sequía o de vaciado de embalses.

2. VENTAJAS

- Pueden reducirse las poblaciones de peces no deseados
- Puede incrementarse la claridad del agua
- En situaciones extremas, pueden evitarse mortandades piscícolas

3. DESVENTAJAS

- El resultado deseado puede ser poco significativo si la carga de nutrientes debida a otras fuentes es elevada
- Se requiere un sitio adecuado para el traslado de peces
- La extracción a gran escala requiere de personal especializado

4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA SU APLICACIÓN

- Estudio de la calidad del agua y balance de nutrientes
- Estudio detallado de las poblaciones piscícolas
- Estudio de la salud de las poblaciones piscícola, para determinar la idoneidad de su traslado y su capacidad de supervivencia
- Datos del sedimento

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- El embalse presenta una alta densidad piscícola
- El descenso en la lámina de agua que favorece la pesca (sequía, vaciado para el mantenimiento de infraestructuras, etc.)
- Se asume una transición gradual a las condiciones deseables

6. APLICADO EN:

- Diversos embalses extremeños en época de sequía (verano 1995)
- Embalse de Alarcón en época de sequía (verano 1995)
- Embalse de Sau (2005)

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- The Practical Guide to Lake Management Massachusetts 2004
- El control de la eutrofización en lagos y embalses. Sven-Olof Ryding, Walter Rasst. UNESCO 1992

- Diagnóstico del estado trófico de los embalses de Cuerda del Pozo, Los Rábanos, San José, Aguilar de Campoo, Barrios de Luna, Burgomillado y las Vencias en el ámbito de la Confederación Hidrográfica del Duero. Infraestructura y Ecología 1999.

8. PÁGINAS WEB

www.mass.gov/dcr/waterSupply/lakepond/downloads/practical_guide.pdf

<http://www.ilec.or.jp/>

BIOMANIPULACIÓN. ADICIÓN DE BACTERIAS

1. FUNCIONAMIENTO

El uso de aditivos bacterianos en lagos y estanques ha recibido alguna atención en los últimos años, pero su estudio científico está poco detallado. La teoría de funcionamiento es simple: se añaden unas bacterias naturales, o diseñadas para el ambiente acuático, que competirán con las algas en la asimilación de nutrientes, atrapando el suministro de N o P y reduciendo, consecuentemente, las concentraciones disponibles en el lago.

En la práctica, la mayoría de aditivos bacterianos se emplean para el control del nitrógeno, lo cual podría favorecer a las cianobacterias, fijadoras de nitrógeno atmosférico. Además, no está del todo claro que una comunidad bacteriana, capaz de imposibilitar floraciones algales, no constituya un deterioro de condiciones acuáticas.

Las bacterias también pueden inocularse en el sedimento con el objetivo de reducir la materia orgánica y nutrientes contenidos en ellos, tras previa selección y manipulación de cepas bacterianas existentes en la zona, con lo que se evita así la introducción de agentes patógenos. Este tipo de técnica se encuadra dentro de las técnicas de biorremediación, normalmente empleadas para la eliminación de hidrocarburos. Se trata de una técnica experimental, puesta en práctica en siete tramos de río de la Confederación del Júcar

2. VENTAJAS

- Reduce la biomasa algal mediante competencia con las bacterias
- Existen productos comerciales
- Pueden tener una alta especificidad sobre un género o grupo algal
- Puede reducir los nutrientes en sedimento, evitando el dragado de estos

3. DESVENTAJAS

- Puede producir formas resistentes
- Puede causar alta demanda de oxígeno o liberación de toxinas por roturas de las células algales
- Efectos indeterminados en otros organismos
- No existen suficientes antecedentes científicos para saber cómo aplicar esta técnica
- Su aplicación a grandes superficies puede resultar caro

4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA SU APLICACIÓN

- Composición y abundancia algal
- Se requiere una información considerable acerca del modo de acción de estos aditivos, pero, al tratarse de productos comerciales, estos datos son difíciles de obtener
- Calidad y cantidad de sedimento

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- Se trata de una opción simple y, en principio, eficaz, aunque poco documentada

6. APLICADO EN:

- Principalmente empleados a pequeña escala, como por ejemplo estanques. En grandes superficies puede resultar muy caro
- Varios tramos de río de la Confederación del Júcar

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- The Practical Guide to Lake Management Massachusetts 2004
- "Experience in the treatment of sediments in irrigations channels through. Bioremediaton" CH. Júcar 2007

8. PÁGINAS WEB

www.mass.gov/dcr/waterSupply/lakepond/downloads/practical_guide.pdf

<http://www.trimmor.com/>

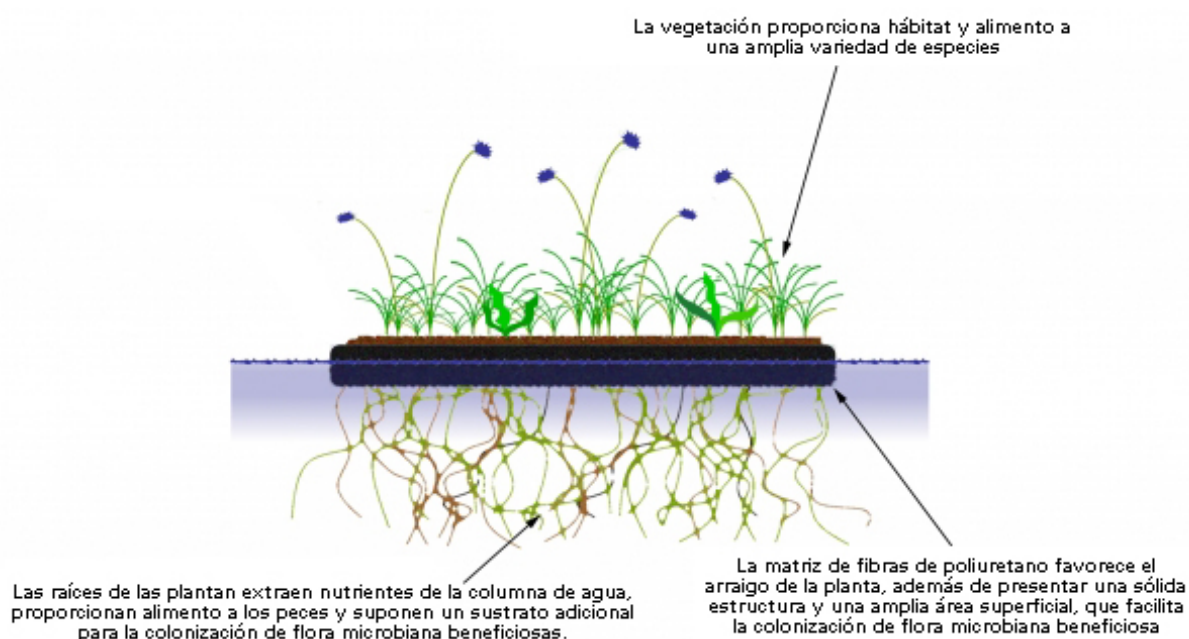
<http://www.csdwand.net/data/sheet.asp?cn=Spain&fn=LA1831>

BIOMANIPULACIÓN. PLANTAS PARA EL CONTROL DE NUTRIENTES O LIMITACIÓN DE LA LUZ

1. FUNCIONAMIENTO

Al igual que el empleo de la fitodepuración como medida del control de nutrientes en fuentes puntuales o difusas, en el mismo lago o embalse pueden emplearse plantas para la reducción de nutrientes. En zonas someras del embalse pueden establecerse humedales, filtros verdes o se puede permitir el crecimiento de plantas en grandes densidades para limitar el acceso de nutrientes a la masa de agua.

Entre estas técnicas destaca la instalación de islas flotantes. Las islas flotantes están construidas con una matriz de fibras de poliuretano (100% reciclable e inerte) que proporciona adherencia y flotabilidad. Sobre ella se cultivan plantas, macrófitos principalmente, cuyas raíces penetran en el agua absorbiendo nutrientes y fijando partículas en suspensión. Las ventajas del sistema radican en la movilidad de la isla a lo largo de la superficie de agua y en absorber los nitratos y metales pesados directamente del agua, lo que mejora su eficacia. Además, la isla constituye un refugio para las especies presentes en lago y suponen un buen recurso paisajístico.



Por otro lado, pueden emplearse plantas flotantes acuáticas, que por un lado, compiten con el fitoplancton por los nutrientes, mientras que por otro, limitan la luz que llega a las algas produciendo la muerte y desaparición de un buen número de ellas. Como resultado, disminuyen los sólidos en suspensión del efluente y por tanto su turbidez.

Este tipo de plantas crece rápidamente por lo que realizan un alto consumo de nutrientes, no obstante, estas plantas flotantes realizan el intercambio gaseoso directamente con la atmósfera y no contribuyen a la oxigenación de la laguna. Cuando su densidad es grande queda poca superficie de contacto con la atmósfera y la reaeración es menor; el oxígeno puede escasear y se facilita la degradación anaerobia de los sedimentos. Además, se debe realizar un estricto control sobre su crecimiento para evitar su propagación a sistemas que no son objeto de control.

2. VENTAJAS

- La productividad y el valor asociado del hábitat del sistema pueden seguir siendo altos, pero se reducen las floraciones algales
- Las plantas se pueden manejar limitando sus posibles interferencias con los usos recreativos
- Se crean nuevos hábitat
- Las plantas se pueden cosechar fácilmente
- Muchas especies flotantes proporcionan alimento valioso a aves acuáticas

3. DESVENTAJAS

- Las plantas vasculares pueden alcanzar altas densidades, resultando molestas
- El envejecimiento de las plantas vasculares puede incrementar los nutrientes y causar floraciones algales, por lo que requieren un adecuado control
- El cambio en la composición de las plantas de un lago puede causar cambios inesperados o indeseables en el hábitat
- Normalmente se emplean en superficies pequeñas

4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA SU APLICACIÓN

- Datos actualizados de la calidad del agua
- Conocimiento limnológico del sistema
- Conocimiento de la vegetación lacustre

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- No es factible la reducción de las entradas de nutrientes al embalse, por razones técnicas o legales
- Los estudios demuestran un alto contenido en nutrientes
- Disponibilidad de vegetación autóctona

6. APLICADO EN:

- Principalmente empleados a pequeña escala, como por ejemplo estanques.
- Nueva Zelanda, Estados Unidos entre otros

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- The Practical Guide to Lake Management Massachusetts 2004
- Tratamiento de aguas residuales con finalidades productivas, en el ámbito rural y espacios naturales del espacio atlántico, mediante sistemas de tratamiento natural o de bajo coste energético. DEPURANAT N° 054

8. PÁGINAS WEB

www.mass.gov/dcr/waterSupply/lakepond/downloads/practical_guide.pdf

<http://depuranat.itccanarias.org/>

<http://www.floatingislandinternational.com/>

PAJA DE CEBADA

1. FUNCIONAMIENTO

La adición de paja de cebada a un sistema puede englobarse dentro de las técnicas de biomanipulación ya que produce un efecto de alelopatía en el sistema. Cuando se pone la paja de cebada en el agua empieza a descomponerse y durante este proceso se liberan compuestos químicos al agua que impiden el crecimiento de las algas.

La putrefacción es un proceso microbiano y depende de la temperatura, siendo más rápido en verano que en invierno. A temperaturas inferiores a 10 °C puede costar entre 6 y 8 semanas que la paja se vuelva activa, pero sólo entre 1 y 2 semanas a temperaturas superiores a 20 °C. Durante este periodo inicial el crecimiento de las algas continuará sin problemas. Una vez que la paja ha comenzado a liberar compuestos químicos, seguirá activa prácticamente hasta que se haya descompuesto totalmente. La duración de este periodo varía con la temperatura y la forma de aplicación. La paja normalmente se mantiene activa durante cuatro a seis meses, después de lo cual su eficacia disminuye rápidamente.

Solo unos pocos de los compuestos liberados por la paja han sido identificados, sabiéndose que la mayoría son no tóxicos, mientras que algunos pueden tener efectos

Fotografía obtenida del informe Control of Algae Using Straw. © IACR-Centre for Aquatic Plant



ligeramente tóxicos a las concentraciones detectadas. Es posible que sea una combinación de diferentes factores lo que resulte en la actividad antialgal que genera la paja en descomposición.

Los detalles exactos del mecanismo por el que la paja controla las algas no han sido aún investigados, pero generalmente se acepta que el proceso ocurre de la siguiente manera:

1. Cuando la paja se introduce en el agua por primera vez, los componentes solubles son rápidamente liberados, causando que el agua se vuelva de color marrón. Estos compuestos no han sido identificados, pero es probable que se trate de una mezcla de hidratos de carbono y hemicelulosas. Los microorganismos que dominan en esta fase son las bacterias.
2. Después de unas dos semanas la microflora dominante pasan a ser los hongos. Esto sucede cuando comienza la descomposición de la lignina y de otros componentes de la pared celular.
3. Cuando la paja se pudre, los componentes de la pared celular se degradan a distinta velocidad. La lignina es muy resistente y, es probable, que se mantenga y sea liberada al agua cuando se hayan acabado el resto de componentes. Estos productos de la descomposición de la paja son probablemente transformados por la actividad de los enzimas bacterianos y fúngicos antes de ser liberados al agua. Esta mezcla de compuestos es transformada en ácidos húmicos y fúlvicos.
4. Estas sustancias húmicas son más conocidas como Carbono Orgánico Disuelto (COD). El COD es un componente natural de muchos ecosistemas acuáticos, tanto dulceacuícolas como marinos. Cuando la luz penetra en agua que contiene sustancias húmicas, en presencia de oxígeno disuelto se forma finalmente peróxido de hidrógeno.
5. El alto peso molecular del COD determina que absorba la energía de la luz solar y pueda transmitir esta energía a las moléculas de oxígeno disuelto. La molécula de oxígeno se vuelve inestable y se descompone en dos radicales libres de oxígeno. La vida de estos es muy corta, del orden de 1 microsegundo, pero son moléculas extremadamente reactivas. Los radicales de oxígeno libre forman radicales superóxido y éstos forman peróxido de hidrógeno en el agua. El peróxido de hidrógeno es más estable y persiste hasta unos dos días en agua dulce. La presencia de una fuente continua de las moléculas adecuadas de COD crean unas condiciones en las cuales el peróxido de hidrógeno y otros agentes oxidantes están continuamente produciéndose.
6. Una concentración de sólo 2 ppm de peróxido de hidrógeno se ha demostrado eficaz para inhibir el crecimiento de las algas. Los experimentos han demostrado que una

concentración constante de peróxido de hidrógeno en el agua puede tener un efecto muy similar sobre las algas al de la paja.

Hay varios factores que pueden afectar al rendimiento de la paja y que son consistentes con estas hipótesis. Es importante tener en cuenta estos factores para asegurar una correcta solución a los problemas de las algas.

2. VENTAJAS

- Posible control selectivo de algas, especialmente verde-azules (cianofíceas), y a un bajo costo

3. DESVENTAJAS

- Disminución de las concentraciones de oxígeno con posible afección a la biota
- Respuesta variable

4. INFORMACIÓN NECASARIA PARA UNA CORRECTA APLICACIÓN

- Composición y abundancia algal
- Datos de calidad del agua, en especial de los niveles de oxígeno
- Flujo y mezcla del lago/embalse
- La procedencia de la paja (se trata de un producto muy específico)

5. FACTORES QUE FAVORECEN LA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- Predominancia de algas verde-azules
- Para facilitar su aplicación debe tratarse de un embalse de pequeñas dimensiones
- Suficiente aeración, o flujo directo, para asegurar la mezcla y un decremento limitado de oxígeno
- Capacidad para tolerar una respuesta variable

6. APLICADO EN

- Técnica aplicada principalmente en el Reino Unido

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- © IACR - Centre for Aquatic Plant Management Jonathan Newman 2001 5th Edition
- The Practical Guide to Lake Management Massachusetts 2004

8. PÁGINAS WEB

www.mass.gov/dcr/waterSupply/lakepond/downloads/practical_guide.pdf

http://www.mundoacuafilo.org/portal/index.php?option=com_content&task=view&id=95&Itemid=71

<http://barleyworld.org/barleystraw/straw.pdf>

REFERENCIAS BÁSICAS EMPLEADAS

- “Aguas residuales: Tratamiento por humedales artificiales” Fundamentos científicos. Tecnologías. Diseño. Mariano Seoáñez Calvo
- Diagnóstico del estado trófico de los embalses de Cuerda del Pozo, Los Rábanos, San José, Aguilar de Campoo, Barrios de Luna, Burgomillado y las Vencias en el ámbito de la Confederación Hidrográfica del Duero. Infraestructura y Ecología 1999
- “El control de la eutrofización en lagos y pantanos” (Sven-Olof Ryding/Walter Rast) UNESCO 1992
- “El Filtro de Macrofitas en Flotación para la depuración de las aguas residuales y la regeneración de lagos y lagunas”. Vicente Juan Torres Junco. Marzo 2004
- “Guía de Procesos extensivos de depuración de las aguas residuales. Adaptadas a las pequeñas y medias colectividades 500-5.000 he”. Oficina Internacional del agua 2001
- “La depuración de aguas residuales urbanas de pequeñas poblaciones mediante infiltración directa en el terreno” Fundamentos y casos prácticos. IGME 2003
- “Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia”. Sara Perales Momparler PMEnginyeria, Ignacio Andrés-Doménech (Dpto Ing. Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia.
- “Nuevas tecnologías para el saneamiento, depuración y reutilización de las aguas residuales en la provincia de Alicante”. IGME 1995
- “Restauración de ríos. Guía metodológica para la elaboración de proyectos” Ministerio de Medio Ambiente. 2007
- “Sequía y medio natural” Ministerio de Medioambiente 2006
- “Sistemas urbanos de drenaje sostenible”. Daniel Castro Fresno y otros Universidad de Cantabria, España. Profesor, Universidad de Cantabria. Grupo de Investigación de Tecnología de la Construcción (GITECO)
- “Stormwater Best Management Practice Design Guide” Volume 2. “Vegetative Biofilters” EPA/600/R-04/121A
- “The Use of Best Management Practices (BMPs) in Urban Watersheds”. EPA/600/R-04/184
- © IACR - Centre for Aquatic Plant Management Jonathan Newman 2001 5th Edition

- Aplicación de técnicas de biomanipulación para la gestión de la eutrofización en las albuferas de Adra. Luís Cruz-Pizarro y otros. Instituto del Agua, Universidad de Granada
- Control intensivo de la calidad del agua en los embalses de abastecimiento de la C.H.Guadiana. Verano de 2005
- Curso sobre: "Limnología aplicada: Embalses, lagunas y ríos". CEDEX 2007
- Guidelines of lakes management Vol9. ILEC 1999
- Humedales de flujo subsuperficial (EPA 832-F-00-023) y Humedales de flujo libre superficial (EPA 832-F-00-024)
- Manual de fitodepuración, filtros de macrofitas en flotación. Proyecto LIFE
- Olem, H. and G. Flock, eds. 1990. Lake and Reservoir Restoration Guidance Manual. 2nd edition. EPA 440/4-90-006.
- The Practical Guide to Lake Management Massachusetts 2004
- Protección y restauración del Lago del Parque General Belgrano. Mg. Qca. Luís A Kieffer, Ing. Federico Emiliani, M.Sc. María O. García de Emiliani 2002-2005. Aplicaciones de Ingeniería Química del Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química - INTEC (CONICET- UNL). Argentina
- "Experience in the treatment of sediments in irrigations channels through. Biorremediation" CH. Júcar 2007

DIRECCIONES WEB

http://ab.dip-caceres.org/alcantara/alcantara_online/55/55_005.htm
<http://aguas.igme.es/igme/homec.htm>
http://aguas.igme.es/igme/publica/depuracion_aresidual/indice.htm
<http://www.arc-cat.net/es/altres/purins/guia.html>
<http://www.atlantiscorp.com.au>
<http://barleyworld.org/barleystraw/straw.pdf>
<http://ecosystemconsulting.com/products.htm>
<http://lakes.chebucto.org/biomanip.html>
<http://nepis.epa.gov/EPA/html/Pubs/pubtitleOAR.htm>
<http://www.airation.com/>
http://www.airmasteraerator.com/index_es.html
http://www.almediam.org/articulos/articulos_132.htm
<http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/cd26/004200.pdf>
<http://www.comercialdeacuicultura.com/>
<http://www.controlydosificacion.com/tisu-sistema-integrado-ultrasonidos-p-98.html>
<http://www.csdwand.net/data/sheet.asp?cn = Spain&fn = LA1831>
<http://depuranat.itccanarias.org/>
<http://www.dredge.com/espanol/espanol.htm>
<http://www.dredgesource.com/>
<http://www.ecy.wa.gov/programs/wq/plants/algae/lakes/ControlOptions.html>
<http://www.epa.gov/nrmrl/pubs/600r04121/600r04121a.pdf>
http://www.epa.gov/owm/septic/pubs/cs_00_023.pdf
http://www.epa.gov/owm/septic/pubs/cs_00_024.pdf
<http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/pubs/600r04184/600r04184.htm>
<http://www.floatingislandinternational.com/>
<http://www.greenworks.tv/stormwater/vegetatedswales.htm>
<http://www.ilec.or.jp/>
<http://www.imsdredge.com/products/versidredge/spanish-dredges/main-sp.html>
<http://www.lenntech.com/espanol/Eutrofication-de-las-aguas/radiacion%20ultrasonica.htm>
<http://www.macrofitas.com>
<http://www.macrophytes.info/>

http://www.mass.gov/dcr/waterSupply/lakepond/downloads/practical_guide.pdf
http://www.mma.es/secciones/acm/aguas_continent_zonas_asoc/ons/noticias_notaspre/pdf/cap_8.pdf
http://www.nalms.org/Resources/PDF/nalms_position_2_alum.pdf
<http://www.navarraagraria.com/n141/arinsta.pdf>
http://www.mundoacuafilo.org/portal/index.php?option=com_content&task=view&id=95&Itemid=71
<http://www.oieau.fr/eaudoc/pdf/Guide%20Espagnol.pdf>
<http://www.phoslock.com.au/about.php>
<http://www.phoslock.com.au/Alum%20and%20Phoslock%20Comparison.pdf>
<http://www.restauracionderios.org/>
<http://www.searsa.es/html/tratamientosterciarios.htm>
<http://www.sonicsolutionsllc.com/>
<http://www.teemarkcorp.com/sweetwater/index.html>
<http://www.toscano.es/>
<http://www.trimmor.com/>