

EUTROFIZACIÓN, UNA AMENAZA PARA EL RECURSO HÍDRICO

Fátima Goretti García Miranda¹

Verónica Miranda Rosales²

RESUMEN

Para antes de los años 40's los temas de investigación sobre la eutrofización eran muy escasos, sin embargo, en la actualidad este fenómeno ha tomado mayor importancia en el ámbito científico para su estudio, ya que cada vez más investigadores optan por abordar este fenómeno en diferentes partes del mundo, principalmente en aquellos lugares donde el proceso se ha visto con mayor frecuencia en los cuerpos de agua. La eutrofización es una de las principales problemáticas que actualmente afecta al recurso hídrico, este fenómeno se ha expandido a nivel mundial y se está convertido en uno de los prioritarios para atender por parte de los investigadores, ya que en la actualidad este problema ha afectado a numerosos cuerpos de agua. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas, a nivel mundial, el número de lagos con floraciones de algas perjudiciales aumentará un 20% por lo menos hasta el año 2050 y se espera que la eutrofización de las aguas superficiales y las zonas costeras aumente aproximadamente en todas partes hasta el 2030. Aunado a lo anterior, surge la necesidad de profundizar en el tema para mostrar los daños causados por este fenómeno en los cuerpos de agua, así como la situación actual por la que atraviesan los recursos hídricos. Por ende, el objetivo de la presente investigación consiste en mostrar las razones por las cuales se origina el proceso de eutrofización, así como las principales causas y efectos que genera.

PALABRAS CLAVE: Eutrofización, Índice del estado trófico, Estado trófico

Introducción

El agua está en el epicentro del desarrollo sostenible y es fundamental para el desarrollo socioeconómico, la energía y la producción de alimentos, los ecosistemas saludables y para la supervivencia misma de los seres humanos. El agua también forma parte crucial de la adaptación al cambio climático, y es el vínculo crucial entre la sociedad y el medioambiente, de acuerdo con la ONU, los desafíos para el agua son: 2,1 billones de personas carecen de acceso a servicios de agua potable gestionados de manera segura, 4,5 billones de personas carecen de servicios de saneamiento gestionados de forma segura, 340 000 niños menores de cinco años mueren cada año por enfermedades diarreicas, la escasez de agua ya afecta a cuatro de cada 10 personas (OMS), el 90% de los desastres naturales están relacionados con el agua (UNISDR), el 80% de las aguas residuales retornan al ecosistema sin ser tratadas o reutilizadas, alrededor de dos tercios de los ríos transfronterizos del mundo no tienen un marco de gestión cooperativa (SIWI), la agricultura representa el 70% de la extracción mundial de agua (FAO), aproximadamente el 75% de todas las extracciones de agua industrial se utilizan para la producción de energía (UNESCO) (ONU, s.f.).

¹ Licenciada en Ciencias Ambientales, Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México, UAEM, goretti.gm25@gmail.com

² Dra. en U. Facultad de Planeación Urbana y Regional. Universidad Autónoma del Estado de México, UAEM. Calle Matamoros Sur S/N. Col Universidad. C.P: 50150, Toluca, Estado de México, veronicmiranda@yahoo.com.mx

La contaminación del agua ha empeorado desde la década de 1990 en la mayoría de los ríos de África, Asia y América Latina. En la actualidad el crecimiento demográfico, la urbanización, la industrialización y el aumento de la producción y el consumo han generado una demanda de agua dulce cada vez mayor, esta ha ido aumentando a un ritmo del 1% anual aproximadamente en función del aumento de población, el desarrollo económico y los cambios en los patrones de consumo, entre otros factores, y seguirá creciendo de manera significativa en las dos próximas décadas (WWDR, 2018). Se prevé que en 2030 el mundo tendrá que enfrentarse a un déficit mundial del 40% de agua en un escenario climático en que todo sigue igual, así mismo para este año, se informa de que el límite global de sostenibilidad ecológica de agua disponible para su extracción ha sido superado por una tercera parte aproximadamente de la población (UNESCO, 2015), mientras que para el año 2050, debido a este crecimiento de la población mundial, se prevé que la demanda de agua aumente en casi un tercio (WWDR, 2018). Las estimaciones recientes sugieren que el cambio climático será responsable de alrededor del 20% del incremento de la escasez global de agua (UNESCO, 2015).

Se calcula que en el año 2050 al menos una de cada cuatro personas vivirá en un país afectado por la escasez crónica o recurrente de agua dulce, esta puede deberse a la utilización poco eficiente, la degradación del agua por la contaminación o la sobreexposición de los acuíferos subterráneos (ONU, 2013). En todas las crisis, ya sean de orden social o relativas a los recursos naturales con las que nos enfrentamos los seres humanos, la crisis del agua es la que se encuentra en el corazón mismo de nuestra supervivencia y la de nuestro planeta (ver imagen 1).

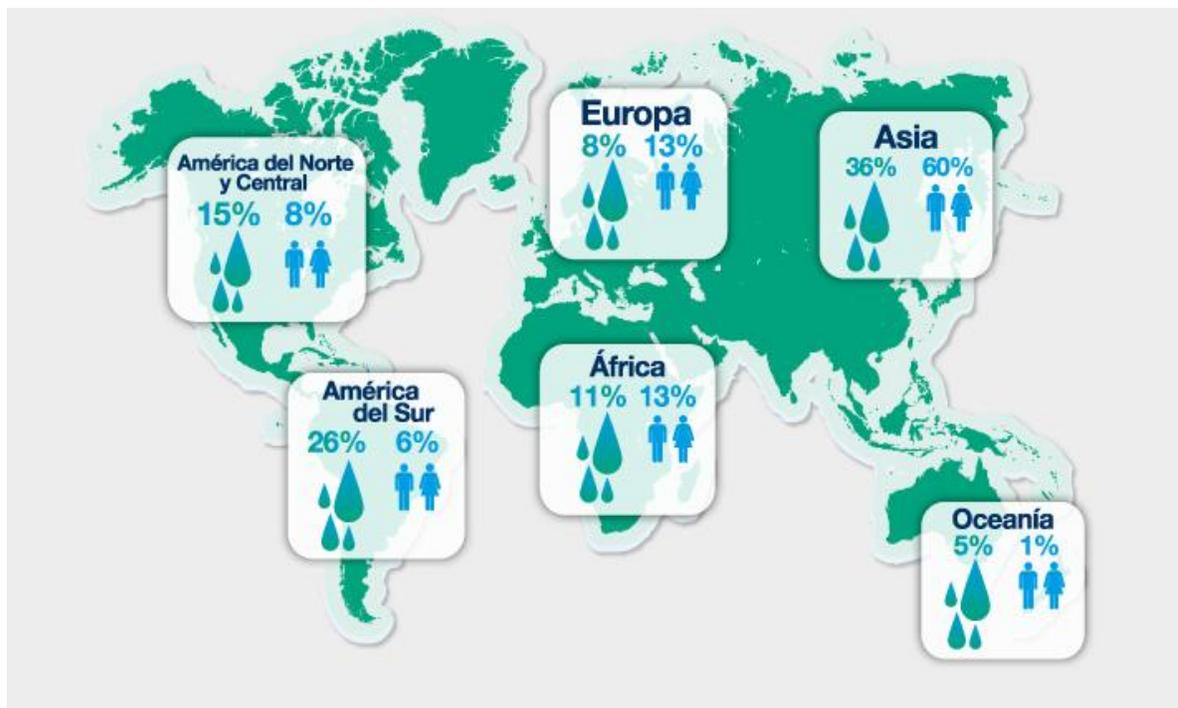


Imagen 1. Relación entre la disponibilidad de agua y la población.

Fuente. Sitio web de UNESCO-PHI (Oficina Regional de Ciencias para América Latina y el Caribe), citado en (UNESCO, 2015).

Aunque el agua es el elemento más frecuente en la Tierra, únicamente 2,53% del total es agua dulce y el resto es agua salada (ver imagen 2). Aproximadamente las dos terceras partes del agua dulce se encuentran inmovilizadas en glaciares y al abrigo de nieves perpetuas (UNESCO, 2015).

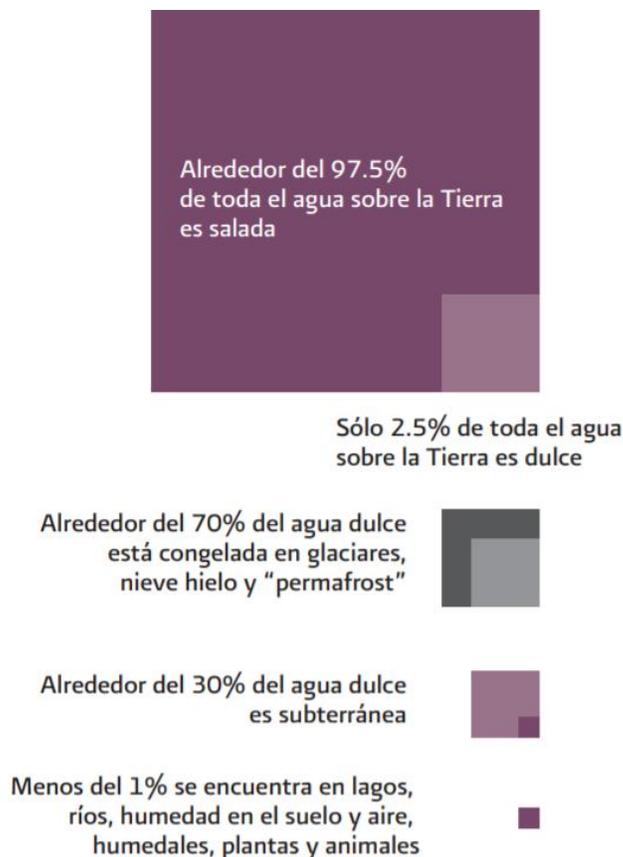


Imagen 2. Distribución global del agua en el mundo.

Fuente. Clarke, R. y J. King. *The Water Atlas. 2004*, citado en *Estadísticas del agua en México*, (CONAGUA, 2011).

La población es una importante fuerza motriz que subyace al cambio climático y que lleva al aumento de la demanda agua, lo que ejerce presión sobre los recursos naturales. La población actual triplica la de principios del siglo XX. En los últimos 20 años la población mundial no ha dejado de aumentar, pasando de 5.000 millones en 1987 a 6.700 millones en 2007 (ver imagen 3) (PNUMA, 2007).

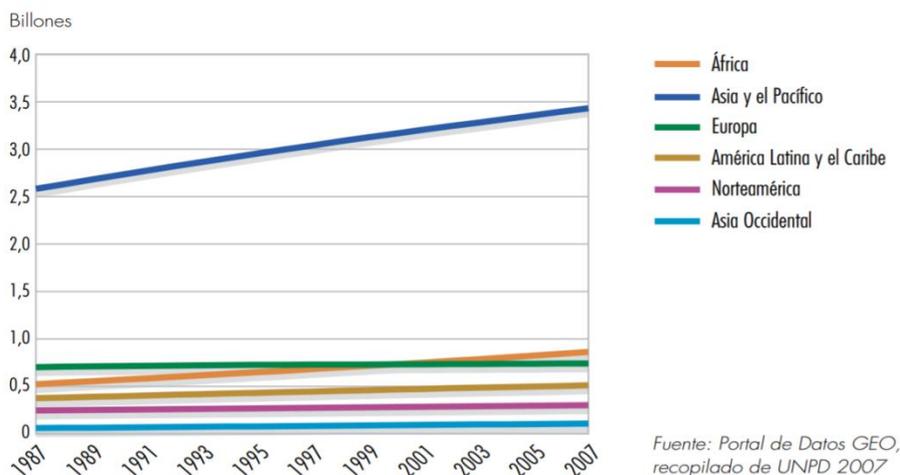


Imagen 3. Población por Región

Fuente. Portal de Datos GEO, recopilado de UNPD 2007, citado en (PNUMA, 2007).

Los escenarios de cambio climático pronostican que las variaciones espaciales y temporales de las dinámicas del ciclo del agua empeorarán, de modo que la brecha entre la oferta y la demanda de agua se debilitará cada vez más. En la actualidad la demanda del uso hídrico se ha acrecentado, esto se debe principalmente a la urbanización acelerada y al desarrollo de sistemas de suministro de aguas municipales y de saneamiento, disminuyendo la disponibilidad de este recurso.

A nivel mundial, el desafío más frecuente al que se enfrenta la calidad del agua es la carga de nutrientes, que según la región se asocia a menudo con la carga de patógenos (WWDR, 2018). Los lagos son la principal fuente de agua dulce continental, proveen el agua para el consumo humano y permiten realizar una serie de funciones ambientales sumamente valiosas (Ledesma, et al., 2013) y la eutrofización se está convirtiendo en un problema ambiental cada vez más grave. En los últimos años, los ecosistemas de agua dulce, estuarios y marinos han sido degradados, por lo que la vulnerabilidad de los cuerpos de agua se ha acrecentado. Por esta razón el control de la eutrofización de los lagos se ha convertido en una tarea urgente en el campo de la protección de los recursos hídricos y la gestión de la seguridad del agua.

En estas circunstancias, el control eficaz de la eutrofización requiere la evaluación razonable de los niveles de eutrofización del lago y la identificación de los factores limitantes primarios (Wu y Wang, 2012). Por esta razón, es necesario conocer la calidad y determinar la disponibilidad de los recursos hídricos, ya que contar con estos datos es fundamental para la gestión del recurso. Para lograrlo, es necesario llevar a cabo un monitoreo sistemático, que resulta en series temporales de datos que permiten evaluar el estado de la calidad del cuerpo acuático y conocer las tendencias de su variación (Barreto *et al.*, 2013).

Las señales de la eutrofización varían en diferentes cuerpos de agua, pero es el crecimiento excesivo de malezas acuáticas y fitoplancton (aguas turbias), floraciones de algas dañinas (tóxicas) (ver imagen 4) y efectos en las poblaciones de peces que causan mayor preocupación pública (Withers, et al., 2014). Odum citado por Moreno y Ramírez, 2010, considera que la eutrofización de un sistema lo retrocede, en términos de la sucesión, a un estado inicial de florecimiento súbito de algas y macrófitas, produciendo el deterioro de la calidad del agua (Moreno & Ramírez, 2010).



Imagen 4. Lago de Sanabria: Situación actual y proceso de eutrofización

Fuente. <https://www.iagua.es/>

Los factores naturales y antropogénicos influyen en las variables físicas y químicas de los lagos y en la biota acuática, especialmente en las comunidades fitoplanctónicas, fitobentonas, zooplancton y zoobentos, ambientalmente sensibles (Pérez, et al., 2013). La principal consecuencia ecológica de la eutrofización en lagos radica en la excesiva proliferación de algas y macrófitas, las cuales exceden la capacidad herbivoría de los invertebrados y los peces. Al morir, este exceso de algas y plantas van al fondo, donde el proceso de consumo de oxígeno se complica cada vez más (Roldán & Ramírez, 2008).

1. Eutrofización

Este fenómeno es parte de un proceso natural de envejecimiento de los lagos, que ocurre en forma lenta e independientemente de la actividad del hombre (Bonansea, et al., 2012). Sin embargo, muchos lagos han sufrido graves daños por parte de las actividades diarias de la sociedad, las cuales afectan su estética, el turismo y la economía en general (Vollenweider, 1970). Es importante hacer mención que todo lago tiende a desaparecer con el tiempo, pero la acción del hombre puede acelerar el proceso de eutrofización (Roldán & Ramírez, 2008) (ver imagen 5).

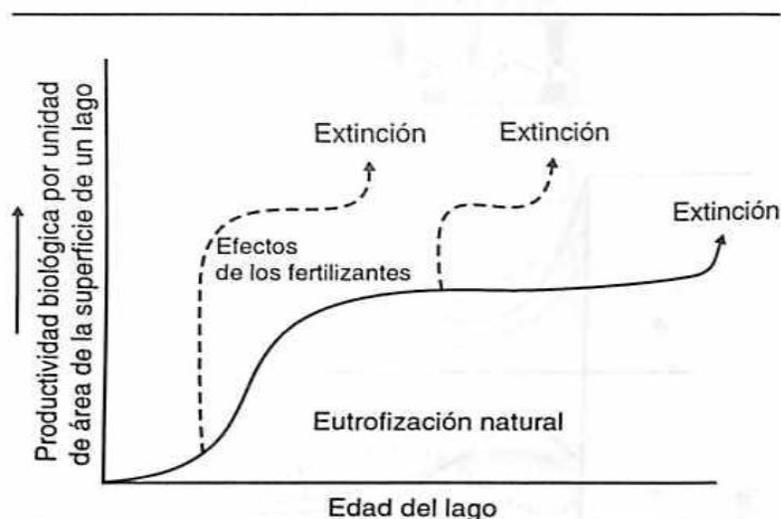


Imagen 5. Eutrofización natural e inducida por el hombre

Fuente. Sawyer (1996) citado en Fundamentos de limnología neotropical (Roldán y Ramirez, 2008)

La eutrofización se define como un proceso de deterioro de la calidad del recurso agua, se origina por el enriquecimiento de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, condicionando la utilización de estos y ejerciendo grandes impactos ecológicos, sanitarios y económicos a escala regional (Ledezma, et al., 2013). La palabra eutrófico significa rico en nutrientes y la eutrofización proviene del griego *eu* "bien" y *trophein* "nutrido" que significa bien nutrido, autores lo definen como consecuencia de un desequilibrio a la multiplicación de materia vegetal, que al descomponerse provoca daños como la disminución del oxígeno disuelto, tan necesario para la vida acuática (Barreto, et al., 2013).

La eutrofización, a escala de paisaje es una presión importante hacia la pequeña biodiversidad del cuerpo de agua, especialmente porque los pequeños cuerpos de agua ricos en nutrientes son dominantes en el paisaje (Rosset *et al.*, 2014). Este proceso es parte del problema general de la contaminación del agua superficial y se debe esencialmente a los efectos de la civilización. Así mismo es uno de tantos problemas ambientales que amenazan la belleza de ríos, lagos, arroyos y demás sistemas fluviales, así como la vida de los organismos (ver imagen 6).

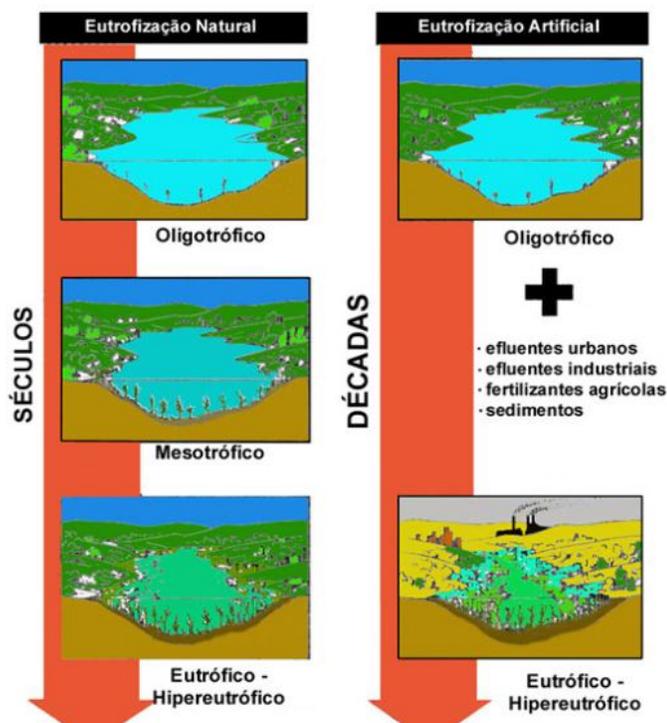


Imagen 6. Eutrofización natural y eutrofización cultural.

Fuente. Laboratorio de limnología e Planejamento ambiental – UFES, 2018.

Cuando se produce de forma natural, la eutrofización es un proceso gradual y lento (ver imagen 7), a diferencia de la eutrofización artificial o cultural, que ocurre de forma acelerada con un aumento desordenado de la producción de biomasa fitoplanctónica, lo que imposibilita su incorporación por el sistema acuático a la misma velocidad de producción, provocando así un desequilibrio ecológico (Bem, et al., 2013).

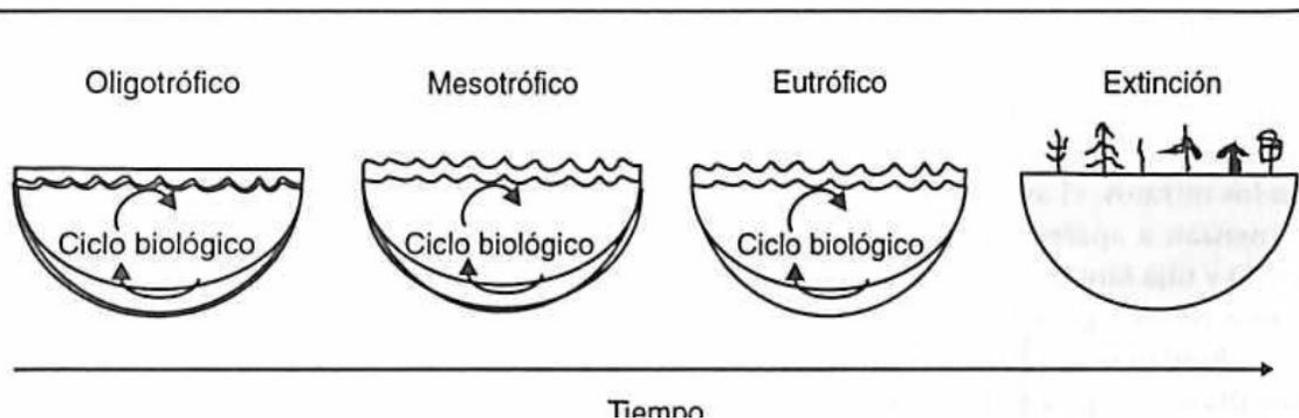


Imagen 7. Transición natural de un lago por varios estados de productividad

Fuente. Sawyer (1996) citado en Fundamentos de limnología neotropical (Roldán & Ramírez, 2008)

Entre las causas antropogénicas que aceleran el proceso de la eutrofización se encuentran:

- Uso de fertilizantes agrícolas: el uso continuo de fertilizantes y estiércol animal es el principal responsable de la eutrofización. Estos llegan a los cuerpos de agua principalmente por la

escorrentía que se produce cuando el agua de lluvia o las prácticas de riego los arrastran hacia zonas bajas, hasta llegar a los cuerpos de agua.

- Descarga de residuos industriales y municipales: este problema se presenta principalmente por la demanda de recursos materiales de la sociedad, ya que al existir una mayor demanda de recursos las actividades industriales aumentan y dentro de estas el uso del recurso agua es primordial para llevar a cabo la elaboración de estos materiales, al hacer usos del recurso debe existir una descarga de este a los cuerpos de agua donde el proceso presenta una aceleración.
- Quema de combustibles fósiles. El nitrógeno liberado a la atmósfera puede volver al agua y al suelo a través de las precipitaciones.



Imagen 8. Eutrofización del Río Tâmega

Fuente. Revista Bird, 2018.

De acuerdo con Álvarez Cobelas, 1991, citado por (Mas, 2017) cuándo una masa de agua es pobre en nutrientes (oligotrófica), sus aguas son muy transparentes, permitiendo una buena penetración de la radiación solar, posibilitando el crecimiento de algas y la coexistencia de una gran variedad de seres vivos. Por el contrario, el incremento de la vegetación en superficie provoca un aumento de la turbidez del agua, impidiendo que la radiación solar alcance las especies vegetales situadas en el fondo.

Principales factores que inciden en la eutrofización de un cuerpo de agua (Mas, 2017):

- Clima: temperaturas cálidas favorece el proceso.
- Profundidad: el desarrollo del proceso de la eutrofización se presenta cuando un cuerpo de agua cuenta con poca profundidad.
- Características del área de drenaje: las zonas con poca cubierta vegetal sujetas a precipitaciones intensas, favorece el arrastre de los nutrientes y por consiguiente en proceso.
- Geología: en zonas sedimentarias, el aporte de fósforo es mayor que en otro tipo de terrenos. Por su parte, los suelos arcillosos al presentar una baja capacidad drenante favorecen la formación de escorrentías.

Los desequilibrios en la disponibilidad de nutrientes pueden ocasionar un proceso de eutrofización acelerada en cuerpos hídricos, con cambios en la composición de la población de organismos acuáticos y en su productividad primaria. Los cuerpos de agua lénticos son naturalmente sensibles al enriquecimiento con nutrientes, proceso que se acelera los por las actividades antrópicas (Martini, et al., 2006).



Imagen 9. Cuerpo de agua léntico.

Fuente. Lagos de Saliencia, España.

Entre los signos de eutrofización incipiente podemos mencionar como ejemplos (Vollenweider, 1970):

- Aumento de la biomasa o los macrófitos y algas periphyton en zonas costeras, o regiones de algas pelágicas planctónicas. En general, este aumento se acompaña con el empobrecimiento de muchas especies típicas de aguas oligotróficas y, al mismo tiempo o más tarde, la aparición de organismos indicadores en las comunidades vegetales.
- Cambio cualitativo y cuantitativo en la fauna costera, bentónicas y planctónicas, así como en las poblaciones de peces. En este último caso, cuando la eutrofización es avanzada, los cambios son más pronunciados, es decir, se observa una disminución en el número de peces.
- Física y químicamente la disminución de la transparencia del agua y el contenido de oxígeno en las capas hipolimnética durante los meses de verano, es decir, durante la estratificación térmica del agua, y finalmente el aumento en el nivel medio de nutrientes (fósforo y nitrógeno).

La causa de la eutrofización es siempre una aportación de elementos nutritivos de diversa procedencia, de estos nutrientes, los más efectivos son aquellos para los que existe una limitación natural, principalmente, el nitrógeno y el fósforo. El primer elemento puede ser extraído de la atmósfera por determinados microorganismos quedando en último término el fósforo como principal elemento limitante del proceso eutrófico (Moreta, 2008).

Tabla 1. Efectos potenciales de la eutrofización causados por el ingreso excesivo de nitrógeno y fósforo en lagos, depósitos y ríos	
<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la biomasa del fitoplancton. • Crecimiento de especies de algas potencialmente tóxicas o no comestibles. • Crecimiento de la biomasa de algas bentónicas y epifíticas. • Crecimiento excesivo de macrófitas acuáticas. • Disminución de la biomasa de peces y moluscos cultivables. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la frecuencia de mortandad de peces • Reducción de la diversidad de especies. • Reducción de la transparencia del agua. • Dilución de oxígeno disuelto. • Reducción del valor estético del cuerpo de agua.
Fuente: Eutrofização em rios brasileiros (Barreto, et al., 2013)	

2. Índices tróficos

Para determinar el estado de trófico de los cuerpos de agua, surge la necesidad de crear un índice que mediante la evaluación de determinadas variables sea posible obtener las condiciones de los cuerpos de agua, estos índices son herramientas importantes usadas para establecer clasificaciones tróficas, brindan información conveniente para implementar criterios de manejo en los cuerpos de agua, así como determinar la situación de los estos. De acuerdo con Contreras citado por (Gómez, et al., 2014) cuantificar los nutrimentos de los cuerpos de agua se vuelve esencial para la evaluación de la dinámica trófica. La medición de estos permite a los cuerpos clasificarlos desde oligotróficos hasta hipertrófico donde los nutrientes se vuelven excedentes.

Como lo afirma Pinilla, los índices son herramientas que proporcionan información sinóptica sobre el estado trófico de los ecosistemas, lo cual permite generar criterios ecológicos para definir acciones de gestión y conservación de estos ambientes (Muciño, et al., 2017)

Índice del Estado Trófico de Carlson (IET):

El Índice del Estado Trófico (TSI) tiene como finalidad clasificar cuerpos de agua en diferentes estados tróficos, de forma confiable, este índice ha sido uno de los más ampliamente utilizados para la clasificación de lagos y reservorios (Batista *et al.*, 2014). El índice toma como variables, la profundidad de visión del disco de Secchi (TSI_{D_s}) y las concentraciones superficiales de Fósforo Total (TSI_{P_t}) y clorofila a ($TSI_{clor\ a}$). Este índice sujeta el estado trófico de un lago a un valor (en una escala de 0 a 100).

Este ha sido uno de los primeros índices propuestos para sistemas lacustres; está basado en la utilización del Disco de Secchi para la medición de la transparencia del agua a través de la columna de agua del lago. Esta transparencia determina el nivel de refracción de la luz a través de la turbidez y el color que presenta el volumen de agua, por efecto de descargas de sólidos (suspendidos, volátiles o sedimentables) o por la formación de sistemas coloidales o soluciones complejas (López & Madroño, 2015).

El índice del estado trófico se calcula con la siguiente expresión:

$$IET = 10 \left[\frac{6 - 2,04 - 0,68 \ln(\text{clor } a)}{\ln 2} \right]$$

Los datos brutos se transforman mediante ecuaciones apropiadas para cumplir la condición de que los valores transformados del rango más bajo y más alto para los tres factores sean iguales a 0 y 100, respectivamente (Vollenweider, et al., 1998). Si un cuerpo de agua no presenta ningún estrés antropogénico, el índice reportará un valor bajo, lo que significa que el ecosistema tiene pocos nutrientes, sedimentos o contaminantes de diferente tipo (Eraso y Galo, 2017).

Tabla 2. Escala del índice del Estado Trófico	
Ecuaciones	Rangos
$I(\text{ChA}) = 9.81 \cdot \ln(\text{ChA}) + 30.6$	(ChA = mg clorofila; 0.04 a 1180 mg/m ³)
$I(\text{PT}) = 14.42 \cdot \ln(\text{PT}) + 4.15$	(PT = total mg; 0.75 a 768 mg P/m ³)
$I(\text{SD}) = 60 - 14.42 (\text{SD})$	(SD = profundidad de Secchi en m; 64 a 0.0625 m)
Fuente. Elaboración propia con base en (Vollenweider, et al., 1998)	

Índice de Estado Trófico (TRIX): Es un índice multivariado propuesto por Vollenweider et al. (1998), analiza la condición ambiental y la estimación del grado de deterioro de los sistemas acuáticos. Este índice combina logaritmos de cuatro variables: Cl a, NID (NO₂+NO₃+NH₄), PT (fósforo total) y el valor absoluto de la desviación del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto

Componentes utilizables en el método:

- 1) Factores que son expresiones directas de la productividad:
 - a) Clorofila 'a': [Ch: mg / m³]
 - b) El oxígeno como desviación absoluta [%] de la saturación: [abs |100-%0| = aD%0]
- 2) Factores nutricionales:
 - a) Totales
 - i) Nitrógeno total: [NT: mg / m³]
 - ii) Fósforo total: [PT: mg / m³]
 - b) Disponible
 - i) Nitrógeno inorgánico disuelto como N- (NO₃ + NO₂ + NH₃): [DIN = mN: mg / m³]
 - ii) Fósforo inorgánico disuelto como P-PO₄: [DIP= PO₄: mg / m³]

Algunas aplicaciones de TRIX: existen al menos otras tres maneras de utilizar el índice.

- Para evaluar la evolución trófica a largo plazo en una estación determinada durante varios años.
- Para mapear el patrón trófico espacial encontrado dentro de un área en una fecha determinada.
- Caracterizar las condiciones tróficas promedio por sectores de área durante períodos de tiempo prolongados. Esto forma la base para la comparación regional.

Tabla 3. Nivel trófico y calidad del agua asociado con el índice TRIX			
Escala TRIX	Nivel de estado trófico	Estado de la calidad del agua	Características del agua
0-4	Oligotrófico	Alta	Aguas poro productivas, nivel trófico bajo
4-5	Mesotrófico	Buena	Agua moderadamente productiva, nivel trófico medio
5-6	Eutrófico	Mala	Agua entre moderada y altamente productiva, nivel trófico alto
6-10	Hipertrófico	pobre	Agua altamente productiva, nivel trófico más alto.
Fuente. Evaluación del estado trófico en los sistemas fluvio-lagunares Pom-Atasta y Palizada del Este, Campeche, México, (Muciño, et al., 2017).			

La clasificación de la OCDE

De acuerdo con Martino, después de un estudio llevado a cabo por 5 años y que abarcó 200 ambientes en 22 países de Europa occidental, Estados Unidos, Japón y Australia, el Comité de Eutrofización de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) en 1982, propuso una clasificación del grado de eutrofia de lagos y embalses. La OCDE se propuso definir un lenguaje común para los parámetros a medir, buscando una simplificación de estos, pero a la vez seleccionando aquellos con significado biológico adecuado, para un análisis estadístico reproducible (López & Madroño, 2015).

Esta clasificación (Vollenwider y Kerekis, 1982) se basó en unos pocos parámetros (P total: clorofila promedio anual, clorofila máxima, transparencia Secchi), evaluando para cada parámetro el rango más probable y los valores límite con respecto a cinco categorías tróficas (ultra-oligotróficas, mesotrófico, eutrófico, hipertrófico). Las probabilidades de clase normalizadas están espaciadas por un factor de 3 para el fósforo total, la clorofila promedio y máxima, y por un factor de dos para la transparencia Secchi (Vollenweider, et al., 1998).

Tabla 4. Criterios de aplicación del Índice OCDE			
Categoría trófica	Clorofila "a" (µg/L)	Profundidad Secchi (metros)	Fósforo (µg/L)
Ultraoligotrófico	<1	>12	<4
Oligotrófico	1-1.25	6 – 12	4 – 10
Mesotrófico	2.5-7.9	3 – 6	10 – 35
Eutrófico	8-25	1.5 – 3	35 – 100
Hipertrófico	>25	>1.5	>100
Fuente. (López & Madroño, 2015).			

Métodos

Esta investigación se llevó a cabo a partir de un estudio explicativo, el cual tiene como objetivo la formulación del problema de eutrofización, en la cual, se realizó una búsqueda de información referente al tema, con el fin de explicar cómo y porqué se presenta este problema en el recurso hídrico. Posteriormente, se llevó a cabo una revisión de la información recolectada para identificar las principales causas y los efectos que se generan a partir de este proceso, así como su aceleración.

De la misma manera se realizó una búsqueda referente al recurso hídrico, donde se tomaron las principales problemáticas y la importancia que tiene este para el planeta.

Como segunda etapa se llevó a cabo una búsqueda de los principales índices que se utilizan para la evaluación del estado trófico de los cuerpos de agua, identificando los parámetros necesarios para cuantificar y catalogar su estado.

Conclusiones

Dentro de las problemáticas por las cuales el recurso hídrico se está viendo afectado, resalta el tema de la eutrofización, este problema no solo afecta a lagos, sino que afecta a ríos y zonas costeras, es también un proceso que no solo se presenta en una parte en específico, sino que actualmente está afectando a la mayoría de los cuerpos de agua y zonas costeras. Esto se debe principalmente a las actividades que el hombre lleva a cabo en su vida diaria.

Si bien, la eutrofización es un fenómeno natural en el cual a través de muchos años los cuerpos de agua se van deteriorando, en la actualidad, el proceso se ha acelerado, principalmente en las zonas donde los asentamientos urbanos, zonas agrícolas y zonas industriales están establecidas cerca de los cuerpos de agua, llevando sus descargas residuales e incluso por la acción de la escorrentía a causa de las precipitaciones una incorporación excesiva de nutrientes tanto a ríos, lagos y mares.

En los últimos años el tema de la eutrofización ha ido tomando gran relevancia en el ámbito científico, por lo cual se han llevado a cabo múltiples investigaciones referentes a este tema, abordando el estudio de lagos y zonas costeras principalmente, donde se ha brindado una explicación de cada una de las causas por las cuales en diferentes sitios se ha estado presentando este fenómeno, de igual manera se han realizado evaluaciones del estado trófico en cuerpos de agua en varias partes del mundo para determinar las condiciones de estos y así tomar medidas para atender esta problemática en cada uno de los sitios evaluados.

Gracias a estas investigaciones que se han llevado a cabo en los últimos años es posible identificar cuáles son las razones por las cuales se ha acrecentado el problema, así como las variables para poder determinar el estado de los cuerpos de agua, dentro de estas se encuentran la clorofila, fósforo y turbidez de los cuerpos de agua. De igual manera se han desarrollado diferentes índices para realizar las evaluaciones de las condiciones del recurso, fungiendo como herramientas necesarias para estimar el grado de afectación de los sitios evaluados.

Con base en las problemáticas actuales en el recurso hídrico, se vuelve de vital importancia considerar llevar a cabo un monitoreo sistemático de la calidad en los diferentes cuerpos de agua y zonas costeras, para poder identificar su estado y las principales causas por las cuales se está o se podría estar deteriorando, con el fin de conocer su comportamiento e identificar si este presenta una tendencia hacia la eutrofización, y elaborar acciones para frenar este proceso y así evitar la desaparición pronta de los cuerpos de agua.

Como se identificó en la investigación, los principales nutrientes que ingresan y provocan el estado hacia la eutrofización son el Nitrógeno y el Fósforo, estos dos son responsables del aumento en la materia orgánica en los cuerpos de agua, por lo que es necesario determinar las concentraciones que ingresan y contar con un monitoreo de estos para llevar a cabo la planeación de planes a futuro.

Para finalizar, el problema de la eutrofización no solo es un tema que le corresponda a los investigadores estudiar, sino que es necesario dar a conocer esta problemática a diferentes grupos sociales, como son las instituciones públicas y educativas, así como instituciones privadas, pues es un problema que no solo afectará a cierta parte de la población, sino que todos nos veremos inmersos en las consecuencias de este proceso.

Es de vital importancia la participación conjunta de la sociedad con los sectores públicos y privados, pues como se ha visto, la sociedad también juega un papel principal en esta afectación, y esto se debe a la demanda del recurso hídrico, así como, la demanda de productos para su vida diaria. Es responsabilidad de todos cuidar los recursos hídricos del planeta, pues sin este la vida no podría continuar.

Como se logró ver, el recurso hídrico es de vital importancia y año tras años el aumento de la población, el mal uso de este recurso y los aportes de nutrimentos en diferentes cuerpos de agua han ido deteriorando la calidad de éste, si no se toman acciones que ayuden a valorar el recurso y acciones que integren a cada uno de los sectores, el problema va a acelerar, poniendo en estado crítico el recurso.

Son muchos los factores que amenazan este recurso, sin embargo, hay que prestar atención al proceso de la eutrofización, pues aunado a los demás problemas, este se ha hecho presente cada vez más en diferentes partes del mundo afectando a los cuerpos de agua.

REFERENCIAS

Libros

CONAGUA, 2011. Agua en el mundo. En: *Estadísticas del agua en México, edición 2011*. México: s.n., pp. 113-126.

PNUMA, 2007. *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial. GEO4, medio ambiente para el desarrollo*. Dinamarca: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

Artículos

Barreto, L. et al., 2013. Eutrofização em rios brasileiros. *Enciclopedia Biósfera*, 9(16), p. 2179.

Bem, C., Borba, M. & Rodrigues, J., 2013. Avaliação do estado trófico de um lago urbano raso. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 8(1), pp. 54-50.

Bonasea, M., Ledesma, C., Rodríguez, C. & Sánchez, A., 2012. Concentración de clorofila-a y límite de zona fótica en el embalse Río Tercero (Argentina) utilizando imágenes de satélite CBERS-2B. *Revista Ambiente & Água*, 7(3), pp. 61-71.

Gómez, R. et al., 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), pp. 47-57.

Ledesma, C., Bonasea, M., Rodríguez, C. & Sánchez, A., 2013. Determinación de indicadores de eutrofización en el embalse Río Tercero, Cordoba (Argentina). *Revista Ciência Agronômica*, 44(3), pp. 419-425.

López, M. & Madroñero, S., 2015. Estado Trófico de un Lago Tropical de Montaña: caso LAGuna de la Cocha. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(2).

Martini, L., Mattos, D., Babosa, D. & Rech, A., 2006. Uso de sensoriamento remoto orbital para avaliação da distribuição espacial de Clorofila_a na Lagoa da Conceição - Florianópolis, SC. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 11(4), pp. 318-324.

Mas, M., 2017. *Uso de la teledetección y los SIG en la vigilancia de la calidad del agua: Aplicación al Mar Menor*. s.l.:s.n.

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

Moreno, D. & Ramírez, J., 2010. Variación temporal de la condición trófica del lago del Parque Norte, Medellín (Antioquía). *Actualidades Biológicas*, pp. 75-87.

Moreta, J., 2008. *La eutrofización de los lagos y sus consecuencias*. Ibarra, 2008. s.l.: s.n.

Muciño, R., Aguirre, A. & Figueroa, M. G., 2017. Evaluación del estado trófico en los sistemas fluvio-lagunares Pom-Atasta y Palizada del Este, Campeche, México. *Hidrobiológica*, 27(3), pp. 281-291.

O'Neil, J., Davis, T., Burford, M. & Gobler, C., 2012. The rise of harmful cyanobacteria blooms: The potential roles of eutrophication and climate change. *Harmful Algae*, Volumen 14, p. 313-334.

Pérez, L. et al., 2013. Bioindicators of climate and trophic state in lowland and highland aquatic ecosystems of the Northern Neotropics. *Revista de Biología Tropical*, 61(2), pp. 603-644.

Roldán, G. & Ramírez, J., 2008. *Fundamentos de limnología neotropical*. 2da ed. s.l.:Universidad de Antioquía.

Rosset, V. et al., 2014. Is eutrophication really a major impairment for small waterbody biodiversity?. *Journal of Applied Ecology*, 51(2), pp. 415-245.

Vollenweider, R., 1970. Les bases scientifiques de l'eutrophisation des lacs et des eaux courantes sous. p. 217.

Vollenweider, R., Giovanardi, F., Montanari, G. & Rinaldi, A., 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*, Volumen 9, pp. 329-357.

Withers, P., Neal, C., Jarvie, H. & Doody, D., 2014. Agriculture and Eutrophication: Where Do We Go from Here?. *Sustainability*, 6(9), pp. 5853-5875.

Informes

UNESCO, 2015. *Agua para un mundo sostenible. Datos y Cifras.*, Italia: s.n.

UNESCO, 2015. *Water for people, Water for life. Executive Summary of the UN World Water Development Report*, France: s.n.

WWDR, 2018. *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua.*, Paris: s.n

Sitios web

Aparicio, R., 2012. *Triplenlace*. [En línea] Available at: <https://tripenlace.com/2012/09/27/eutrofizacion-causas-y-efectos/>

ONU, s.f. *Naciones Unidas*. [En línea]
Available at: <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html>
[Último acceso: 2018].

UNESCO (2015) "El Crecimiento Insostenible Y La Creciente Demanda Mundial De Agua", *Wwdr*, p. 12.
Disponible en:
http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015Facts_Figures_SPA_web.pdf