

Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia

Daniela Paola Moreno Franco^{*}, Jacqueline Quintero Manzano^{*} y Armando López Cuevas^{**}

Recibido: 29 de julio de 2010.

Aceptado: 09 de noviembre de 2010

Abstract

“Eutrophication” is the enrichment of surface waters with available nutrients to the plants. While eutrophication occurs naturally, it is normally associated with anthropogenic sources of nutrients. The “trophic status” of lakes is the central concept in lake management. It describes the relationship between nutrient status and the organic matter in the lake. Eutrophication is the process of change from one trophic state to a higher trophic state by the addition of nutrient.

Although both nitrogen and phosphorus contribute to eutrophication, classification of trophic status usually focuses on that nutrient which is limiting. In the majority of cases, phosphorus is the limiting nutrient. While the effects of eutrophication such as algal blooms are readily visible, the process of eutrophication is complex and its measurement difficult. This document is intended to make a thorough review of the scientific aspects of eutrophication.

The purpose of this paper is to describe the different techniques to assess the degree of eutrophication of aquatic systems. Because of the complex interaction amongst the many variables that play a part in eutrophication, it is impossible to develop strict boundaries between trophic classes

Key word: Biotic index, eutrophication, nutrients, trophic state index (TSI)

Resumen

“Eutrofización” es el enriquecimiento de las aguas

^{*1}Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco. CBS. Departamento El Hombre y su Ambiente. Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud. Delegación Coyoacán, C. P. 04960, D.F. México. danypmf86@hotmail.com.

^{**}Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal ICyTDF.

superficiales con nutrientes disponibles para las plantas. Si bien la eutrofización se produce en forma natural, normalmente está asociada a fuentes antropogénicas de nutrientes. El “estado trófico” de los lagos es un concepto fundamental en la gestión de los mismos. En él se describe la relación entre el estado de nutrientes en un lago y el crecimiento de la materia orgánica en el mismo. Eutrofización es el proceso de cambio de un estado trófico a otro de nivel superior por adición de nutrientes.

Aunque tanto el nitrógeno como el fósforo contribuyen a la eutrofización, la clasificación del estado trófico normalmente se basa en el nutriente que representa una limitación. En la mayoría de los casos, el factor de limitante es el fósforo. Si bien los efectos de la eutrofización, como los florecimientos de algas, son fácilmente visibles, el proceso de eutrofización es complejo y ofrece dificultades de cuantificación. Este documento pretende hacer una revisión detallada sobre los aspectos científicos de la eutrofización.

El propósito de este documento es describir las diferentes técnicas que permiten evaluar el grado de eutrofia de los sistemas acuáticos. Dada la compleja interacción entre las numerosas variables que intervienen en la eutrofización, es imposible establecer una delimitación estricta entre las distintas clases tróficas.

Palabras clave: Eutrofización, índice biótico, índice del estado trófico (TSI)

Introducción

Las civilizaciones que dejaron huella emergieron siempre asociadas al agua. Las riberas de los lagos, en la región templada, han sido asentamiento de centros urbanos. El lago proporcionaba agua potable y, frecuentemente, fácil deposición de los residuos. Más recientemente, el agua para consumo se bombeaba de la profundidad del lago, que parecía ofrecer una reserva inagotable de agua de calidad.

Con el siglo XX empezó a cambiar una relación tan armónica: el agua del lago era cada vez más verdosa y menos transparente, y la calidad del agua subterránea, en ciertos momentos especialmente a fines de verano, era pobre, con poco oxígeno, abundante materia orgánica y ligeramente ácida (capaz de corroer el hierro y el cemento) todo lo cual encarecía su tratamiento y, lo que es más importante, era el principio de una amenaza sobre la disponibilidad del líquido. Este fenómeno es habitual en todos los países, parte de cuya población había organizado su vida en torno de los lagos, y la voz con que se les designa, *eutrofización*, ha pasado del entorno científico al dominio público.

El vocablo eutrofización inicialmente se utilizó para diferenciar los lagos eutróficos de los oligotróficos y tenía sentido regional o geográfico. Eran oligotróficos, por ejemplo, muchos lagos suecos y eutróficos los de la llanura norte de Alemania (Fig. 1). Y en cuanto a su estudio para conocer el transcurso del “envejecimiento” de los lagos inducido por procesos autóctonos que progresa aún sin tener la ayuda del hombre —eutrofización natural—. La contaminación acelera el envejecimiento natural y acorta considerablemente la vida del receptor acuático. Sin embargo, este término se utilizó posteriormente para definir el fenómeno provocado por los vertidos de los desechos de actividades humanas, llamándolo Proceso de eutrofización cultural o simplemente eutrofización; inicialmente se definió como “el abastecimiento excesivo de los nutrientes nitrógeno y fósforo a los cuerpos de agua, con el frecuente crecimiento acelerado de microalgas, que puede producir la muerte de peces al despojarlos del oxígeno que necesitan para vivir” (USEPA, 1997).

La eutrofización como proceso de origen antrópico va deteriorando su calidad, añadiendo mayores cantidades de nutrientes que son elementos esenciales para el crecimiento de organismos, principalmente nitrógeno (N), fósforo (P) y materia orgánica (MO); lo cual enriquece en nutrientes a los sistemas acuáticos pero limita el oxígeno. Este proceso se produce naturalmente en todo lago cuya afluencia de elementos nutritivos sea superior a la salida de los mismos.

El término eutrófico, se utiliza para distinguir aquellos lagos en los cuales el nivel nutritivo es particularmente alto y que se caracterizan por el estancamiento de sus aguas además de abundante vegetación litoral, siendo una situación irreversible por los

nutrientes acumulados. Margalef (1981) lo denomina como “lago humanizado”. “*Eutrofo*” se llama a un ecosistema caracterizado por una abundancia anormalmente alta de nutrientes. Se dice que dicho ambiente se encuentra forzado, bajo tensión o sometido a stress (Chalar, 2007).

El beneficio de estudiar el flujo los nutrientes principalmente; —nitrógeno y fósforo— a los cuerpos de agua, fue motivado por la evidente degradación de los ecosistemas acuáticos, por la excesiva acumulación de éstos. Asimismo, el estudio de la eutrofización como un proceso en ríos y lagos desde una perspectiva ecológica y geoquímica data de la década de los 60's.



Figura 1. Vista comparativa de un mismo lago, con diferentes grados de eutrofia. Fuente: Anónimo.

Proceso de eutrofización

Cuando el agua de una masa oligotrófica se enriquece de nutrientes, se inician muchos cambios. Primero, este enriquecimiento favorece el crecimiento y la multiplicación del plancton, lo que aumenta la turbidez del agua. Con la desaparición de la vegetación acuática sumergida, es evidente que se pierden alimentos, hábitats y el oxígeno disuelto (OD)

de la fotosíntesis. Pero la pérdida de OD se agrava por la siguiente razón: el fitoplancton está compuesto de organismos fotosintéticos que también producen oxígeno, como todas las plantas verdes. Como ocupan la superficie, ésta se satura del gas y el exceso se escapa a la atmósfera. En un día tranquilo y soleado, se pueden apreciar las burbujas de oxígeno que después de quedar atrapadas en las algas filamentosas, son liberadas a la superficie. De esta manera, la fotosíntesis del fitoplancton no abastece de oxígeno a las aguas más profundas, excepto durante ciertos momentos en la primavera y otoño. Además, el fitoplancton tiene índices de crecimiento y reproducción muy elevados. En condiciones óptimas, su masa puede duplicarse en un día. Así, el fitoplancton alcanza su máxima densidad poblacional y este crecimiento alcanza su *estado estable* para finalmente entrar en decaimiento siguiendo el comportamiento logístico. El fitoplancton muerto se asienta y produce en el fondo depósitos espesos de detritos como se observa en la Fig. 2 (Nebel y Wright, 1999).

A su vez, la profusión de detritos genera una abundancia de descomponedores, la mayoría bacterias, cuyo crecimiento explosivo crea una demanda nueva de OD, que se consume en la respiración. El resultado es el agotamiento del recurso con la consiguiente sofocación de peces y crustáceos. Sin embargo, las bacterias aerobias estrictas prosperan y aprovechan el oxígeno cada vez que está disponible, por lo que mantienen al agua sin OD, en tanto que haya detritos que las alimenten. Mientras que las bacterias anaerobias aparecen en el fondo produciendo gases como el amoníaco y el sulfuro de hidrógeno. Además, hay alguna oxidación de materia orgánica y de otros compuestos, lo que demanda más OD.

Causas de la eutrofización

Las principales causas antropogénicas de procesos de eutrofización pueden ser:

- Una de las más antiguas causas es la descarga de aguas residuales, las cuales son ricas en nutrientes, contribuyendo al cambio trófico del cuerpo de agua receptor.
- El uso excesivo de fertilizantes, que genera una contaminación del agua fundamentalmente mediante el aporte de nitrógeno (en forma de sales de nitrato y amonio) y fósforo (como fosfato).

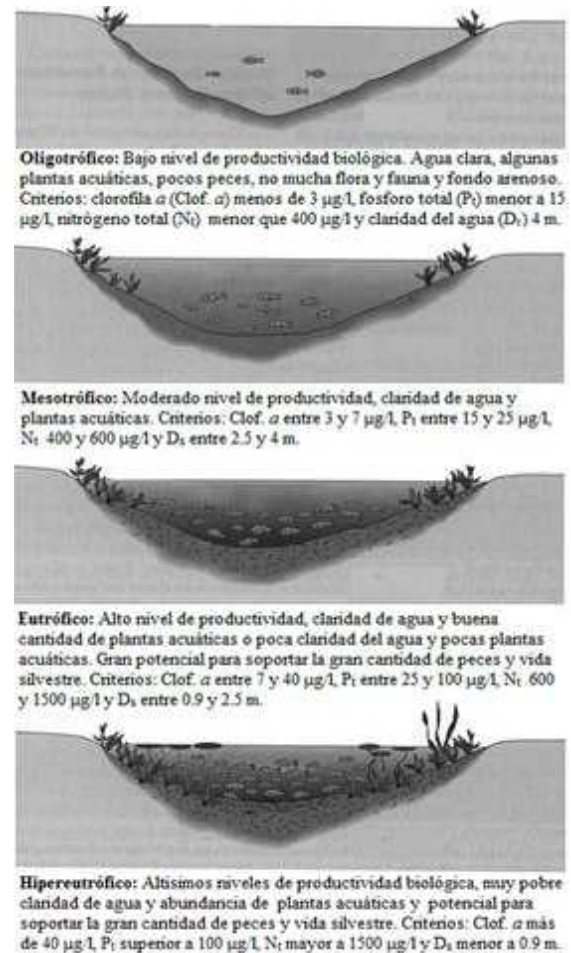


Figura 2. Criterios para definir los cuatro estados tróficos. Fuente: Modificado de Forsberg and Ryding en: Florida LAKEWATCH (2010) <http://lakewatch.ifas.ufl.edu/>

- La deforestación y la erosión en suelos agrícolas influyen en la carga de nutrientes, ya que los escurrimientos al pasar por una tierra que no tiene protección, “lavan” la capa fértil, llevándose consigo los nutrientes de la misma.
- La presencia de gases ambientales tales como óxidos de nitrógeno (NO_x) y óxidos de azufre (SO_x), al entrar en contacto con el agua atmosférica forman ion nitrato (NO₃⁻) e ion sulfato (SO₄⁻²), que forman sales solubles al alcanzar el suelo con los cationes del mismo, generando un empobrecimiento de dichos iones. Dichas sales son volcadas fácilmente en los cuerpos de agua, dando lugar a un proceso de eutrofización.

Los lagos eutróficos e hipertróficos suelen ser poco profundos y sufren altas tasas de cargas de nutrientes procedentes de fuentes tanto localizadas como no. La asociación de fósforo con sedimentos es un grave problema para la restauración de lagos enriquecidos y poco profundos. Las partículas enriquecidas con P se depositan en el fondo del lago y forman una abundante reserva de nutrientes en los sedimentos, a la que pueden acceder las plantas con raíces y que se descarga desde los sedimentos en condiciones de anoxia a la columna de agua superior, donde es rápidamente utilizada por las algas (Ackefors y Enell, 1992).

Efectos del proceso de eutrofización

En los ecosistemas acuáticos eutrofizados, se comienza a dar una alteración de la biota y de la diversidad biológica, provocando una proliferación de algas, cianobacterias y macrófitos en demasía. El desarrollo de estos organismos provoca opacidad, que impide que la luz penetre hasta regiones profundas de la columna de agua. Las consecuencias directas son la imposibilidad de llevar a cabo la fotosíntesis en lugares cada vez menos profundos de la columna de agua y por lo tanto, disminución en la producción de oxígeno libre; simultáneamente aumenta la actividad metabólica consumidora de oxígeno de los organismos descomponedores, que empiezan a recibir excedentes de materia orgánica generados en la superficie.

El fondo del ecosistema acuático se va convirtiendo de forma gradual en un ambiente anaerobio, y el consecuente aumento en la concentración de gases como anhídrido sulfuroso (H_2S), metano (CH_4) y anhídrido carbónico (CO_2), haciendo poco factible la vida de la mayoría de las especies que forman dicho ecosistema. Se da por tanto mortandad masiva de biota en general, bioacumulación de sustancias tóxicas, aumentando la sedimentación en los cuerpos de agua, reduciendo la vida útil, proliferando la aparición de organismos patógenos y vectores de enfermedad.

Evaluación de la eutrofización a través del grado de eutrofia

(a) Técnicas tradicionales para evaluar el estado trófico

Para evaluar el proceso de eutrofización se contemplan diferentes estrategias que van desde la inspección visual hasta técnicas de vanguardia, como el método isotópico de marcaje con isótopos radiactivos, además de la tecnología de información sateli-

tal. Todos ellos tan importantes como funcionales.

Análisis de las macrófitos y del fitoplancton:

Se toman muestras de macrófitos flotantes (pleuston) para su identificación, se estima la cobertura relativa en superficie de cada área de muestreo. También se colectan muestras de las macrófitos sumergidas (limnófitas) y se estima la cobertura relativa de sustrato, así como el índice de diversidad de Shannon-Wiener. Para el análisis de fitoplancton se toman muestras de agua, se fijan empleando para ello solución lugol o alcohol etílico, para posteriormente se concentran en el laboratorio con una malla de $25 \mu m$, para luego realizar el análisis cualitativo y cuantitativo con ayuda de un microscopio compuesto. Se estima la abundancia relativa porcentual y el índice de diversidad de Shannon-Wiener.

Índice del Estado Trófico (IET o TSI)

Carlson (1977) propuso este índice, es uno de los más utilizados varía entre 0 y 100 es decir, de oligotrófico a hipereutrótico. Se obtiene a través de la transparencia determinada con el disco de Secchi (DS), por ejemplo, un valor de TSI = 0 corresponde a una profundidad del DS 64 m y cada incremento de 10 m en TSI representa una reducción del 50 %, (ver tabla I). El mismo índice puede determinarse a partir de otros parámetros, como la concentración de clorofila *a* (Clorf *a*) y fósforo total (P_t), cuya relación con la transparencia se ha deducido previamente. Las fórmulas que figuran a continuación (Tabla II), corresponden a la propuesta de Carlson (1977) y a la modificación realizada por Aizaki *et al* (1981) a la misma.

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE)

El estudio más completo sobre la eutrofización hasta ahora realizado lo ejecuto “Programa Cooperación sobre la Eutrofización”, de la OCDE realizado en la década de 1970 con la participación de connotados científicos de 18 países y coordinados por Vollenweider (OCDE, 1982). Establecieron una secuencia de categorías tróficas cimentado en las concentraciones de P_t , Clorf *a*, nitrógeno total (N_t) y transparencia medida con el D_s , (ver tabla III).

Dada la compleja interacción entre las numerosas variables que intervienen en la eutrofización, Janus y Vollenweider (1981) llegaron a la conclusión de que es imposible establecer una limitación estricta entre las distintas categorías tróficas (tabla III).

Tabla I: Escala de valores del estado trófico en los cuerpos de agua.

Estado de eutrofia	TSI	D _s (m)	P _t (mg/m ³)	Clorf a (mg/m ³)
Oligotrófico (TSI < 30)	0	64	0.75	0.04
	10	32	1.5	0.12
	20	16	3	0.34
	30	8	6	0.94
Mesotrófico (30 < TSI < 60)	40	4	12	2.6
	50	2	24	6.4
	60	1	48	20
Eutrófico (60 < TSI < 90)	70	0.5	96	56
	80	0.25	192	154
	90	0.12	384	427
Hipereutrófico (90 < TSI < 100)	100	0.06	768	1183
Relación de los parámetros de eutrofización.		$\frac{TSI_{D_s}}{2}$	$2 \times TSI_{P_t}$	$\sqrt{7.8} TSI_{Clorfa}$

Fuente: Modificado de Carlson (1977; 1980)

Tabla II: Fórmulas para estimar el estado trófico aplicando los indicadores de eutrofia.

Parámetro de eutrofización	Carlson (1977; 1980)	Aizaki <i>et al.</i> (1981)
Claridad del agua (D _s)(m)	$TSI_{D_s} = 60 - 14.41 \ln(D_s)$	$TSI_{D_s} = 10 \times (2.46 + \frac{3.76 - 1.57 \ln(D_s)}{\ln 2.5})$
Fosforo total (P _t) (mg/l)	$TSI_{P_t} = 14.42 \ln(P_t) + 4.15$	$TSI_{P_t} = 10 \times (2.46 + \frac{6.68 - 1.15 \ln(P_t)}{\ln 2.5})$
Clorofila a (Clorf a) (mg/m ³)	$TSI_{Clorfa} = 9.81 \ln(Clorf a) + 30.6$	$TSI_{Clorfa} = 10 \times (2.46 + \frac{\ln(Clorf a)}{\ln 2.5})$

Fuente: Modificado de Carlson (1977; 1980) y Aizaki *et al.* (1981)

La clasificación del estado trófico normalmente se basa en el nutriente que representa una limitación. En la mayor parte de los casos, el factor limitante es el fósforo. No obstante, los factores señalados indican los tipos de variables que deben tenerse en cuenta.

Para conocer el nivel de eutrofización de un agua determinada se suele medir el contenido de clorofila *a* de algas en la columna de agua y este valor se combina con otros parámetros. Esto significa que de acuerdo al contenido total de fósforo (10 mg/m³), el lago tiene un 63% de probabilidad de ser clasificado como Oligotrófico y 26% de probabilidad de ser clasificado como mesotrófico de acuerdo a distribución de probabilidad de categoría trófica indicada en la (Fig. 3) y sintetizada en (Tabla IV)

Índice de eutrofización por nutriente

El índice de eutrofización por nutriente (I_E), de Karydis *et al.*, (1983), fue ideado con los siguientes criterios:

a) Especificidad para cada nutriente

b) Considera el aporte del nutriente en áreas distintas

c) Adimensional y se aplica en varios tipos de agua

d) Altamente sensible a los efectos de eutrofización y sencillo al manipular datos y realizar su cálculo.

Los autores argumentan que los resultados de la ecuación proporcionan una valoración continua de la calidad del agua:

$$I_E = \frac{C}{C - \log X} + \log A$$

Donde:

I_E : Índice de eutrofización por nutrientes de cada estación de muestreo, durante el período de estudio, compuesto por M muestreos.

A: Número de estaciones de muestreo durante el período de estudio. C: Logaritmo de la concentración total del nutriente durante el periodo de estudio, es decir, es la suma de las concentraciones X_{ij}

Tabla III: Valores límites de la OCDE para un sistema completo de clasificación trófica.

Categoría trófica	P_t ($\mu\text{g/L}$)	Clorof <i>a</i> ($\mu\text{g/L}$)		Transparencia D_s (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
Ultraoligotróficos	< 4.0	< 1.0	< 2.5	6 > 12.0	> 6.0
Oligotrófico	< 10.0	< 2.5	< 8.0	> 6.0	> 3.0
Mesotrófico	10 - 35	2.5 - 8	8.0 - 25	6.0 - 3.0	3.0 - 1.5
Eutrófico	35 - 100	25 - 75	25 - 75	3.0 - 1.5	1.5- 0.7
Hipertrófico	> 100	> 75	> 75	< 1.5	< 0.7

Modificado de: OCDE (1982)

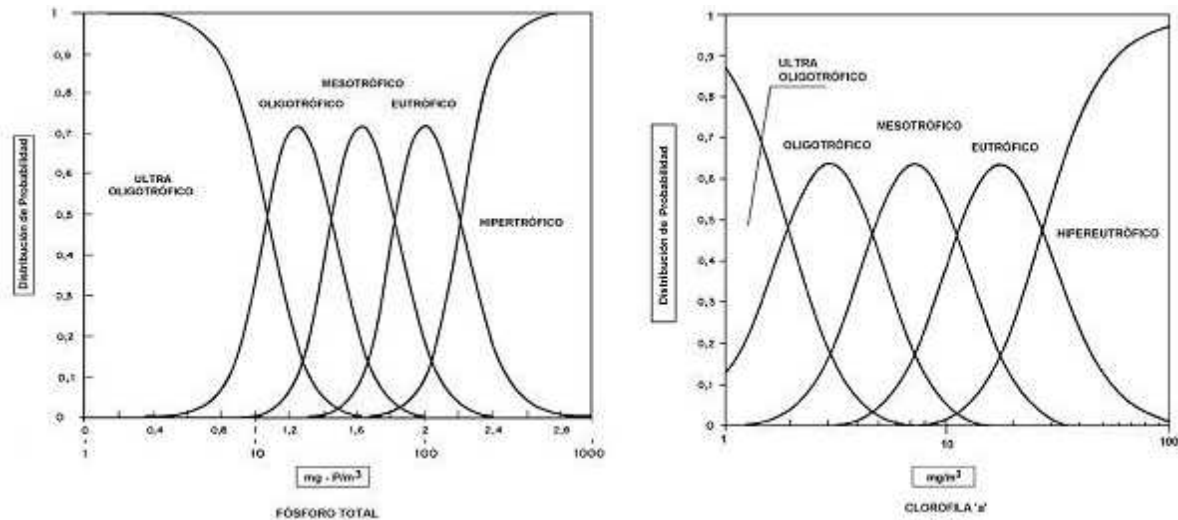


Figura 3. Distribución de la probabilidad categoría trófica de lagos cálidos tropicales basados con la concentración de fósforo total y clorofila a. Fuente: Vollenweider y Kerenkes (1981)

del nutriente obtenidas en cada una de las A_i estaciones durante los M_j muestreos.

$$C = \log \sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^M X_{ij}$$

X_i : Concentración total del nutriente en la estación A_i durante el período de estudio; es decir, es la suma de las concentraciones del nutriente obtenidas en la estación A_i durante los M_j muestreos.

$$X_i = \sum_{j=1}^M X_{ij}$$

La escala de clasificación es: si $I_E > 5$ indica estado eutrófico, $3 \leq I_E \leq 5$ indica estado mesotrófico y $I_E < 3$ indica estado oligotrófico.

Estado trófico TRIX

Es un índice multivariado denominado índice del estado trófico TRIX propuesto por Vollenweider *et al.* (1998).

$$TRIX = \frac{\text{Log}_{10}((\text{Clorfa}) \times |\%O_d| \times \text{NID} \times \text{PRS}) + K}{m}$$

Donde: cada uno de los cuatro componentes representa un estado trófico variable a decir que:

(a) Factores de productividad

Clorof *a* = concentración de clorofila a μgL^{-1}

$|\%O_d|$ = valor absoluto de la desviación del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, es decir, $[100 - \%O_d]$

(b) Factores nutricionales

NID = nitrógeno inorgánico disuelto N como: $[\text{N-NO}_3 + \text{N-NO}_2 + \text{N-NH}_4]$, en $(\mu\text{g N L}^{-1})$

PRS = fósforo reactivo soluble $(\mu\text{g P L}^{-1})$

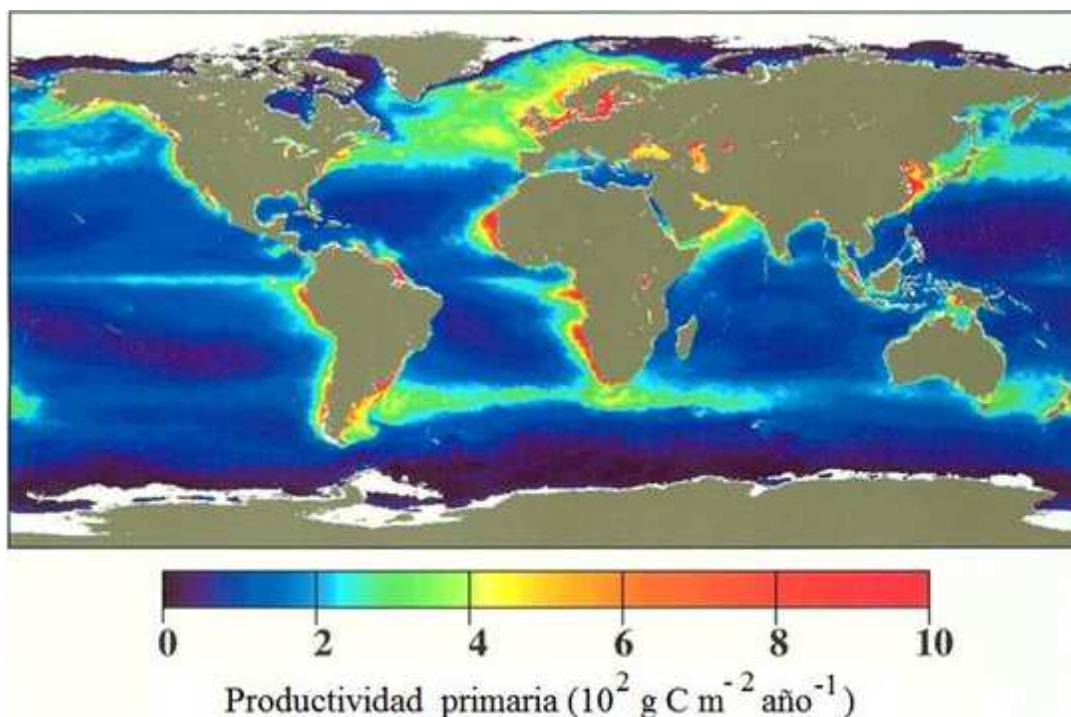


Figura 4. Variación de la productividad primaria en los océanos. Fuente: Anónima

Tabla IV: Distribución de porcentajes de fósforo y clorofila a dentro de los distintos estados tróficos.

	Fósforo (%)	Clorofila (%)
Ultra-oligotrófico	10	6
Oligotrófico	63	49
Mesotrófico	26	42
Eutrófico	1	3
Hipertrófico	0	0
	100	100

Fuente: Janus y Vollenweider, 1981

Las constantes $K = 1.5$ y $m = 12/10 = 1.2$, son valores de escala introducidos para ajustar el valor límite más bajo del índice y la extensión de la escala trófica relacionada, de 0 a 10 unidades TRIX. Ver tabla de criterios (Tabla V).

(c) Nuevas tecnologías para evaluar la eutrofia

Sistema de Información Geográfica (SIG)

Es un método que estudia la distribución espacial de las condiciones de eutrofia en ambientes lacustres; considerando un TSI formado por seis indicadores físicos, químicos y biológicos; fósforo total (TSI_{P_t}), nitrógeno total (TSI_{N_t}), Demanda Química

de Oxígeno (TSI_{DQO}), profundidad del Disco de Secchi (TSI_{D_s}), concentración de clorofila a ($TSI_{Clorofila}$) (Fig. 4) y la biomasa de fitoplancton (TSI_{Bf}); lo que describe la eutrofización del medio ambiente del lago.

Hay una escala de 0-100 para indicar diferentes estados tróficos en el entorno lacustre: oligotrófico, mesotrófico menor, mesotrófico superior, mesotrófico, eutrófico, hipereutrófico y muy hipereutrófico.

La distribución espacial se determina por el método de interpolación, utilizando la distancia inversa ponderada (IDW por sus siglas en inglés). Se realizan mapas temáticos para clasificar los valores interpolados de los diferentes estados tróficos (ver Fig. 4)

Esta técnica se aplica para sintetizar la información de los mapas temáticos en un mapa final que ilustra la distribución espacial de las condiciones de eutrofización del área de estudio como lo muestra la Fig. 5 (Fu-Liu *et al.*, 2000).

Tabla V: Índice del estado TRIX y calidad del agua.

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

Fuente: Vollenweider *et al.* (1998).

Método isotópico

Los isótopos estables son muy utilizados para abordar procesos que tienen lugar a una escala global, tales como:

- Evaluar la contribución de los aportes de los materiales orgánicos de origen terrestre a los sistemas acuáticos lóticos (ríos)
- Evaluar la contribución del metabolismo de las comunidades de microorganismos a las redes tróficas
- Estudiar el funcionamiento ecológico de los estuarios
- Estudiar las implicaciones ecológicas de las migraciones de peces

Por otro lado, se revisan también otras cuestiones derivadas de la influencia antropogénica y su impacto generado en los ecosistemas, tales como:

- Evaluar el origen de los contaminantes y de su bio-magnificación en las redes tróficas
- Analizar la influencia de las especies exóticas introducidas (EEI)
- El proceso de eutrofización en aguas epicontinentales (Alcorlo-Pagés, 2008)

En este contexto los isótopos estables de nitrógeno $\delta^{15}\text{N}$ y ^{14}N , se emplean como indicadores del aporte de nutrientes como una respuesta a la proporción $\delta^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ de productores primarios, macrófitos y fitoplancton.

El uso de este método de marcadores radiactivos señala la ruta de los nutrientes al generar el proceso la eutrofización y predice la entrada de aguas residuales en ecosistemas acuáticos. (Cole *et al.*, 2004).

Agradecimientos

Deseo manifestar mi gratitud al Instituto de Ciencia

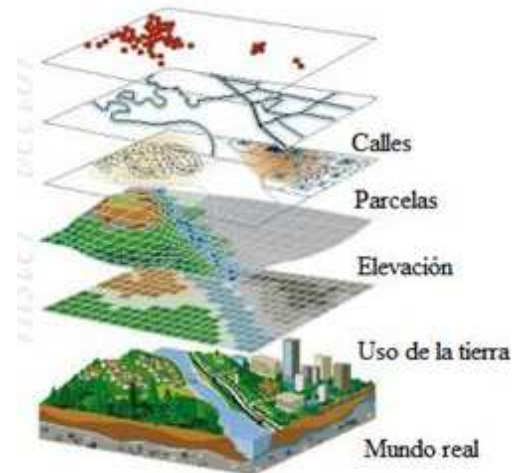


Figura 5. Técnica de sobreposición de imágenes del sistema de información geográfica (SIG) Fuente: environmentaljusticeblog.blogspot.com/2008_04... (2010)

y Tecnología del Distrito Federal al otorgarme su apoyo como becario.

Bibliografía

1. Ackefors, H. y Enell, M. (1992). Pollution loads derived from aquaculture: land-based and water-based systems. *En: Workshop on Fish Farm Effluents and their Control in EC Countries*. Publicado por el Department of Fishery Biology, Institute for Marine Science, Christian-Albrechts-University of Kiel, Alemania, 3-4 pp.
2. Aizaki, M. O. Otsuki, M. Fukushima, M. Hosomi and Muraoka. (1981). *Application of Carlson's trophic state index to Japanese lakes and relationships between the index and other parameters*. *Verh. Internat. Verein Limnol.* 21:675-681.
3. Alcorlo-Pagés, P. (2008) Distintas aplicaciones de isótopos estables $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en el estudio de ecosistemas acuáticos continentales. *En: P. Alcorlo, R. Redondo y J. Toledo (2008) Técnica*

- cas y Aplicaciones Multidisciplinarias de los Isótopos Ambientales. Ediciones Universidad Autónoma de Madrid, UAM. Madrid. 347 - 374.
4. Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.* 22: 361-369.
 5. Chalar, G. 2007. *Dinámica de la Eutrofización a Diferentes Escalas Temporales: Embalse Salto Grande (Argentina-Uruguay)*. Ed. J. Galicia Tundisi, T. Matsumura Tundisi & C. Sidagis Galli (eds.). São Carlos, SP, Brasil. pp. 87- 101.
 6. Cole, M. L., I. Valiela, K. D. Kroeger, G. L. Tomasky, J. Cebrian, C. Wigand, R. A. McKinney, S. P. Grady, & M. E. C. Silva. 2004. Assessment of a $\delta^{15}\text{N}$ isotopic method to indicate anthropogenic eutrophication in aquatic ecosystems. *J. Environ. Qual.* 33:124-132.
 7. Fu-Liu, X., Shu, T., Dawson, D. W. and Beng-Gang, L. (2001). A GIS-based method of Lake Eutrophication assessment. *Ecol. Model.* 144(2-3):231-244.
 8. Janus, L. L. and Vollenweider, R. A. (1981). *The OECD Cooperative Programme on Eutrophication: Summary Report - Canadian Contribution*. Inland Waters Directorate Scientific Series No. 131, Ministerio del Medio Ambiente del Canadá, Burlington, Ontario, Canadá.
 9. Karydis, M., L. Ignatiades & Moshopoulou. N. (1983). An index associated with nutrient eutrophication in the marine environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 16: 339-344.
 10. Margalef, R. (1981). *Ecología*. Editorial Planeta. Barcelona. 252 pp.
 11. Nebel, B. J. y Wright, R. T. (1999). *Ciencias Ambientales: Ecología y Desarrollo Sostenible*. 6th ed. México: Pearson-Prentice Hall. 698 pp.
 12. OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) 1982. *The OCDE Listo Social Indicators*, Paris.
 13. USEPA (United States. Environmental Protection Agency) 1997. *Protecting Coastal Waters from Nonpoint Source Pollution*. In: U.S. Environmental Protection Agency. Washington D.C. USA. 841-F-96-004E.
 14. Vollenweider, R. A. & Janus, L. L. 1981. *Statistical models for predicting hypolimnetic oxygen* Research Institute. Canada Centre for Inland Waters. Ontario. 38 p.
 15. Vollenweider, R. A., F. Giovanardi, G. Montanari & A. Rinaldi. (1998). Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special reference to the NW Adriatic Sea: proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index. *Environmetrics*, 9:329-357.