



# UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA ACUÍCOLA

FACTORES RESPONSABLES DE LA EUTROFIZACIÓN EN  
ECOSISTEMAS LACUSTRES TROPICALES

QUIJIJE FRÍAS JERENY DANIELA  
INGENIERA ACUÍCULTORA

MACHALA  
2022



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA ACUÍCOLA**

**FACTORES RESPONSABLES DE LA EUTROFIZACIÓN EN  
ECOSISTEMAS LACUSTRES TROPICALES**

**QUIJIJE FRÍAS JERENY DANIELA  
INGENIERA ACUÍCULTORA**

**MACHALA  
2022**



# UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA ACUÍCOLA

EXAMEN COMPLEXIVO

FACTORES RESPONSABLES DE LA EUTROFIZACIÓN EN ECOSISTEMAS  
LACUSTRES TROPICALES

QUIJIJE FRÍAS JERENY DANIELA  
INGENIERA ACUÍCULTORA

SANTACRUZ REYES ROBERTO ADRIAN

MACHALA, 24 DE AGOSTO DE 2022

MACHALA  
24 de agosto de 2022

# draft-titulación-JQuijije2

*por* Jéreny Quijije

---

**Fecha de entrega:** 17-ago-2022 12:41p.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 1883627556

**Nombre del archivo:** QUIJJE\_FR\_AS\_JERENY\_DANIELA\_PT-280322\_EC\_1.docx (1.14M)

**Total de palabras:** 6333

**Total de caracteres:** 37513

## CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

La que suscribe, QUIIJE FRÍAS JERENY DANIELA, en calidad de autora del siguiente trabajo escrito titulado Factores responsables de la eutrofización en ecosistemas lacustres tropicales, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

La autora declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

La autora como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 24 de agosto de 2022



QUIIJE FRÍAS JERENY DANIELA  
0706747250

## RESUMEN

Los lagos son ecosistemas acuáticos que abarcan  $402 \text{ km}^2$  de la superficie terrestre y su importancia radica en la disponibilidad de agua para las actividades humanas. Entre los tipos de lagos destacan los tropicales, que se caracterizan por poseer temperaturas por encima de los  $20^\circ\text{C}$ . Lo particular de los lagos es el proceso natural de envejecimiento causado por la deposición constante de sedimentos en el fondo, producto de la eutrofización provocada por alta concentración de nutrientes, poca profundidad, escasa cobertura vegetal, escorrentía y características geológicas, con lo cual llega a convertirse en un ecosistema terrestre, proceso natural que toma miles de años. La actividad antropogénica ha acelerado el envejecimiento de los ecosistemas lacustres debido principalmente a la eutrofización, mediada generalmente por el uso de fertilizantes agrícolas, emisión de residuos industriales que se descargan al cuerpo de agua, nitrógeno liberado a la atmósfera por la quema de combustibles fósiles, etc. El nivel trófico en el que se encuentra un lago puede ser determinado mediante varios métodos de evaluación como por ejemplo, el TSI (Trophic State Index), entre otros. La eutrofización en los ecosistemas lacustres desequilibra el hábitat de las especies, trayendo consigo consecuencias catastróficas para todos los organismos activos en la cadena trófica lacustre, y para la salud humana.

**Palabras clave:** Eutrofización, Lagos tropicales, ecosistema lacustre, estado trófico, nutrientes

## **ABSTRACT**

Lakes are aquatic ecosystems that cover 402  $km^2$  of the earth's surface and their importance lies in the availability of water for human activities. Among the types of lakes, tropical lakes, characterized by temperatures above 20°C, stand out. The particular feature of lakes is the natural aging process caused by the constant deposition of sediments on the bottom, as a result of eutrophication caused by high nutrient concentration, shallow depth, scarce vegetation cover, runoff and geological characteristics, thus becoming a terrestrial ecosystem, a natural process that takes thousands of years. Anthropogenic activity has accelerated the aging of lake ecosystems mainly due to eutrophication, generally mediated by the use of agricultural fertilizers, industrial waste discharged into the water body, nitrogen released into the atmosphere from the burning of fossil fuels, etc. The trophic level of a lake can be determined by various assessment methods such as the Trophic State Index (TSI), among others. Eutrophication in lake ecosystems unbalances the habitat of species, bringing with it catastrophic consequences for all organisms active in the lake trophic chain, and for human health.

Key words: Eutrophication, tropical lakes, lake ecosystem, trophic state, nutrients.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>Introducción.....</b>	<b>5</b>
<b>Desarrollo.....</b>	<b>6</b>
<b>Ecosistemas Lacustres.....</b>	<b>6</b>
<i>Lagos tropicales.....</i>	<i>6</i>
<b>Eutrofización.....</b>	<b>7</b>
<i>Causas de la Eutrofización.....</i>	<i>9</i>
<b>Indicadores Físico-Químicos de la Eutrofización.....</b>	<b>10</b>
<i>Nitrógeno (N).....</i>	<i>10</i>
<i>Fósforo (P).....</i>	<i>10</i>
<i>Potencial Hidrógeno (pH).....</i>	<i>11</i>
<i>Transparencia.....</i>	<i>12</i>
<i>Oxígeno Disuelto (O<sub>2</sub>).....</i>	<i>12</i>
<b>Indicadores Biológicos de la Eutrofización.....</b>	<b>12</b>
<i>Flora.....</i>	<i>12</i>
<b>Fitoplancton.....</b>	<b>12</b>
<b>Macrófitas.....</b>	<b>13</b>
<i>Fauna.....</i>	<i>14</i>
<b>Índice de Estado Trófico.....</b>	<b>15</b>
<b>Efectos de la Eutrofización.....</b>	<b>19</b>
<b>Lagos Tropicales Eutrofizados.....</b>	<b>21</b>
<b>Conclusión.....</b>	<b>26</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>27</b>



## Lista de Figuras y Tablas

Figura 1 Proporción aproximada de lagos tropicales según su origen.....	7
Figura 2. Comparación de los procesos de eutrofización natural y artificial.....	8
Figura 3. Bloom algal de cianofita ( <i>Nodularia spumigena</i> ).....	13
Tabla 1. Descripción de métodos para evaluar el Estado Trófico de un ecosistema lacustre..	16
Figura 4. Cianobacterias identificadas en FAN (Floración Algal Nociva).....	20
Figura 5. Cianobacteria <i>Microcystis aeruginosa</i> .....	23
Figura 6. Variación anual de la abundancia de la cianobacteria <i>Cylindrospermopsis</i> sp.....	24

## Introducción

El volumen de agua del planeta es de 1'386.000  $km^3$ , donde el 97% es salada, tan sólo el 3% es agua dulce, y donde el 70% no está apto para el consumo por su estado sólido (en forma de glaciares), el 30% representa a aguas subterráneas y cerca del 1% está disponible para el uso humano. Entre las principales fuentes de agua disponible destacan los ecosistemas lacustres o lénticos, comúnmente conocidos como Lagos (OMS, 2018)

Actualmente hay 304 millones de lagos en todo el mundo, que cubren aproximadamente 402 millones de  $km^2$  de la superficie terrestre continental. La mayoría de estos ecosistemas son geológicamente jóvenes; son principalmente de origen glaciar, tectónico, volcánico o fluvial. Los lagos no se consideran características del paisaje altamente permanentes, y se estima que están destinados a cumplir su ciclo naturalmente por la acumulación de materia orgánica y sedimentos convirtiéndose en ecosistema terrestre (Criales et al., 2020).

Sin embargo, los ecosistemas lénticos se enfrentan a amenazas, que en su mayoría son de origen antropogénico. La eutrofización es uno de los retos más frecuentes a los que se enfrentan los sistemas de agua dulce en todo el mundo, consiste en el aumento de la concentración de nutrientes en un ecosistema acuático (Hwang, 2020).

La eutrofización provoca importantes alteraciones, afectando la biodiversidad de especies y las relaciones ecológicas que se suscitan entre los organismos autótrofos, consumidores y descomponedores debido al desequilibrio del ambiente, además de la incapacidad de consumo de agua ya sea para fines económicos, recreativos o de uso cotidiano.

Debido a lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo determinar las causas que intervienen en la eutrofización de lagos tropicales mediante la recopilación de información bibliográfica

## Desarrollo

### **Ecosistemas Lacustres**

Se define como ecosistema una unidad biológica, la cual abarca a organismos en un área determinada y su respectivo medio físico. El ecosistema lacustre, también llamado ecosistema léntico o lago, es un cuerpo de agua dinámico, vital para la vida silvestre acuática y las necesidades humanas, y cualquier alteración de su calidad ambiental y de las tasas de renovación del agua tiene implicaciones ecológicas y sociales de gran alcance (Vincent, 2009).

Un ecosistema lacustre naturalmente evoluciona durante un largo periodo de tiempo, en donde los sólidos se asientan en el fondo formando sedimentos, de esta manera se acumulan en capas que pueden llegar a las decenas de metros, conjuntamente con la intervención del clima. Mientras tanto, la vegetación circundante o pantanos llegan a colonizar la parte central, el lago llega a rellenarse y pierde sus funciones ecológicas de estanque, convirtiéndose en pantano y al pasar los años llegaría a ser un bosque húmedo, dependiendo de la zona donde se encuentre (Yépez, 2019).

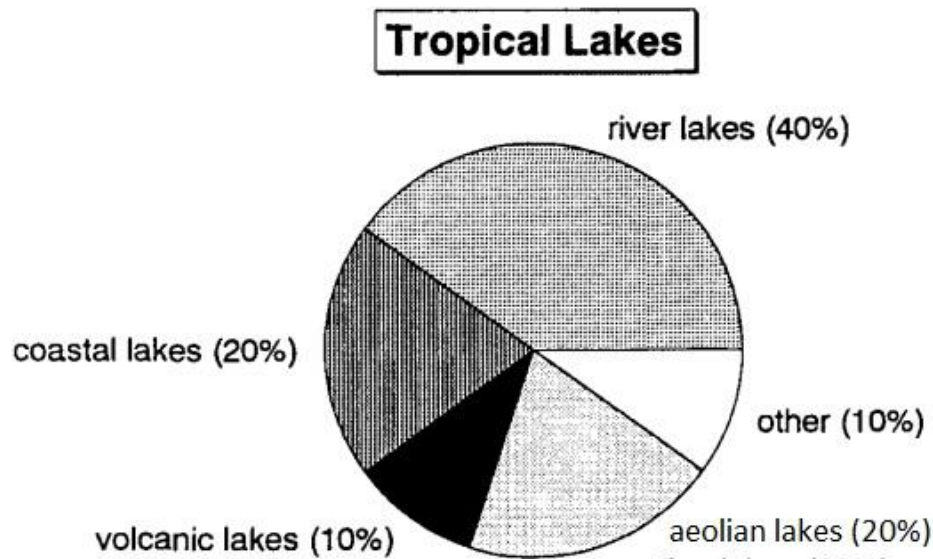
### ***Lagos tropicales***

Los lagos se pueden diferenciar por clasificación térmica; los lagos fríos presentan temperaturas de 4°C en aguas profundas y en superficiales menor a 4°C, los lagos templados una capa de agua superficial >4°C, y lagos tropicales a temperaturas de 20°C en la capa superior, que ocasionalmente llega a mezclarse con la capa inferior (Moreta, 2011)

El muestreo aleatorio de mapas sugiere que no más del 10% de los lagos del mundo son tropicales (Lewis, 1987). El origen de los lagos tropicales más común es el fluvial, cuando los ríos sinuosos modifican su curso provocan el aislamiento de alguno de los meandros, luego llegarán a ser lagos, generalmente se presentan en forma de herradura. Algunos lagos son de origen eólico, es decir, se forman a partir de depresiones que son excavadas por la acción del viento en materiales blandos. Las lagunas tropicales costeras surgen de la filtración del agua oceánica dirigida a una cuenca cercana. En el caso de lagos volcánicos, su origen es endógeno, el agua se deposita en el cráter de un volcán que no presenta actividad (Lewis, 1996).

## Figura 1.

Proporción aproximada de lagos tropicales según su origen



Nota. El gráfico representa el porcentaje del tipo de lagos tropicales según su origen, el 40% son fluviales, 20% costeros, 20% eólicos, 10% volcánicos y el 10% se forman por otros medios. Adaptado de "Tropical Lakes: how latitude makes a difference" (p.45), por Lewis, 1996, *Perspectives in Tropical Limnology*, 43-64.

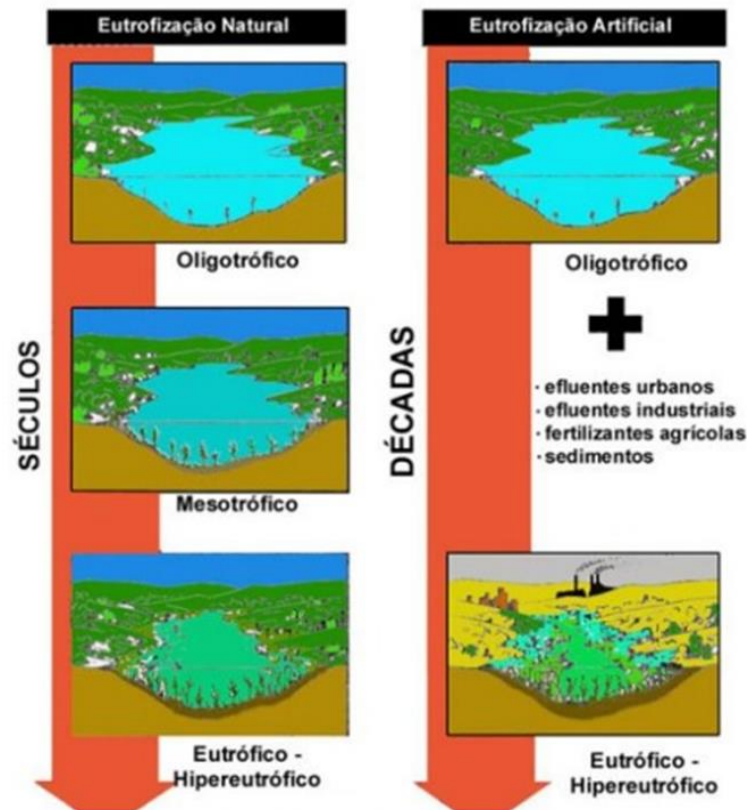
## Eutrofización

La preocupación por la eutrofización es un desarrollo relativamente reciente en la literatura científica, y los primeros recuerdos se remontan a la década de 1950 (Lemley & Adams, 2018).

Se define como eutrofización al proceso que abarca el incremento de las concentraciones de nutrientes (nitrógeno y fósforo) en cuerpos de agua, sea por procesos naturales o antropogénicos, el cual difícilmente puede llegar a ser totalmente compensado por el proceso de mineralización, de manera que interfiere en los procesos ecológicos naturales del ecosistema por medio de la acumulación de materia orgánica causando la disminución de oxígeno disuelto (OD) en el agua, (Mas, 2017).

**Figura 2**

Comparación de los procesos de eutrofización natural y artificial.



Fuente: (LIMNOLAB, 2018)

La eutrofización es la respuesta del ecosistema a la carga de nutrientes, típicamente nitrógeno (N) y fósforo (P), causada por el efecto de factores naturales y la actividad antropogénica (Muri et al., 2018). La eutrofización destruye el equilibrio ecológico del lago, lo que provoca la proliferación frecuente de algas verdeazuladas, un deterioro cada vez más grave de calidad del agua y muerte masiva de animales acuáticos como peces, lo cual generará enormes pérdidas económicas (Du et al., 2019).

Cuando es producida de manera natural, el proceso de eutrofización es lento y gradual, al contrario de la eutrofización antropogénica o cultural, la cual se da de una manera acelerada acompañada del aumento desenfrenado de biomasa fitoplanctónica, imposibilitando el equilibrio ecológico del ecosistema lacustre (García & Miranda, 2018).

## *Causas de la Eutrofización*

Los principales factores naturales que fomentan la eutrofización según Mas (2017) son:

**Clima:** Las altas temperaturas favorecen la eutrofización.

**Profundidad:** Cuanto menos profundo es el medio acuático, más fácil es que se desarrollen procesos de eutrofización.

**Área de drenaje:** Las áreas con poca cobertura vegetal y alta precipitación son propicias para el arrastre de nutrientes, dando lugar a procesos de eutrofización.

**Geología:** Cuando se presentan áreas significativas que almacenan sedimentos, el aporte de fósforo es superior a comparación de otros tipos de terrenos. Por el contrario, las arcillas poseen baja capacidad de drenaje, de esta forma favorece la escorrentía.

Las razones antropogénicas para acelerar la eutrofización son:

**Fertilizantes:** La aplicación continuada de fertilizantes químicos y estiércol animal destinados a la agricultura es la principal amenaza para los ecosistemas lénticos. El riego que se produce por el sector agrícola o las precipitaciones transportan estos compuestos por medio de escorrentía que llegan a las zonas bajas alcanzando a los lagos.

**Residuos emitidos por el área industrial y municipal:** La problemática se debe especialmente al requerimiento constante de materiales por parte de la humanidad, la demanda de recursos es mayor y aumentan directamente las actividades industriales, en las que el uso del recurso hídrico es fundamental para la realización de estos materiales, al momento de utilizar los recursos se descarga los residuos al cuerpo de agua acelerado el proceso de eutrofización.

**Recursos energéticos no renovables:** La quema de los combustibles fósiles libera nitrógeno a la atmósfera y puede regresar al agua y al suelo a través de la precipitación.

Los autores Lemley & Adams (2018) relatan que un lago es considerado eutrófico cuando se den eventos como una carga mayor de nutrientes, además que sea persistente, es decir, no estocásticos, recurrentes, es decir, estacionales, y además induzcan consecuencias nocivas para el medio ambiente

## **Indicadores Físico-Químicos de la Eutrofización**

### ***Nitrógeno (N)***

El nitrógeno se deriva principalmente del nitrógeno atmosférico, es devuelto al ambiente por escorrentía, precipitaciones y fijaciones biológicas. Este elemento se encuentra en distintos compuestos, considerándose uno de los más variables debido a la presencia de microorganismos y la capacidad de transformación química de los compuestos nitrogenados (Roldán y Ramírez, 2008). En ecosistemas acuáticos se presenta de forma inorgánica, generalmente en amoníaco, amonio, nitrito y nitrato, como resultado de la descomposición de la materia orgánica (Hernández, 2018).

Elementos como el fósforo y el nitrógeno son decisivos para desarrollar la productividad primaria. Durante mucho tiempo se ha considerado que el fósforo es el nutriente con más importancia capaz de controlar el fitoplancton en lagos que se encuentran en latitudes altas, sin embargo, se cree que en los trópicos el elemento limitante es el fósforo (Hernández, 2018).

Zhang et al., (2018) relata que un nivel trófico superior corresponde a una relación N/P más baja, lo que puede atribuirse a una pérdida de N y un aumento de P.

### ***Fósforo (P)***

Es un constituyente importante a nivel celular, ejerce como acumulador y liberador de energía para la actividad enzimática (Trifosfato de adenosina) por medio de los enlaces que poseen, asimismo es fundamental para la estructura de membranas celulares y ADN (Aubriot et al., 2009).

El ciclo del fósforo es un proceso sedimentario. Naturalmente, el fósforo ingresa al medio ambiente a través de las rocas o los suelos. Mucho del fosfato es arrastrado al agua por la erosión y la minería. Estos fosfatos tienden a asentarse en los fondos lacustres y oceánicos. Puede volver a entrar en el ciclo a través de procesos geológicos. Sin embargo, el proceso suele tardar millones de años. Por otro lado, algunos fosfatos entran en los lagos de forma antropogénica a través de la escorrentía superficial y la descarga de aguas residuales y desechos. En los lagos, la mayor parte de la carga de fosfato es absorbida por organismos vivos o se deposita en el fondo del lago (Wang et al., 2009).

El fósforo es liberado a la columna de agua a partir de los sedimentos mediante reacciones de óxido-reducción (redox) realizadas por la metanogénesis bacteriana, provocando el aumento de las concentraciones de fósforo (Aubriot et al., 2009).

Existen algunas especies de cianobacterias, como *Anabaena*, que para su crecimiento y además su producción de toxinas se toma en cuenta las cantidades totales del fósforo (PT) (Hernández, 2018).

### ***Potencial Hidrógeno (pH)***

El pH es un factor químico del agua que mide su acidez o alcalinidad. Los valores van de 0 a 14 de Potencial Hidrógeno. Un pH por debajo de 7 se considera agua ácida y por encima de 7 es alcalina o básica. El potencial de hidrógeno es un indicador significativo en los procesos biológicos y químicos de cuerpos de agua. El pH que posee un lago de tierras bajas tropicales varía de 5 a 9, sin embargo, dependerá de la alcalinidad y el nivel eutrófico (Rodríguez, 2019).

El pH es alterado gravemente en un lago eutrófico, debido al incremento de los organismos fotosintéticos. En presencia de radiación lumínica las algas por medio de la fotosíntesis producen altas concentraciones de oxígeno disuelto, que, por la noche, será consumido debido al proceso de respiración. Los iones Hidrógeno aumentan directamente a causa de la presencia de  $CO_2$ , provocando la disminución del pH. Por otro lado, cuando bajan las cantidades de dióxido de carbono, el pH aumenta (Mariñelarena & Gómez, 2008).

### ***Transparencia***

Es un indicador vital para los organismos acuáticos, conocer el valor de transparencia permitirá examinar a qué nivel de eutrofización se encuentran los cuerpos de agua (Muñoz & Paco, 2021).

El autor Más (2017) señala que cuando el cuerpo de agua es deficiente en nutrientes (es oligotrófica), su cuerpo de agua presenta bastante transparencia y la radiación solar puede penetrar con facilidad, permitiendo la multiplicación de algas y la coexistencia de varios organismos. Por otra parte, cuando aumenta la vegetación superficial ocasiona la disminución de la transparencia del agua, de esta manera impide que la luz solar llegue a la flora ubicada en los fondos. Este indicador permite ayudar a determinar algunas características del ecosistema lacustre (tipo de lago, flora, fauna, propiedades del agua, etc.) (Muñoz & Paco, 2021).



### ***Oxígeno Disuelto (O<sub>2</sub>)***

Es considerado como un parámetro esencial para los ecosistemas lénticos (Wetzel, 2001). Regula los procesos biológicos y químicos. La dinámica del oxígeno en los lagos está impulsada por los procesos internos del lago y el intercambio de gases con la atmósfera (Koschorreck, 2017).

La consecuencia de la eutrofización capaz de alterar los procesos ecológicos es el aumento de organismos fotosintéticos (microalgas y macrófitas). Cuando cumplen su ciclo vital, son depositadas en el fondo y debido a las altas cantidades se generará un consumo de oxígeno progresivo, conduciendo a condiciones hipóxicas y/o anóxicas dentro del cuerpo de agua, con consecuencias negativas para los niveles tróficos más altos (Human et al., 2018).

### **Indicadores Biológicos de la Eutrofización**

#### ***Flora***

##### **Fitoplancton.**

El exceso de nutrientes puede causar cambios en los estados de los ecosistemas lacustres, fluviales y costeros, uno de estos es el cambio en la red alimentaria (Wurtsbaugh et al., 2019). Las floraciones de algas nocivas representan uno de los principales riesgos ecológicos asociados con la eutrofización. Especialmente las cianobacterias (Figura 3) por lo que producen materiales nocivos, como toxinas y sustancias de mal sabor, que son peligros potenciales para la vida silvestre del ecosistema lacustre y salud humana (Hwang, 2020).

Según Wurtsbaugh et al., (2019) la carga excesiva de nutrientes es asociada como un potenciador a la proliferación de algas productoras de toxinas, como cianobacterias y dinoflagelados en lagos y embalses, estuarios y aguas costeras, y estimula el crecimiento de algas adheridas no deseadas en arroyos y ríos.

### Figura 3

Bloom algal de cianofita (*Nodularia spumigena*)



Nota. Representa el estado del Gran Lago Salado en Utah, EE. UU, en presencia del bloom algal de *Nodularia spumigena*. Adaptado de “Nutrients, eutrophication and harmful algal blooms along the freshwater to marine continuum” (p.4), por Wurtsbaugh et al., 2019, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 6(5).

### Macrófitas

Particularmente en la eutrofización, la progresión natural de los síntomas generalmente implica un aumento inicial en la biomasa de microalgas, macroalgas y/o epífitas relacionado con la carga de nutrientes de origen antropogénico (Lemley & Adams, 2018).

Las proliferaciones de macroalgas son otro síntoma común de la eutrofización, y la incidencia de las condiciones de floración aumenta a nivel mundial en respuesta a una mayor disponibilidad de nutrientes. De un vistazo, las floraciones de macroalgas tienen consecuencias similares a las impuestas por las FAN (floraciones de algas nocivas), por ejemplo, agotamiento del oxígeno, pérdida de vegetación sumergida (Lemley & Adams, 2018). Naturalmente existen tres tipos de macroalgas (Chlorophyta, Rhodophyta y Phaeophyceae), sin embargo, las floraciones de macroalgas que ocurren con mayor frecuencia están compuestas por especies de Chlorophyta, conocidas como "mareas verdes". Las floraciones de especies pertenecientes a los géneros *Ulva* y *Cladophora* son ejemplos particularmente extendidos de este fenómeno y

se han documentado en Europa, Australia, América del Norte, África, América del Sur y Asia (Thornber et al., 2017).

### ***Fauna***

Este indicador determina la clase de fauna presente en función a la calidad del ecosistema donde se encuentre. Es decir, la diversidad y el desarrollo de los consumidores primarios, secundarios, entre otros, va a depender de características de estabilidad que preste el ambiente lacustre (Moreta, 2008). Los cambios que se dan en el balance de nutrientes de un ecosistema lacustre pueden afectar los niveles tróficos más altos al cambiar la composición elemental relativa de la presa de la que dependen los consumidores (Glibert, 2017).

## **Índice de Estado Trófico**

Es la caracterización de determinado cuerpo de agua en relación al grado eutrófico, sea de origen natural o antropogénico. El estado trófico de un ecosistema lacustre se puede definir mediante la utilización de índices calculados a partir de diferentes parámetros, por lo tanto, la aplicación de un solo indicador no es suficiente para establecerlo (Gómez et al., 2014), en la Tabla 1 se describen varios métodos para determinar el estado trófico de un lago.

El estado trófico debe abarcar el seguimiento de algunas variables, que comprenden físicas-químicas, ecológicas y biológicas, con la finalidad de aproximar el nivel trófico real (Nogueira & Ramírez, 1998). Mundialmente, existe cierta experiencia en el desenvolvimiento y utilización de varios índices de nutrientes capaces de evaluar las condiciones de lagos (Gómez et al., 2014).

**Tabla 1.**

Descripción de métodos para evaluar el Estado Trófico de un ecosistema lacustre

<b>Trophic Index (TRIX)</b>	Relaciona la respuesta biológica en conjunto con su productividad, variables de N - P inorgánicos disueltos y oxígeno disuelto como respuesta al proceso de eutrofización.	$TRX = \frac{\log(Chla \times OD \times NT \times PT) + 1.5}{1.2}$ TRIX: Índice del Estado Trófico Chla: Clorofila a ( $mg\ m^{-3}$ ) OD: Valor absoluto del porcentaje de saturación del OD ( $ 100 - \%OD $ ) NT: Nitrógeno Total ( $\mu M$ ) PT: Fósforo Total ( $\mu M$ )	<b>Valor</b>	<b>Nivel de Estado trófico</b>	(Vollenweider et al., 1998)
			0-2.5	Oligotrófico	
			2.6-5	Mesotrófico	
			5.1-7.5	Eutrófico	
			7.6-10	Hipertrófico	
<b>Índice de Estado Trófico de Carlson (IET) modificado por Aizaki et al. (1981)</b>	Carlson (1977) propuso el IET obteniéndose mediante el valor de transparencia dada en el disco Seschi,	<b>Fósforo Total (PT)</b> $IET_{PT} = 10 \left( 2,46 - \frac{6,68 - 1,15 \ln(PT)}{\ln(2,5)} \right)$	<b>Valor</b>	<b>Índice de Estado Trófico (TSI)</b>	(Carlson, 1977) (Aizaki et al., 1981)
			TSI <30	Oligotrófitco	

	fósforo total y clorofila a. Aizaki et al. (1981) modificó el IET incorporando coeficientes específicos para la ecuación	PT: Fósforo Total $mg\ m^{-3}$	30<TSI<60	Mesotrófico	
		<b>Profundidad Secchi</b> $IET_{Sec} = 10 \left( 2,46 + \frac{3,76 - 1,57 * \ln(Ds)}{\ln(2,5)} \right)$	60<TSI<90	Eutrófico	
		Ds: promedio (metros) altura Disco Secchi	90<TSI<100	Hipertrófico	
		<b>Clorofila a</b> $IET_{Cl\ a} = 10 \left( 2,46 - \frac{\ln(Cl\ or\ a)}{\ln(2,5)} \right)$			
<b>Índice de Estado Trófico Total modificado por Toledo et al. (1985) (IETM)</b>	Es una variación del Índice de Carlson (1977) donde se considera la transparencia, fósforo total y clorofila activa, con la diferencia de que el IETM es más adecuado para embalses y lagos tropicales.	$IET_{M\ Total} = \frac{IET_{M\ DS} + IET_{M\ Cl\ a} + IET_{M\ PT}}{3}$ Ds: Dato dado por medio del Disco Secchi Cl a: Clorofila a PT: Fósforo total	<b>Valor</b>	<b>Clasificación</b>	(Toledo et al., 1985)
			<45	Oligotrófico	
			45-55	Mesotrófico	
			>55	Eutrófico	

<b>Índice de Eutrofización por Nutriente (IE)</b>	Toma en cuenta la presencia de nutrientes en distintas zonas, es adimensional, además su uso se extiende en diferentes tipos de agua. Sensible a efectos de eutrofización.	$IE = \frac{C}{C - \log X} + \log A$ <p>A: Número de las estaciones de muestreo  C: Logaritmo del total de la cantidad de nutrientes; PRS (fósforo reactivo soluble) y NID (nitrógeno inorgánico disuelto).  X: Concentración del nutriente (NID, PRS) en la estación del muestreo</p>	<b>Categoría Trófica</b>	<b>Rango</b>	(Karydis et al, 1983)
			IE <3	Oligotrófico	
			3 < IE < 5	Mesotrófico	
			IE > 5	Eutrófico	

Fuente: El Autor

## **Efectos de la Eutrofización**

Los autores Lemley & Adams (2018) relatan que un lago es considerado eutrófico cuando se dan eventos tales como una carga mayor de nutrientes, persistencia (no estocásticos), que los eventos sean recurrentes, estacionales, y además inducen consecuencias nocivas para el medio ambiente. En la mayoría de casos, la eutrofización es de origen antrópico, el proceso está incrementando notablemente debido a la ampliación de la urbanización acarreado una producción significativa de desechos (Dolbeth et al., 2003), aumentando la concentración de algunos nutrientes (en especial nitrógeno y fósforo) en los cuerpos de agua lénticos, lo que provoca la degradación acelerada del ambiente reduciendo la diversidad y la heterogeneidad de especies (Fontúrbel 2005).

Uno de los efectos de la eutrofización en un ecosistema lacustre es el aumento de la incidencia de proliferación de algas (Lemley & Adams, 2018). La proliferación de algas es capaz de alcanzar tan altas densidades capaces de reducir la luminosidad disponible para la flora bentónica. Este efecto provoca severas pérdidas de diversidad de la flora, resultando en pérdida del hábitat y su integridad ecológica. Adicionalmente, alta concentración de algas provoca el incremento de la duración y frecuencia de eventos hipóxicos, ya que las algas al morir van a ser descompuestas por bacterias, dicho proceso consume el oxígeno disuelto, causando daño al ecosistema (Laughinghouse et al., 2022.).

Durante el día las algas presentes en el lago eutrófico producen altas concentraciones de oxígeno, luego, en la noche ocurren los episodios de hipoxia. En condiciones de falta de oxígeno, los organismos consumidores dejan de alimentarse, se dirigen a la superficie, son letárgicos, pierden el reflejo de escape y si se prolonga la condición de hipoxia pueden llegar a la muerte (Svobodova et al., 2017).

Existen macrófitas flotantes, denominadas pleuston, que cada vez que prolifera se vuelve en un indicador del proceso eutrófico y en su mayoría es la causante de la pérdida de macrófitas sumergidas llamadas limnóticas, además del aumento de la turbidez y la incidencia variable de PAR (actividad fotosintética radiativa) (Fontúrbel, 2005).

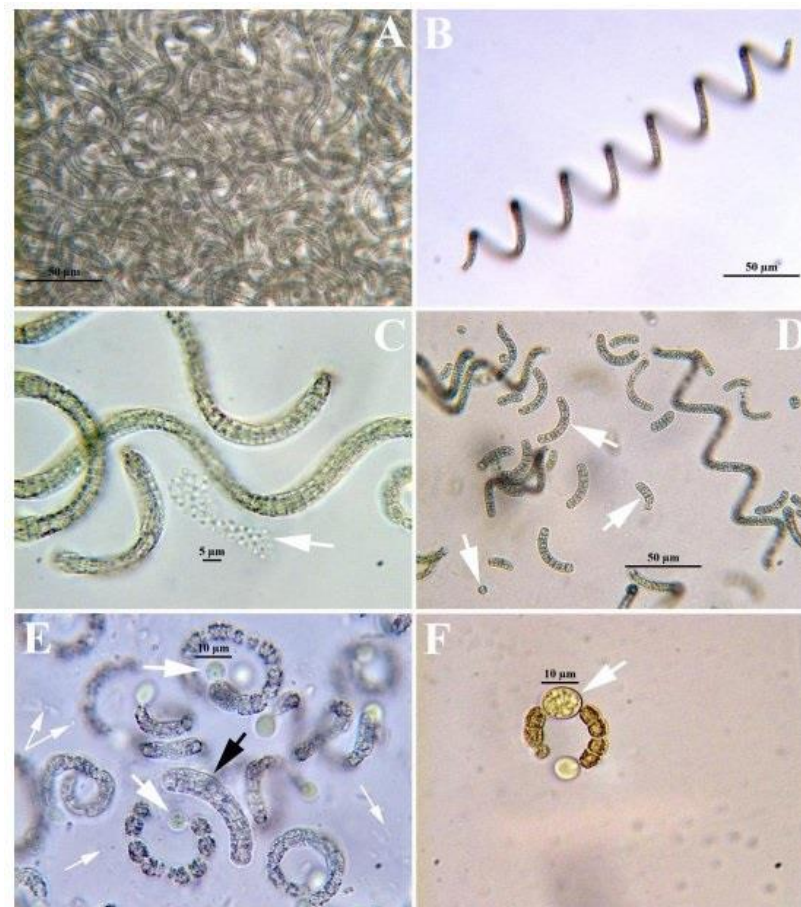
Algunas de estas especies de algas presentes en las floraciones de lagos eutróficos son conocidas como “algas verde-azuladas” o cianobacterias, las cuales tienen la particularidad de producir compuestos tóxicos que pueden afectar negativamente a las plantas y los animales,



incluidos los humanos, por esto son conocidas como floraciones de algas nocivas (FAN), (Laughinghouse et al., 2022). Generalmente, Dinophyceae es el grupo de fitoplancton formador de FAN más común en las aguas costeras, mientras que en aguas continentales frecuentan estar dominadas por cianobacterias (Figura 3) (Wood et al.,2020).

#### Figura 4

Cianobacterias identificadas en FAN (Floración Algal Nociva)



Nota. Se muestran cianofitas vistas bajo microscopio presentes en FAN dominado principalmente por *Arthrospira fusiformis* (A y D) y *Anabaenopsis milleri* (E y F). Tomado de “Floración algal nociva (FAN) producida por cianobacterias en la laguna Alalay, Cochabamba, Bolivia”, por Morales et al., 2017, *Acta Nova*, (8)

Las concentraciones de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y pH en un ecosistema lacustre eutrófico son gravemente alteradas debido al incremento de los organismos fotosintéticos.

Cuando el pH está por encima de 8 afecta de manera negativa a los organismos vivos presentes en el lago (Muñoz & Paco, 2021).

Los peces se protegen contra los efectos de un pH bajo o alto disminuyendo la frecuencia de los movimientos respiratorios, reduciendo el volumen de agua que fluye a través de las branquias. Los valores de pH alcalino retrasan la conversión de amoníaco en iones de amonio en la superficie de las branquias y de esta forma inhiben la difusión del amoníaco. Los síntomas típicos en los peces incluyen un aumento de la secreción de moco en la piel, en el interior de los opérculos y branquias. Pueden producirse hemorragias branquiales y en la parte inferior del cuerpo. Los valores de pH extremos provocan opacidad en la córnea, aletas deshilachadas y daños en la piel, y si son eventos prolongados provocará mortandad (Svobodova et al., 2017).

En el transcurso, la presencia prolongada de algas provocará acumulación de materia orgánica, ya que las especies herbívoras como ciertos invertebrados o peces no tendrán la capacidad de consumirlas (García & Miranda, 2018), de esta manera habrá materia orgánica depositada en el fondo en grandes cantidades (Quintana, 2017), los sedimentos provocan un consumo elevado de oxígeno que se transfiere al cuerpo de agua y se empieza a presentar compuestos reducidos como el amonio ( $NH_4$ ) y ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) (Mariñelarena & Gómez, 2008), a la larga se dará la reducción de profundidad y transparencia, transformando eventualmente los lagos en humedales, que con el paso del tiempo se convertirán en ecosistemas terrestres (Quintana, 2017).

### **Lagos Tropicales Eutrofizados**

En Guatemala se encuentra la laguna "El Comendador" localizada entre Mooyuta y Pasaco, Departamento de Jutiapa. La evaluación realizada por Che (2020) sobre el índice de estado trófico (IET) obtuvo valores de fósforo total (en aguas superficiales concentraciones de 0.4-0.5 mg/L y en aguas profundas oscilaban de 0.6-0.9 mg/L) y transparencia (entre 0.38-0.59 m), donde categorizan al lago como hipereutrófico, ya que sobrepasó límites del estado eutrófico. Los principales motivos de este fenómeno son actividades con fin lucrativo, deforestaciones en cuencas de lagos así ocasiona erosión y consecuentemente el arrastre de sedimentos que se depositarán en el cuerpo de agua y eventualmente, al fondo. El desecho de

aguas residuales directamente a ríos que proveen a los lagos y el nulo tratamiento de los mismos (Chew, 2020).

En Ecuador generalmente los lagos y lagunas son afectados por escorrentías superficiales y afluentes contaminados de ríos, arroyos (Quintana, 2017).

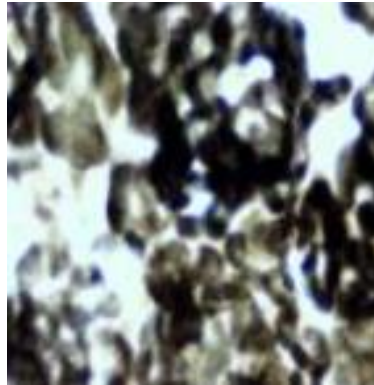
El lago tropical de alta montaña “San Pablo” está localizado en Los Andes, Norte de Ecuador. El río Itambi, de la provincia de Imbabura, aporta cerca del 90% de la entrada de agua al lago (Kiersch et al., 2004).

La extensión del lago San Pablo abarca cuatro parroquias de Otavalo, en donde un gran número realizan actividades económicas de agricultura y ganadería, lo que requiere el uso de fertilizantes químicos y pesticidas, además de que los campos se encuentran en pendientes considerablemente pronunciadas y una tasa alta de precipitación y genera abundante concentración de nutrientes, además, la descarga directa de la mayor parte de los desechos producidos localmente, que son vertidos directamente al lago o a quebradas del mismo, provocando problemas de eutrofización (Moreno et al., 2010).

En el estudio de las condiciones del lago San Pablo realizado por Gómez, (2017) concluye que existe una alta concentración de coliformes totales (26.940,47 cfu/100ml) provenientes de aguas servidas, de esta manera se fomenta la proliferación de cianobacterias, específicamente la especie *Microcystis sp.* (Figura 3) lo cual causa un gran riesgo para la biodiversidad del sector y a la población. El autor Gómez (2017) concluye que el lago se puede restaurar con el uso de plantas autóctonas acuáticas mediante el proceso de biorremediación entre las cuales están *Potamogeton sp.*, *Typha sp.*, *Eichhornia crassipes*, entre otras.

## Figura 5

Cianobacteria *Microcystis aeruginosa*

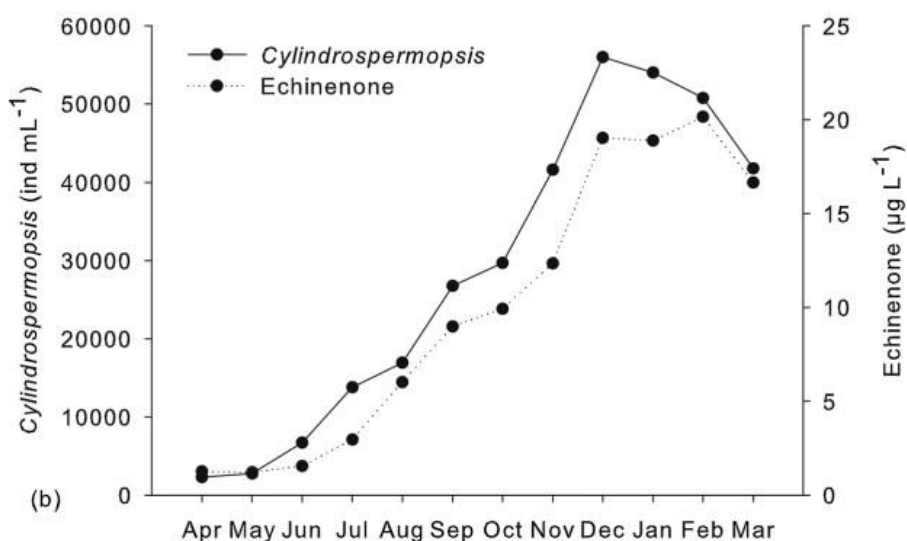


Nota. Representa la identificación de la especie *Microcystis aeruginosa* del Lago San Pablo, Imbabura, Ecuador. Adaptado de “Biorremediación de lagos tropicales eutrofizados: estudio del lago San Pablo (Ecuador)” (p.37), por Gómez, 2017.

Por otro lado, el lago Yahuarcocha es un lago poco profundo que se encuentra en un estado eutrófico debido a las concentraciones de clorofila a que son bastante altas (oscilan entre 30 y 100  $\mu\text{g/L}$ ), la transparencia del agua es baja (profundidad Secchi < 1 m), los macrófitos sumergidos cubren sólo el 1,4% de la superficie del lago y además existe floración dominada por la cianobacteria *Cylindrospermopsis sp.* La floración de *Cylindrospermopsis* en la laguna de Yahuarcocha persistió durante más de un año, desde julio 2014 hasta abril de 2016 (Figura 5) (Van Colen et al., 2017). Esta persistencia a largo plazo de las floraciones de *Cylindrospermopsis sp.* es común en los climas tropicales, probablemente como resultado de la estabilidad del clima, y como resultado de ello se ha observado que limita las posibilidades del zooplancton de controlar el fitoplancton (Baptista and Nixdorf, 2014).

**Figura 6**

Variación anual de la abundancia de la cianobacteria *Cylindrospermopsis sp*



Nota. Representa la variación anual de la cianobacteria *Cylindrospermopsis sp.* y la concentración de equinenona (xantofila) en la laguna de Yahuarcocha entre marzo de 2014 y marzo de 2015. Adaptado de “Limnology of the neotropical high elevation shallow lake Yahuarcocha (Ecuador)” (p.41), por Van Colen et al. 2017, *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters*, 67.

Las proliferaciones de estas cianofitas son comunes en lagunas y embalses eutróficos en climas cálidos y suponen un riesgo debido a la producción de toxinas (Mowe et al., 2015). Las causas del estado del lago es producto del turismo (42,2%) e inadecuado uso de residuos (40,8%). Asimismo, citaron la falta de interés (33.5%) de la comunidad de San Miguel de Yahuarcocha (Leiton, 2018).

Se ha observado que, en muchos casos, los eventos de eutrofización suelen ser estacionales. Por ejemplo, Zambrano (2018) evaluó el nivel eutrófico de la Laguna Natural “El Carmen”, cantón El Carmen, provincia de Manabí en las dos épocas del año, utilizando el Índice de estado trófico de Carlson (IET) modificado por Toledo et al. (1985), donde pudo comprobar la época seca donde se obtuvo 42,71 en IET indicando un estado oligotrófico, a diferencia de la época lluviosa donde el IET era de 58,75 llegando a clasificarse como eutrófico. En la época lluviosa reportaron el aumento de nitrógeno y además clorofila a producto de la

escorrentía y actividades humanas de la zona. Durante esta época, varias especies son afectadas por el estado anóxico del lago.

## **Conclusión**

La eutrofización es el enriquecimiento de nutrientes (nitrógeno y fósforo) en un cuerpo de agua, y puede ser de origen natural o antropogénico. Entre los factores naturales responsables de este fenómeno están el clima, puesto que a temperaturas altas aumentan las floraciones algales, cuando el lago presenta profundidades bajas es más propenso a una carga de nutrientes excesiva, altas precipitaciones con poca cobertura vegetal, y la geología del lugar donde se encuentre el ecosistema lacustre, ya que existirán lugares donde el aporte de fósforo es mayor, de esta manera favorece la eutrofización.

Existen factores de origen antropogénico que favorecen el aumento acelerado de nutrientes (eutrofización), entre ellos el uso de fertilizantes de manera continua, los efluentes de las actividades industriales y municipales (producto de la demanda de los recursos materiales) y la obtención de combustibles fósiles, que propician la liberación de nitrógeno a la atmósfera que volverá al cuerpo de agua por medio de las precipitaciones.

La eutrofización desencadena una serie de efectos, entre los cuales destaca visualmente el aumento de floraciones algales nocivas (FAN), capaces de producir toxinas que afectan a las especies que coexisten en el ecosistema lacustre, causando enfermedades y llegando a acabar con la vida de las mismas. A nivel físico-químico existe un desequilibrio en los parámetros de agua, como la variación de oxígeno disuelto, dióxido de carbono, pH, y aumento de la turbidez. Los blooms algales provocarán el aumento de materia orgánica que se depositará en el fondo, y eventualmente disminuirá la profundidad del lago, y que, en caso de no tomar acciones correctivas, el lago eventualmente se convertirá en un ecosistema terrestre.

## Bibliografía

Aubriot, L., Bonilla, S. y Kruk, C. 2009. Cianobacterias: factores que regulan su crecimiento. En: Bonilla, S. (Edit). Cianobacterias planctónicas de Uruguay. Manual para la identificación y medidas de gestión. Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe (PHI-LAC). PHI-VII-Documento Técnico N° 16. Universidad de la República.

Baptista, M & Nixdorf, B. (2014). Low disturbances favor steady state: case of cyanobacterial monodominance in a Brazilian coastal lagoon, *Inland Waters*, 4:2, 243-254, DOI: 10.5268/IW-4.2.648

Carlson, R. E. (1977). *A trophic state index for lakes*. *Limnology and Oceanography*, 22(2), 361–369. doi:10.4319/lo.1977.22.2.0361

Chew, A. (2020). *Caracterización fisicoquímica del agua y nivel de eutrofización de la laguna el comendador, ubicada en los municipios de Pasaco y Moyuta en el departamento de Jutiapa, Guatemala*. [Tesis de Grado, Universidad de San Carlos de Guatemala] <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/15633>

Criales-Hernández, M., Sanchez-Lobo, D., Almeyda-Osorio, J. (2020). Expanding the knowledge of plankton diversity of tropical lakes from the Northeast Colombian Andes. *Revista de Biología Tropical*, 68(Supl. 2), 159-76. <https://dx.doi.org/10.15517/rbt.v68is2.44347>

Dolbeth M., Pardal M.A., Lilleblo A.I., Azeiteiro U. & Marques J.C. 2003. Short- and long-term effects of eutrophication on the secondary production of an intertidal macrobenthic community. *Marine Biology*. (143), 1229–123. <https://doi.org/10.1007/s00227-003-1133-5>.

Du H., Chen Z., Mao G., Chen L., Crittenden J., Man Li L., Chai L. (2019). Evaluation of eutrophication in freshwater lakes: A new non-equilibrium statistical approach. *Ecological Indicators*, (102), 686-692. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.03.032>

Fontúrbel, F. (2005). Indicadores fisicoquímicos y biológicos del proceso de eutrofización del lago Titicaca (Bolivia). *Ecología Aplicada*, 4 (1,2). <https://doi.org/10.21704/rea.v4i1-2.308>



García, F. & Miranda, V. (2018) *Eutrofización, una amenaza para el recurso hídrico*. Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación. <http://ru.iiec.unam.mx/id/eprint/4269>

Glibert, P. M. (2017). Eutrophication, harmful algae and biodiversity — Challenging paradigms in a world of complex nutrient changes. *Marine Pollution Bulletin*, 124(2), 591–606. doi:10.1016/j.marpolbul.2017.04.027

Gomez, R., Tovilla, C., Barba, E., Castañeda, O., Valle, J., Romero, E. & Ramos, E.(2014). Índices tróficos de importancia ecológica y su relación con algunas variables físico-químicas en el sistema lagunar estuarino Chantuto-Panzacola, Chiapas, México. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras*.31(2), 47-57.

Gómez, T. (2017). *Biorremediación de lagos tropicales eutrofizados: estudio del lago San Pablo (Ecuador)*. [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Catalunya] <http://hdl.handle.net/2117/111079>

Hernández, D. (2018). *El papel de la forma y concentración del nitrógeno inorgánico en un perfil vertical en dos tiempos del día sobre la población de *Cylindrospermopsis raciborskii** [Tesis de Maestría, Universidad Veracruzana]. <https://www.uv.mx/met/files/2018/06/Daniela-Hernandez-Meza-marzo2018.pdf>

Human, L. R. D., Magoro, M. L., Dalu, T., Perissinotto, R., Whitfield, A. K., Adams, J. B., ...Rishworth, G. M. (2018). Natural nutrient enrichment and algal responses in near pristine micro-estuaries and micro-outlets. *Science of The Total Environment*, (624), 945–954. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.12.184

Hwang, S. (2020). Eutrophication and the Ecological Health Risk. *International Journal of Environmental Research and Public Health*; 17(17), 6332. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176332>

Karydis, M., L. Ignatiades & Moshopoulou. N. (1983). An index associated with nutrient eutrophication in the marine environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 16: 339-34

Kiersch, B., Mühleck, R. & Gunkel, G. (2004). Las macrófitas de algunos lagos alto-andinos del Ecuador y su bajo potencial como bioindicadores de eutrofización. *Revista de Biología Tropical*. 52, 829-837.

Koschorreck, M., Hentschel, I., & Boehrer, B. (2017). Oxygen ebullition from lakes. *Geophysical Research Letters*, 44, 9372– 9378. <https://doi.org/10.1002/2017GL074591>

Laughinghouse, D., Smyth, A., Havens, K., Frazer, T. (2022). *Repensando el papel del nitrógeno y fósforo en la eutrofización de los ecosistemas acuáticos: SGEF190s/SG191*, 4/2022. <https://doi.org/10.32473/edis-sg191-202>

Leiton, M. (2018). *Percepción ambiental de los habitantes de la microcuenca del lago Yahuarcocha: estrategias para la conservación y uso sustentable*. [Tesis de Titulación, Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8809>.

Lemley, D. A., & Adams, J. B. (2018). Eutrophication. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*, (1), 86-90. doi:10.1016/b978-0-12-409548-9.10957-1

Lewis, W. (1987). Tropical limnology. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 18, 159-184. <http://www.jstor.org/stable/2097129>

Lewis, W. (1996). Tropical lakes: how latitude makes a difference. *Perspectives in Tropical Limnology*, 43-64.

Mariñelarena, A. & Gómez, S. 2008. Eutrofización en las lagunas pampeanas. Efectos secundarios sobre los peces. *Biología Acuática*. 24, 43-48. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/50722>

Mas, M., 2017. *Uso de la teledetección y los SIG en la vigilancia de la calidad del agua: Aplicación al Mar Menor*. [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Cartagena]. <http://hdl.handle.net/10317/6353>

Moreno D., Manzano J. & López A., (2010), Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *ContactoS*. 78, 25-33.

Moreta Pozo, J. C. (2011). *La eutrofización de los lagos y sus consecuencias*. Ibarra 2008. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/720>

Mowe, M. A., Mitrovic, S. M., Lim, R. P., Furey, A., & Yeo, D. C. (2015). Tropical cyanobacterial blooms: a review of prevalence, problem taxa, toxins and influencing environmental factors. *Journal of Limnology*.74, 305-224. <http://hdl.handle.net/10453/35917>

Muñoz, M. & Paco, C. (2021). *Evaluación de los parámetros indicadores de eutrofización en las aguas del río chillón de los años 2012 – 2015*. [Tesis de Titulación, Ingeniería Ambiental, Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/29770>

Muri, G., Čermelj, B., Jaćimović, R., Ravnikar, T., Šmuc, A., Turšič J.,& Vreča P. (2018). Factors that contributed to recent eutrophication of two Slovenian mountain lakes. *Paleolimnol*, 59, 411–426. <https://doi.org/10.1007/s10933-017-9996-5>

Nogueira, N. M. & Ramírez, J. J. (1998). Variação mensal da condição trófica do Lago das Garças (São Paulo, SP., Brasil). *Acta Limnológica Brasiliensia.*, 10, 21-34.

OMS, (2018). Guías para la calidad del agua de consumo humano. *Fourth edition incorporating first addendum*

Quintana, D. (2017). *Comparación de la eficiencia de los filtros de macrofitas en flotación FMF, para el tratamiento de aguas de lagos eutróficos*. [Tesis de titulación, Ingeniería en Biotecnología Ambiental, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo] <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7875>

Roldan, P. & Ramirez, R. 2008. *Fundamentos en limnología neotropical*. Universidad de Antioquia.

Rodríguez, S. (2019). *Determinación del Estado Trófico actual de la laguna de Colta mediante la cuantificación de parámetros químicos (fosfatos, nitratos) y transparencia Secchi*. [Tesis de titulación, Ingeniería Ambiental, Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/18203>

Svobodova, Z., Machova, J., Kocour Kroupova, H., & Velisek, J. (2017). Water Quality–Disease Relationship on Commercial Fish Farms. *Fish Diseases*, 167–185. doi:10.1016/b978-0-12-804564-0.00007-7

Thornber, C. S., Guidone, M., Deacutis, C., Green, L., Ramsay, C. N., & Palmisciano, M. (2017). Spatial and temporal variability in macroalgal blooms in a eutrophied coastal estuary. *Harmful Algae*, 68, 82–96. doi:10.1016/j.hal.2017.07.011

Van Colen, W., Portilla, K., Oña, T., Wyseure, G., Goethals, P., Velarde, E., & Muylaert, K. (2017). Limnology of the neotropical high elevation shallow lake Yahuarcocha (Ecuador) and challenges for managing eutrophication using biomanipulation. *Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters*, 67, 37–44. doi:10.1016/j.limno.2017.07.008

Vincent, W. F. (2009). *Effects of Climate Change on Lakes. Encyclopedia of Inland Waters*, 55–60. doi:10.1016/b978-012370626-3.00233-7

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. DOI: 10.1.1.473.7203&rep=rep1&type=pdf

Wang, Y., Zhang, X., & Huang, C. (2009). Spatial variability of soil total nitrogen and soil total phosphorus under different land uses in a small watershed on the Loess Plateau, China. *Geoderma*, 150(1-2), 141–149. doi:10.1016/j.geoderma.2009.01.021

Wood, S. A., Kelly, L. T., Bouma-Gregson, K., Humbert, J., Laughinghouse, H. D., Lazorchak, J., ... Davis, T. W. (2020). Toxic benthic freshwater cyanobacterial proliferations: Challenges and solutions for enhancing knowledge and improving monitoring and mitigation. *Freshwater Biology*. 65, 1824-1842. doi:10.1111/fwb.13532

Wurtsbaugh, W. A., Paerl, H. W., & Dodds, W. K. (2019). Nutrients, eutrophication and harmful algal blooms along the freshwater to marine continuum. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 6(5), e1373. doi:10.1002/wat2.1373

Yépez, M. (2019). *Análisis del potencial de la avifauna de los ecosistemas lacustres: San Pablo, Mojanda y Cuicocha de los cantones de Otavalo y Cotacachi de la provincia de*

*Imbabura; para desarrollar el aviturismo de este lugar* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9180>

Zambrano, A.. (2018). *Evaluación del grado de eutrofización de la laguna natural El Carmen y su situación con las épocas del año.*[Tesis de Titulación, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/798>

Zhang, Y., Song, C., Ji, L., Liu, Y., Xiao, J., Cao, X. & Zhou, Y. (2018). Cause and effect of N/P ratio decline with eutrophication aggravation in shallow lakes. *Science of The Total Environment*, 627, 1294–1302. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.01.327

Zhou,J., Leavitt, P., Zhang, Y., Qin B. (2022). Anthropogenic eutrophication of shallow lakes: Is it occasional?.*Water Research*. 221, 118728. [//doi.org/10.1016/j.watres.2022.118728](https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118728).