

2. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LAGOS Y EMBALSES

2.1. Estado Trófico

El término Eutrofia se originó a partir del adjetivo alemán eutrophe, el cual se refería a la riqueza de nutrientes en una cierta región; Einar Naumann, (limnólogo sueco -1919), fue quien introdujo el concepto general de Oligotrofia y Eutrofia, tomando como referencia la poca o gran existencia de algas planctónicas en el lugar de estudio.

Actualmente, se define oligotrofia como un estado que se caracteriza por su baja biomasa fitoplanctónica, una alta transparencia del agua y una limitada concentración de nutrientes y sustancias húmicas. Por el contrario, eutrofia implica una elevada biomasa algal, reducida transparencia del agua, alta carga de nutrientes y baja concentración de sustancias húmicas.

La categoría mesotrófico se añadió para describir situaciones intermedias entre oligotrofia y eutrofia. El término "hypereutrofia", o hipertrófica, fue agregado por Wetzel (1966) para describir situaciones de extrema eutrofia donde la luz, no nutrientes, es el factor medioambiental dominante de control de crecimiento. Esta continuidad de estados tróficos se ilustra en la Figura 2.1.



FIGURA 2.1 CONTINUIDAD TRÓFICA

Cada uno de los estados definidos presenta mecanismos de retroalimentación que mantienen sus principales características. De acuerdo a ello, los estados tróficos pueden ser considerados como estados de equilibrio.

La clasificación de estado trófico puede haber comenzado como un concepto de continuidad, pero rápidamente se convirtió en una clasificación de "tipos". La representación de este tipo de esquema de clasificación no es más que la lista de las características de un tipo específico trófico (Tabla 2.1).

TABLA 2.1 Características generales de los lagos eutróficos y oligotróficos

<i>Carácter</i>	<i>Eutróficos</i>	<i>Oligotróficos</i>
Forma del lago	Extenso y poco profundo	Estrecho y profundo
Sustrato del lago	Sal fina orgánica	Piedras y sales inorgánicas
Orilla del lago	Herbácea	Pedregosa
Penetración de la luz hasta Valor 1% de la superficie (m)	-20	20 – 120
Color del agua	Amarillo y verde	Verde o Azul
Producción primaria neta (g/m ² /año)	150 - 500	15-50
Concentración de clorofila (g/l)	-15+	0,3 – 2,5
Rango de alcalinidad (anual) (meq/l)	1+	Hasta 0,59
P total (ppb)	10 - 30	< 1 – 5
Ntotal (ppb)	300 - 650	<1- 200
Oxígeno	Alto en la superficie, escaso debajo del hielo o termoclina	Elevado
Macrófitas	Muchas especies abundan en las zonas poco profundas	Pocas especies, algunas en las aguas profundas.
Fitoplancton	Pocas especies, número elevado	Muchas especies, número bajo
Zooplancton	Pocas especies, número elevado	Muchas especies, número bajo
Macroinvertebrados	Muchas especies, número elevado	Número de especies moderado, número bajo.
Peces	Muchas especies	Pocas especies

FUENTE: GERARD KIELY, INGENIERÍA AMBIENTAL, 1999

Naumann (1929) fue muy perspicaz al reconocer que los componentes del lago son un sistema interconectado; como uno de los componentes -las plantas- responden a los aportes de nutrientes, otros agentes biológicos, químicos o incluso físicos se verían afectados también. El aumento de la carga de nutrientes, afecta también a otros componentes del ecosistema del lago, como zooplancton, peces, y la concentración de oxígeno en el hipolimnion. Esta cascada de estado trófico se representa en la Figura 2.2

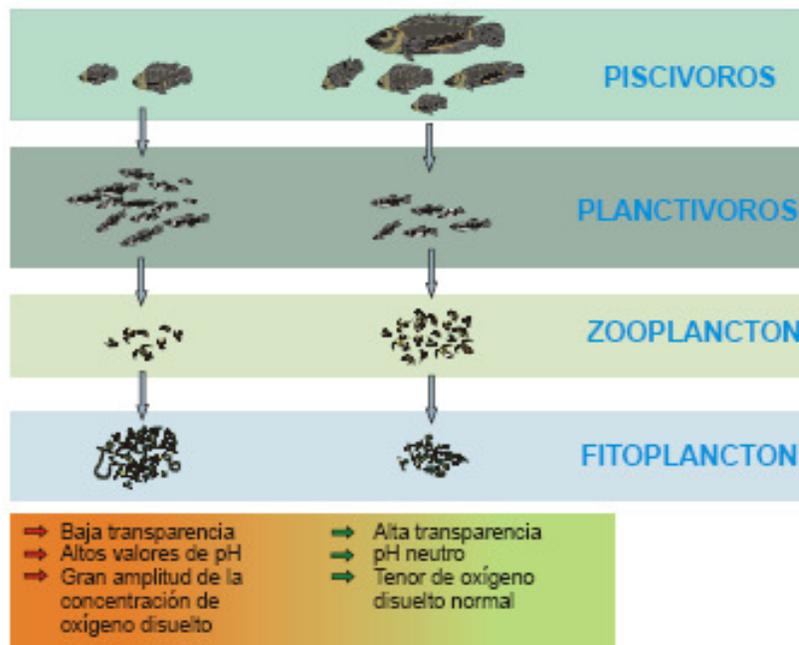


FIGURA 2.2 CADENA TROFICA

FUENTE: FACULTAD DE CIENCIAS-UNIVERSIDAD DE URUGUAY-ESTADO *TROFICO Y ESTADOS ALTERNATIVOS*. 2010

Un aumento de la biomasa de piscívoros provoca la disminución de los peces planctívoros que indirectamente condiciona una mayor abundancia de zooplancton y menor biomasa del fitoplancton. Una situación inversa ocurre cuando tiene lugar una disminución de la abundancia de los peces piscívoros o un aumento de los planctívoros. Estas interacciones tróficas indirectas se denominan **en cascada** y el conjunto de factores que determinan la presión de consumo sobre el fitoplancton (herbivoría) recibe el nombre de control descendentes (**top-down**).

Durante los últimos veinte años, la palabra eutroficación, ha sido utilizada, cada vez más para designar el aporte artificial e indeseable de nutrientes tales como el fósforo, el nitrógeno y el carbono. Sin embargo este concepto puede llevar a cierta confusión, ya que en algunos casos, el ingreso de nutrientes a un lago o embalse puede resultar muy favorable, dependiendo el fin y el uso de las aguas del sistema en cuestión.

Según la Organización para la Cooperación Económica y Desarrollo (OCDE, 1982), define a la eutroficación como “el enriquecimiento de nutrientes de las aguas, que provoca la estimulación de una serie de cambios sintomáticos, entre los que el incremento en la producción de algas y macrófitas, el deterioro de la calidad de agua y otros cambios resultan indeseables e interfieren con la utilización del agua “.

Si el estado trófico es una descripción de la condición biológica del lago, eutroficación describe un lago que se está convirtiendo en más eutrófico (Figura 2.3). La Oligotroficación describe el proceso de un lago en la dirección alternativa, hacia oligotrofia.

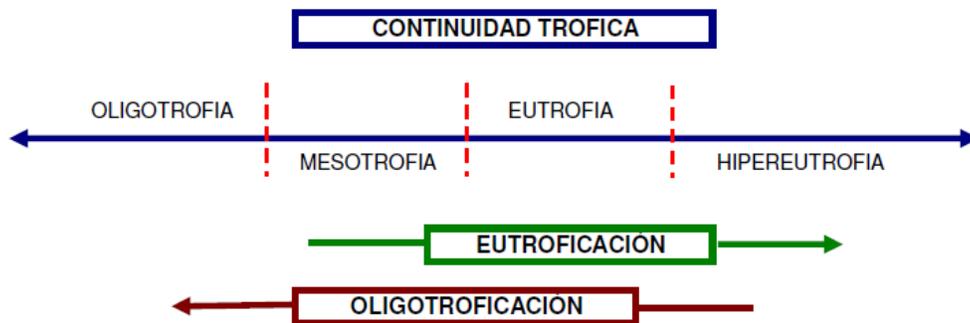


FIGURA 2.3 EUTROFICACIÓN Y OLIGOTROFICACIÓN EN CUANTO A LA CONTINUIDAD TROFICA

Originalmente, la eutroficación se consideraba como un proceso natural, que se llevaba a cabo durante millones de años, en el cual un lago o embalse recibía los aportes de su cuenca de drenaje, los mismos que consistían en nutrientes, sedimentos y otros materiales alóctonos, con el tiempo sucedía que el sistema acuoso del lago se transformaba en una ciénaga, la cual al consolidarse se convertía en un sistema terrestre. Este proceso toma lugar en cientos de miles de años y es irreversible.

Actualmente es posible hablar de una “Eutroficación Cultural”, determinada por la intervención del hombre, el cual debido a su necesidad de extensión transforma su entorno. Las descargas de aguas servidas por ejemplo, son una de las más antiguas causas de la eutroficación cultural, ya que estas son ricas en nutrientes contribuyendo al cambio trófico del cuerpo receptor; otro ejemplo son los excesos de fertilizantes, los cuales son ricos en fósforo, sean este de origen natural o químico. La deforestación también influye en la carga de nutrientes, ya que los escurrimientos al pasar por una tierra que no tiene protección, “lavan” la capa fértil y se llevan consigo los nutrientes de la misma.

Los principales indicadores de la eutroficación, son básicamente cuatro: El fósforo, el nitrógeno, la clorofila y la profundidad de Secchi.

La Tabla 2.2, muestra los valores límite, de los indicadores nombrados, con los que puede realizarse una clasificación trófica de los embalses, según la OCDE.

TABLA 2.2 VALORES LÍMITES DE LA OCDE PARA UN SISTEMA COMPLETO DE CLASIFICACIÓN TROFICA

CATEGORIA TROFICA	TP	chl	chl	MEDIA DE SECCHI	MINIMO DE SECCHI
		media	Máxima		
Ultraoligotróficos	<4	<10	<2,5	>12	>6
Oligotrófico	<10	<2,5	<8	>6	>3
Mesotrófico	Oct-35	2,8 - 8	8,0 - 25	6,0 - 3,0	3,0 - 1,5
Eutrófico	35-100	8,0 - 25	25,0 - 75	3,0 - 1,5	1,5 - 7,0
Hipertrófico	>100	>25	>75	<1,5	<0,7

FUENTE: OLMOS GARCÍA CARLOS, EUTROFICACIÓN EN LOS EMBALSES DE ALTURA, INCACHACA-JHAMPATURI, 2000

Donde:

TP: Media anual de la concentración de fósforo total en el lago ($\mu\text{g/l}$)

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

Chl máxima: Pico anual de la concentración de clorofila en las aguas superficiales ($\mu\text{g/l}$)

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

Mínimo de secchi: Mínimo anual de la transparencia de la profundidad de secchi (m)

Las fuentes de nutrientes que causan la eutroficación pueden ser:

a) **NATURALES:**

- Aportes atmosféricos: precipitación.
- Resuspensión de los sedimentos del fondo.
- Liberación desde los sedimentos anóxicos.
- Descomposición y excreción de organismos.
- Fijación de nitrógeno por microorganismos.

b) ANTROPOGÉNICAS:

- Vertidos de residuos industriales, agrícolas, urbanos y de plantas de tratamiento.
- Deforestación que aumenta la erosión y disminuye el reciclaje de nutrientes en la cuenca,
- Fertilizantes aplicados en exceso.
- Aguas residuales de granjas (silos, tambos).
- Tanques sépticos.
- Uso de detergentes con grandes cantidades de fósforo.
- Aporte de contaminantes por agua de lluvia.
- Sistema de alcantarillado de ciudades y pueblos.

Independientemente del origen de los nutrientes, los efectos suelen ser los mismos, En la Tabla 2.3 se indican los efectos generales de la eutroficación en el medio acuático.

TABLA 2.3 EFECTOS DE LA EUTROFICACIÓN
<ul style="list-style-type: none">• Anoxia (sin presencia de oxígeno), que mata a los peces e invertebrados y también lleva a la liberación de gases desagradables y perjudiciales• Proliferación de algas y el crecimiento incontrolado de otras plantas acuáticas• Producción de sustancias tóxicas por algunas especies de algas azul-verdes• Altas concentraciones de materia orgánica que tratada con cloro puede crear compuestos cancerígenos• Deterioro de valor recreativo de un lago o embalse debido a la disminución de transparencia del agua• Acceso restringido para la pesca y actividades recreativas debido a la acumulación de plantas• Cambios en la composición de las especies de peces de más a menos especies deseables (en términos económicos y de ingesta de proteínas)• Disminución de los rendimientos pesqueros ocasionado significativamente por el agotamiento del oxígeno en la columna de agua y las capas de fondo de agua de lagos y embalses

FUENTE: UNEP, WATER QUALITY: THE IMPACT OF EUTROPHICATION, 2001

2.2. Florecimientos Algales

El fenómeno del florecimiento de algas, también conocidas como “blooms”, son eventos de multiplicación y acumulación de las microalgas que viven libres en los sistemas acuáticos, o fitoplancton, que pueden sintetizar y acumular toxinas o excretarlas al medio (toxinas identificadas de tipo neurotóxicas, hepatotóxicas y epidérmicas) causando daño a otros organismos del medio acuático. Este fenómeno se presenta tanto en los cuerpos acuáticos continentales como en los oceánicos.

Sin embargo, se ha registrado un incremento mundial en su frecuencia y duración, asociado a las condiciones de eutroficación de los cuerpos de agua⁵. Por lo que actualmente, este fenómeno es motivo de creciente preocupación mundial, debido al impacto nefasto sobre los ecosistemas acuáticos al afectar a la flora y fauna tanto acuática como terrestre de organismos silvestres y domésticos, mediante diversos medios (trama trófica, condiciones de anoxia por degradación bacterial).

Las floraciones (Figura 2.4.) pueden ser desarrolladas por diversas especies de fitoplancton pertenecientes a las Clases Bacillariophyceae (diatomeas), Chlorophyceae (algas verdes), Dinophyceae (dinoflagelados), Chrysophyceae y Cryptophyceae dentro de las algas eucariotas, y Cyanophyceae (cianobacterias) como procariota.

Son muchas las especies de cianobacterias que desarrollan floraciones en ambientes de agua dulce, salobre o marina. En la Tabla 2.4 se mencionan los géneros de cianobacterias de aguas continentales (dulce y salobre), que han registrado floraciones tóxicas con mayor frecuencia a nivel mundial. Se destacan *Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Planktothrix*, *Cylindrospermopsis* y *Nodularia*, por su amplia distribución y por los efectos sobre otros organismos debido a la presencia de toxinas, denominadas genéricamente cianotoxinas,

⁵ Hallegraeff, G. 1992. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia* 32(2): 79-99.

TABLA 2.4. GENEROS DE CIANOBACTERIAS QUE DESARROLLAN FLORACIONES TOXICAS	
Anabaena	Microcystis
Anabaenopsis	Nodularia
Aphanizomenon	Nostoc
Aphanocapsa	Oscillatoria
Coelosphaerium	Phormidium
Cylindrospermopsis	Planktothrix
Gloeotrichia	Pseudanabaena
Gomphosphaeria	Synechocystis
Lyngbya	Synechococcus

FUENTE: FACULTAD DE CIENCIAS URUGUAY, LIMNOLOGIA, 2010

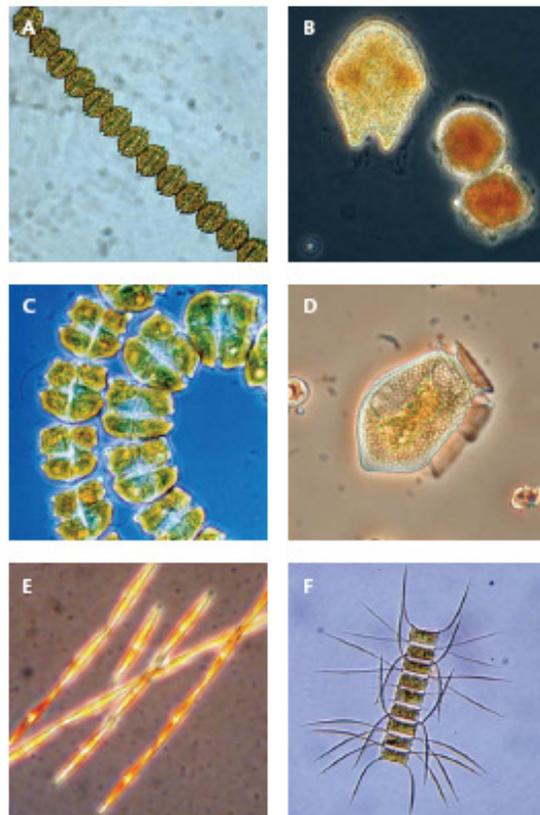


Figura 2.4 Fotomicrograffas de Floraciones de Algas Nocivas de organismos comúnmente encontradas en los regímenes de surgencia en todo el mundo: (A) Cadena de *Alexandrium catenella*, que causa la intoxicación parálitica por mariscos (PSP), (B) Dinoflagelados que causan la marea roja sanguinea Akashiwo (células grandes), acompañado por dos células polyedrum *Lingulodinium*, que causan el envenenamiento yesotoxina; (C) de la cadena de *Gymnodinium catenatum*, lo que provoca PSP; (D) *Dinophysis acuta*, que causa intoxicación diarreica (DSP); (E) *Pseudo-nitzschia australis*, que causa intoxicación amnésica (ASP); (F) Cadena de *Chaetoceros* sp., Responsable de la muerte de peces.

FUENTE: KUDELA R, PITCHER G, PROBYN T, FIGUEIRAS F, MOITA T, TRAINER V; HARMFUL ALGAL BLOOMS IN COASTAL UPWELLING SYSTEMS. 2005

Las toxinas producidas por organismos formadores de floraciones algales nocivas son responsables de una serie de enfermedades humanas asociadas con el consumo de organismos marinos y, en algunos casos, por su exposición a las mismas en forma de aerosoles. Además de los efectos en la salud humana, estas toxinas son responsables de la muerte de cientos de toneladas de peces y moluscos, estando relacionadas con la muerte de mamíferos, aves y otros animales marinos a través de su transferencia por la cadena trófica⁶.

En general, la clasificación de estas toxinas se basa en los signos y síntomas del tipo de síndrome o envenenamiento que provocan (Tabla 2.5), algunas veces acompañado por el nombre de la toxina o del animal que las contiene⁷.

TABLA 2.5. ENFERMEDADES ASOCIADAS A LOS FLORECIMIENTOS ALGALES NOCIVOS

Síndrome	Organismos causante	Toxina	Ruta de adquisición	Manifestación clínica
Intoxicación por ciguatera	<i>Gambierdiscus toxicus</i> (béntico) <i>Ostreopsis siamensis</i> , etc.	Ciguatoxina	Transferencia a través de la cadena trófica; consumo de peces carnívoros	Gastroenteritis aguda, síntomas neurológicos como parestesias
Intoxicación paralítica	<i>Alexandrium catenella</i> , <i>A. minutum</i> , <i>A. tamarenis</i> , <i>A. ostenfeldii</i> , <i>Gymnodinium catenatum</i> , <i>Pyrodinium bahamense</i> var <i>compressum</i> , etc.	Saxitoxinas	Consumo de mariscos cultivados, o de vida libre, en las áreas afectadas	Parestesia y otras manifestaciones neurológicas, parálisis muscular, problemas respiratorios y muerte
Intoxicación neurotóxica	<i>Karenia brevis</i> , <i>K. brevisulcatum</i> , etc.	Brevetoxinas	Consumo de mariscos cultivados en áreas afectadas; aerosoles de las toxinas por efecto de las olas	Síntomas neurológicos y gastrointestinales, dificultad para en la respiración e irritación de ojos
Intoxicación diarreica	<i>Dinophysis acuta</i> , <i>D. acuminata</i> , <i>D. fortii</i> , <i>Prorocentrum lima</i>	Ácido okadáico y dinofisistoxinas	Consumo de mariscos cultivados en áreas afectadas	Gastroenteritis aguda
Intoxicación por Azaspirácidos	<i>Protoperidinium crassipes</i>	Azaspirácidos	Consumo de mariscos cultivados en áreas afectadas	Efectos neurotóxicos con severo daño en intestino e hígado
Intoxicación amnésica	<i>Pseudo-nitzschia multiseriata</i> , <i>P. pseudodelicatissima</i> , <i>P. australis</i> , etc.	Ácido domóico y sus isómeros	Consumo de mariscos cultivados en áreas afectadas	Manifestaciones gastrointestinales, neurológicas, generando amnesia en casos severos, coma, muerte

FUENTE: Adaptado por Anderson et.al. (2001). MONITORING AND MANAGEMENT STRATEGIES FOR HARMFUL ALGAL BLOOMS IN COASTAL WATERS

⁶ Hallegraef, G. 1992. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia* 32(2): 79-99.

⁷ Poletti R, Milandri A & Pompei M (2003) Algal biotoxinas Of Marine Origin: New Indications from the European Union. *Vet. Res. Comm.* 27:173-182.

Los factores que favorecen el desarrollo de floraciones de cianobacterias pueden resumirse en:

1- La eutroficación de los sistemas acuáticos debido al incremento de los niveles de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo (N y P) por:

a) Los aportes puntuales de aguas residuales domésticas o industriales no tratadas, con alto contenido de N y P, vertidas directa o indirectamente a los sistemas acuáticos.

b) Los aportes difusos de aguas provenientes del lavado de suelos de áreas cultivadas y fertilizadas con N y P, de suelos deforestados o de campos con ganadería (ya sea extensiva, tambos, etc.).

2- El alto tiempo de permanencia del agua en el sistema acuático, que favorece el dominio de las cianobacterias en la comunidad fitoplanctónica. El manejo del tiempo de residencia, mediante la regulación de flujos de salida o de entrada, constituye una forma de control o prevención de estos eventos.

3- La aridez de regiones próximas o dentro de la cuenca hidrográfica, o los efectos similares debidos a suelos sin vegetación, que aportan minerales al agua además de provocar mayor turbidez por la presencia de partículas disueltas. Esto interfiere con la actividad fotosintética de otras algas que mueren y sedimentan, dejando un nicho que es colonizado por las cianobacterias.

4- Existen otros factores naturales como el incremento de la temperatura ($> 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) e intensidad luminosa o la baja turbulencia del agua por vientos menores a 3 m/s, que junto a la eutroficación son los factores más importantes que favorecen el desarrollo de las floraciones. También contribuye el efecto de la predación natural (trama alimenticia) sobre las especies de fitoplancton que compiten con las cianobacterias que desarrollan floraciones.

Los florecimientos de algas con elevada toxicidad, pueden afectar por medio de las cadenas tróficas no sólo a los miembros de la comunidad acuática, sino también a los organismos terrestres incluyendo al hombre.

En este sentido, puede causar:

- El agotamiento del oxígeno y la mortandad de los peces
- Llevar a la muerte al ganado y otros animales por la ingestión de algas.
- Trastornos gastrointestinales en los seres humanos pueden estar asociados con el consumo de agua que contenían las floraciones de cianobacterias.
- El contacto con el agua e incluso los aerosoles emitidos por las floraciones de cianobacterias pueden causar reacciones alérgicas en algunas personas.
- Las cianobacterias filamentosas y las especies de clorofitas o algas verdes, pueden causar mal sabor y los olores en el agua y los peces,
- Así como la obstrucción de los filtros de tratamiento de aguas o instalaciones industriales.
- Impactos en la salud pública debido a la ingesta de mariscos y perjuicios económicos derivados de florecimientos tóxicos.

El surgimiento de la floración cianobacterial a nivel superficial es contrarrestado por la alta irradiación y concentración de oxígeno, llevándolas a la muerte fotodinámica y descomposición. La consecución de estos procesos de degradación puede conducir a la utilización bacteriana de todo el oxígeno virtualmente disuelto, y al desarrollo de condiciones anóxicas, acompañadas por depósitos de sulfuros negros, olores indeseables de amonio, sulfuro de hidrógeno, hidroxilamina y metano. El desarrollo de estos eventos, se trate de especies toxigénicas o no, de todos modos son nocivos, debido a los impactos negativos que se derivan de ellos.

2.3. Sedimentos

Se da el nombre genérico de sedimentos a las partículas procedentes de rocas o suelos y que son acarreadas por las aguas y por los vientos. Todos estos materiales, después de cierto acarreo, finalmente son depositados a lo largo de los propios cauces, en lagos o lagunas, en el mar y en las partes bajas de la cuenca, principalmente en la planicie, lo que da origen a la formación de ésta y a su levantamiento.

Prácticamente todos los sedimentos están compuestos por cantidades variables de materia orgánica, granos minerales, fragmentos de roca, y los carbonatos precipitados y otros, tales como los óxidos de hierro, manganeso y aluminio. El tamaño de las partículas de los sedimentos es la propiedad más importante en la comprensión de las interacciones del agua-sedimentos que lleva a la eutroficación de lagos y embalses.

En general, la sedimentación se produce principalmente debido a las formas tradicionales de uso sostenible de la tierra las cuales están desapareciendo rápidamente con el aumento de la población y la invasión de las economías basadas en efectivo, incluso en zonas rurales remotas

Los ríos suelen ser la fuente más importante de los sedimentos de un lago o embalse. Las características físicas y químicas de los sedimentos fluviales reflejan la composición geológica y geomorfológica de la cuenca. La modificación de la superficie de la tierra por el hombre debido a la deforestación, la agricultura intensiva y la ganadería tiene un gran impacto resultante en la exposición del suelo desnudo susceptible a la erosión por el aire y el agua.

La erosión puede ser acelerada en las regiones no protegidas, el acceso de animales y la adición directa de los desechos animales y agentes patógenos.

La urbanización de las cuencas hidrográficas da como resultado una reducción de la superficie de tierra disponible para la infiltración del agua de lluvia y de superficie, que se traduce en un aumento del escurrimiento y el caudal del río con rápidos incrementos en el nivel de respuesta a la precipitación del río.

Las partículas erosionadas de las superficies de la tierra por el viento puede ser transportado a grandes distancias. Las partículas procedentes de la actividad volcánica emitidas a la atmósfera superior son transportadas a nivel mundial. Las partículas del suelo en la atmósfera son del tamaño de grano fino y puede tener altas concentraciones de carbono orgánico, fósforo, nitrógeno y micro-contaminantes orgánicos derivados de herbicidas y plaguicidas utilizados para la fertilización y control de plagas en la agricultura.

Estos depósitos en el aire son las principales fuentes de nutrientes a lagos remotos con la urbanización pequeña.

El exceso de sedimentos degrada la calidad del agua para el consumo humano, para la vida silvestre y para el suelo de la siguiente manera:

- El agua contaminada con sedimentos se torna turbia, lo que impide la alimentación de peces y puede conducir a la reducción de supervivencia.
- Los sedimentos reducen la cantidad de luz que penetra el agua, privando a las plantas de luz necesaria para la fotosíntesis.
- El agua turbia impide el crecimiento de vegetación natural en el agua.
- Los sedimentos alteran la cadena alimenticia natural al destruir el hábitat donde viven los organismos más pequeños y provoca disminuciones masivas de poblaciones de peces.
- Los sedimentos aumentan el costo del tratamiento del agua potable y pueden causar problemas de olor y sabor.

- En el caso de las instalaciones hidroeléctricas, la pérdida de capacidad de generación es posible.
- Los sedimentos pueden obstruir las agallas de los peces, lo que reduce su resistencia a enfermedades, disminuye los índices de crecimiento y afecta el desarrollo de huevos y larvas.
- La pérdida de suelos y sedimentos suspendidos también contribuye a la contaminación y la eutroficación del lago debido a los sedimentos generalmente incluye nutrientes unidos, herbicidas, pesticidas y otros productos químicos.
- Los nutrientes transportados por los sedimentos pueden activar a las algas verde azuladas que liberan toxinas
- El exceso de sedimentos de los suelos erosionados contiene materia orgánica que contribuye al agotamiento del oxígeno en el agua
- El exceso de sedimentos en los embalses provoca la pérdida de capacidad de almacenamiento,
- Por lo tanto el volumen y la magnitud de las inundaciones pueden aumentar.
- El aumento en las zonas poco profundas, como resultado de la sedimentación puede interferir con las actividades recreativas como paseos en bote y pesca.

La remoción de sedimentos podría ser la única forma práctica de mejorar un lago o embalse que se ha visto muy sedimentado. Existen diversos métodos de remoción del sedimento. El principal problema es la localización de un lugar adecuado para el depósito del material.

Estos mecanismos son altamente efectivos, sin embargo ocurren una serie de impactos negativos en el agua (aumento de la turbidez y disminución de la concentración de oxígeno, entre otros) y en las áreas circundantes. Algunos de ellos tienen corta duración y pueden ser minimizados con un plan adecuado.

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

Existen dos formas de remoción del sedimento sin vaciar el lago:

- Dragado húmedo y seco.
 - El primero de los métodos se realiza mediante succión del sedimento desde el fondo y posterior deposición en una balsa flotante. El sedimento se deposita rápidamente, mientras que el agua sobrante escurre directamente al lago.
- Dragado seco.
 - Durante el proceso de dragado seco en cambio, el material removido es transportado a una planta de lavado donde el lixiviado se deposita en lagunas de sedimentación. El método de dragado seco otorga mejores resultados, ya que el lago no permanece turbio.
- Aislamiento físico del sedimento.
 - En lagos pequeños se han desarrollado diferentes estrategias para cubrir el fondo con sedimentos externos pobres en nutrientes (por ej. arena) o con materiales plásticos aislantes.
- Oxigenación del sedimento.
 - La introducción de oxígeno disuelto al sedimento permite la descomposición de la materia orgánica acumulada. Por otra parte, en presencia de oxígeno la mayoría de los compuestos que contienen fósforo son insolubles. Por esta razón, este es un método muy efectivo para el aislamiento químico del sedimento. En lagos profundos la oxigenación del sedimento se logra mediante la

instalación de equipos de circulación de agua que previenen los procesos de estratificación.

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