

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA
ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA
GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR DE GANDIA

Problems of eutrophication of surface waters in relation to agriculture

**TRABAJO FINAL DE
GRADO**

Autor/a:
Ana Mateu Cuenca

Tutor/a:
Ing. Petra Oppeltová, Ph.D. -
Mendel University in Brno

GANDIA, 2016

Mendelova univerzita v Brně

Agronomická fakulta

Ústav aplikované ekologie



Eutrofización en aguas superficiales.

Bakalářská práce

Vedoucí práce:

Ing. Petra Oppeltová

Ana Mateu cuenca

Brno 2016

Vypracoval:

1. Introducción.....	4
2. Contaminación hídrica:.....	5
2.1 Principales contaminantes.....	5
2.2 Fuentes de contaminantes y efectos.....	6
3. Definición de eutrofización y descripción del proceso.....	10
4. Descripción del medio.....	18
4.1 Embalses artificiales y lago naturales.....	18
4.2 Diferencias como ecosistemas.....	19
4.3 Zonas diferenciadas de un embalse.....	20
5. Causas de la eutrofización (factores y procesos).....	21
5.1 Compuestos nitrogenados.....	22
5.2 Compuestos fosforados.....	22
5.3 Calidad del agua. Parámetros a tener en cuenta.....	23
✓ Físicos	
✓ Químicos	
✓ Biológicos	
6. Efectos del incremento de nutrientes.....	26
6.1 Generales.....	26
6.2 Productores primarios	27
6.3 Consumidores primarios.....	28
6.4 Ambiente fisicoquímico del agua y sedimento.....	28
7. Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia.....	29
7.1 Prevención y restauración.....	29
7.2 Manejo y rehabilitación.....	29
8. Legislación europea.....	31
8.1 Directiva marco sobre la calidad ambiental de aguas superficiales.....	31
8.2 Contaminación de suelos y aguas por nitratos.....	34
9. corrección de la eutrofia.....	36
10. conclusiones	38
11. bibliografía.....	40

1. introducción:

El agua es utilizada como elemento esencial en la dieta de todo ser vivo, sin ella no se podrían mantener la mayoría con vida. Puede ofrecer grandes beneficios o ser utilizado para transmisión de enfermedades y otros problemas.

La contaminación hídrica se puede producir a través de métodos directos o indirectos de sustancias en los tres estados, así también como de energía calórica u otros. Estas transmisiones pueden causar daños en organismos del medio acuático y también siendo representación para la salud de las personas.

La disminución de calidad del agua, es una amenaza para las especies que se encuentran en el hábitat de este recurso.

Las principales fuentes son la agricultura, industria, residuos sanitarios o desechos sólidos. Mientras que los principales generadores son la falta de conciencia por seres humanos que contaminan continuamente el agua, por la lluvia ácida y todas sus causas o los derrames de petróleo, basura, vertido de residuos nucleares.

Una de las consecuencias de la contaminación hídrica. Las algas son organismos que realizan la fotosíntesis en el agua. Algunas de ellas son procariotas y otras eucariotas.

Si un agua se enriquece con nutrientes inorgánicos producirán el conocido efecto de eutrofización, efecto con impactos muy importantes sobre la proliferación de algas, el crecimiento en exceso de macrofitas en el agua y disminución de la concentración de oxígeno disuelto en las aguas.

Por otra parte sobre el hombre puede tener consecuencias como la disminución de calidad del agua, impactos visuales, problemas en barcos y navegación o extinción de algunos organismos consumidores de oxígeno que residen en el agua.

Para dicho problema es necesario en parte soluciones a dicha eutrofización de aguas como por ejemplo limitación de nutrientes en el agua, filtración de algas, radiación ultrasónica...

2. Contaminación hídrica :

Según la bioenciclopedia a través de un artículo sobre la contaminación hídrica, toda masa de agua puede verse influenciada por diferentes tipos de contaminantes dando paso a la contaminación hídrica, haciendo que sea un factor que afecte de manera negativa a los seres vivos por su continente de sustancias negativas para la salud y medio ambiente.

Este tipo de contaminación puede deberse a factores directos o indirectos, puntuales o no puntuales (los puntuales se encuentran controlados y regulados en países de occidente, mientras que los no puntuales son muy difíciles de controlar y por tanto siendo un grave problema) produciendo en el agua cambios de color e incluso de olor, por otra parte, hay veces que es difícil de detectar.

2.1 Principales contaminantes.

Según Greene (2009) Los principales contaminantes que afectan el agua se pueden encontrar mediante una clasificación de nueve grupos:

- a) Microorganismos patógenos → Bacterias, virus, protozoos y otros organismos que pueden transmitir enfermedades como tifus, cólera, gastroenteritis... Llegan al agua en forma de heces y otros microorganismos. Su índice de medición es el número de bacterias coliformes en el agua que debe ser según la OMS (Organización Mundial de la Salud) 0 colonias/100 mL. de agua.
- b) Desechos orgánicos → residuos orgánicos (incluye heces y materiales en descomposición por bacterias aeróbicas) procedentes de humanos, ganado... al encontrarse en exceso, las bacterias consumen todo el oxígeno produciendo muerte de todo ser vivo en el agua, por su déficit de oxígeno. Los índices de medición son OD (Oxígeno Disuelto) y DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) en agua.
- c) Compuestos orgánicos → moléculas orgánicas (petróleo, plaguicidas, disolventes...) terminan su recorrido en el agua en largos periodos de tiempo puesto que tienen estructuras moleculares complejas de alta dificultad para su degradación por parte de los microorganismos.
- d) Sustancias químicas inorgánicas → ácidos, sales y metales tóxicos que pueden causar daños en seres vivos, bajo rendimiento agrícola y corrosión de materiales de trabajo en el agua.

- e) Sedimentos y materiales suspendidos → partículas del suelo y otros materiales en suspensión en las aguas son una de las mayores fuentes de contaminación de agua. La turbidez hace difícil la vida en ella, mientras que los sedimentos se van acumulando en sitios clave para los peces, rellenando y obstruyendo lagos, canales...
- f) Sustancias radioactivas → isótopos radioactivos solubles, se pueden ir acumulando en la cadena trófica pudiendo alcanzar niveles altísimos.
- g) Contaminación térmica → la liberación de las centrales e industrias de agua con altas temperaturas disminuyen el contenido en oxígeno y afecta a la vida de organismos en el agua
- h) Nutrientes vegetales inorgánicos → (Nitratos y Fosfatos), solubles en agua, necesarias para las plantas, un alto contenido en el agua puede producir una proliferación excesiva de algas produciendo así mismo la eutrofización de aguas. En morir estas algas, son descompuestas por los microorganismos consumiendo todo el oxígeno y eliminando la vida de otros seres vivos. Por otra parte, también produce agua con olor fuerte y desagradable y dejando esta agua fuera de un posible uso.

2.2 Fuentes de contaminantes y efectos

Sanchón MV nombra las diferentes procedencias, descripción del modo de actuación de la fuente contaminante y que tipo de contaminantes aportan a la masa de agua (Tab.1).

Tabla 1: clases de contaminación, descripción y aporte de contaminantes de procedencia antropogenica. Fuente: anónima.

Procedencia	Descripción	Contaminantes
Agricultura	Escorrentía de actividades agrícolas, contaminando aguas superficiales y subterráneas. El lavado y manipulación de la agricultura es el mayor factor afectante. El agua contiene: sales, nutrientes y plaguicidas. Su drenaje aporta lixiviados (nitratos) a las aguas superficiales.	Fósforo, nitrógeno, metales, agentes, patógenos, sedimentos, plaguicidas, sales, DBO ¹ y oligoelementos
Silvicultura	Afecta a la escorrentía de tierras alteradas	Sedimentos y plaguicidas
vertidos urbanos e industrias	Sobrecarga de las aguas procedentes de centros de depuración, escorrentías. En industrias, la descarga de desechos en drenes para aguas torrenciales. Aumento de contaminación superficial y subterránea	Fertilizantes, grasas, materia fecal, gents patógenos, plaguicidas, nutrientes, sales, sedimentos, DBO, DQO ² , contaminantes orgánicos (HAP ³ y BCP ⁴), alteración del pH, calor, nitratos, sulfuros...
Residuales	Sobrecarga de sistemas técnicos, escorrentía e infiltración de aguas subterráneas. Aporte de lixiviados y gases	Fosforo, nitrógeno, agentes patógenos, metales,
Deposición atmosférica	Transporte a largas distancias a tierra y superficies acuáticas.	Nutrientes, metales, contaminantes orgánicos

DBO¹(Demanda Biológica de Oxígeno): mide el oxígeno disuelto en el agua utilizado por los microorganismos. Se mide en periodos de 5 días y compara con el valor obtenido al principio. En aguas naturales su valor está por debajo de los 5 mg/100 mL.

DQO²(Demanda Química de Oxígeno): mide el oxígeno disuelto en el agua utilizado por un agente químico. Mide la cantidad de materia orgánica

HAP³: Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos

BCP⁴: Bifenilos Clorados Policíclicos

Otros parámetros y consideraciones a tener en cuenta son:

- COT (Carbono Orgánico Total): mide la cantidad de carbono presente en el agua
- Con DQO y COT tienen altos valores se ve que hay baja cantidad de compuestos orgánicos (aumento de energía disponible para utilizar los microorganismos al eutrofizar el agua, y bajo valor de oxígeno), por lo contrario, si el valor es algo quiere decir que los compuestos orgánicos están oxidados y por tanto hay baja energía disponible para los microorganismos
- Un parámetro también a tener en cuenta muy importante es la relación DBO/DQO, donde si tiene alto valor será resultado de una gran proporción de material biodegradable (altos valores de oxígeno disponibles), mientras que si es baja nos encontraremos con una baja proporción de materia biodegradable y como consecuencia poco oxígeno disponible en las aguas.
- pH: el pH de las aguas naturales se encuentra entre los valores 7 y 9
- concentración de sales (por ejemplo el ácido nítrico)

A través de la contaminación de aguas podemos encontrar enfermedades como las citadas en la siguiente tabla (Tab. 2)

Tabla2: enfermedades que se pueden contagiar a través de la contaminación hidrológica.
Fuente: <http://ocw.unican.es/ciencias-de-la-salud>

Microorganismo	Enfermedad	Síntomas
Bacterias	Cólera	Diarreas y vómitos intensos. Deshidratación. Frecuentemente es mortal si no se trata adecuadamente
Bacterias	Tifus	Fiebres. Diarreas y vómitos. Inflamación del bazo y del intestino
Bacterias	Disentería	Diarrea. Raramente es mortal en adultos, pero produce la muerte de muchos niños en países poco desarrollados
bacterias	Gastroenteritis	Náuseas y vómitos. Dolor en el digestivo. Poco riesgo de muerte
Virus	Hepatitis	Inflamación del hígado e ictericia. Puede causar daños permanentes en el hígado
Virus	Poliomelitis	Dolores musculares intensos.

		Debilidad. Temblores. Parálisis. Puede ser mortal
protozoos	Disentería amebiana	Diarrea severa, escalofríos y fiebre. Puede ser grave si no se trata
gusanos	esquistosomiasis	Anemia y fatiga continuas

A continuación se expone una tabla sobre los parámetros a tener en cuenta en el agua y los valores establecidos como óptimos y a partir de donde se consideran como valores peligrosos.

Tabla3: parámetros a tener en cuenta y valores establecidos.

parámetros	Valores
pH	6.5-9.0
Turbidez	<100 NTU (Unidades Nefelométricas de turbidez)
cloruros	<0.005 mg/L
Arsénico	<0.1
Cadmio(metal muy toxico)	<0.01 mg/L
Cobre	<1 mg/L
Cromo total	<0.5 mg/L
Mercurio (metal muy toxico)	<0.002 mg/L
Níquel	<0.2 mg/L
Plomo (metal muy toxico)	<0.05 mg/L

Los contaminantes de procedencia antropogénica más importantes que afectan en mayor parte a la eutrofización son la industria (principal problema en países en desarrollo aunque muchas de estas tienen complejos sistemas de depuración) por su aporte sobretodo de nitritos, fosfatos...

Por otra parte también tenemos en la lista los vertidos urbanos que produce residuos orgánicos a sistemas de alcantarillado arrastrando con el también emisiones de automóviles, sales ácidos... algunas directivas de tratamiento de Aguas Residuales Urbanas obligan a tomar medidas de recogida adecuada de vertidos. Obligatoriedad de construcción de depuradoras en municipios que produce una considerable disminución de la contaminación hídrica.

Finalmente, dentro del listado de actividades antropogénicas más peligrosas se encuentra la agricultura y ganadería con el aporte de fertilizantes, restos orgánicos procedentes de los animales y plantas. Actividad con difícil control y depuración. Algunas legislaciones insisten en los vertidos de nitratos procedentes de la actividad agraria y con lo cual considerándolos zonas vulnerables, estos aportes de nitratos afectan a lagos, embalses y ecosistemas acuáticos dando origen a un estado eutrófico y peligroso

3. Definición de eutrofización y descripción del proceso

.La eutrofización puede tener origen natural y/o antropogénico causado por el sobre aporte de nutrientes al agua de manera que la descomposición de esta materia orgánica en exceso causa un descenso de los niveles de oxígeno en el agua. Sus efectos en las aguas eutrofizadas son alta productividad de biomasa (proliferación de algas e intenso crecimiento de plantas acuáticas por el aumento en la fotosíntesis y descenso en profundidad en la columna de agua). (Margafel, 1991)

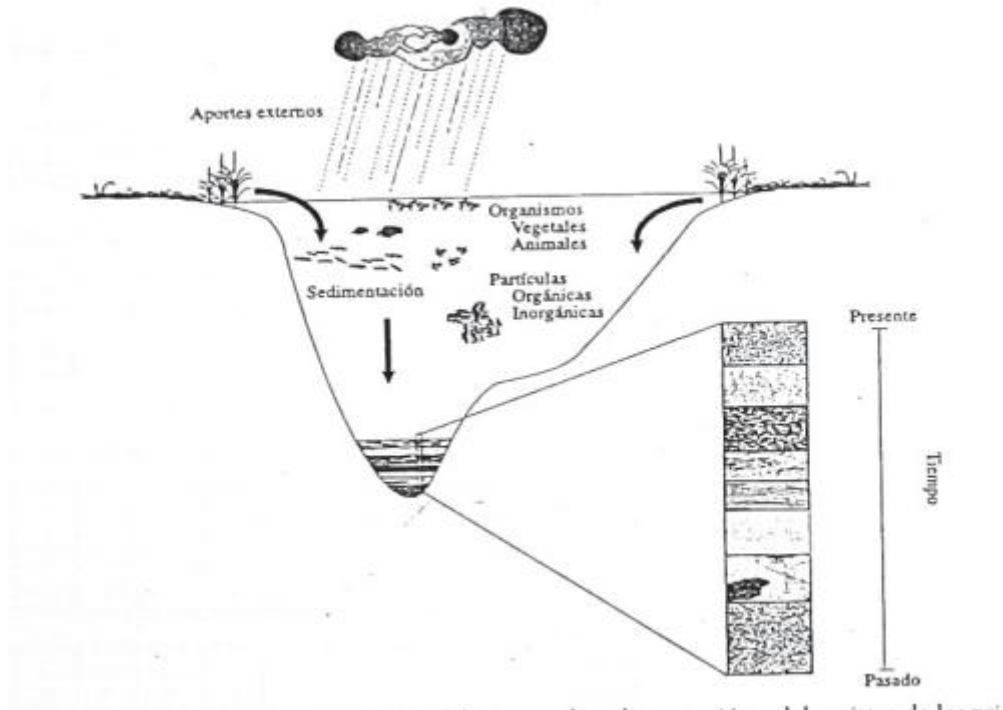
El proceso de eutrofización puede ser natural pero las causas antropogénicas causada por desperdicios orgánicos y/o nutrientes

Situación importante para los diferentes usos de los recursos acuáticos (abastecimiento de agua potable, riego...). Estas aguas por tanto estarán sujetas a restricciones mayores que aguas oligotróficas. También debe verse que hay un crecimiento de productividad trófica en la eutrofización que puede llegar a ser positiva según los aspectos a tener en cuenta.

Si comparamos aguas oligotróficas con aguas tróficas, podemos ver que por un lado, las aguas oligotróficas tienen concentraciones bajas de nutrientes en la columna de agua, y además de baja productividad primaria y de biomas y alta riqueza de flora y fauna; por otro lado, las aguas eutróficas se caracterizan por altos niveles de productividad y biomasa trófica, proliferación de cianobacterias.

En aguas profundas anoxicas (hipolimnion) en periodos de estratificación térmica tienen baja diversidad y alto crecimiento de plantas acuáticas en zona de litoral además de una baja calidad de agua haciendo restricciones de su uso. Los niveles altos de nitrógeno no solo son malos en agua sino también para la salud humana puesto que se ven afectados por el suministro de aguas potables, usos industriales, de riego u otros usos.

A continuación se presenta la Figura 1 donde explica todo el sistema de un lago y su ecosistema.



Figural : representación esquemática del proceso de sedimentación y del registro de las principales características del cuerpo del agua en la sedimentación. Fuente: Sharf et al. 1992

En la siguiente imagen se definen los parámetros y los criterios de los cuatro estados tróficos que podemos encontrar:

- ✓ Oligotrófico: bajo nivel de producción biológica. Agua clara, algunas plantas acuáticas, pocos peces, baja cantidad de flora, fauna y fondo arenosos. Criterios a tener en cuenta: clorofila a (clof. A) menos de $3 \mu/L$, fósforo (P_1) menor a $15 \mu/L$, nitrógeno total (N_1) menos que $400 \mu/L$ y claridad del agua (D_1) $4m$.
- ✓ Mesotrófico: moderado nivel de productividad, claridad de agua y plantas acuáticas. Criterios: clof. A entre $3-7 \mu/L$, P_1 entre $15-25 \mu/L$, N_1 entre $400-600 \mu/L$ y D_1 entre $2.5-4 m$
- ✓ Eutrófico: alto nivel de productividad, claridad del agua y buena cantidad de plantas acuáticas o poca cantidad del agua y pocas plantas acuáticas. Gran potencial para soportar la gran cantidad de peces y vida silvestre. Criterios: clof. A entre $7-40 \mu/L$, P_1 entre $25-100 \mu/L$, N_1 entre $600-1500 \mu/L$ y D_1 entre $0.9-2.5 m$.

- ✓ **Hipertrófico:** altos niveles de productividad biológica, muy pobre claridad de agua y abundancia de plantas acuáticas y potencial para soportar la gran cantidad de peces y vida silvestre. Criterios: $\text{Clf. A} > 40 \mu\text{L}$, $\text{P}_1 > 100 \mu\text{L}$, $\text{N}_1 > 1500 \mu\text{L}$ y $\text{D}_1 < 0.9 \text{ m}$. A continuación vemos una imagen donde se explica según el grado de eutrofización el estado del lago y la vida que se encuentra en el.

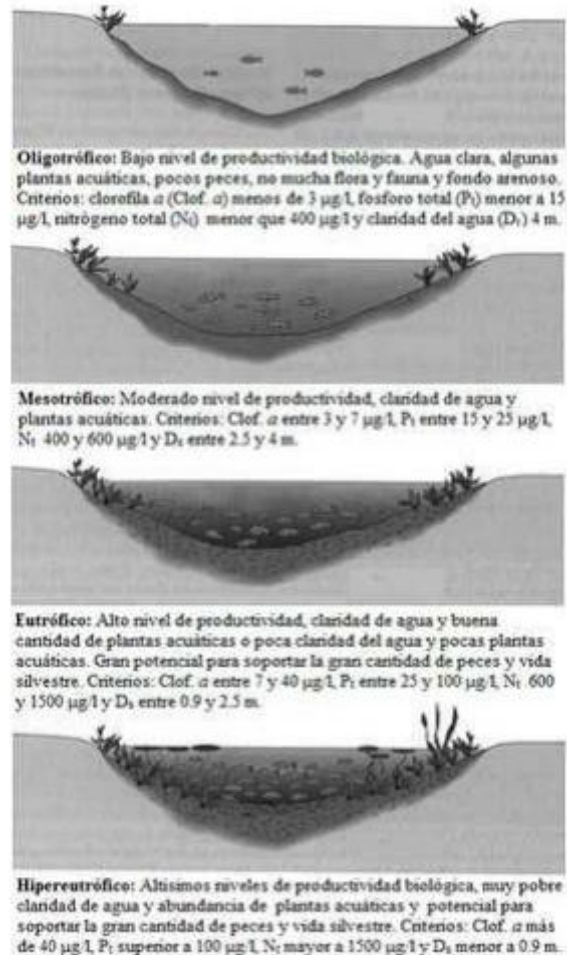


Figura2: criterios para definir los cuatro estados tróficos. Fuente=florida LAKEWATCH (2010)

A continuación se presentan dos tablas, en la tabla 4 se comparan la cantidad de fósforo y clorofila según el grado de eutrofia que se encuentre en el lago. Y por otra parte podemos ver en la tabla 5 la comparación del estado de agua y las características que se encuentran según la escala de TRIX aumenta.

Tabla4 : distribución de porcentajes de fosforo y clorofila a dentro de los distintos estados tróficos. Fuente: Janus y Vollenweider. 1981

Estado	Fosforo (%)	Clorofila (%)
Ultra-oligotrófico	10	6
Oligotrófico	63	49
Meso trófico	26	42
Eutrófico	1	3
hipertrófico	0	0
	100	100

Tabla5: índice del estado de TRIX y calidad del agua. Fuente: vollenweider et al. (1998)

Escala TRIX	Estado de la calidad del agua	Características del agua
2-4	Alta	Pobremente productiva, nivel trófico bajo
4-5	Buena	Moderadamente productivo, nivel trófico medio
5-6	Mala	Entre moderada y alta en cuanto a productividad
6-8	pobre	Altamente productiva, nivel trófico el más alto.

$$TRIX = \frac{[Log_{10}((Clorfa) \times | \%O_d| \times NID \times PRS) + K]}{m}$$

TRIX:

Formula1: índice multivariado denominado índice del estado trófico TRIX propuesto por Vollenweider et al. (1998).

Donde:

- a) Factores de productividad
 - Clorof. a = concentración de clorofila a $\mu\text{g L}^{-1}$
 - $|\%O_d|$ = valor absoluto de la desviación del por ciento de saturación de oxígeno disuelto, es decir $[100 - \%O_d]$
- b) Factores nutricionales
 - NID = Nitrógeno Inorgánico Disuelto N como: $[\text{N} - \text{NO}_3 + \text{N} - \text{NO}_2 + \text{N} - \text{NH}_4]$, en $(\mu\text{g N L}^{-1})$
 - PRS = Fosforo reactivo soluble $(\mu\text{g P L}^{-1})$

A continuación definimos el Índice de Estado Trófico (IET o TSI):

Según Carlson (1977) propuso el TSI como uno de los más utilizados entre 0 y 100 (de oligotrófico a hipertrófico). Su cálculo se obtiene a través de la transparencia con el disco de Secchi (DS). Por ejemplo, un valor de TSI = 0 corresponde a una profundidad de DS 64m. y conforme va subiendo 10 m. en TSI representa una reducción del 50% (ver en la siguiente tabla). También se puede determinar mediante la concentración de clorofila a, y el fosforo total, parámetros relacionados con la transparencia. Las formulas de la siguiente tabla corresponden a la propuesta de Carlson (1977) y modificadas por Aizaki et al (1981) a la mismo.

En la tabla 6 comparamos los valores de eutrofización con la claridad del agua $D_a(\text{m})$, el fosforo total $P_t(\text{mg/m}^3)$ y la clorofila A. Clorof. A (mg/m^3) con el estado trófico que se encuentran y sus efectos que comportan al agua. En la tabla 7 se indica cómo realizar los cálculos de los parámetros antes citados según dos métodos diferentes, Carlson y Aizaki

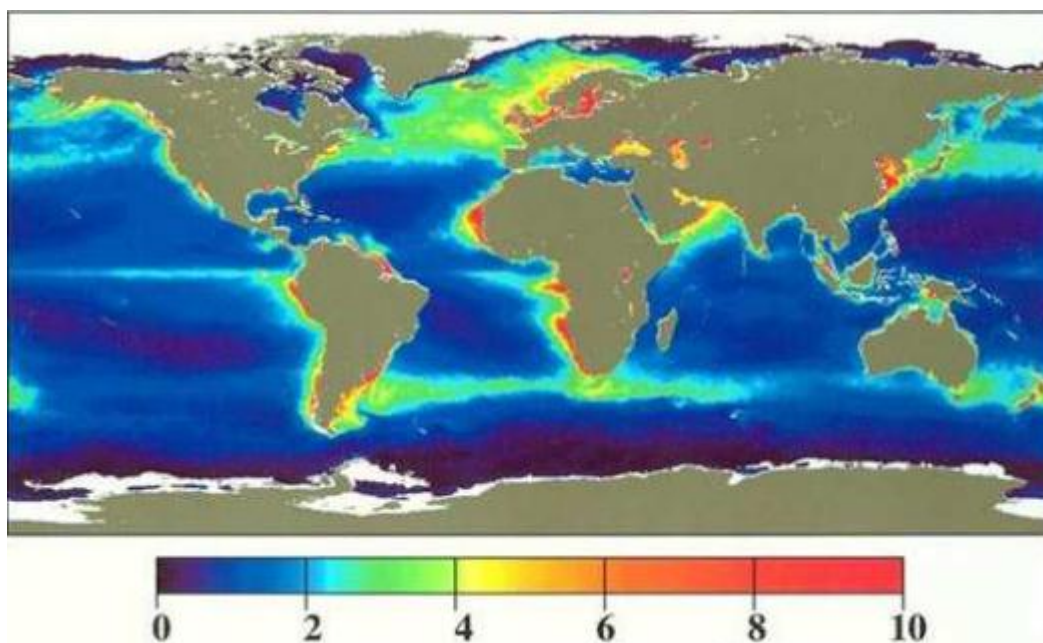
Tabla6: escala de valores del estado trófico en los cuerpos de agua. Fuente: Modificado de Carlson (1977; 1980)

TSI	$D_a(\text{m})$	$P_t(\text{mg/m}^3)$	Clorof. A (mg/m^3)	Estado trófico y características
0	64	0.75	0.04	Oligotrófico: aguas claras, buena oxigenación en todo el año en el hipolimnion
10	32	1.5	0.12	
20	16	3	0.34	
30	8	6	0.94	
40	4	12	2.6	Oligotróficos con periodos de anoxia en el fondo.
50	2	24	6.4	Meso trófico: aguas moderadamente claras, mayor probabilidad de

60	1	48	20	anoxia, turbidez y problemas de olores. Eutrófico: cianobacterias, proliferación de microfitos y espumas de algas.
70	0.50	96	56	Hipertrófico: mayor densidad de algas y macrófitas.
80	0.25	192	154	
90	0.12	384	427	Espumas de algas y reducción de diversidad de macrófitas.
100	0.06	768	1183	
		$TSI_{ps}/2$	$2 \times TSI_{Pt}$	$\sqrt{7.8 TSI_{clorof. a}}$

Tabla7: fórmulas para el cálculo de estimación del estado trófico aplicando los indicadores de eutrofia. FUENTE: Modificado de Carlson (1977; 1980) y Aizaki et al. (1981)

Parámetros de eutrofización	Carlson (1977;1980)	Aizaki et al.
Claridad del agua $D_a(m)$	$TSI_{Ds} = 60 - 14.41 \ln(Ds)$	$TSI_{DS} = 10 \times (2.46 + (3.76 - 1.57 \ln(Ds) / \ln 2.5))$
Fosforo total $P_t (mg/m^3)$	$TSI_{Pt} = 14.42 \ln(P_t) + 4.15$	$TSI_{pt} = 10 \times (2.46 + (6.68 - 1.15 \ln(P_t) / \ln 2.5))$
Clorofila a Clorof. A (mg/m^3)	$TSI_{Clorfa} = 9.81 \ln(Clorfa) + 30.6$	$TSI_{Clorfa} = 10 \times (2.46 + (\ln(Clorfa) / \ln 2.5))$



PRODUCTIVIDAD PRIMARIA ($10^2 \text{ g C m}^{-2} \text{ año}^{-1}$)

Figura3: variación de la productividad primaria en océanos. Fuente: anónima.

La eutrofización puede estar afectada e influenciada por diferentes factores como el clima, el cauda, área de drenaje o la geología, según estos factores influenciara de una manera u otra con el lago y el grado de eutrofización, en la tabla 8 que vemos a continuación se ve reflejado los factores y cómo influye.

Tabla 8: factores que influyen en la eutrofización

Factores	Descripción
Clima	Los climas cálidos aumentan el rendimiento del proceso
Bajo caudal y poca profundidad	Principios en el desarrollo de la eutrofización
Área de drenaje	Baja cubierta arbórea y abundantes precipitaciones hacen que aumenta la erosión y arrastre de nutrientes hacia el agua.
Geología	En lugares con alto contenido de rocas sedimentarias aportan fosforo a la escorrentía. Suelos arcillosos drenan poco y favorecen la escorrentía y el aporte de nutrientes al agua.

Un disco Secchi o disco de Secchi es un instrumento de medición de la penetración luminosa, y por ello de la turbidez, en masas de agua como ríos, lagos y mares.

En la tabla 9 se compara el grado de eutrofización con la clorofila y las mediciones obtenidas con el disco de Secchi

Tabla 9: valores límite de la OCDE para un sistema concreto de clasificación trófica FUENTE: (modificado de OCDE, 1992)

Categoría trófica	TP	Chl media	Chl máxima	Media de Secchi	Mínimo de Secchi
Ultraoligotrófico	<4.0	<1.0	<2.5	>12.0	>6.0
Oligotrófico	<10.0	<2.5	<8.0	>6.0	>3.0
Mesotrófico	10-35	2.5-8	5-25	6-3	3-15
eutrófico	35-100	8-25	25-75	3-1.5	1.5-0.7
Hipertrófico	>100	>25	>75	<1.5	<0.7

TP: media anual de la concentración de fosforo total en el lago ($\mu\text{g/L}$)

Chl media: media anual de la concentración de clorofila a en aguas superficiales ($\mu\text{g/L}$)

Chl máxima: pico anual de la concentración de clorofila a en aguas superficiales ($\mu\text{g/L}$)

Media de Secchi: media anual de transparencia de la profundidad de Secchi (m)

Mínimo de Secchi: mínimo anual de transparencia de la profundidad de Secchi (m)

La siguiente tabla(tab10) que podemos ver se comparan los diferentes parámetros característicos de un sistema acuático, como por ejemplo el oxígeno disuelto, nutrientes, transparencia... entre un sistema oligotrófico y uno eutrófico.

Tabla10 : características de un lago dependiendo de su estado trófico.

FACTOR	S. OLIGOTROFICO	S. EUTROFICO
NUTRIENTES	Bajas concentraciones; dinámica baja	Altas concentraciones; dinámica rápida
OXIGENO DISUELTO	Baja fluctuación día/noche, alta disponibilidad (en superficie y en fondo)	Gran fluctuación día/noche; alta disponibilidad en superficie y anoxia en el fondo
COMUNIDADES	Baja biomasa; alta diversidad	Alta biomasa; baja diversidad
TRANSPARENCIA	Alta; zona eufótica profunda	Baja; zona eufótica superficial
MORFOMETRIA	Poca intervención (generalmente son cuerpos de agua de alta montaña)	Alta influencia antrópica; lagos poco profundos en zonas cálidas o templadas
APARIENCIA	Aguas claras y limpias, no se observan grandes masas de microalgas o vegetación acuática	Aguas con tonos de color verde o amarillo, densa vegetación acuática flotante o sumergida

4. DESCRIPCION DEL MEDIO

4.1 embalses artificiales y lagos naturales

La forma de la cubeta, profundidad y punto de desagüe tiene una gran importancia puesto que determina el tipo de mezcla que vamos a encontrar a lo largo de la columna de agua, el viento y la radiación solar también son los que determinaran la mezcla en un lago, en cambio en un embalse también vemos la actuación de una corriente horizontal desde la entrada del rio hasta la salida de un embalse.



Figura4: lago natural. Fuente : <http://www.camping.it/>



Figura5: embalse artificial. Fuente: <http://www.cronicadelquindio.com/>

4.2 diferencias como ecosistemas

Podemos encontrar tres diferencias como ecosistemas entre un embalse y un lago (Fig. 6):

- ✓ Aguas abiertas o zona limnetica: en el centro del cuerpo de agua hasta la profundidad donde se produce el proceso de mezcla.
- ✓ Zona litoral: desde la zona de ribera de agua somera y parte del fondo, vemos proliferación de plantas y depósitos orgánicos.
- ✓ Zona béntica: correspondiente a la zona profunda o fondo del cuerpo de agua donde no llega la radiación solar.

La estratificación en meses estivales es predominante. En las capas superiores vemos actividad primaria debida al proceso fotosintético en la zona eufótica o epilimnion. En cuanto se baja en profundidad se disminuye la temperatura y se encuentra una termoclina, la zona de transición es llamada metalimnion conecta la capa profunda donde no llega la luz solar (hipolimnion)(UNEP-IETC,.2001)

Según <http://www.produccionanimal.com.ar/> (figura 6)

- **Epilimnion**, aguas superficiales, de menor densidad, con circulación permanente y turbulenta.
- **Metalimnion**, zona de cambio rápido de temperatura que tiene diferencias de más de un grado térmico en un metro de profundidad y donde se presentan las termoclinas.
- **Hipolimnion**, zona de aguas profundas y con temperaturas frías y densas. Durante el otoño, las aguas superficiales se enfrían hasta homogenizar la temperatura y densidad de toda la columna de agua. Durante el período invernal las aguas superficiales se enfrían en algunos casos puede desarrollarse una capa de hielo (0°C). Esta agua son menos densas que las que están a una mayor profundidad (4°C). Al inicio de la primavera, comienza el calentamiento térmico y las aguas se homogenizan en toda la columna de agua, recirculando el agua del sistema.



Figura 6: esquema de las zonas de un cuerpo de agua en sistema lentic. Fuente: margalef R.,1983

4.3 zonas diferenciadas de un embalse

En el caso del embalse se encuentran tres zonas diferenciadas.

- ✓ Zona de riberina (cola del embalse): mezcla de restos vegetales con trozos de rocas, la velocidad del flujo del sistema lotico baja con la sedimentación de materia orgánica y partículas gruesas de arena y limo del sistema lotico encontrado. zona poco profunda, alta oxigenación, alta turbidez que dificulta la vida de algas (y con ello la fotosíntesis)
- ✓ Zona de transición (zona mediana del embalse): se ven zonas de sedimentación de arcillas y limos gruesos, aparición de anoxia por el alto consumo de oxígeno de la degradación de la materia orgánica, aparición de des nitrificación, resolubilización del hierro, manganeso y fosforo, además de liberación de ácido sulfhídrico a lo largo de la columna.
- ✓ Zona lacustre (zona de la presa): zona con mayor profundidad y organismos planctónicos, las haber mayor penetración, menor sedimentación favorecerá la fotosíntesis de las algas y productividad primaria. Limitación de nutrientes, exceso de producción de materia orgánica para favorecer la eutrofización

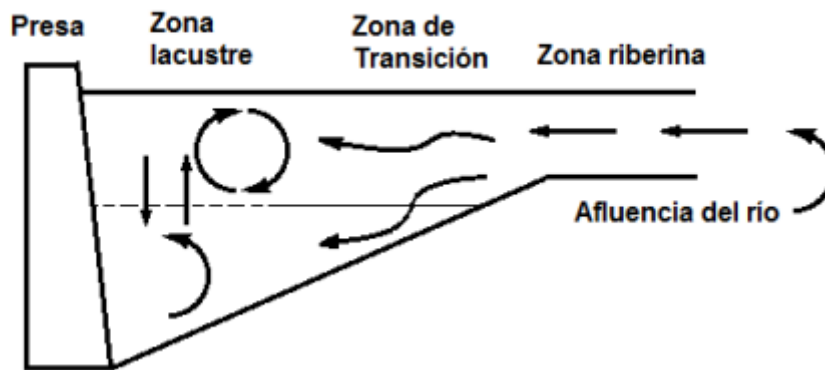


Figura7: zonas de un embalse formadas por los gradientes. Fuente: Thornton w., 1990

5. Causas de la eutrofización (factores y procesos)

La principal causa es el aumento de carga de nutrientes (fosforo y nitrógeno sobretudo) mediante diversas vías. Se puede causar por cargas externas (a partir de materiales que son transportados por precipitación y erosión en una cuenca, vertidos agrícolas, industriales y domésticos). Anualmente los ríos y otros cursos retienen nutrientes según la carga que reciben dependiendo del lecho, caudal, litología y vegetación riparia. Por otra parte, en sistemas lenticos se acumulan grandes materiales desde la cuenca generando como consecuencia un estado trófico.

El aumento de nutrientes en carga es causado por la descomposición de la M.O. en el sistema, quedando a través de diferentes procesos físico/químicos los nutrientes en el sedimento además de ser añadida biomasa vegetal y animal. El sedimento puede ser gran fuente de nutrientes actuando como trampa de nutrientes de acuerdo a condiciones Red-ox. En épocas estivales se mantienen estas condiciones (alta producción, altas cantidades de biomasa de micro algas y plantas). La principal consecuencia es el estado trófico que desencadenan variables tanto físicas, químicas como biológicas.

Nos centramos en los compuestos nitrogenados y fosfatos, puesto que son los mayores causantes de la eutrofización:

5.1 Compuestos nitrogenados (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-):

Los animales acuáticos están acostumbrados a ambientes con bajos niveles de nitrógeno inorgánico produciendo efectos en la supervivencia, y reproducción.

- ✓ Amoníaco: sus concentraciones dependen del pH y temperatura del agua. El amoníaco no ionizado es muy tóxico en las especies de peces acuáticas.
- ✓ Nitrito: ion nitrito y ácido nitroso, sus concentraciones se ven aumentadas al aumentar el pH. Contaminantes muy tóxicos en ecosistemas acuáticos, responsables de la mayor toxicidad de los animales, inhibiendo el transporte de oxígeno y provocando asfixia y muerte
- ✓ Nitratos: sus efectos son como los nitritos aunque con una mayor toxicidad, algunos crustáceos, insectos y peces son más sensibles a este contaminante. Algunos estudios de campo y laboratorio indican que el uso generalizado de fertilizantes nitrogenados (NH_4NO_3 , KNO_3 , NaNO_3) podría contribuir de manera muy significativa las poblaciones de anfibios (Sparling et al., 2000; Camargo et al., 2005).

5.2 Compuestos fosforados:

El papel del oxígeno en el hipolimnion y sus reacciones en las concentraciones de esta interfase agua-sedimento son muy importantes en la dinámica puesto que los sedimentos están interferidos por pequeños poros rellenos de agua dando lugar a esta interfase donde se intercambian elementos como el fósforo. Si dicha interfase se da en unas condiciones de anoxia se liberan los fosfatos mil veces más que los óxidos. Esta fase de intercambio de fósforo es la más importante. Las arcillas adsorben fósforo por la interacción de PO y Al. Puede ser adsorbido directamente a óxidos hidratados. Los fosfatos precipitados son controlados por pH y E. al variar las concentraciones y el pH se podrán ver diferentes tipos de compuestos metálicos de fósforo.

El fósforo orgánico que se libera por los organismos en descomposición afecta al fósforo de la interfase ya que también es alimento para los animales detritívoros, que después lo eliminarán en las primeras capas, especialmente cuando la producción de plancton es alta y se sedimenta al morir. Las algas y microfitos junto al zooplancton liberan fósforo al descomponer.

Podemos encontrar diferentes causas, primero clasificados según si son por una causa natural o por acción humana/antropogénica. Como se ve en la tabla 11.

Tabla 11: principales causas de eutrofización

Naturales	Antropogénicas
Aportes atmosféricos(mediante precipitación)	Vertidos residuales, agrícolas, urbanos y plantas de tratamiento
Re suspensión de sedimentos del canal por el paso del agua a través de él.	Fertilizantes
Liberación de sedimentos anóxicos	Tanques sépticos
Descomposición de organismos	Uso de detergentes con alto contenido en fósforo
Fijación de nitrógeno procedentes de microorganismos	Arrastre de contaminantes mediante agua de lluvia
	Sistemas de alcantarillado de municipios

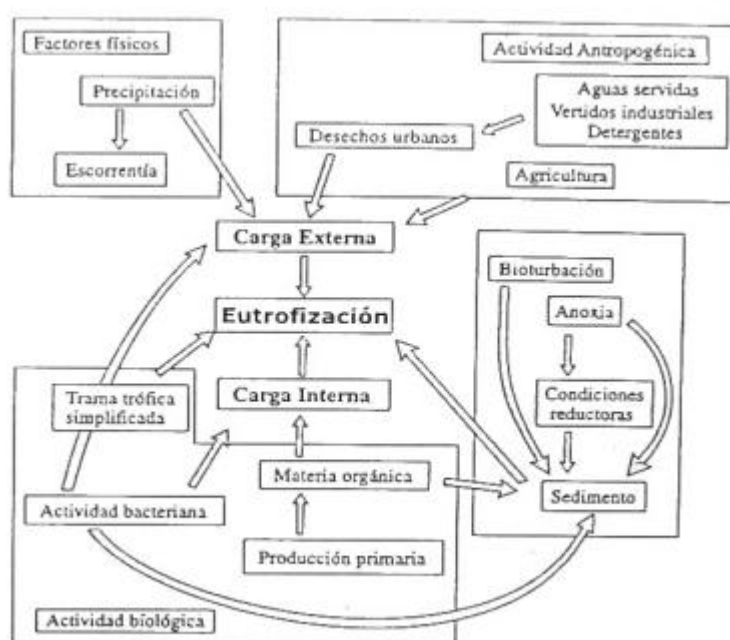


Figura 8: principales factores y procesos que desencadenan el proceso de eutrofización. Fuente: <http://imasd.fcien.edu.uy/>

5.3 La calidad de agua: parámetros a tener en cuenta.

Según Luis P. Ortega (2014) podemos observar en : CTMA. T-5. La hidrosfera: contaminación. (pág. 4)

Los parámetros a tener en cuenta en la calidad del agua dependen de que función se le va a dar a esta. Sus exigencias en calidad han ido variando con el tiempo. Los parámetros a tener en cuenta son:

✓ Parámetros físicos:

- Características organolépticas (olor, color, sabor) → incolora, inodora e insípida. Los sabores depende de los diferentes sitios de procedencia. Indica la presencia de materiales en suspensión, sustancias disueltas o incluso microorganismos.
- Temperatura optima → mayor temperatura, mayor cantidad de microorganismos y menos cantidad de gases disueltos.
- Conductividad → cantidad de iones en disolución. Con un número mayor a 0.2 g/L de carbonatos de calcio o magnesio llamamos a las aguas duras (su producción de espuma es baja, dificultan la cocción de alimentos y atascan conducciones y calderas)
- Ruido → generado por industria y navegación.
- Turbidez → causado por microorganismos en suspensión o partículas. Impide el paso de la luz a través de la columna de agua (se mide con el disco de Secchi)

✓ Parámetros químicos:

- DQO (Demanda química de oxígeno) → cuantifica la materia oxidable. Método rápido pero menos fiable puesto que oxida, con un oxidante fuerte como el permanganato potásico, tanto la M. O como la inorgánica (para aguas limpias)
- COT (Carbono Orgánico Total) → se desecan y los residuos se queman midiendo la cantidad de CO₂ que se produce, lo que nos da una idea de la cantidad de M.O. presente.
- OD (Oxígeno Disuelto) → los descomponedores consumen oxígeno por lo que su concentración nos informa de la actividad de los organismos descomponedores de la M.O. Por debajo de 4 mg/l. se consideran aguas anoxicas. Se desarrollan microorganismos anaerobios que generan residuos como metano o ácido sulfhídrico.
- Fosforo: suele verse como factor limitante en el desarrollo de microorganismos. Suele estar concentrado en el fondo de lagos y océanos, cuando se aporta al agua (en forma de

detergentes o abono) produce proliferación de microorganismos y eutrofización de las aguas.

✓ Parámetros biológicos:

Cuantifican la calidad y tipos de microorganismos que residen en las aguas. El agua potable para el consumo debería ser nulo en microorganismos patógenos (se puede encontrar la *Escherichia coli* como indicador de la contaminación por aguas fecales)

A través de los parámetros químicos y físicos se puede hacer una estimación de la cantidad de microorganismos presentes en el agua.

Por otra parte, también se pueden utilizar otros organismos superiores a modo de bioindicadores indirectos como por ejemplo larvas de insectos, peces (fig. 9)

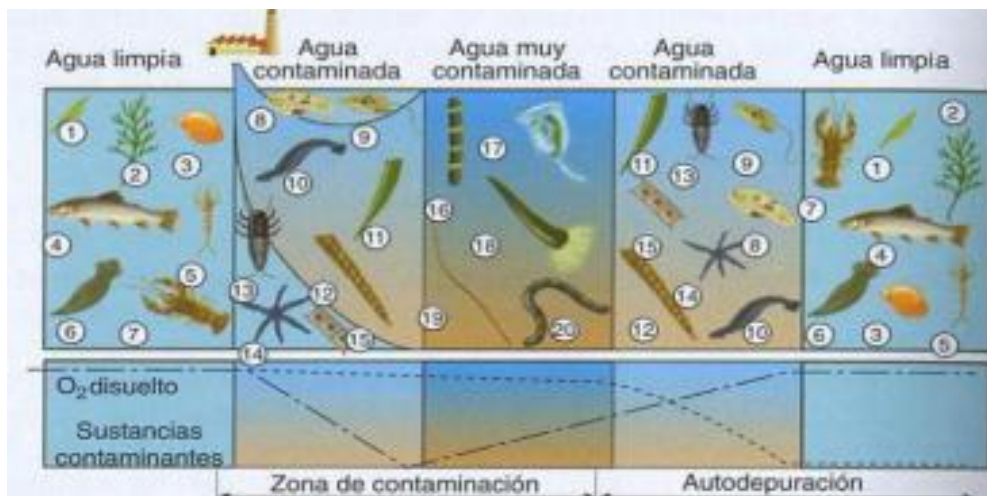


Figura9: en la imagen se pueden ver los tipos de especies según el nivel de contaminación del agua, la cantidad de O₂ disuelto según las sustancias contaminantes según también si se encuentra en zona en proceso de contaminación o en zona de proceso de autodepuración. Fuente: Luis P. Ortega (2014) podemos observar en : CTMA. T-5. La hidrosfera: contaminación. (pág. 4)

Donde :

1. Navicula (alga unicelular).
2. Fontinalis antipyretica (musgo acuático).
3. Lymnaea (molusco gasterópodo).
4. Trucha.
5. Perla (larva de insecto).
6. Planaria (gusano platelminto).
7. Cangrejo de río.
8. Paramecio (protozoo).
9. Euglena (alga unicelular).
10. Sanguijuela.
11. Closterium (alga unicelular).
12. Chironomus (larva de insecto).
13. Asellus (crustáceo).
14. Asterionella formosa (alga diatomea).
15. Spyrogira (alga filamentosa).
16. Oscillatoria putrida (cianobacteria).
17. Vorticella (protozoo).
18. Sphaerotilus natans (bacteria).
19. Tubifex (anélido).
20. Streptococcus sp. (bacteria).

Figura 10: citación de los elementos de la figura 9. Fuente: Luis P. Ortega (2014) podemos observar en : CTMA. T-5. La hidrosfera: contaminación. (pág. 4)

6. Efectos del incremento de nutrientes

Las algas que están en desarrollo en el agua liberan más oxígeno del que necesitan durante el día y absorben más dióxido de agua que el que liberan y de forma contraria por la noche actuando como M.O muerta y haciendo aporte de la carga DBO, por otra parte, los organismos no fotosintéticos liberan dióxido de agua y absorben oxígeno del ambiente. Ibarra (2008)

6.1 Los efectos generales son:

- Disminución y cambio de flora y fauna
- Aumento de la biomasa de plantas y animales
- Aumento de turbidez
- Aumento de niveles de sedimentación, descenso de durabilidad (provocando colmatación del lago)
- Aumento de condiciones anoxias

La alta concentración de organismos en S. eutróficos provoca alta competitividad de recursos y presión de predadores, estas condiciones junto a las altas cantidades de compuestos fisicoquímicos provoca competitividad en la supervivencia de organismos en sistemas eutróficos frente S. oligotróficos.

6.2 Productores primarios.

La aumento de fosforo tiene impacto en los productores primarios con un alto crecimiento.

Al principio del proceso se encuentra un general incremento de biomasa de especies de algas perifíticas y micrófitas. Por otra parte, a lo largo del proceso va aumentando la producción de fitoplancton (sobre todo de cianobacterias)

Como va avanzando el proceso de eutrofización se va reduciendo la transparencia y aumentando la producción de biomasa debido a la acumulación de M.O en profundidad.

Esta M.O degrada y por tanto crea condiciones de hipoxia o anoxia en el sedimento y en estas capas en profundidad. La situación de anaeróbica por la descomposición provoca gases (H_2S y CH_4) y con ello malos olores.

El aumento de concentración de oxígeno, y la transparencia de transparencia, y el aumento de amonio y amoniaco producirá grandes cambios en los peces (ausencia de vida o incremento de especies plantívoras) (

Algunas de las especies son:

- Cianobacterias: especies características de ecosistemas acuáticos continentales. Las condiciones que la favorecen es la alta radiación solar, temperatura elevada y elevadas concentraciones de nutrientes. Los géneros más frecuentes en procesos de toxicidad de peces e invertebrados son la *Anabaena*, *Microcystis*, *Nodularia* y *Planktgrix*.
- Dinoflagelados: abundante en estuarios y ecosistemas costeros. Si las condiciones ambientales son favorables darán lugar a mareas rojas donde se ha estudiado que su incremento produce un aumento de los niveles de nitrógeno inorgánico. Produce toxicidad de animales marinos (moluscos, peces, aves, mamíferos...) por *Karenia*, *Alexandrium* y *Gymnodinium*

- Diatomeas: también conocidas como algas silíceas son propias de medios marinos y medios acuáticos continentales. Su proliferación aumenta con el enriquecimiento en nutrientes de las zonas costeras causado por el aumento de nitrógeno inorgánico.

6.3 Consumidores primarios:

se alimentan de microalgas, bacterias y son alimento de larvas de insectos y peces. Se ven cambios en la biomasa de los productores secundarios.

Algunas de las especies son:

- ✓ Sarcodinos y Cilioforos son abundantes. Las especies más conocidas son *Arcella* y *Diffugia*.
- ✓ Algunos ciliados toleran mucho las bajas concentraciones de oxígeno, característica que les hace más resistentes a vivir en aguas contaminadas y con altos valores de M.O.
- ✓ Rotíferos de pequeño tamaño, consumen detritus, bacterias y microalgas.
- ✓ Asplanchna son depredadores. Géneros más frecuentes son *Polyasthra*, *Filinia*, *Karetella*, *Brachiunus*, *Conochilus* y *Lecane*.
- ✓ Copepodos, son de mayor tamaño, parte importante de la biomasa zooplanctónica, endémicos

6.4 Ambiente fisicoquímico del agua y sedimento.

(a continuación encontramos un listado de efectos que se pueden encontrar en aguas eutrofizadas)

- Aumento de M.O. sedimentaria
- Reducción de transparencia y disponibilidad de luz
- Disminución de concentración de oxígeno disuelto (hipoxia o anoxia) en las aguas del fondo y sedimentos
- Formación de compuestos reducidos (NH₃, SH₂, CH₄) en aguas del fondo y sedimentos
- Mortalidad animales acuáticos
- Pérdida de hábitat
- Disminución de la diversidad de especies en las comunidades

7. METODOS PARA IDENTIFICAR, DIAGNOSTICAS Y EVALUAR EL GRADO DE EUTROFIA.

Como podemos observar en <http://hydrobio.fcien.edu.uy/> encontramos los siguientes métodos:

7.1 Prevención y restauración :

Restauración es retornar al ecosistema a condiciones previas a la degradación producida por algún disturbio (Welch & Cooke, 1987). El proceso necesita la determinación de nutrientes, biomasa, composición de fitoplancton, cobertura vegetal acuática y su estructura de la comunidad zooplanctónica, bentónica y de los peces. Estas características hacen que sean puntos clave para la prevención del proceso y para poder implantar medidas de rehabilitación una vez el proceso ya ha empezado. Con el tiempo se van depositando cronológicamente capas con información sobre lo ocurrido (Margalef, 1983; Callender, 2000). Por tanto, si se toman muestras y se analiza la composición vertical sus variables se puede reconstruir las condiciones paleo ambientales (cuando empezó el proceso, las causas y magnitud, las causas sobre impacto ambiental).

7.2 Manejo y rehabilitación:

Las estrategias con el tiempo han ido evolucionando. Las fuentes puntuales son las que descargan directamente en el cuerpo receptor (efluentes), las fuentes difusas tienen procedencia de diferentes partes de una cuenca, arrastrando con ella toda el agua. Esta última es más difícil de resolver. La eliminación o transformación vegetal en una cuenca produce una eliminación de mecanismos de conservación de nutrientes. La creación de zonas de amortiguación (humedales) puede evitar la entrada difusa de nutrientes. En gran cantidad de lagos, lagunas y embalses hay una gran reserva interna de nutrientes que hace que se alargue el proceso puesto que los aportes externos han sido eliminados. Este factor depende sobretodo de la profundidad o la separación entre zonas de producción y descomposición, por otro lado, los lagos someros pueden estar superpuestos y con ellos requerir un mayor control.

El control de la carga interna involucra un movimiento del sedimento o incluso el aislamiento físico-químico para realizar el intercambio de nutrientes entre el sedimento. Suelen ser mecanismos efectivos pero pueden tener efectos negativos sobre la columna de agua (aumento de turbidez, disminución de concentración de oxígeno, pérdidas de especies...) donde algunos de ellos son de corta duración y pueden ser eliminados mediante maquinaria. Algunas veces se requiere el vaciado del lago, utilización de maquinaria para la eliminación de estos sedimentos.

También se puede utilizar la técnica de Dragado húmedo y seco, donde el húmedo se basa en la deposición del sedimento en una balsa flotante succionándolo desde el fondo. El sedimento se

deposita en un breve tiempo mientras que el agua sobrante caerá al lago. En el dragado en seco el material se transporta a una planta de lavado, donde los lixiviados en las llamadas lagunas de sedimentación; este método es más efectivo puesto que el lago no alcanzara un momento de turbidez. Otro método es el de recubrir el sedimento con plásticos inertes o cubrimiento con sedimento con bajo contenido en nutrientes como por ejemplo la arena.

Si realizamos un manejo del volumen de las entradas de agua al lago controlaremos el tiempo de residencia y por tanto poder provocar la dilución, eliminación de parte de la carga interna (también microalgas y plantas del sistema). Se necesita una renovación de 10/15% del volumen del lago para que sea efectiva. Hay veces que no se disminuyen los nutrientes pero si se eliminan la cantidad de cianobacterias.

El suministro de oxígeno gaseoso o líquido al sedimento hace que se descomponga la M.O acumulada. Los compuestos formados a base de fosforo son insolubles. En las profundas capas que aparecen en la estratificación de sedimentos hay bajo contenido en oxígeno (hipolimnion) en épocas estivales. En estos casos se puede aplicar la oxigenación directa. El *método Riplox* oxida la superficie del sedimento, forma fosfato férrico y permanece inactivo.

La precipitación remueve el fosforo desde la columna de agua, la inactivación provoca una disminución de la liberación de los sedimentos a través de la adición de compuestos como sulfato de aluminio. Este tratamiento en ocasiones puntuales es efectivo.

Mediante el control de aportes de nutrientes se puede provocar una significativa disminución de biomasa de los productores primarios. En aplicar alguicidas o herbicidas por ejemplo. En el caso de tratar plantas acuáticas se emplean técnicas de remoción directa manual/mecánica o control biológico. En el caso de querer tratar el fitoplancton a través del aumento de su consumo mediante el incremento de herbívoros en el sistema a través de biomanipulación (Holzer et al.;1997)

Según las características del embalse se aplicaran diferentes tipos de métodos:

- a) Estado trófico del cuerpo (grado de eutrofización)
- b) Cuáles son los niveles límites de eutrofización
- c) Concentraciones de nutrientes para cada nivel de eutrofización tolerable
- d) Porcentaje de aporte de materia orgánica e inorgánica de las fuentes puntuales y de las fuentes dispersas
- e) Factibilidad de reducir la carga de nutrientes hasta los niveles que se han establecido para el uso optimo
- f) Costos y beneficios

Las actividades se deben de controlar a la hora de la construcción de un embalse y su funcionamiento, identificar el estado trófico que se puede dar en ese embalse y hacer una predicción con las variantes de los ecosistemas. Posteriormente a los estudios de impacto

ambiental se definen medidas de corrección y atenuación, además de medidas de corrección una vez construido en el caso de que se haya dado ya la eutrofia.

Tabla12: niveles y aspectos a considerar para el control de eutrofización

EIA	ASPECTOS A TENER EN CUENTA
Obras, equipos e infraestructuras	<ul style="list-style-type: none"> - Tratamiento aguas residuales que afectan aguas arriba - Reforestación y restauración hidrológica - Estudio de carácter. de tomas de agua en profundidad - - Evaluación del volumen y forma del embalse - Diseño de presas para los residuos solidos
Tratamiento previo del futuro vaso del embalse	<ul style="list-style-type: none"> - Remoción de la M.O. que consumirá oxígeno por el proceso oxidativo - Aprovechamiento de los recursos (suelo, vegetación)
Uso del embalse	<ul style="list-style-type: none"> - Uso que se le va a dar al embalse - Determinación del tiempo de residencia del agua
Planificación del primer llenado del embalse	<ul style="list-style-type: none"> - Época del año - Velocidad de llenado - Extracción selectiva a diferentes profundidades dependiendo de la época del año.
Gestión del tramo de aguas abajo	<ul style="list-style-type: none"> - Vaciados del embalse (total/parcial) - Reforestación de la ribera. - Régimen de caudales de mantenimiento - Capacidad de aireación del cauce

8. Legislación europea

8.1. Directiva marco sobre la calidad ambiental de aguas superficiales

ACTO

Directiva 2008/105/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, relativa a las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas, por la que se modifican y derogan ulteriormente las Directivas 82/176/CEE, 83/513/CEE, 84/156/CEE,

84/491/CEE y 86/280/CEE del Consejo, y por la que se modifica la Directiva 2000/60/CE [Diario Oficial L 348 de 24.12.2008].

SÍNTESIS

La presente Directiva establece normas de calidad ambiental (NCA) relativas a la presencia, en las aguas superficiales, de sustancias o grupos de sustancias identificadas como contaminantes prioritarios en razón del riesgo significativo que presentan para el medio acuático, o a través de él.

Las sustancias prioritarias están definidas por la Directiva 2000/60/CE (o Directiva marco de aguas). La Decisión 2455/2001/CE establece la primera lista de treinta y tres sustancias y la Directiva modificativa 2013/39/UE, otras doce más. Entre estas sustancias figuran los metales cadmio, plomo, mercurio y níquel y sus compuestos, el benceno, los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y varios pesticidas. Veintiuna sustancias prioritarias están clasificadas como peligrosas.

Las NCA de la Directiva 2008/105/CE son límites de concentración de las sustancias prioritarias y ocho otros contaminantes en agua (o biota); es decir, no deben superarse los umbrales si se quiere alcanzar un buen estado químico. Se proponen dos tipos de normas para el agua:

un umbral para la concentración media de la sustancia, calculado a partir de las medidas tomadas a lo largo de un año. El objetivo de esta norma es garantizar la protección contra la exposición a largo plazo a contaminantes en el medio acuático, una concentración máxima admisible de la sustancia; es decir, el valor máximo para una medida puntual. El objetivo de esta norma es garantizar la protección contra la exposición a corto plazo; es decir, los picos de contaminación.

Las normas de calidad propuestas difieren según se trate de aguas superficiales continentales (los ríos y lagos) y de otras aguas superficiales (de transición, costeras y aguas territoriales). La media anual de las NCA para dos metales tiene en cuenta su biodisponibilidad. Para algunas sustancias, se establecen NCA para la biota, lo cual significa que no se puede superar la concentración especificada para la sustancia en cuestión en la biota (generalmente peces).

Los Estados miembros deben velar por que se cumplan estas NCA. También deben tomar medidas para garantizar que las concentraciones de las sustancias que suelen acumularse en sedimentos o biota no aumenten de manera significativa en los sedimentos o en la biota pertinente.

La Directiva 2013/39/UE actualiza las NCA de siete de las treinta y tres sustancias prioritarias originales según los últimos conocimientos técnicos y científicos en lo que respecta a las propiedades de las sustancias.

Las NCA revisadas de estas siete sustancias prioritarias existentes deberán tenerse en cuenta por primera vez en los planes hidrológicos de cuenca a partir del 22 de diciembre de 2015 con el objeto de alcanzar un buen estado químico de las aguas superficiales en relación con estas sustancias a más tardar el 22 de diciembre de 2021.

Las doce sustancias prioritarias identificadas recientemente y sus NCA deberán tenerse en cuenta en la elaboración de los programas de seguimiento suplementarios y en programas preliminares de medidas que deben presentarse antes de que finalice 2018, con objeto de lograr un buen estado químico de las aguas superficiales en relación con estas sustancias a más tardar el 22 de diciembre de 2027.

Además, la Directiva 2013/39/UE introduce una estipulación según la cual la Comisión establecerá una lista de observación de sustancias sobre las que deben recabarse datos de seguimiento a nivel de la Unión para que sirvan de base a futuros ejercicios de asignación de prioridad de conformidad. La primera lista de observación se establecerá el 14 de septiembre de 2014 y puede contener hasta diez sustancias, tres de las cuales serán sustancias farmacéuticas (diclofenac, 17-beta-estradiol (E2) y 17-alfa-etinilestradiol (EE2)). La lista de observación se actualizará cada dos años. La duración de un período de seguimiento continuado de la lista de observación para cualquier sustancia individual no superará los cuatro años.

La Directiva 2008/105/CE prevé asimismo que los Estados miembros fijen zonas de mezcla, en las que se autorice la superación de las NCA en la medida en que no afecten al cumplimiento de esas normas en el resto de las masas de aguas superficiales. Las zonas deben estar claramente delimitadas en los planes de gestión de las cuencas hidrográficas elaborados en virtud de la Directiva marco de aguas.

Para cada demarcación hidrográfica, los Estados miembros deben elaborar un inventario de emisiones, vertidos y pérdidas de las sustancias identificadas por esta Directiva. Partiendo de dicho inventario, la Comisión ha de comprobar de aquí a 2018 si se avanza hacia los objetivos de reducción gradual de la contaminación debida a las sustancias prioritarias y de interrupción o supresión gradual de emisiones, vertidos y pérdidas de sustancias peligrosas prioritarias.

CONTEXTO

El apartado 7 del artículo 16 de la Directiva marco de aguas (Directiva 2000/60/CE) exige la elaboración de NCA aplicables al agua. Dicha directiva exige que los Estados miembros lleven a cabo un seguimiento de las concentraciones de las sustancias prioritarias y otros ocho contaminantes en masas de agua. Las NCA deben respetarse para obtener un buen estado químico de las aguas superficiales.

El cumplimiento de las NCA debería beneficiar tanto a los ciudadanos europeos como al medio ambiente. Además, permitiría reducir los costes del tratamiento de las aguas superficiales

utilizadas para la producción de agua potable y mejorar la salud de los organismos que viven en esas aguas y la calidad del ganado que abreva en ellas.

8.2 Contaminación de suelos y aguas por nitratos

Según <http://www.miliarium.com/Proyectos/Nitratos/Introduccion/Introduccion.asp>

En Europa existe un importante problema de contaminación de suelos y aguas por nitratos relacionado con las prácticas agrícolas tradicionales en las que se aplican entre 2.000 y 2.500 kg/ha/año de fertilizantes y que se ha visto notablemente acentuado con la producción agrícola intensiva. Por ello que el Consejo Europeo aprobó el 30 de junio de 1992 el Reglamento 2078/92 donde *se establecen las normas sobre los métodos de producción agrícola compatibles con las exigencias de protección del medio ambiente y la conservación del espacio natural*, traspuesto a la legislación española mediante varios Reales Decretos en los que se recoge la aplicación de las medidas contenidas en dicho Reglamento (RD 51/95, de 20 de enero; RD 632/95, de 27 de abril; RD 928/95, de 9 de junio).

Dicha Directiva tiene por objeto proteger la calidad de las aguas frente a la contaminación difusa derivada del uso de los fertilizantes y el estiércol en las actividades agrícolas, tratando de paliar este problema mediante la reducción de la contaminación causada o provocada por nitratos de origen agrario y mediante la actuación, de forma preventiva, contra nuevas fuentes de este tipo de contaminación.

Además, con el fin de reducir el problema de la contaminación por nitratos y adoptar medidas preventivas que eviten futuras contaminaciones por este origen, el Consejo Europeo aprobó el 12 de diciembre de 1991, la Directiva 91/676/CEE, *relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos de origen agrícola* y traspuesta a la legislación española por el RD 261/1996 de 16 de febrero.

En este sentido, la Directiva 91/676/CEE obliga a cada uno de los estados miembros a:

- Identificar las aguas afectadas o que puedan verse afectadas por la contaminación de nitratos.
- Designar zonas vulnerables.
- Establecer programas de acción respecto a las zonas vulnerables designadas.
- Elaborar códigos de buenas prácticas agrarias.
- Elaborar y ejecutar programas de control, para evaluar la eficacia de los programas de acción y designar, modificar o ampliar la lista de zonas vulnerables.
- Realizar revisiones periódicas, al menos cada cuatro años, de la designación de las zonas vulnerables y de los programas de acción.
- Elaborar y presentar a la Comisión de la Unión Europea un informe de situación cada cuatro años.

El Anexo I de la Directiva considera como aguas afectadas:

- las aguas dulces superficiales, en particular las que se utilicen o vayan a utilizarse para la extracción de agua potable y
- todas las aguas subterráneas que presenten o pueden llegar a presentar concentraciones de nitratos superiores a 50 mg/l.

Asimismo, esta Directiva impone a los Estados miembros de la Comunidad Europea la obligación de identificar las aguas que se hallen afectadas por contaminación por nitratos de procedencia agrícola, cuyas concentraciones deben ser vigiladas en una serie de estaciones de muestreo. Además, en esta Directiva se establecen una serie de criterios para designar como **zonas vulnerables** aquellas superficies territoriales cuyo drenaje de lugar a una contaminación por nitratos. Una vez determinadas tales zonas deben realizarse y ponerse en funcionamiento **programas de acción** con la finalidad de eliminar, o al menos minimizar, los efectos de los nitratos sobre las aguas (**redes de control de zonas vulnerables a la contaminación de nitratos**). Asimismo, la Directiva establece normas sobre el control y vigilancia de la calidad de las aguas y la obligación de emitir periódicamente informes sobre la situación de este tipo de contaminación.

No obstante, en muchas zonas (o Estados miembros) de la Comunidad Europea con demasiada frecuencia se incumple la legislación vigente relativa a nitratos de uso agrícola (Directiva 91/676/CEE), especialmente en los países más occidentales (Inglaterra o Portugal) y en los más orientales, donde se superan demasiadas veces los niveles máximos fijados. En cambio, en los países nórdicos las concentraciones de nitratos son bajas.

En cuanto a las medidas reparadoras, destacar por ejemplo Francia, que ha creado el denominado “Comité de Asesoramiento para la Reducción de la Contaminación del Agua por

Nitratos y Fosfatos de Origen Agrícola” para intentar paliar la situación que tienen por la contaminación agrícola.

La máxima preocupación en torno a la contaminación del agua por nitratos estriba en el efecto que puede tener sobre la salud humana la ingesta de nitratos, bien disueltos en el agua o bien en los alimentos. Por ejemplo, en la región de Cisjordania desde hace unos años es un problema de gran importancia para la ciudadanía israelí pero muy especialmente para la palestina, la cual se abastece de aguas subterráneas cuyos escasos pozos sobreexplotan los israelíes. Si a este hecho se une una deficiente manutención de las tuberías, hace que el agua se sature en nitratos y que los palestinos sólo obtengan del grifo (especialmente en verano) unas gotas parduscas y fétidas (El Mundo, 8 de septiembre de 2000).

Aunque los nitratos son un producto normal del metabolismo humano si, por ejemplo, se bebe agua con elevadas concentraciones de nitratos (superior a 10 mg/l) la acción de determinados microorganismos en el estómago puede transformar los nitratos en nitritos, que al ser absorbido en la sangre convierte a la hemoglobina en metahemoglobina. La metahemoglobina se caracteriza por inhibir el transporte de oxígeno en la sangre. Aunque la formación de metahemoglobina es un proceso reversible, si puede llegar a provocar la muerte, especialmente en niños (“síndrome del bebé azul”). Pero también los nitratos pueden formar nitrosaminas y nitrosamidas compuestos que pueden ser cancerígenos. La Comunidad Europea fija los niveles máximos permitidos de nitratos en 50mg/l de N (Directiva 91/676/CEE).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) fija el límite de nitrato en el agua de consumo humano en 50 mg/l de nitrato (como N). En cambio, la Agencia para la Protección del Medio Ambiente Norteamérica (EPA) sitúa este límite en 10 mg/l de nitrato. Por su parte, la Comunidad Europea y siguiendo sus directrices, el Ministerio de Sanidad español fijan los niveles máximos permitidos de nitratos en 50mg/l de N (Directiva 91/676/CEE).

9. Corrección de la eutrofia.

Para una buena eficiencia los niveles de oxígeno en el final del embalse ayuda a retener las acumulaciones de nutrientes y evita la solubilización de hierro y manganeso, altera el color de las aguas potables. Por otra parte, como se controla la situación de anoxia aumenta la cantidad de vida de peces y disminuye la eutrofia secundaria. También encontramos una disminución de la concentración de fitoplancton y con él, disminución del grado de eutrofia (tab.13).

Tabla13: medidas para la corrección de la eutrofia. Fuente: <http://repositorio.uis.edu.co/>

Actuación	Aplicación	Objetivo
Gestión	Cuenca tributaria	<ul style="list-style-type: none"> - Tratamiento aguas residuales. - Desviación de algunos tributarios. - Control de contaminación de act. agrícolas y ganaderas. - Reforestación y restauración de la calidad del agua.
Gestión	Agua embalsada	<ul style="list-style-type: none"> - Relación entre el embalse y el tiempo de residencia - Programas de vaciados periódicos - Aireación artificial en zonas de hipolimnion - Medidas para aumentar la mezcla en la columna de agua
	Comunidades acuáticas del embalse	<ul style="list-style-type: none"> - Biomanipulación y modificación de la estructura trófica - Manejo de residuos y filtros para las comunidades productoras
	Agua y comunidades aguas abajo	<ul style="list-style-type: none"> - Aireación de las salidas de agua - Aumento de capacidad de aireación del cauce - Régimen de caudales de mantenimiento
Tratamiento	Agua embalsada	<ul style="list-style-type: none"> - Flocculantes y precipitantes - oxidantes
	Sedimentos del embalse	<ul style="list-style-type: none"> - secado y aireación mecánica - extracción - oxidación
	Comunidades acuáticas del embalse	<ul style="list-style-type: none"> - extracción mecánica - alguicidas y desinfectantes - productos químico-biológicos

Según Braga et. Al. (2008) algunas medidas de control de productividad pueden llevar a cabo:

Control en los tiempos de retención:

Herramienta importante que implica cambios en el fitoplancton. Eficiente en algunos tipos de algas que necesitan altas temperaturas, grandes cantidades de nutrientes y columnas de agua estables. Por tanto, cambiando los tiempos de retención se eliminan masas de cianofíceas.

Control del nivel de entrada de agua:

Importancia radica en la influencia de comunidades y calidad de agua. Al coger agua superficial la comunidad fitoplanctonica es removida, en caso de ser agua en profundidad tendrá alto contenido de nutrientes. La problemática surge en que en general se coge siempre del mismo nivel el agua, deberían de construirse con varios niveles (uno en superficie y otro cerca del fondo almenos)

Bio-manipulación:

En los embalses se da una cadena trófica de productores y consumidores, por tanto nos podemos aprovechar de dichas interrelaciones para controlar. Podemos manipular la comunidad ictica para controlar la biomasa Fitoplanctónica y en la calidad de agua. Esto puede ser una medida para los organismos consumidores que reduzcan la abundancia de productores primarios y a la vez de reducción de la eutrofización.

Otras medidas según Ostojic et. Al. (2002) Implican:

- Reducción de afluentes urbanos, industriales y agrícolas
- Tratamiento de aguas residuales
- Control sobre el uso de las tierras que se encuentran cercanas al embalse
- Protección de la vegetación alrededor del embalse, principalmente de actividades como ganadería, construcciones y contaminación generada por actividades turísticas.
- Restricción en el uso de fertilizantes y pesticidas aunado a la difusión de alternativas ecológicas
- Educación ambiental acerca del daño que causan algunas prácticas humanas relacionadas con los embalses.

10. Conclusiones

La eutrofización es un factor principal de la contaminación ambiental e hídrica que afecta a gran parte de ecosistemas acuáticos. Este problema puede acelerar en los lagos en cierta manera la desaparición de especies acuáticas además de muchas actividades que se pueden desarrollar en dicho entorno

Las causas pueden ser naturales o antrópicas, pero ambas convierten al medio en un sistema acuático deteriorado pudiendo producir un desequilibrio ecológico en el ambiente llegando a poder producir efectos irreversibles en el medio

Para remediar dicho problema en el medio se ha de realizar medidas de prevención e el agua y eliminar el peligro de la integridad ambiental

Este proceso puede producir problemas perjudiciales en el medio ambiente, seres vivos, y salud humana, incluso en todo aquel medio que se encuentra directamente en contacto con los ecosistemas acuáticos perjudicados.

Mediante una aplicación correcta de la legislación, y programas educativos de difusión en medios de comunicación se puede a por una parte disminuir y castigar la contaminación hídrica, y por otra parte concienciar a la gente a que no hay que contaminar y que es necesario proteger la integridad del medio

Mediante un control y monitoreo de los lagos se puede observar y controlar las causas concretas de eutrofización en un determinado lago, además de en caso de poner soluciones poder observar la evolución que se va alcanzando a lo largo del tiempo.

11. Bibliografía

Charles J. Krebs. *The Ecological World View*. [online]. [2016-03-06] (<http://www.bioenciclopedia.com/contaminacion-hidrica/>)

Marie Greene [online] [2016-01-05] (http://www.ehowenespanol.com/cuales-son-diez-principales-contaminantes-del-agua-info_312618/)

Sanchon MV [2002] [online] [2016-02-05] (<http://ocw.unican.es/ciencias-de-la-salud/salud-publica-y-atencion-primaria-de-salud/otros-recursos-1/lecturas/bloque-iii/Contaminacion%20del%20agua.pdf>)

Anónimo. [online] [2016-02-05] (<http://www.fao.org/docrep/w2598s/w2598s03.htm>)
Margalef. R. [1991]. [online] [2016-03-06] (<http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/Eutrofizac.htm>)

Grupo de ecología y rehabilitación de sistemas acuáticos someros [online] [2016-03-06] (<http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/pasantias/eutrofizacion.pdf>)

Anónimo. [2016-03-23] (<http://www.lenntech.es/eutrofizacion-de-las-aguas/efectos-generales-de-la-eutrofizacion.htm>)

Anónimo. [2016-03-23] (http://www.produccion-animal.com.ar/agua_cono_sur_de_america/08-sistemas_acuaticos_efecto_antropico.pdf)

Luis P Ortega. [2014] [online] [2016-03-23] (http://roble.pntic.mec.es/lorg0006/dept_biologia/archivos_texto/ctma_t5_hidrosfera_contaminacion.pdf)

Raul S. Ordoñez [2010] [online] [2016-03-23] (<http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/7494/2/136071.pdf>)

Anónimo. [2016-06-03] (<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=URISERV%3A128180>)

Anónimo. [2016-06-03] (<http://www.boe.es/boe/dias/2015/09/12/pdfs/BOE-A-2015-9806.pdf>)

Anonimo. [2016-06- 03] <http://www.actualidadjuridicaambiental.com/legislacion-al-dia-union-europea-aguas/>

Anonimo. [2016-06- 05]

http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/es/displayFtu.html?ftuId=FTU_5.4.4.html