

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM GESTÃO E
TECNOLOGIA AMBIENTAL**

VICTOR STIVE FLORES GOMEZ

EFICIÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DA COMUNIDADE DO
FITOPLÂNCTON E PARÂMETROS AMBIENTAIS NA
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA EM SETORES
AMBIENTALMENTE CRÍTICOS DO LAGO TITICACA, PERU

Victor Stive Flores Gómez

**EFICIÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DA COMUNIDADE DO
FITOPLÂNCTON E PARÂMETROS AMBIENTAIS NA AVALIAÇÃO DA
QUALIDADE DE ÁGUA EM SETORES AMBIENTALMENTE
CRÍTICOS DO LAGO TITICACA, PERU**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Tecnologia Ambiental - Doutorado, Universidade de
Santa Cruz do Sul - UNISC, como requisito parcial
para o título de Doutor em Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo A. Lobo Alcayaga¹

Co-orientador: Prof. Dr. Adilson Ben da Costa¹

Membros da Banca:

Dr. Xavier Lazzaro PhD²

Dr. Miguel Martínez-Fresneda³

Dr. Patrik Wiesel⁴

Dr^a Lisianne Brittes Benitez¹

Santa Cruz do Sul

2025

¹ Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental - Doutorado, Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), RS, Brasil.

² Especialista Ambiental da Autoridade Binacional Autônoma do Lago Titicaca e sua bacia hidrográfica endorreica, Titicaca -Desaguadero- Poopó - Salar de Coipasa - TDPS, Bolívia.

³ Professor e pesquisador na Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador.

⁴ Pesquisador Pós-doc na UNISC.

Dedico a todos aqueles que dele podem usufruir, aos jovens investigadores, aos professores universitários, aos tomadores de decisão governamentais e à população que vive às margens do majestoso Lago Titicaca; para que juntos reflitamos sobre a situação de vulnerabilidade que o lago enfrenta e assumamos compromissos em favor da sua conservação e urgente recuperação ambiental.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus porque ele me mostrou que eu poderia continuar a crescer academicamente através deste programa acolhedor, PPGTA da UNISC.

À minha família, esposa Sônia e filha Ariana, motor e motivo de todo meu esforço.

Aos meus orientadores, professores Dr. Eduardo Lobo Alcayaga e Dr. Adilson Ben da Costa, pelo valioso acompanhamento, sugestões, aportes no trabalho de pesquisa durante todas as etapas deste processo de doutorado e da tese.

Aos membros do comitê da banca pelas suas valiosas contribuições, Dr. Xavier Lazzaro, Dr. Miguel Martínez-Fresneda, Dr. Patrik Wiesel e Dr^a Lisianne Brittes Benitez, pelos significativos e valiosos comentários e aportes que ajudaram na etapa de qualificação, defesa e posdefesa da tese.

Aos professores do programa de pós-graduação pelos aportes e amizade, em especial à Coordenadora Prof^a Dr^a Rosana de Cassia de Souza Schneider, pelas oportunas sugestões na etapa de planejamento do plano de pesquisa e na qualificação.

Agradeço, também, aos muito queridos Edson, Luciana, Lauren, Larisa, José, Rosane, que nos adotaram como membros de sua família durante nossa permanência na cidade de Santa Cruz do Sul.

Aos colegas do Instituto do Mar do Perú, Carmen Villanueva, Dennys Arpasi e Cesar Gamarra pelo importante apoio técnico.

RESUMO

A degradação da qualidade da água e deterioração dos ecossistemas são dois problemas de grande preocupação nos lagos do mundo. O Lago Titicaca, na América do Sul, também está imerso nesse problema. Uma das principais causas da deterioração ambiental do Lago Titicaca é a má gestão das águas residuais urbanas, que causa graves problemas de eutrofização em áreas específicas como a Baía de Puno, no Peru, e a Baía de Cohana, na Bolívia. Nesse sentido, esta pesquisa teve como objetivo avaliar a qualidade da água por meio da utilização de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos (bactérias e fitoplâncton) a fim de conhecer o seu estado de conservação, bem como a variabilidade espacial e temporal. Para atingir os objetivos, primeiramente foi realizada uma revisão da literatura científica utilizando técnicas bibliométricas e de análise de redes. Como parte da pesquisa, foi realizada a avaliação da qualidade da água em setores críticos do Lago Titicaca, com base em um índice calibrado utilizando o método estatístico de análise de componentes principais aplicado a parâmetros físicos, químicos e microbiológicos da água. Da mesma forma, o estado ecológico do lago foi avaliado com base na comunidade de fitoplâncton e nos parâmetros físicos e químicos da água. Os resultados da análise bibliométrica indicaram que a área em estudo apresenta um forte desenvolvimento científico a nível global, com destaque nos últimos anos para tópicos como qualidade da água, eutrofização, fitoplâncton e cianobactérias. A partir do estudo da qualidade da água no Lago Titicaca, foi determinado que todas as baías avaliadas do lago apresentavam águas com qualidade moderada a ruim, e com processos de eutrofização. Da mesma forma, o índice Q, índice de estado ecológico baseado na estrutura dos grupos funcionais de Reynolds, foi capaz de rastrear as principais variações da condição ecológica do lago Titicaca, indicando que o estado ecológico foi principalmente moderado e ruim. A biomassa do fitoplâncton variou entre $<0,0001$ a $0,3 \text{ mg L}^{-1}$. Durante o período de estudo foram identificadas 85 espécies de fitoplâncton, divididas em 22 grupos funcionais. A sucessão sazonal dos principais grupos funcionais seguiu esta sequência de acordo com sua biomassa, de maior a menor: LM, F, Lo, J e T; destacando que os quatro primeiros grupos são indicadores de processos de eutrofização. O Lago Titicaca apresentou estado ecológico tolerável e ruim durante o período avaliado. Neste contexto, as partes interessadas têm a responsabilidade de implementar estratégias de gestão para atingir uma condição ecológica adequada para o Lago Titicaca.

Palavras-chave: Qualidade da água, eutrofização, comunidade de algas, lago andino, estado ecológico.

ABSTRACT

EFFICIENCY OF USING PHYTOPLANKTON COMMUNITY AND ENVIRONMENTAL PARAMETERS TO ASSESS WATER QUALITY IN ENVIRONMENTALLY CRITICAL SECTORS OF LAKE TITICACA, PERU

Degradation of water quality and deterioration of ecosystems represent two problems of great concern in the world's lakes. Lake Titicaca, in South America, is also concerned. One of the main causes of the environmental deterioration of Lake Titicaca is the poor management of urban wastewater, which is causing serious eutrophication problems in specific areas such as Puno Bay in Peru and Cohana Bay in Bolivia. Therefore, this research aimed to evaluate water quality through physical, chemical, and microbiological parameters (bacteria and phytoplankton) to assess its conservation status and spatial and temporal variability. To achieve the objectives, first, the scientific literature was reviewed using bibliometric and network analysis techniques. As part of the research, water quality was assessed in critical sectors of Lake Titicaca, based on an index calibrated using physical, chemical, and water microbiological parameters, through principal component analysis. Likewise, the ecological status of the lake was assessed based on the phytoplankton community and the physical and chemical parameters of the water. The results of the bibliometric analysis indicated that the area under study is subject to strong scientific monitoring at a global level, with emphasis in recent years on topics such as water quality, eutrophication, phytoplankton and cyanobacteria. From the study of water quality in Lake Titicaca, it was determined that all evaluated bays of the lake had moderate to poor water quality. Similarly, the Q index, ecological state index based on Reynolds phytoplankton functional groups, identified the main seasonal variations in the ecological condition of the Lake Titicaca, which was mostly moderate to bad. Phytoplankton biomass ranged between <0.0001 to 0.3 mg L^{-1} . During the study period, 85 phytoplankton species were identified, divided into 22 functional groups. The seasonal succession of the main functional groups followed this sequence, in order of biomass (major to minor) was: LM, F, Lo, J, and T; highlighting that the first four groups are indicators of eutrophication processes. Lake Titicaca presented tolerable and bad ecological status during the evaluated period. In this context, stakeholders have the responsibility to implement management strategies to achieve an adequate ecological condition of Lake Titicaca.

Keywords: Water quality, eutrophication, algal community, Andean Lake, ecological state.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Comparação aproximada das áreas de superfície dos corpos de água léticos mais representativos do mundo, todos representados na mesma escala.....	16
Figura 2.	Modelo dos fatores antrópicos que afetam a qualidade das águas superficiais.....	19
Figura 3.	Modelos de IQA desenvolvidos nas diferentes regiões a escala global no período anual 1960-2020.....	21
Figura 4.	Parâmetros de qualidade da água mais utilizados nos modelos de IQA.....	22
Figura 5.	Fotossíntese de algas: produção primária em seis lagos contrastantes.....	23
Figura 6.	Visão geral esquemática das principais fontes de nutrientes, caminhos e impactos da eutrofização em lagos de água doce.....	26
Figura 7.	Localização do Lago Titicaca em Peru e Bolívia.....	28
Figura 8.	Fluxograma do desenvolvimento da tese.	29
Figura 9.	Contexto ambiental do Lago Titicaca, setor peruano	34
Figura 10.	Setores representativos do Lago Titicaca	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resumo da sazonalidade do fitoplâncton em 19 lagos estratificados no English Lake District (Reynolds, 2006)	25
Tabela 2. Classificação de fitoplancton segundo o MBFG (Kruk et al. 2010)	29
Tabela 3. Resumo da sazonalidade do fitoplâncton em 19 lagos estratificados no English Lake District (Reynolds, 2006).	30

LISTA DE ABREVIATURAS

WQI	Water quality index
WQI _T	Water quality index Titicaca
PLWQA	Phytoplankton in lake water quality assessment
IQA	Índice de qualidade da água
IQA _T	Índice de qualidade da água Titicaca
NP	Number of publications
R	Ranking
TC	Total citation
TCY	Total citations per year
PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic Reviews & Meta-Analyses
NSF	National Sanitation Foundation
T	Temperature
DO	Dissolved oxygen
pH	Hydrogen potential
TDS	Total dissolved solids (TDS)
TU	Turbidity
PO ₄ -P	Phosphate phosphorus
NH ₃ -N	Ammoniacal nitrogen
BOD ₅	Biochemical oxygen demand
TC	Thermotolerant coliforms (no segundo artigo)
FGs	Functional groups

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS.....	16
2.1	Objetivo Geral	16
2.2	Objetivos específicos.....	16
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1	Lagos	17
3.2	Avaliação da qualidade da água	19
3.3	Comunidade do Fitoplâncton	24
3.4	Eutrofização.....	30
3.5	Lago Titicaca.....	32
4	METODOLOGIA.....	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5.1	ARTIGO 1 - FITOPLÂNCTON NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE LAGOS: UMA REVISÃO DA LITERATURA CIENTÍFICA BASEADA EM TÉCNICAS BIBLIOMÉTRICAS E DE REDE.....	36
5.2	ARTIGO 2 - ASSESSMENT OF WATER QUALITY IN HIGH-PRESSURE PERUVIAN ANTHROPIC SECTORS OF LAKE TITICACA USING A CALIBRATED INDEX.....	38
5.3	ARTIGO 3 - ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATUS OF LAKE TITICACA IN THE PERUVIAN SECTOR USING THE PHYTOPLANKTON FUNCTIONAL GROUPS AND ENVIRONMENTAL PARAMETERS	40
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
7	TRABALHOS FUTUROS	43
8	ATIVIDADES REALIZADAS DURANTE O DOUTORADO	44
8.1	Colaboração e publicação de artigos científicos com colegas de Perú	44
8.2	Atividade em docência universitária e reconhecimentos	46
8.3	Atividade em participação e organização de eventos acadêmicos	52

8.4	Atividade como pesquisador científico	55
9	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

Os lagos do mundo estão sujeitos a pressões ambientais de um conjunto de fatores antrópicos ao longo de suas margens (industrial, agrícola, abastecimento de água, recreação, etc.), que podem deteriorar a qualidade da água (El-Serehy et al., 2018) e desencadear um quadro de eutrofização (Ali, 2011; Smith, 2003). Associado aos casos de eutrofização, as florações de algas causam doenças na saúde humana e comprometem os serviços ecossistêmicos tais como a diminuição de alimentos de origem aquático, turismo local e disponibilidade de água para consumo humano, mortandade de organismos aquáticos devido a processos de anoxia e/ou liberação de gases tóxicos (como H_2S , pelas bactérias sulfato-reductoras, por exemplo), entre outros (Janssen et al., 2017; Ho et al., 2019).

Em ecossistemas lacustres é essencial conhecer a influência dos nutrientes sobre a comunidade de fitoplâncton, zooplâncton e peixes, bem como os processos físicos, químicos e biológicos, sendo que para isto é fundamental o monitoramento da qualidade da água (Lazzaro, 1987; Bhateria & Jain, 2016). Além disso, determinar os fatores que controlam as interações da rede alimentar e seus efeitos por meio da predação e da reciclagem de nutrientes, é uma questão chave em ecologia, sendo importante conhecer a carga de nutrientes e as respostas das comunidades biológicas (Paerl, 2018; Zhang et al., 2022)

Segundo os resultados em estudos em ecologia aquática, o fósforo é um elemento essencial para todas as formas de vida; em altas concentrações, junto com o nitrogênio, desencadeia o fenômeno da eutrofização, quadro de alta produção de algas e cianobactérias que limitam a disponibilidade de oxigênio e causam mortalidade na fauna aquática (Correll, 1999; Sondergaard et al., 2001; Davis et al., 2015). A ciência procura explicar os processos de eutrofização onde as cianobactérias são um grupo objeto de estudo e de preocupação pelos efeitos negativos que provocam no ecossistema lacustres (Mantzouki et al., 2016), destacando que sua importância científica favoreceu o estudo das “*Cyanobacterial harmful algal blooms*” ou CyanoHABs (florações nocivas de cianobactérias) (Chaffin et al., 2019; Kong et al., 2021)

Considerando que é de interesse conhecer o risco de florações de algas em lagos, este pode ser avaliado analisando a proporção de nitrogênio e fósforo (N:P), e de suas descargas (Janssen et al., 2017), assim como pelo análise da transparência e dominância de cianobactérias (Xu et al., 2015), e também pelo estudo dos processos físicos de transporte de nutrientes do fundo até os diferentes níveis da coluna de água (Ahlgren et al., 2005; Essaid et al., 2021),

processos cuja dinâmica tem variação estacional e que estão influenciados pelos períodos secos e chuvosos (Díaz-Torres et al., 2021).

Em relação aos métodos desenvolvidos para fazer o seguimento do estado trófico dos lagos, pela versatilidade de sua aplicação, a teledetecção e sensoriamento remoto são úteis para estimar a concentração de clorofila-*a* (Gons, 1999; Ho et al., 2019), e tem forte potencial para avaliar a transparência, temperatura, nível da água, fitoplâncton, cianobactérias e batimetria (Dörnhöfer & Oppelt, 2016; Amorim & Moura, 2021).

Fica evidente que a avaliação da qualidade da água torna-se indispensável para conhecer o estado de conservação de um corpo de água, o que compreende a análise de um conjunto de características físicas, químicas e biológicas. Assim, existem critérios e normas para a qualidade da água que variam de acordo com a sua finalidade, seja ela consumo humano, uso industrial ou agrícola, lazer ou manutenção do equilíbrio ambiental (Parparov et al., 2006). Muitos índices com base em parâmetros físicos, químicos e microbiológicos têm sido desenvolvidos para avaliar a qualidade da água, com destaque para a eutrofização e integridade biológica (p. ex., Parparov & Hambright, 2007; Abbasi & Abbasi, 2012; Moretto et al., 2012; Bajaña et al., 2021), sendo importantes para determinar o estado de conservação dos corpos de água e a pressão humana sobre os ecossistemas, bem como a definição de medidas para sua gestão (Chidiac et al., 2023).

A pesquisa de Birk et al. (2012), a partir de uma revisão baseada em dados de 28 países da Europa, onde foram feitos estudos de qualidade de água com uso de bioindicadores, verificaram que 30% deles foram em rios, 26% em águas costeiras, 25% em lagos e 19% em águas de transição; além disso, 28% dos métodos foram baseados em plantas macroscópicas, 26% em invertebrados bentônicos, 21% em fitoplâncton, 15% em peixes e 10% em fitobentos. Dos diferentes grupos que são de interesse na avaliação da qualidade da água, destaca-se o uso de comunidades planctônicas (Jeppesen et al., 2011; Tao et al., 2012), entre elas o fitoplâncton, por sua sensibilidade às alterações em seus habitats. Muitas espécies ou grupos da comunidade do fitoplâncton têm sido utilizadas como bioindicadores de poluição desde a década dos anos 70 (Yusuf, 2020), tanto em corpos d'água lóticos (Freitas et al., 2020; Lobo et al., 2015, 2016, 2019), como em lênticos (Bilous et al., 2024). O último avanço no estudo deste grupo como bioindicadores é utilizando a técnica de sequenciamento genético (Ballesteros et al., 2020; Borrego-Ramos et al., 2021).

Estudos em fitoplâncton e macrófitas aquáticas evidenciam mudanças de regime em lagos pouco profundos, onde o processo da eutrofização pode ser explicado pela transição das águas claras com presença de macrófitas em águas turvas com alta densidade de fitoplâncton (Zhu et al., 2015). Ressalta-se, também, a função das macrófitas na retenção do sedimento, redução da dispersão dos nutrientes na coluna de água e a diminuição do risco das florações de algas tóxicas (Hilt et al., 2018). Estes cenários, contudo, tornam-se complexos pela redução do nível de água, que pode acelerar o processo de eutrofização em períodos de estiagem longos (da Costa et al., 2016).

Na atualidade, a desfavorável situação dos lagos pelo aumento de casos de eutrofização, incerteza climática e a alta demanda de água pela população humana (Deng et al., 2018), gera uma crescente e urgente necessidade de recuperar os lagos ou embalses poluídos, situação que está motivando o desenvolvimento de modelos ecológicos (Gebler et al., 2021; Kröger et al., 2023), técnicas de controle (Buley et al., 2021), e restauração deles com o objetivo de reduzir a quantidade de poluentes na água até níveis aceitáveis para seu aproveitamento (Wang et al., 2021).

A perda de biodiversidade e a deterioração da qualidade da água associada ao aquecimento rápido dos Grandes Lagos do mundo ($\geq 500 \text{ km}^2$), foram recentemente destacados por Jenny et al. (2020), os quais ressaltam a necessidade de implantar uma rede de observatórios ambientais nos Grandes Lagos para monitorar as mudanças ambientais e, em particular, a eutrofização, com alertas antecipados para prever a formação de florações de algas (blooms).

Por outro lado, O'Reilly et al. (2015), com base em 23 anos de medições por satélite, destacaram que o Titicaca teria uma tendência de aquecimento de suas águas em $+0,15 \text{ }^\circ\text{C}/\text{década}$, ou seja, pertenceria ao grupo E, o quinto grupo entre oito, que cobre uma amplitude de $+0,12$ a $+0,72 \text{ }^\circ\text{C}/\text{década}$. Usando medições meteorológicas da boia HydroMet do Observatório Permanente do Lago Titicaca (OLT), entre 2019 e 2022, Lazzaro et al. (2023) determinaram que o aumento da temperatura média do ar sobre o corpo d'água do Lago Menor tenderia a aumentar em aproximadamente $\leq +0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ em três anos, ou seja, $+0,67 \text{ }^\circ\text{C}/\text{década}$. Isso, se mantido projetaria um aumento de mais de $+5^\circ\text{C}$ ($8 \times 0,67$) entre hoje (2025) e o ano de 2100, o que é simplesmente insustentável.

As entradas maciças de nutrientes (N, P) como resultado das atividades humanas aceleram a eutrofização, o que leva à anoxia. O déficit de oxigênio seria ampliado pela decomposição da matéria orgânica pelas bactérias redutoras de sulfato que liberam H_2S , um

poderoso gás neurotóxico, levando à mortalidade em massa de organismos aquáticos (peixes, anfíbios, pássaros), como aconteceu em 2015, após uma estação chuvosa prolongada (Achá et al., 2018). Além disso, Moss et al. (2011) demonstraram que o aquecimento global, ao acelerar os processos fisiológicos, acelera os processos de eutrofização.

Para entender e antecipar a evolução da dinâmica do plâncton, é necessário considerar as interações nas relações tróficas, ou seja, não apenas os efeitos de baixo para cima das entradas de nutrientes (N, P), sua reciclagem interna por peixes e zooplâncton, que altera a relação estequiométrica (N:P), mas, também, os efeitos da predação e herbivoria (“efeitos de cima para baixo”). A sinergia entre esses processos foi evidenciada pela primeira vez pelo trabalho pioneiro de McQueen et al. (1989) e Carpenter et al. (2001), desde experimentos em mesocosmos até a escala de pequenos lagos naturais experimentais.

O Lago Titicaca, recurso hídrico andino transfronteiriço entre Peru e Bolívia (Canedo et al., 2016), apresenta extrema relevância para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental (Tudela, 2012). Contudo, vem atravessando deterioro ambiental, sendo a eutrofização uma das ameaças latentes e de risco para a qualidade da água (p. ex., Farfán et al., 2015; Mancilla, 2016; Archundia et al., 2017; Achá et al., 2018; Escobar-Mamani et al., 2023; Flores-Gómez et al., 2024), biodiversidade da flora e fauna, serviços ecossistêmicos e saúde humana (Capriles et al., 2014).

A situação de deterioro ambiental do Lago Titicaca ocorre basicamente pelo alto aporte de nutrientes procedentes dos efluentes urbanos das cidades localizadas no entorno lacustre (Argota Pérez et al., 2020; Siguyayro et al., 2022; Flores-Gómez et al., 2024), rios tributários (Loza del Carpio & Ccancapa Salcedo, 2020) e aquicultura, esta última com amplo desenvolvimento na zona litoral (Vera Cartas et al., 2013). Esta situação acontece pela ineficiente gestão pública (Mancilla, 2016), além de uma limitada compreensão dos processos limnológicos que ocorrem neste ecossistema, devido à falta de profundidade nos estudos científicos (Pouilly et al., 2014).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar a eficiência da utilização da comunidade de fitoplâncton e de parâmetros ambientais na avaliação da qualidade da água em setores ambientalmente críticos do Lago Titicaca, Peru.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a evolução das pesquisas científicas sobre uso da comunidade do fitoplâncton na avaliação de qualidade da água.
- Avaliar a qualidade de água em setores de alta pressão antrópica do Lago Titicaca utilizando um índice calibrado a partir de variáveis físicas, químicas e microbiológicas.
- Avaliar o estado ecológico do setor Peruano do Lago Titicaca a partir da comunidade de fitoplâncton e parâmetros ambientais.
- Verificar a eficiência da utilização da comunidade de fitoplâncton e de parâmetros ambientais na avaliação da qualidade da água em setores ambientalmente críticos do Lago Titicaca, Peru, a partir dos dados a serem coletados nos objetivos específicos anteriores.

Até o ano 2006, os especialistas apontavam que os maiores problemas que as águas doces enfrentam eram: superexploração, poluição da água, modificação do fluxo, destruição ou degradação do habitat e invasão por espécies exóticas (Dudgeon et al., 2006). Nas duas últimas décadas, outros aspectos mais tomam protagonismo, a mudança climática (Morris et al., 2022; Woodward et al., 2010), eutrofização (Smith, 2003) e proliferação de algas nocivas (Duan et al., 2022; Svirčev et al., 2019).

Os lagos normalmente consistem em quatro zonas distintas que fornecem uma variedade de nichos ecológicos para diferentes espécies de plantas e animais. De acordo com Bhateria & Jain (2016), estas zonas compreendem: (1) Zona Litoral onde as águas são rasas e ricas em nutrientes, perto da costa contêm plantas aquáticas enraizadas e uma abundância de outras formas de vida aquática; (2) Zona limnética que consiste na camada superficial de águas abertas que recebem luz solar suficiente para a fotossíntese, e contém quantidades variáveis de fitoplâncton flutuante, zooplâncton herbívoro e peixes, dependendo da disponibilidade de nutrientes para as plantas; (3) Zona profunda, com águas profundas não penetrada pela luz solar é habitada principalmente por peixes, como o robalo e a truta, que estão adaptados às águas mais frias e escuras e aos níveis mais baixos de oxigénio dissolvido; e (4) Zona bentônica, que é mais profunda e localizada no fundo do lago e é habitada principalmente por um grande número de bactérias, fungos, vermes sanguíneos e outros decompositores que vivem em restos de plantas mortas, restos de animais e dejetos de animais que flutuam de cima.

A origem dos lagos, de acordo com Bhateria & Jain (2016), pode ser (1) Efêmeros, originam-se como produto de processos geológicos e terminam como resultado da perda do mecanismo de lagoas, por evaporação causada por alterações no equilíbrio hidrológico, ou por enchimento causado por sedimentação; (2) Glaciais, que são lagos sobre ou no gelo, cobertos de gelo ou que ocorrem em bacias rochosas raspadas pelo gelo. A última origem (lagos glaciais) contém a maior parte dos lagos. Lagos formados por morenas de todos os tipos e lagos que ocorrem na deriva glacial também se enquadram nesta categoria (MOEF 2010), por exemplo Chandratál em Himachal Pradesh; (3) Tectônicos, que são formados por movimentos crustais em grande escala que separam corpos d'água do mar, por exemplo Lago Tso Moriri e Pangong Tso em Ladakh.

Ainda, os lagos são classificados com base na química da água. Com base nos níveis de salinidade, são conhecidos como lagos de água doce, salobra ou salina. Com base no seu conteúdo de nutrientes. Eles são divididos em quatro tipos (Carlson, 1977; Katip et al., 2015):

(1) Oligotrófico: Um lago com baixa produtividade primária, resultado do baixo teor de nutrientes. Esses lagos apresentam baixa produção de algas e consequentemente, muitas vezes possuem águas muito límpidas, com alta qualidade de água potável; (2) Mesotrófico: Lagos com nível intermediário de produtividade. Esses lagos são comumente lagos e lagoas de águas claras com leitos de plantas aquáticas submersas e níveis médios de nutrientes; (3) Eutrófico: Devido ao excesso de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, esses corpos d'água são capazes de sustentar uma abundância de plantas aquáticas. Normalmente, o corpo de água será dominado por plantas aquáticas ou algas. Quando as plantas aquáticas dominam, a água tende a ser límpida. Quando as algas dominam a água tende a ser mais escura. As algas participam da fotossíntese que fornece oxigênio aos peixes e à biota que habitam essas águas. Ocasionalmente, ocorre uma proliferação excessiva de algas que pode resultar na morte de peixes devido à respiração por algas e bactérias que vivem no fundo. O processo de eutrofização pode ocorrer naturalmente e pelo impacto humano no meio ambiente; (4) Hipereutrófico: Esses lagos são lagos altamente ricos em nutrientes, caracterizados por proliferação frequente e severa de algas incômodas e baixa transparência. Os lagos hipereutróficos têm uma profundidade de visibilidade inferior a 3 pés; eles têm mais de $25 \mu\text{g L}^{-1}$ de clorofila total e mais de $100 \mu\text{g L}^{-1}$ de fósforo. A proliferação excessiva de algas também pode reduzir significativamente os níveis de oxigênio e impedir que a vida funcione em profundidades mais baixas, criando zonas mortas abaixo da superfície.

3.2 Qualidade da água

A água é um componente crucial do meio ambiente; mas existe preocupação da perda de sua qualidade devido a fatores naturais e antrópicos. Os fatores hidrológicos, atmosféricos, climáticos, topográficos e litológicos são os fatores naturais que influenciam na qualidade da água (Magesh et al., 2013; Uddin et al., 2021). Exemplos de atividades antrópicas (Figura 2) que afetam negativamente a qualidade da água são a mineração, a pecuária, a produção e eliminação de resíduos (industriais, municipais e agrícolas), o aumento do escoamento de sedimentos ou a erosão do solo devido a alterações no uso da terra (Lobato et al., 2015) e poluição por metais pesados (Ali & Khan, 2018). Nas últimas décadas, os países em desenvolvimento têm enfrentado problemas significativos na proteção da qualidade da água quando tentam melhorar o abastecimento de água e o saneamento (Ortega et al., 2016). Mesmo as nações desenvolvidas têm lutado para manter ou melhorar o estado da qualidade da sua água

face a problemas como o enriquecimento de nutrientes e a eutrofização dos recursos hídricos e o fornecimento de água e serviços de águas residuais para populações crescentes (Abbasi & Abbasi, 2012).



Figura 2. Modelo dos fatores antrópicos que afetam a qualidade das águas superficiais. (Fonte: <https://acquablog.acquasolution.com/poluicao-da-agua-causas-e-consequencias/>).

A gestão da qualidade da água requer a análise de grandes conjuntos de dados, assim, os cientistas desenvolveram uma série de ferramentas para avaliar os dados de qualidade da água; o modelo do Índice de Qualidade da Água (IQA) é uma dessas ferramentas (Uddin et al., 2021). Segundo Zotou et al. (2020), nas últimas décadas, a avaliação das condições de qualidade da água nos corpos hídricos tornou-se de particular importância. No entanto, fatores como o grande número de dados necessários para a avaliação qualitativa, os conhecimentos e competências especiais necessários, bem como as dificuldades decorrentes da combinação de parâmetros qualitativos caracterizados por diferentes significados e expressos em diferentes unidades de medida, e intervalos de concentração para produzir um único resultado da qualidade global, além de medições e amostras geralmente realizadas em forma pontual, muitas vezes tornam o processo particularmente difícil.

3.3 Índice da qualidade da água

Os Índices de Qualidade da Água (IQA) e os Índices de Estado Trófico (IET) podem contribuir significativamente na avaliação da condição de saúde de lagos. A ideia geral dos IQA reside na representação do estado de qualidade de um determinado corpo hídrico através de um único número (pontuação), que pode ser facilmente gerido e compreendido pelos decisores e pelo público em geral. Depois de ter calculado um IQA, o seu valor numérico corresponde a uma determinada classe de qualidade (frequentemente de 1 a 5), e depois, a uma subsequente “classe de caracterização qualitativa” da qualidade da água, como “muito ruim”, “ruim”, “médio”, “bom” ou “excelente”, para descrever claramente as condições do sistema de água.

Horton (1965) estabeleceu o primeiro IQA. Mais de trinta índices foram desenvolvidos desde então para diferentes fins, tipos de uso da água e condições ecológicas (Yan et al., 2022). Algumas das categorizações mais comuns entre os IQA são: (a) índices “físico-químicos” e “biológicos”; (b) índices de “poluição da água” e “qualidade da água” baseados no fato de o valor do índice “aumentar” ou “diminuir” com a poluição, respectivamente; e (c) índices de “público” e “consumo específico”, que indicam se o índice visa avaliar a qualidade da água para uso geral ou para determinado tipo de consumo (Chidiac et al., 2023). Nas últimas duas décadas, muitos investigadores realizaram estudos onde os IQA existentes são aplicados para avaliar a qualidade da água em sistemas hídricos específicos (Uddin et al., 2021) em diferentes regiões (Figura 3), o tópico tem recebido muita atenção ultimamente uma vez que, embora exista uma grande variedade de IQA disponíveis (Figura 4), não existe um globalmente aceito. Portanto, a investigação da eficácia de um grande número de IQA em diferentes ambientes e a sua avaliação comparativa são cruciais para garantir que respondem da mesma forma e, posteriormente, para poder sugerir o mais adequado.

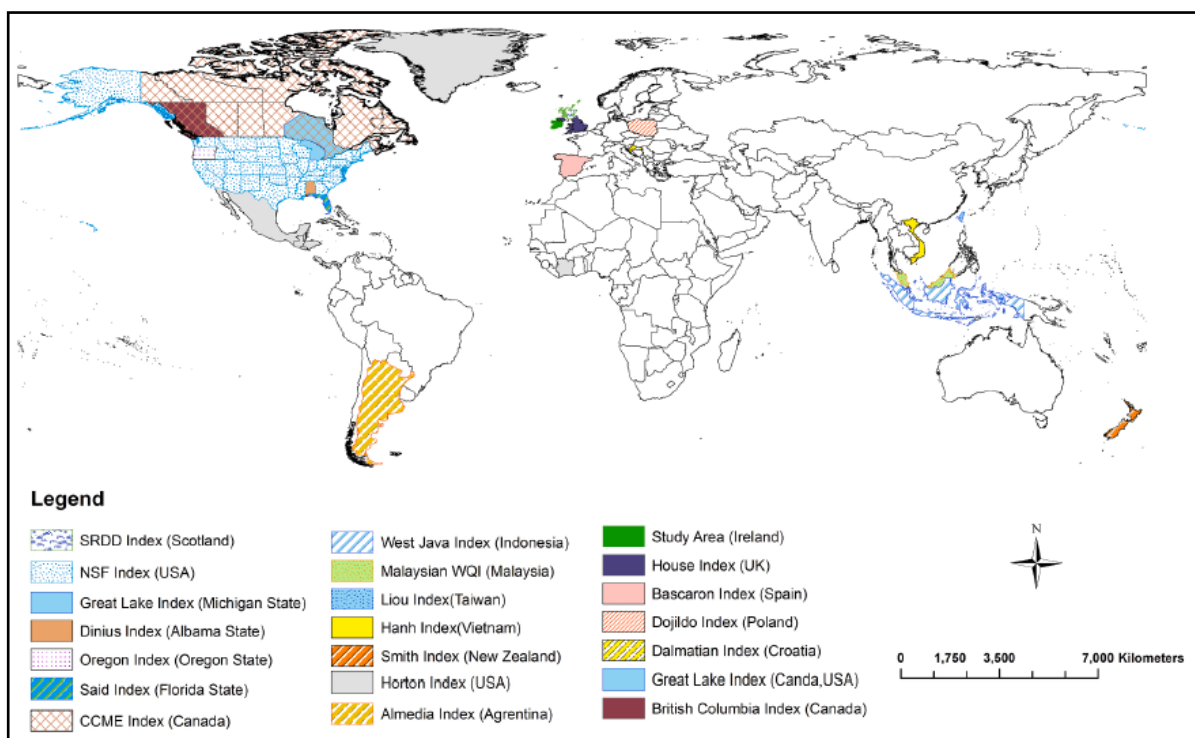


Figura 3. Modelos de IQA desenvolvidos nas diferentes regiões a escala global no período anual 1960-2020 (Uddin et al., 2021).

Entre os parâmetros de qualidade de água mais utilizados nos modelos de IQA destacam (Figura 4): temperatura, demanda bioquímica de oxigênio, oxigênio dissolvido, pH, $\text{NH}_3\text{-N}$, turbidez, sólidos suspensos, sólidos dissolvidos totais e coliformes fecais, uma descrição ampliada pode encontrar em Bhateria & Jain (2016) e Abbasi & Abbasi (2012).

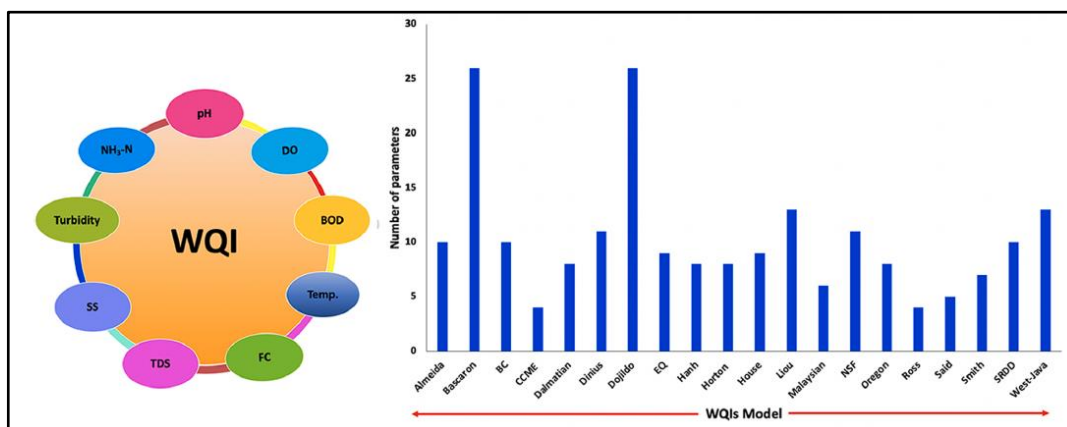


Figura 4. Parâmetros de qualidade da água mais utilizados nos modelos de IQA (Uddin et al., 2021).

3.4 Índice do estado trófico

Na Europa, outro conceito é usado, o Índice de Estado Trófico (IET), destacando que o primeiro IET, denominado “*Trophic State Index*” ou “TSI”, foi desenvolvido por Carlson (1977), levando em conta três parâmetros: a transparência baseada na profundidade de desaparecimento do disco de Secchi (SD, em m), as concentrações de fósforo total (TP, em mg/m³ ou µg L⁻¹) e clorofila-*a* (Chl, em mg/m³ ou µg L⁻¹), ambos medidos na superfície. O TSI varia em um intervalo de menos (0) a mais produtivo (100), em 11 classes de estado trófico, de acordo com 3 equações:

$$\text{TSI (DS)} = 10 * (6 - \ln \text{SD} / \ln^2)$$

$$\text{TSI (Chl)} = 10 * [6 - (2,04 - 0,68 \ln \text{Chl}) / \ln^2].$$

$$\text{TSI (TP)} = 10 * [6 - (\ln 48 / \text{TP}) / \ln^2].$$

No entanto, a classificação mais recente e amplamente utilizada do status trófico é a classificação da OECD (1982) com 4 classes (oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e hipereutrófico), com base em 4 parâmetros medidos na extensão da coluna d'água: fósforo total (TP, em µg L⁻¹), nitrogênio total (TN, em µg L⁻¹), clorofila-*a* (Chl, em µg L⁻¹), e transparência de Secchi (DS, em m). As amplitudes de valores para os estados oligotrófico, mesotrófico e eutrófico são, respectivamente: 3,0-17,7, 10,9-95,6 e 16,2-386 µg L⁻¹ para fósforo, 307-1630, 361-1387 e 393-6100 µg L⁻¹ para nitrogênio, 0,3-4,5, 3,0-11,0 e 2,7-78 µg L⁻¹ para clorofila-*a*, e 5,4-28,3, 1,5-8,1 e 0,8-7,0 m para a transparência baseada na profundidade de desaparecimento do disco de Secchi.

3.5 Índice de estado ecológico – Índice Q

Na Europa, o quadro legislativo relacionado com o objetivo de proteger, melhorar e monitorizar as condições de qualidade da água foi estabelecido pela Diretiva Marco da Água 2000/60/CE (ou “*Water Framework Directive*” em inglês, WFD). De acordo com a WFD, os Estados-Membros devem primeiro classificar os seus sistemas aquáticos com base no seu estado ecológico e químico, e depois aplicar as medidas adequadas para que todos alcancem uma “boa” qualidade da água. Neste contexto, torna-se evidente a necessidade de um quadro metodológico capaz de avaliar o estado ecológico das massas de água e ao mesmo tempo garantir a fiabilidade, a comparabilidade entre os diferentes países europeus e a simplicidade na comunicação dos resultados.

A WFD é um conceito amplo e visa desenvolver estratégias de gestão sustentável para águas subterrâneas e superficiais na Europa, a partir de uma avaliação do estado ecológico das águas de superfície. Esta é uma expressão da qualidade da estrutura e funcionamento do corpo d'água, que mostra o impacto combinado de pressões como poluição, degradação do habitat e mudanças climáticas. A meta é que todas as massas de água estejam em bom estado até 2027. O status bom ou alto representa a condição do corpo d'água com pouco ou nenhum impacto humano. Assim, o estado ecológico na WFD refere-se à saúde geral das massas de água, incluindo rios, lagos e águas costeiras, com base no estado dos seus ecossistemas.

Do ponto de vista de Padisak et al. (2006), três características da WFD devem ser enfatizadas: (i) define ecorregiões (que podem ser divididas em sub-regiões). Dessa forma, nos permite considerar regiões ficogeográficas; (ii) águas superficiais (lagos e rios) são agrupadas com base em seus caracteres tipológicos e o número de tipos pode variar em diferentes ecorregiões; além disso (iii) o fitoplâncton é um dos cinco grupos sugeridos para avaliação do estado ecológico das águas superficiais. É fácil reconhecer que os desenvolvimentos recentes na ecologia do fitoplâncton e as demandas da WFD se sobrepõem, uma vez que esta última requer agrupamento funcional de biota que corresponda aos requisitos da avaliação do estado ecológico.

Em cada estado membro e associado da UE, inúmeras tentativas foram feitas para encontrar atributos do fitoplâncton e/ou grupos indicadores que atendam às demandas da WFD. O índice Q foi desenvolvido na Hungria para avaliar o status ecológico de diferentes tipos de lagos (Padisak et al. 2006), destacando que o método tem uma base teórica suficientemente sólida e, portanto, pode ser aplicado para avaliação do estado ecológico sem limitações geográficas.

3.6 Comunidade do Fitoplâncton

O fitoplâncton é um grupo de organismos microscópicos que, como produtores primários, corresponde ao primeiro nível trófico nos ecossistemas aquáticos, base que sustenta de maneira direta ou indireta a vida do resto dos organismos, além de ter uma participação fundamental no ciclo do carbono (Jia et al., 2022). Todos os seres autótrofos e alguns mixotróficos se encontram na zona superficial das águas até a região onde penetram os raios solares (0-200 m), conhecidos como capa eufótica (Zhou et al., 2018). Para sua sobrevivência, este grupo depende de maneira

significativa de diferentes processos físicos e químicos, como correntes da água, surgimento de águas profundas ricas em nutrientes para a superfície, disponibilidade de nutrientes ou luz, entre outros (Reynolds, 2006).

O nível de produção primária pelo fitoplâncton em corpos de água doce pode ser medido como carbono fixo por unidade de área com o tempo ($\text{mgCm}^{-3} \text{ h}^{-1}$), e varia muito de um ambiente para outro (Sayers et al., 2021). Isto é observado, por exemplo, em diferentes lagos onde a produção primária varia com o estado trófico e com a profundidade na coluna de água (Figura 5). Lagos eutróficos, contendo altos níveis de nitrogênio e fósforo disponíveis, apresentam níveis muito elevados de produtividade nas águas superficiais, diminuindo rapidamente com a profundidade devido à absorção de luz pela biomassa de algas. Em contraste, os lagos mesotróficos e oligotróficos têm uma produtividade global mais baixa que se estende profundamente na coluna de água devido à maior penetração da luz (Reynolds, 2006).

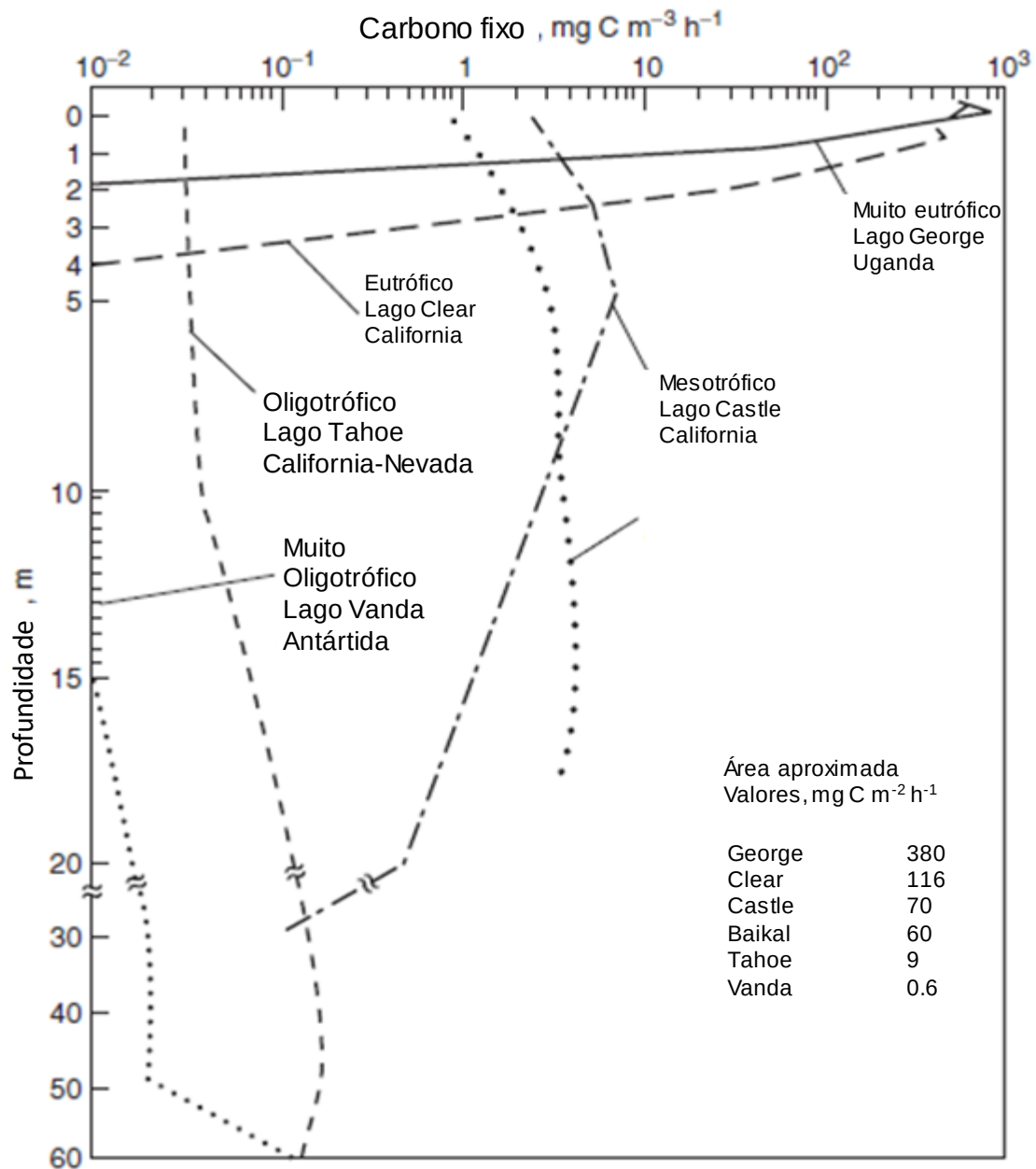


Figura 5. fotossíntese de algas: produção primária em seis lagos contrastantes mostrando a taxa de fotossíntese (fixação de carbono por unidade de área) com profundidade em lagos com disponibilidade variada de nutrientes, de muito eutróficos (lago george, uganda) a eutróficos (clear lake, califórnia; parte do lago baikal), mesotróficos (castle lake, califórnia), oligotróficos (lago tahoe, califórnia-nevada) e muito oligotróficos (lago vanda, antártida). Retirado de Reynolds (2006).

As algas associadas ao substrato estão em equilíbrio dinâmico com os organismos planctônicos, dependendo do equilíbrio de dois fatores principais - a profundidade da água e a velocidade do fluxo de água (Fu et al., 2022). A acumulação de populações de fitoplâncton requer uma baixa taxa de fluxo (caso contrário, são eliminadas do sistema), e níveis de luz

adequados (Gaskill et al., 2020), pelo que tendem a predominar na superfície de lagos e rios de movimento lento (Reynolds, 2006).

As algas planctônicas dominam o principal corpo d'água de águas paradas, ocorrendo como uma sucessão sazonal definida de espécies em lagos temperados (Ahmed & Wangane, 2015) e alpinos (Gallina et al. 2013; Jacquemin et al. 2019). A sequência temporal depende do status trófico do lago com algas formando florações densas em lagos eutróficos de diatomáceas, algas coloniais verde-azuladas e populações tardias de dinoflagelados; assim, durante o ciclo anual, a proliferação do fitoplâncton corresponde a picos no biovolume de algas e na concentração de clorofila-*a*, e as vezes na turbidez (Reynolds, 2006).

As algas planctônicas são frequentemente caracterizadas em relação a faixas de tamanho discreto - picoplâncton (<2 µm), nanoplâncton (2–20 µm), micropoplâncton (20-200 µm) e macropoplâncton (>200 µm) (Sieburth et al., 1978). Quanto às formas, o fitoplâncton é diverso, podem ser simples esferas individuais e imóveis a estruturas multicelulares complexas, possuir flagelos ou desenvolvimento de processos alongados; portanto, é importante considerar os grupos funcionais, não apenas os grupos taxonômicos (Reynolds, 2006).

O tamanho e a forma, juntamente com outras características fenotípicas significativas, são importantes na classificação e identificação de espécies de algas. A nível funcional e ecológico, o tamanho e a forma também são importantes em termos de trocas de solutos e gases, absorção de luz, taxas de crescimento e divisão celular, sedimentação na coluna de água, motilidade celular/colônia e pastoreio pelo zooplâncton (Sigee, 2005).

A biodiversidade de espécies que compõem a comunidade do fitoplâncton integra dois domínios, Bacteria bem representada pela Divisão Cyanobacteria, e Eucarya com grupos importantes como os filos Chlorophyta (algas verdes), Euglenophyta, Cryptophyta, Raphidophyta, Xanthophyta (algas verdes amarelas), Chrysophyta (algas douradas), Bacillariophyta (diatomáceas) e Dinophyta (Reynolds, 2006). Contudo, o estudo da comunidade do fitoplâncton foi promovido ao estudo de grupos funcionais (Kruk et al., 2002; Reynolds et al., 2002; Salmaso et al., 2015), onde os ecologistas passaram de agrupar organismos com base em características biológicas semelhantes, ou em critérios taxonômicos, em nove modos de classificação não taxonômica do fitoplâncton, com base puramente em características morfológicas e/ou estruturais, ou em combinações mais complexas, incluindo características fisiológicas e ecológicas. Este enfoque está tendo um amplo desenvolvimento de estudos dos ecossistemas aquáticos continentais (Du et al., 2022; Kozak et al., 2020).

Considerando que as mudanças na estrutura comunitária do fitoplankton explicam bem as alterações na condição da água, os cientistas formularam propostas pra estudar a comunidade do fitoplankton, destacando a classificação de grupos funcionais (FGs) (Tabela 1) de Reynolds et al. (2002), e a classificação de grupos funcionais baseada na morfologia (suas siglas em inglês “*Morphologically Based Functional Groups*” - MBFG) (Tabela 2) proposto por Kruk et al. (2010).

Tabela 1. Classificação de fitoplankton segundo FGs de Reynolds et al (1997, 2002).

FGs	Código trófico	Especies representativas	Habitat template
A	O	<i>Urosolenia</i> , <i>Cyclotella comensi</i>	lagos claros e bem misturados, baixo teor de nutrientes
B	M	<i>Aulacoseira subarctica</i> , <i>A. islandica</i>	lagos pequenos e médios mesotróficos, sensíveis à estratificação
C	E	<i>Asterionella formosa</i> , <i>Aul. ambigua</i> , <i>Stephanodiscus rotula</i>	lagos pequenos/médios eutróficos, espécies sensíveis à estratificação
D	H	<i>Synedra acus</i> , <i>Nitzschia spp.</i> , <i>Stephanodiscus hantzschii</i>	águas turvas rasas, incluindo rios
N	M	<i>Tabellaria</i> , <i>Cosmarium</i> , <i>Staurodesmus</i>	lagos mesotróficos-eutróficos claros e profundamente misturados
P	E	<i>Fragilaria crotonensis</i> , <i>Aulacoseira granulata</i> , <i>Closterium aciculare</i> , <i>Staurostrum pingue</i>	epilímnia eutrófica
T	M	<i>Geminella</i> , <i>Mougeotia</i> , <i>Tribonema</i>	epilímnia profunda e bem misturada
S1	H	<i>Planktothrix agardhii</i> , <i>Limnithrix redekei</i> , <i>Pseudanabaena</i>	camadas mistas turvas
S2	H	<i>Spirulina</i> , <i>Arthrospira</i> , <i>Raphidiopsis</i>	camadas mistas rasas e turvas
SN	E	<i>Cylindrospermopsis</i> , <i>Anabaena minutissima</i>	camadas mistas quentes
Z	O	<i>Synechococcus</i> , <i>prokaryote picoplankton</i>	camadas claras e mistas
X3	O	<i>Koliella</i> , <i>Chrysococcus</i> , <i>eukaryote picoplankton</i>	camadas rasas e claras misturadas
X2	ME	<i>Plagioselmis</i> , <i>Chrysochromulina</i>	camadas rasas e claras misturadas em lagos meso-eutróficos
X1	EH	<i>Chlorella</i> , <i>Ankyra</i> , <i>Monoraphidium</i>	camadas rasas e claras misturadas em condições enriquecidas
Y	E	<i>Cryptomonas</i>	geralmente, lagos pequenos e enriquecidos
E	OM	<i>Dinobryon</i> , <i>Mallomonas (Synura)</i>	geralmente lagos pequenos, oligotróficos e pobres em base ou lagoas heterotróficas
F	M	<i>Colonial Chlorophytes</i> , e.g. <i>Chlorococcales</i>	epilímnia clara
G	E	<i>Eudorina</i> , <i>Volvox</i>	colunas de água curtas e ricas em nutrientes
J	EM	<i>Pediastrum</i> , <i>Coelastrum</i> , <i>Scenedesmus</i> , <i>Golenkinia</i>	lagos e rios rasos e enriquecidos
K	E	<i>Aphanothece</i> , <i>Aphanocapsa</i>	colunas curtas e ricas em nutrientes
H1	E	<i>Dolichospermum flos-aquae</i> , <i>Aphanizomenon/Chrysochlorium</i>	Nostocales fixadores de dinitrogênio
H2	M	<i>Dolichospermum lemmermannii</i> , <i>Gloeotrichia echinulata</i>	Nostocales fixadores de nitrogênio em maioria de lagos mesotróficos
U	OM	<i>Uroglena</i>	epilímnia de verão
LO	M	<i>Peridinium</i> , <i>Woronichinia</i> , <i>Merismopedia</i>	epilímnia de verão em lagos mesotróficos
LM	E	<i>Ceratium</i> , <i>Microcystis</i>	epilímnia de verão em lagos eutróficos
M	E	<i>Microcystis</i> , <i>Sphaerocystis</i>	camadas dielmente misturadas de pequenos lagos eutróficos de baixa latitude
R	M	<i>Planktothrix rubescens</i> , <i>P. mougeotii</i>	metalimnia de lagos estratificados mesotróficos
V	E	<i>Chromatium</i> , <i>Chlorobium</i>	metalimnia de lagos estratificados eutróficos
W1	H	<i>Euglenoids</i> , <i>Synura</i> , <i>Gonium</i>	pequenos lagos orgânicos
W2	M	Bottom-dwelling <i>Trachelomonas</i>	lagos mesotróficos rasos
Q	--	<i>Gonyostomum</i>	pequenos lagos húmicos

Tabela 2. Classificação de fitoplancton segundo o MBFG (Kruk et al. 2010).

MBFG	Descrição	Grupo taxonômico	Taxa representativa
I	Pequenos organismos com alto S/V	Chlorococcales Chroococcales Oscillatoriales Xanthophyceae Ulothricales	<i>Chlorella minutissima</i> <i>Scenedesmus ellipticus</i> Corda <i>Synechocystis aquatilis</i> Sauvageau, Chroococcales <1µm, <i>Jaaginema pallidum</i> (Bocher) Anagnostidis & Komarek <i>Monodus</i> sp. Chodat, <i>Stichococcus bacillaris</i> Naegeli
II	Pequenos organismos flagelados com estruturas xoesqueléticas silicosas	Chrysophyceae	<i>Chromulina gyrans</i> Stein, <i>Dinobryon cylindricum</i> Imhof. <i>Mallomonas pulcherrima</i> (Stokes) Lemmermann <i>Pseudopedinella</i> sp. Carter
III	Filamentos grandes com aerótopos	Nostocales, Oscillatoriales	<i>Anabaena crassa</i> (Lemmermann) Komarkova & Cronberg <i>Aphanizomenon issatschenkoi</i> (Usacev) Proshkina-Lavrenko, <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> Wołoszynska <i>Limnithrix planctonica</i> Meffert <i>Planktothrix agardhii</i> (Gomont) Anagnostidis & Komarek
IV	Organismos de tamanho médio sem aracterísticas especializadas	Chlorococcales, Oscillatoriales, Xanthophyceae, Zygnematophyceae	<i>Coelastrum microporum</i> Nageli <i>Micractinium pusillum</i> Fresenius <i>Monoraphidium griffithii</i> (Berkeley) Komarkova-Legnerova <i>Pediastrum duplex</i> Meyen <i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turpin) Brebisson <i>Pseudanabaena limnetica</i> (Lemmermann) Komarek <i>Arachnoidochloris minor</i> Pascher, <i>Closterium acutum</i> Brebisson <i>Zygnema</i> sp. Agardh
V	Flagelados unicelulares de tamanho médio a grande	Cryptophyceae Dinophyceae Euglenophyceae Volvocales Chlorococcales	<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg <i>Ceratium hirundinella</i> (Muller) Bergh <i>Gymnodinium cnecoides</i> Harris <i>Euglena proxima</i> Dangeard <i>Trachelomonas curta</i> Cunha <i>Pyramimonas longicauda</i> Van Meel <i>Chlamydomonas globosa</i> Snow
VI	Organismos não flagelados com exoesqueletos silicosos	Bacillariophyceae	<i>Acanthoceros zachariasii</i> (Brun) Simonsen <i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenb.) Simonsen <i>Cyclotella atomus</i> Hustedt <i>Cyclotella meneghiniana</i> Kutzing <i>Urosolenia eriensis</i> (Smith) Round & Crawford <i>Asterionella formosa</i> Hassall <i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehrenb.) Lewin & Reimann <i>Synedra acus</i> Kutzing
VII	Grandes colônias mucilaginosas	Chlorococcales, Chroococcales, Oscillatoriales	<i>Botryococcus braunii</i> Kutzing <i>Eutetramorus fotii</i> (Hindak) Komarek <i>Oocystis lacustris</i> Chodat <i>Aphanocapsa delicatissima</i> West & G.S. West <i>Microcystis aeruginosa</i> (Kutzing) Kutzing <i>Romeria okensis</i> (Meyer) Hindak

Um exemplo da aplicação dos FGs de Reynolds para conhecer o estado trófico dos lagos de acordo é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Resumo da sazonalidade do fitoplâncton em 19 lagos estratificados no English Lake District (Reynolds, 2006).

Classe	Lago	Área (km ²)	P (µg L ⁻¹)	Sucessão dos grupos funcionais
Grandes lagos oligotróficos	Wast	0,9 - 3,0	3,0 - 9,0	A → Z/Lo → N
	Ennerdale			
	Thirlmere			
	Crummock			
Grandes lagos mesotróficos	Buttermere	3,9 - 5,4	7,0 - 11,0	B(C) → X2/F/E → X3/Z/Lo/Y → N/R
	Derwent			
	Hawes			
	Coniston			
Lagos de curta retenção	Brothers	0,2 - 5,3	4,0 - 33,0	B ou C → X1/X2 → Y(E,F,H2,P)
	Rydal			
	Grasmere			
	Bassenthwaite			
Grandes lagos eutrofizados	Windermere (Norte)	0,6 - 9,0	14,0 - 40,0	C(B) → X1/X2/Y/G → H/LM/S/T → P
	Ullswater			
	Windermere do Sul			
	Esthwaite			
Pequenos lagos enriquecidos	Loughrigg Tam	≤ 0,1	20,0 - 45,0	C/Y → X1/X2/E/F ou H1 → LM → P/S
	Blelham Tam			

3.7 Eutrofização

A eutrofização é o enriquecimento de nitrogênio (N) e fósforo (P) em corpos de água que conduz a um maior crescimento de algas nocivas e biomassa de fitoplâncton, comprometendo sua qualidade, uso e integridade ecológica (Khan & Ansari, 2005). Os lagos de água doce são cada vez mais vulneráveis às mudanças globais, como a mudança climática e as pressões do aumento das cargas de nutrientes provenientes das atividades humanas que prejudicam a segurança hídrica e alimentar no futuro (Ma et al., 2020). Se estimar que para 2050, de uma quarta até sexta parte da população mundial estarão sujeitas a forte deterioro de qualidade da água devido ao excesso de N e P, respectivamente (IFPRI, 2015). Além disso, as cargas de N e P excedem os limites planetários, especialmente devido ao uso de fertilizantes na agricultura (Steffen et al., 2015). Então, fica evidente que a contaminação por nutrientes em um dos problemas de qualidade da água mais necessários de resolver.

Na Figura 6, se pode visualizar o fluxo do P e N em lagos, onde as principais fontes são (1) terras agrícolas, (2) pecuária, (3) esgoto doméstico de áreas rurais e urbanas, (4) efluentes industriais, (5) nutrientes legados (do excedente no solo em terras agrícolas e áreas verdes). Estas cargas de nutrientes são entregues aos lagos através de duas vias hidrológicas principais: (6) escoamento superficial, (7) lixiviação para águas subterrâneas posteriormente descarregadas

em riachos. O aumento da concentração de nutrientes causa proliferação de algas (8), aumento de macrófitas flutuantes e hipóxia (9). A extensão destes impactos depende das cargas de nutrientes provenientes da terra, dos rios e dos mecanismos de nutrientes nos lagos, ou seja, reciclagem de P dos sedimentos, estratificação, nitrificação, abundância de peixes, dinâmica do plâncton e fatores de alterações climáticas (por exemplo, temperatura, precipitação). As linhas tracejadas referem-se às ligações do crescimento populacional, do crescimento económico e das alterações climáticas com as fontes, caminhos e impacto.

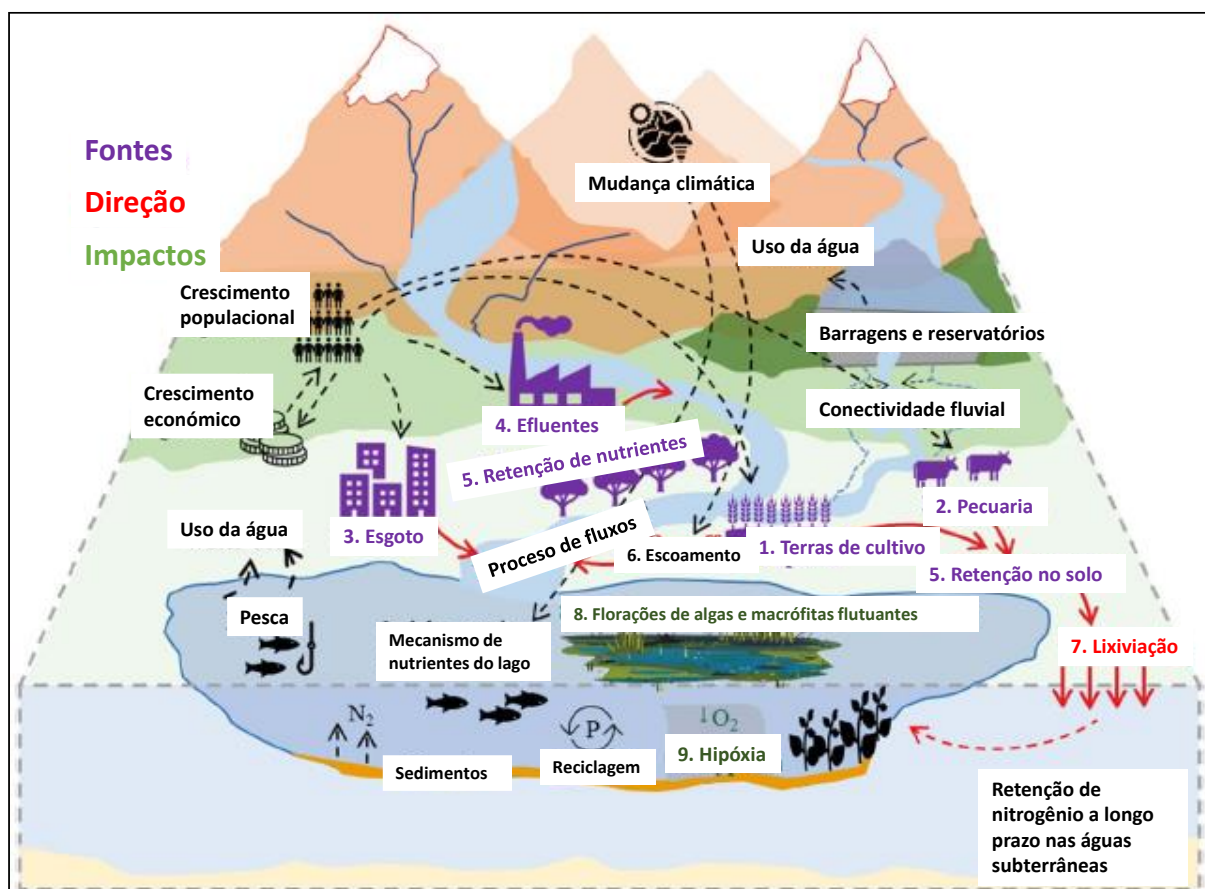


Figura 6. Visão geral esquemática das principais fontes de nutrientes (cor roxa), caminhos (cor vermelha) e impactos (cor verde) da eutrofização em lagos de água doce. O crescimento populacional e económico impulsiona as emissões de nutrientes (Suresh et al., 2023).

Como resultado do enriquecimento de nutrientes em lagos, existe uma tendência geral de aumento do risco de proliferação de algas a nível mundial, embora seja mais pronunciado em regiões em desenvolvimento como a Ásia e a África (Ho et al., 2019; Hou et al., 2022). A proliferação de cianobactérias do gênero *Microcystis* (algas verdes azuis) num lago que utiliza a água para consumo humano, pode interromper o abastecimento de água, como ocorrido com

o Lago Taihu, China (Zhang et al., 2010) ou o Lago Erie em Ohio, Estados Unidos (Watson et al., 2016). As regiões com populações em rápido crescimento, procura de alimentos e infraestruturas de saúde subdesenvolvidas são particularmente mais vulneráveis aos efeitos da proliferação de algas (Yao et al., 2018). Revisões temáticas recentes sobre o tema foram feitas com foco nos índices de qualidade da água (Uddin et al., 2021), *continuum* de eutrofização terra-água-mar (Le Moal et al., 2019), indicadores de eutrofização costeira (Schneider et al., 2020) e os impactos de eventos climáticos extremos na qualidade da água (Mishra et al., 2021).

3.8 Lago Titicaca

É o maior lago de água doce da Sudamérica, com 8167 km² de espelho de água e 57508 km² de superfície da bacia e com uma disponibilidade hídrica de 9877 hm³ de águas superficiais (Chura, 2009). O Lago Titicaca (Figura 7) é de grande importância para grandes populações humanas que, durante milênios aproveitaram seus variados recursos aquáticos (peixes, aves, vegetação suspensa ou submersa), destacando que o lago desenvolveu um meio rico e único, povoado por numerosas espécies endêmicas de flora e fauna; forma parte dos grandes lagos mais antigos do mundo (9000 anos), com características morfométricas, geológicas e climáticas únicas; é o lago do trópico de Capricórnio de maior altura, com 3 809 m.s.n.m. (Dejoux & Iltis, 1992; Pouilly et al., 2014).

O Lago Titicaca em alguns de seus setores enfrenta forte poluição, por exemplo na Bahia de Puno (Farfán et al., 2015) y na Bahia de Cohana (Heredia et al., 2022), setores de baixa profundidade que estão recebendo grandes quantidades de nutrientes procedentes das grandes cidades como Puno em Peru e La Paz em Bolívia. Esse aporte de nutrientes está provocando eutrofização das águas, pelo deterioro significativo do ecossistema e consequências letais para a fauna local (Sierralta et al., 2020), onde as cianobactérias representam um risco latente principalmente na Baía de Puno (Montoya et al. 2014). Nesse contexto, os relatórios de monitoramento de fontes poluentes evidenciam que as cargas de nutrientes estão aumentando no tempo, e a preocupação quanto à integridade do Lago Titicaca (Siguayro et al., 2022).

Outros aspectos com informações atualizadas podem ser consultados no livro “El Observatorio permanente del Lago Titicaca (OLT) - Investigación y monitoreo de la eutrofización del Lago Menor con estaciones limnológicas, boya HydroMet y teledetección satelital” (Lazzaro et al., 2023), e na síntese de Lazzaro & Gamarra (2014) no libro de Pouilly et al. (2014).

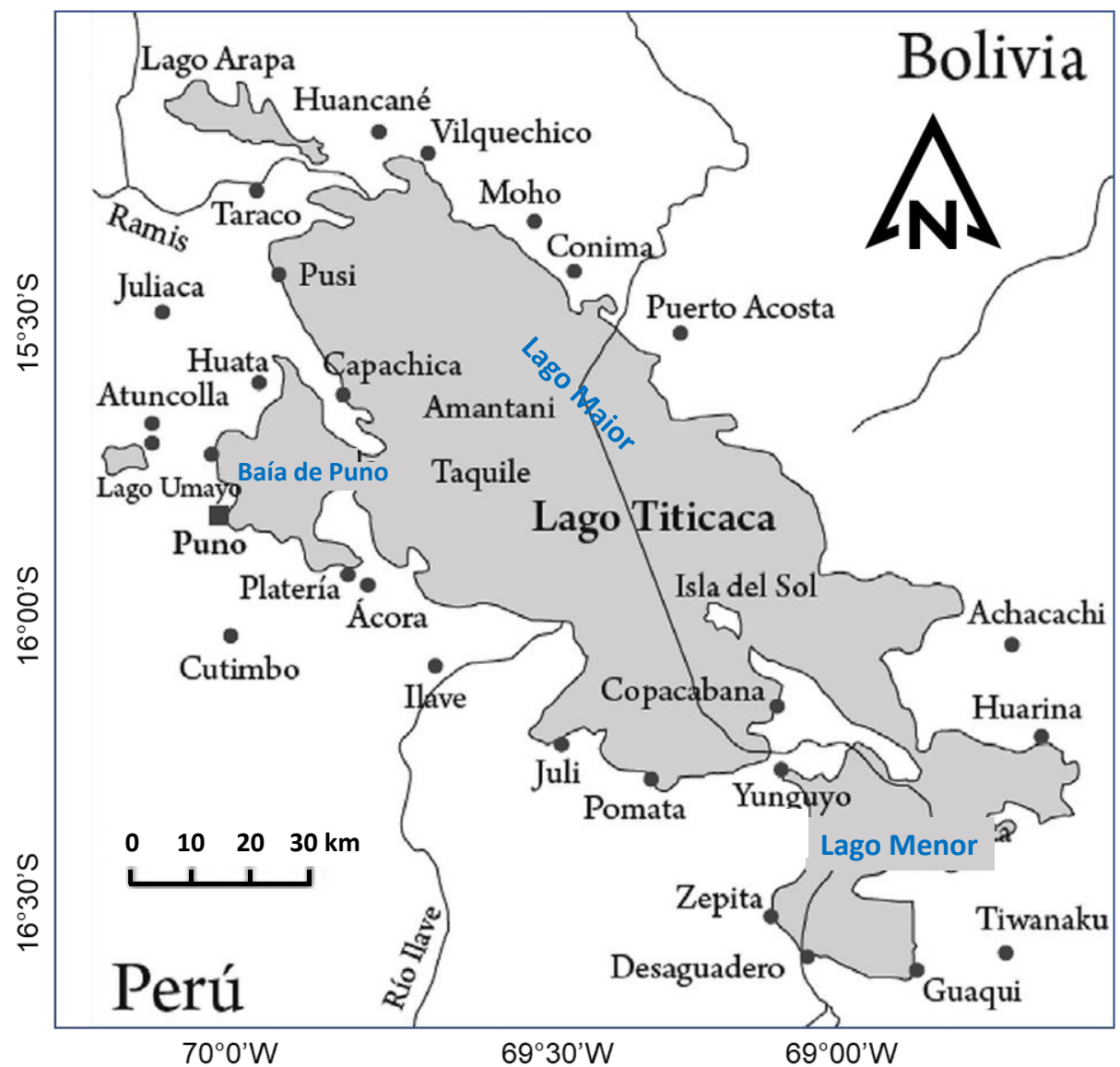


Figura 7. Localização do Lago Titicaca em Peru e Bolivia (modificado de Chura-Cruz René, 2013). Pontos indicam os nomes das cidades. Letra azul indica as zonas principais do Lago Titicaca.

4 METODOLOGIA

O desenvolvimento da presente tese foi estruturado considerando primeiro a definição do problema de pesquisa, consenso dos objetivos, desenvolvimento de três artigos, considerações finais e a formulação de propostas técnicas que abordam o problema (Figura 8).

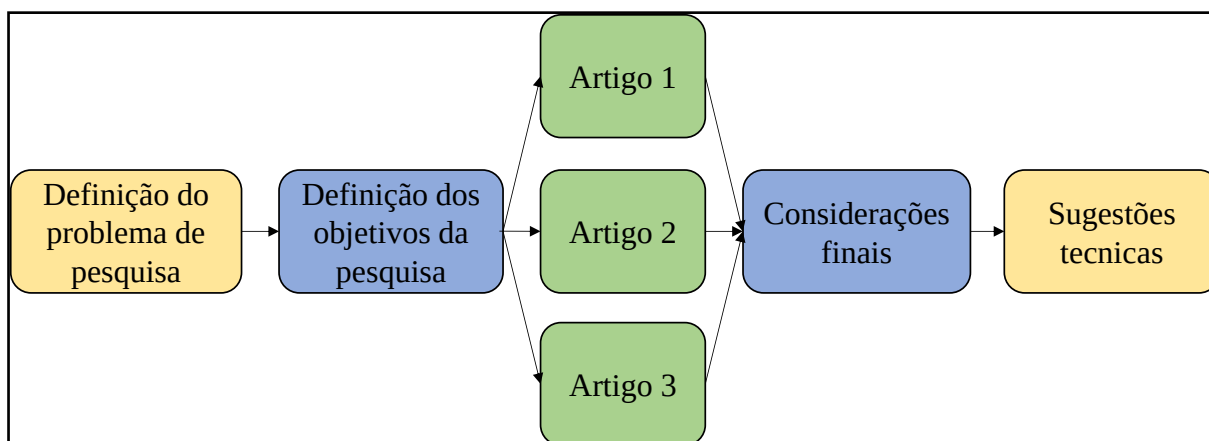


Figura 8. Fluxograma do desenvolvimento da tese.

Para uma melhor percepção do âmbito de estudo, temos imagens referenciais sobre o contexto ambiental no entorno do lago Titicaca, setor peruano (Figuras 9 e 10).



Figura 9. Contexto ambiental do Lago Titicaca, setor peruano. a: aquicultura, b: pesca por poblador nativo, c: pecuária, d: agricultura, d: poluição plástica na zona litoral, e: tributário com águas carregadas de metais pesados da mineração, f: poluição por águas de esgoto. Imagens recuperadas de Google.

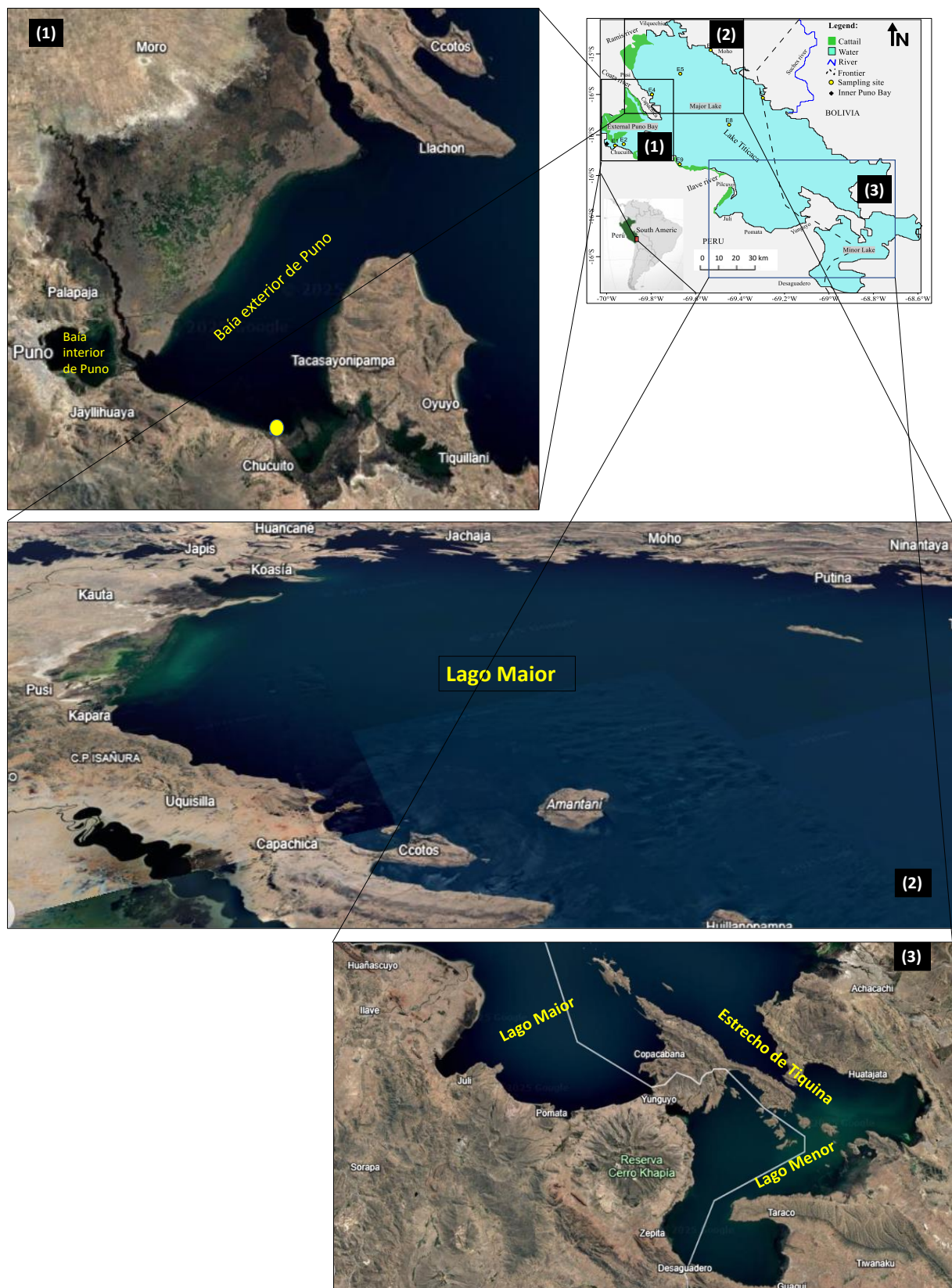


Figura 10. Setores representativos do Lago Titicaca. 1: Baía interior e exterior de Puno. 2: Lago Maior, 3: Lago Menor. Imagenes recuperadas de GoogleEarth.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ARTIGO 1 - FITOPLÂNTON NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE LAGOS: UMA REVISÃO DA LITERATURA CIENTÍFICA BASEADA EM TÉCNICAS BIBLIOMÉTRICAS E DE REDE

Stive Flores-Gómez^{1,2}, Carmen Villanueva Quispe³, Denis Arpasi Ordoño³, Adilson Ben da Costa¹, Eduardo A. Lobo¹.

¹Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC, Av. Independência, 2293, CEP 96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil

²Escola de Engenharia Ambiental, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade Peruana Unión, 150118, Lima, Perú

³Instituto do Mar do Perú, Av. Circunvalação, 1911, 21000, Puno, Perú

Artigo publicado na Acta Limnologica Brasiliensia, 2024, vol. 36, e35.

DOI: 10.1590/S2179-975X0924

Link de acesso: <https://doi.org/10.1590/S2179-975X0924>

O periódico tem categoria B2 em Engenharias I, de acordo com a Plataforma Qualis Periódicos, e está no quartil três na plataforma de “Scimago Journal Ranking”.

Participação dos autores na pesquisa:

SFG: concepção da pesquisa, definição da metodologia, análise de dados, redação do artigo

CVQ: análise de dados, redação do artigo (resultados e discussão).

DAO: análise de dados, redação do artigo (resultados e discussão).

ABC: concepção da pesquisa, revisão e correção do manuscrito na língua inglesa.

ELA: concepção da pesquisa, revisão, redação e correção do manuscrito na língua inglesa.

A continuação, em relação com a metodologia e resultados desde trabalho de pesquisa, apresentam-se alcances complementários do que já foi publicado.

Sobre a metodologia:

- Teve o objetivo de fazer uma revisão do que se sabe sobre a utilização do fitoplâncton na avaliação da qualidade da água em lagos, que foi construído a partir de técnicas de análise bibliométrico e de rede, com base em dados bibliográficos recuperados de dois bancos de

dados científicos (informação disponível até o ano 2023) de *Scopus* e *Web of Science* (WOS).

- A análise da informação bibliográfica foi feita nos softwares R (pacote Bibliometrix) e Histcite. Uma característica do Bibliometrix é que, ao ter dados de duas bases (Scopus e WOS), tem um comando que ajuda a identificar artigos duplicados a partir do DOI ou nome do título do trabalho, fazendo mais eficiente a depuração de informação prévia à análise. Além disso, outro aspecto importante é que Bibliometrix avalia os artigos a partir do número de citações, caracterizando um robusto indicador para seleção de artigos-chaves. Adicionalmente, tem incorporado também funções para análise de redes que foi empregado na análise de co-ocorrência das palavras-chaves e acople bibliográfico, determinando as co-ocorrências de citações entre artigos.
- Como parte dos resultados o índice “H” foi utilizado para valorar a importância da revista no campo de pesquisa estudado, a partir de uma sugestão dada por o revisor da revista onde foi submetida. Embora originalmente destinado a autores, o índice H pode ser calculado para qualquer conjunto de documentos, por exemplo, a produção de publicações de um país, uma instituição ou, nesse caso, a produção de um periódico. O índice H oferece uma perspectiva diferente de outras métricas de impacto e pode ser usado para avaliar todo o conteúdo de um periódico, o que dá uma perspectiva mais histórica e também reflete a idade, o tamanho e a taxa de publicação de um periódico.

Sobre os resultados:

- Foram identificados países, periódicos e autores como maior produção científica.
- Além disso, foram mapeados artigos mais influentes na história do tema estudado.
- Foi construída a estrutura e desenvolvimento conceitual e as tendências.
- Estes resultados permitiram cumprir com o primeiro objetivo da tese, e foram muito importantes para a realização do segundo artigo (relacionado com um modelo de qualidade da água), e também no terceiro artigo (estudo do estado ecológico baseado na comunidade de fitoplâncton).

5.2 ARTIGO 2 - ASSESSMENT OF WATER QUALITY IN HIGH-PRESSURE PERUVIAN ANTHROPIC SECTORS OF LAKE TITICACA USING A CALIBRATED INDEX

Stive Flores-Gómez¹, Adilson Ben da Costa¹, Eduardo A. Lobo¹

¹Programa de Pósgraduação em Tecnologia Ambiental da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC). Av. Independência, 2293, CEP 96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil.

Artigo publicado em Journal of Geoscience and Environment Protection, 2024, 12, 97-114.

DOI: 10.4236/gep.2024.128006

Link de acesso: <https://doi.org/10.4236/gep.2024.128006>

O periódico tem categoria A4 em Engenharias I, de acordo com a Plataforma Qualis Periódicos.

Participação dos autores na pesquisa:

SFG: concepção da pesquisa, definição da metodologia, análise de dados, redação do artigo.

ABC: concepção da pesquisa, revisão e correção do manuscrito na língua inglesa.

ELA: concepção da pesquisa, revisão, redação e correção do manuscrito na língua inglesa.

A continuação, em relação com a metodologia e resultados desde trabalho de pesquisa, apresentam-se alcances complementários do que já foi publicado.

Sobre a metodologia:

- Teve como objetivo avaliar a qualidade da água de sectores de alta pressão antrópica do Lago Titicaca (sector peruano), a partir de um índice calibrado.
- Neste trabalho as análises foram feitas com dados do Projeto Especial Lago Titicaca.
- Os parâmetros da água utilizados foram temperatura, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, pH, fósforo, nitrogênio, coliformes termotolerantes, sólidos suspensos totais e turbidez, os quais foram monitoradas no período anual 2015-2020 em dez baías do Lago Titicaca (setor peruano). Não foram coletados dados de clorofila-*a*.
- Um índice de qualidade da água foi calibrado (Índice de Qualidade da Água Titicaca - IQA_T), com base no índice da Fundação Nacional de Saneamento dos Estados Unidos (NFS, sigla em inglês), que foi socializado para a comunidade científica por Brown et al. (1970), com uso da técnica estatística multivariada chamada Análise de Componentes Principais.

- A avaliação foi complementada com os critérios de Carlson (1977) e El-Serehy et al. (2018).

Sobre os resultados e discussão:

- Neste artigo foi desenvolvido o índice de qualidade da água para o Lago Titicaca (IQA_T), uma valiosa ferramenta de avaliação que integrou parâmetros físicos, químicos e microbiológicos com o propósito de interpretar as variações de condição de qualidade da água em pontos críticos de poluição do lago.
- Os índices calculados tornam-se uma referência para avaliar mudanças no tempo, além disso permitem que o governo implemente medidas pra melhorar a situação dos locais avaliados até condições de qualidade adequadas (boas ou ótimas).

5.3 ARTIGO 3 - ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATUS OF LAKE TITICACA IN THE PERUVIAN SECTOR USING THE PHYTOPLANKTON FUNCTIONAL GROUPS AND ENVIRONMENTAL PARAMETERS

Stive Flores-Gómez¹, Carmen Villanueva Quispe, Dennys Arpasi Ordoño, William G. Lanza³, Adilson Ben da Costa¹, Eduardo A. Lobo¹

¹ Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC). Av. Independência, 2293, Santa Cruz do Sul, RS, 96815-900, Brasil.

² Instituto del Mar de Perú. Av. Circunvalación, 1911, Puno, 21000, Perú.

³ Unidad de Ecología Acuática, Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Andrés. Campus Universitario de Cota, Calle 27 s/n, La Paz, Bolivia.

O artigo está em revisão no periódico *Acta Limnologica Brasiliensia*.

O periódico tem categoria B2 em Engenharias I, de acordo com a Plataforma Qualis Periódicos, e está no quartil três na plataforma de “Scimago Journal Ranking”.

Participação dos autores na pesquisa:

SFG: concepção da pesquisa, definição da metodologia, análise de dados, redação do artigo.

CVQ: coleta e análise de dados, redação do artigo.

DAO: coleta e análise de dados, redação do artigo.

WGL: coleta e análise de dados, redação do artigo.

ABC: concepção da pesquisa, revisão e correção do manuscrito na língua inglesa.

ELA: concepção da pesquisa, revisão, redação e correção do manuscrito na língua inglesa.

A continuação, em relação com a metodologia e resultados desde trabalho de pesquisa, apresentam-se alcances complementários do que já foi publicado.

Sobre a metodologia:

- Teve o objetivo de avaliar o estado ecológico do setor Peruano do Lago Titicaca, a partir da comunidade de fitoplâncton e parâmetros ambientais.
- Neste trabalho as análises foram feitas com dados do Laboratorio Continental deo Instituto do Mar do Perú (IMARPE) em Puno. Não foram coletados dados de clorofila-*a*.
- Os parâmetros da água utilizados foram temperatura, oxigênio dissolvido, dióxido de carbono, pH, fósforo, nitrogênio, condutividade elétrica, sólidos suspensos totais e

clorofila-*a*, os quais foram monitoradas no período anual 2017-2019, em nove estações de amostragem do Lago Titicaca (setor peruano).

- A avaliação do estado ecológico foi feita por interpretação do índice Q (Padisák et al., 2006), baseado em grupos funcionais da comunidade de fitoplâncton de Reynolds (Reynolds et al., 2002) e informação de biomassa (Davies et al., 2016).
- A análise de dados foi feita utilizando estatística descritiva, ANOVA e multivariada, sobre a informação de parâmetros de qualidade da água e do fitoplâncton.

Sobre os resultados e discussão:

- Este artigo desenvolveu uma metodologia de avaliação do estado ecológico pra o Lago Titicaca, baseada no índice Q, que permite interpretar a condição ecológica do lago a partir dos grupos funcionais do fitoplâncton.
- Cabe destacar que o Lago Titicaca sofre forte pressão ambiental associada a atividades antrópicas, portanto esta metodologia também se torna um robusto modelo de avaliação.

Finalmente:

- É importante mencionar que tanto no segundo como no terceiro artigo, devido à carência de dados dos monitorios realizados pelo PELT e IMARPE, não foi incluído o estudo da Baía Interior de Puno (BIP).
- De fato, a BIP apresenta uma condição eutrófica a hipereutrófica, com ocorrências frequentes de florações de algas, muitas vezes de cianobactérias (Farfán et al. 2015). Nesse sentido, futuras pesquisas são necessárias a fim de ter uma visão mais completa (holística) sobre a condição de calidad da água e estado ecológico do Lago Titicaca.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os objetivos de pesquisa da tese foram atingidos:

No primer artigo foi desenvolvida uma revisão muito detalhada do tópico em estudo. No segundo artigo foi desenvolvida uma importante ferramenta para avaliar a qualidade da água do Lago Titicaca, o IQA_T, para avaliar no tempo as mudanças da condição de qualidade da água do Lago e de outros lagos e lagoas da região alto-andina.

No tercer artigo foi desenvolvido pela primeira vez a análise do estado ecológico do Lago Titicaca com base nos grupos funcionais de Reynolds na comunidade de fitoplâncton, baseada no índice Q, uma proposta inovadora para lagos andinos que, combinado com o IQA_T, permitirão avaliar de maneira mais ampla o estado de conservação dos lagos andinos.

É certo que as instituições de pesquisa de Peru e Bolívia estão realizando permanentes esforços de monitoramento no Lago Titicaca, mas os dados produzidos não estão sendo analisados com profundidade para interpretar o que está acontecendo com este corpo hídrico. Esta pesquisa utilizou informações de duas instituições científicas do Peru para aumentar o valor agregado da informação, como, por exemplo, a partir das ferramentas IQA_T e índice Q implementadas, ambas aplicáveis para avaliar lagos e lagoas dos andes de Sul América.

7 TRABALHOS FUTUROS

Realizar uma revisão ampliada utilizando os termos “lake”, “phytoplankton”, “food webs”, “trophic states”, “trophic interactions” e, mais especificamente, os mecanismos envolvidos no controle do fitoplâncton, como “trophic cascades”, “top-down control” e “bottom-up control”, “alternative stable states”, “ecological stoichiometry”, entre outros. Isto com a finalidade de ter uma abordagem mais ecológica da condição dos lagos.

Aplicação do IQA_T e Q index para avaliar de maneira permanente as mudanças da qualidade da água e estado ecológico em pontos monitorados neste trabalho de pesquisa, e em novos pontos de interesse (por exemplo: Baía Interior de Puno, Baía de Cohana) no âmbito do Lago Titicaca e outros corpos de água lénticos (lacustres) andinos.

Avaliação integral do estado trófico do Lago Titicaca com base na valoração de clorofila-*a* a partir do uso de imagens de satélite.

Estudo do processo de eutrofização das zonas pelágicas do Lago Titicaca.

Avaliação integral do estado ecológico com uso de grupos funcionais e morfofuncionais da comunidade do fitoplâncton.

Avaliação do risco de florações de cianobactérias e caracterização de ciano toxinas em pontos de poluição críticos do Lago Titicaca.

Estudos de aplicação de tecnologias ou biotecnologias para recuperação ou remoção dos nutrientes em setores críticos do Lago Titicaca para melhorar a qualidade da água.

Estudo do efeito da mudança climática sobre o estado ecológico do Lago Titicaca.

8 ATIVIDADES REALIZADAS DURANTE O DOUTORADO

Durante o doutorado foram realizadas as seguintes atividades:

8.1 Colaboração e publicação de artigos científicos com colegas de Perú



Revista Científica
YOTANTSIPANKO

e-ISSN: 2789-5475

ARTICULO ORIGINAL

Evaluación de la calidad del agua de la laguna El Oconal – Villa Rica (Pasco), otoño 2023

Water quality assessment of El Oconal Lagoon – Villa Rica (Pasco), autumn 2023

Favio Danilo Carranza Alanía^{1*} , Stive Flores Gómez^{1,2} , David Wilfredo Rivera Munguía¹ ,
Perla Azucena Canto Luis¹ , Zarai Sheyly Milla Huaman¹ , Magu Nicole Gonzalo Carrera¹ ,
Jesús Marino Gómez Miguel¹

RESUMEN

La región Pasco se caracteriza por su amplia variedad de climas y pisos altitudinales; por ende, también por su gran biodiversidad terrestre y acuática. Entre sus principales lagunas, El Oconal, destaca por su rica biodiversidad y dada a su importancia ecoturística, se evaluó la calidad del agua de la laguna El Oconal y se determinó su estado trófico. Para el monitoreo de los parámetros físicos-químicos (conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto, pH, alcalinidad, dureza y fósforo total) se definieron ocho estaciones de muestreo, cuatro de ellas con proximidad a la zona turística (sector 1) y cuatro en el sector centro oeste de la laguna (sector 2). La evaluación se efectuó en otoño del año 2023. De acuerdo a los principales resultados, se encontró diferencia significativa entre los sectores evaluados para oxígeno disuelto, fósforo total y alcalinidad. Asimismo, de todos los parámetros evaluados, el fósforo total excedió el valor establecido como estándar de calidad del agua de la categoría conservación de lagos y lagunas; indicador de un exceso de fósforo en la laguna, cuya fuente tiene relación con los centros recreativos ubicados en el sector noroeste de la laguna. Por otro lado, se determinó que la laguna posee un estado de ultraoligotrófico en el sector 2 y supereutrófico en el sector 1. Se concluye que la calidad de agua de la laguna El Oconal se encuentra deteriorada y necesita de estrategias de recuperación conducente al equilibrio ecológico.

Palabras clave eutrofización; fósforo; monitoreo; nutrientes; turismo.

¹ Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Facultad de Ingeniería, Programa de estudios de Ingeniería Ambiental. Cerro de Pasco, Perú.

² Graduate Program in Environmental Technology, University of Santa Cruz do Sul (UNISC). Santa Cruz do Sul, Brazil.



PERÚ

Ministerio de la Producción



PREMIO 2023

BUENAS PRÁCTICAS EN GESTIÓN PÚBLICA



IMARPE

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

Página de inicio

Listar

Ayuda

Buscar en DSpace

Q

Servicios

▼

REPOSITORIO DIGITAL IMARPE

IMARPE / 1. PUBLICACIONES IMARPE / 3. Informe IMARPE / Informe vol. 51(2) 2024

Buscar en Repositorio Imarpe

Q

Búsqueda avanzada

Por favor, use este identificador para citar o enlazar este ítem: <https://hdl.handle.net/20.500.12958/9200>

Título :

Biología, pesquería y estado poblacional de carachi amarillo *Orestias luteus* (Valenciennes, 1846) en el lago Titicaca

Otros títulos :

Biology, fishery, and population status of *Orestias luteus* (Valenciennes, 1846) in Lake Titicaca

Autor :

Chura C., René

Flores G., Stive

Pérez H., Miguel

Ninaraqui L., Hilda

Godoy S., Sheila

Siguayro M., Humberto

Activar Win

Ve a Configura

Chura, Flores, Pérez, Ninaraqui, Godoy, Siguayro

Orestias luteus: biología, pesquería y estado poblacional, lago Titicaca

BIOLOGÍA, PESQUERÍA Y ESTADO POBLACIONAL DE CARACHI AMARILLO *Orestias luteus* (VALENCIENNES, 1846) EN EL LAGO TITICACA

BIOLOGY, FISHERIES, AND POPULATION STATUS OF *Orestias luteus* (VALENCIENNES, 1846) IN LAKE TITICACA

René Chura C.¹
Hilda Ninaraqui L.¹

Stive Flores G.²
Sheila Godoy S.¹

Miguel Pérez H.³
Humberto Siguayro M.¹

RESUMEN

CHURA, R., FLORES, S., PÉREZ, M., NINARAQUI, H., GODOY, S. & SIGUAYRO, H. (2024). *Biología, pesquería y estado poblacional de carachi amarillo Orestias luteus* (Valenciennes, 1846) en el lago Titicaca. *Inf Inst Mar Perú*, 51(2), 119-135. - El carachi amarillo (*Orestias luteus*) es un recurso pesquero de importancia para la alimentación y economía local. El objetivo fue analizar la biología, pesquería y estado poblacional del carachi amarillo, así como los datos ambientales en el lago Titicaca. En los aspectos biológicos, se contó con información del Instituto del Mar del Perú (IMARPE) del 2008 al 2018. Se evaluaron 42.056 ejemplares (59 % hembras) para la determinación de la época reproductiva (IGS), factor de condición (FC) y estimación de la talla media de madurez sexual (L_{50}). Los parámetros de crecimiento y mortalidad se calcularon en base a las tallas obtenidas durante la pesca comercial. El rango de talla varió de 4,0 a 18,5 cm LT, con media entre 11,0 y 11,8 cm de LT y fue inferior a la talla media de captura (TMC). El periodo reproductivo abarcó de enero a marzo y de agosto a octubre, el FC tuvo valores altos de junio a agosto. La L_{∞} se calculó en 9,4 cm LT ($r^2=0,72$, $p<0,05$). Los parámetros de crecimiento fueron de L_{∞} en 18,8 cm LT y K de 0,53 año⁻¹. Los niveles de captura provienen de los anuarios de la DIREPRO Puno. Los índices de CPUE se obtuvieron de los registros diarios de desembarque y esfuerzo de la flota pesquera artesanal, que fue el insumo para los modelos de evaluación de stock como length based spawning potencial ratio (LBSPR) y el método basado en la captura (CMSY/BSM). La CPUE mostró tendencia negativa de 0,18 kg/hora por año. El valor de SPR del 30 % estimado, indicaría que el recurso tuvo indicios de sobrepesca por reclutamiento, mientras que el C_{MSY} indica que se encuentra en un estado de sobreexplotación ($B_{2019}/B_{MSY} = 0,353$ y $F_{2019}/F_{MSY} = 0,827$). La información ambiental (nivel del lago y temperatura) se obtuvo del SENAMHI e IMARPE. El nivel del lago (1982-2019) mostró amplitud interanual con medias de -145 cm (enero 1999) y -158 cm (diciembre 1996), la media máxima fue de 292 cm (abril 1986). La temperatura superficial (2009-2019) presentó diferencia estacional, con media anual que osciló de 14,74 a 15,93 °C. Con los resultados obtenidos, se puede concluir que el stock del recurso muestra claros signos de sobreexplotación.

PALABRAS CLAVE: *Orestias luteus*, carachi amarillo, biología, pesquería, lago Titicaca

Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental – Doutorado

45

8.2 Atividade em docência universitária e reconhecimentos

Durante o doutorado desenvolvi atividade de docência como professor no curso de graduação no Programa de Engenharia Ambiental no período 2022-2024, na Universidade Peruana União, Lima, Perú, com reconhecimentos de professor de excelência.



“AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL”

RESOLUCIÓN N° 0077-G-2022/UPeU-FIA/CF

Ñaña, Lima, 02 de agosto de 2022

CONSIDERANDO:

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que el Consejo de Facultad de Ingeniería y Arquitectura, en su sesión del 02 de agosto de 2022, asignó al Mg. Flores Gomez Victor Stive, la Carga Académica correspondiente al ciclo 2022-2;

De conformidad con el acuerdo tomado por el Consejo de Facultad de Ingeniería y Arquitectura en su sesión del 02 de agosto de 2022; y en uso de las atribuciones conferidas por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

SE RESUELVE:

Asignar al **Mg. Flores Gomez Victor Stive**, la Carga Académica correspondiente al ciclo 2022-2, considerando las siguientes especificaciones:

CURSOS/COMISIÓN	ESCUELA	CICLO	H. LEC	FACTOR	H. LAB
Introducción a la Ingeniería Ambiental- (Grupo Único) - Docente Titular	EP Ingeniería Ambiental - Sede Lima	Ciclo 1	3	1	3
Epidemiología y Toxicología Ocupacional y Ambiental- (Grupo Único) - Docente Titular	EP Ingeniería Ambiental - Sede Lima	Ciclo 7	4	1	0
Biología- (Grupo Único) - Docente Titular	EP Ingeniería Ambiental - Sede Lima	Ciclo 1	3	1	3
TOTAL DE HORAS			10	3	6

Regístrese, comuníquese y archívese.



CC: Interesado
Archivo

Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA



Dr. Santiago Ramírez López
SECRETARIO ACADÉMICO

Carta N°547-2024/UPeU-VA

Ñaña, 8 de abril de 2024

Docente

Victor Stive Flores Gomez

Docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Presente. -

Apreciado(a) docente Víctor Flores:

En primer lugar, es grato dirigirme a usted para saludarle en nombre de la Universidad Peruana Unión (UPeU), institución que represento en mi calidad de Vicerrector Académico.

En segundo término, queremos expresar nuestras más sinceras felicitaciones por su excepcional desempeño docente durante el semestre 2023-2. Su dedicación, esfuerzo y compromiso con la excelencia educativa no sólo han sido evidentes en los resultados sobresalientes de la evaluación docente 2023-2, sino que también han dejado una huella imborrable en la vida de sus estudiantes y en la comunidad universitaria de la UPeU. Este logro no sólo es un testimonio de su habilidad pedagógica y su compromiso con los valores y principios de nuestra institución, sino también de su capacidad para innovar, motivar y liderar en el ámbito educativo.

En ese sentido, La Universidad Peruana Unión, reconoce su labor excepcional y se enorgullece de contar con profesionales como usted, que son un pilar fundamental en nuestra misión de educar para salvar y servir, porque la filosofía de la educación adventista, centrada en el desarrollo integral del ser humano, se ha reflejado plenamente en su labor educativa. Usted ha demostrado que, más allá de transmitir conocimientos, su misión como docente es formar caracteres, inspirar mentes y guiar a los jóvenes en su camino hacia el servicio y la excelencia.

Motivo por el cual, le felicitamos y agradecemos por su valiosa contribución a la formación integral de nuestros estudiantes y por ser un ejemplo destacado de la excelencia en la docencia.

Le deseamos aún más éxitos en su carrera profesional y personal, y esperamos seguir contando con su valiosa colaboración en los próximos semestres.

Con estima y aprecio,



Roussel Dulio Davila Villavicencio
VICERRECTOR ACADÉMICO

Villa Unión – Ñaña, altura Km. 19 de la Carretera Central, Lurigancho – Chosica, Lima 15, Perú
Teléfono: (01) 618-6300 Web: www.upeu.edu.pe E-mail: universidadperuanaunion@upeu.edu.pe

Universidad Peruana Unión
Vicerrectorado Académico

Fecha: 25 de abril del 2024

Estimado(a) Profesor(a), Flores Gomez Victor Stive

Es un placer saludarlo(a) y esperamos que Dios bendiga su vida personal y familiar.

En el marco del desarrollo del ciclo académico 2024-1, le hago entrega de su carga académica. Su contribución es fundamental para el éxito educativo de nuestros estudiantes y para el logro de nuestros objetivos institucionales.

De conformidad con el acuerdo tomado por el consejo universitario en su sesión del 08 de marzo de 2024, se le asignó las responsabilidades académicas correspondiente al ciclo 2024-I, considerando las siguientes especificaciones:

Asignatura / Responsabilidades	CR	HL	F	HT	Ciclo	Gp	EP / UPG	Campus
Apoyo de Gestión de Calidad (EP)	-	-	-	8			EP Ingeniería Ambiental	Sede Lima
Biología	4	4	2	8	1	U	EP Ingeniería Ambiental	Sede Lima
Ecología	3	4	2	8	3	U	EP Ingeniería Ambiental	Sede Lima
Investigación II	3	4	2	8	5	U	EP Ingeniería Ambiental	Sede Lima
Meteorología y Climatología	3	4	2	8	5	U	EP Ingeniería Ambiental	Sede Lima

Les agradecemos su dedicación y esfuerzo en cumplir nuestra misión de **modelar personas a fin de que sean íntegras, misioneras e innovadoras basados en la cosmovisión bíblica-cristiana para servir a Dios y a la humanidad.**

Atentamente,



Dr. Roussel Dulio Dávila Villancencio
VICERRECTOR ACADÉMICO



Mg. Carlos Eduardo Saavedra Vasconez
DIRECTOR ASUNTOS ACADÉMICOS



Sé Íntegro

Sé Misionero

Sé Innovador



"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

Ñaña, Lima, 16 de julio de 2024

Se ha expedido la RESOLUCIÓN N° 2070-2024/UPeU-CU; que sigue:

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN. - RESOLUCIÓN N° 2070-2024/UPeU-CU.- Ñaña, Lima, 16 de julio de 2024;

Visto el acta del Consejo Universitario del 16 de julio de 2024;

CONSIDERANDO:

Que la Universidad Peruana Unión (UPeU), tiene autonomía académica, de gobierno, económica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220, el Estatuto y el Reglamento General de la Universidad;

Que la UPeU reconoce la excelencia académica en el desempeño de su personal docente de sus escuelas profesionales;

Que el Consejo Universitario en su sesión del 16 de julio de 2024, aprobó otorgar a los docentes de sus carreras profesionales, el reconocimiento a la excelencia académica docente por su desempeño en el semestre académico 2024-I;

De conformidad con el acuerdo tomado por el Consejo Universitario en su sesión del 16 de julio de 2024; y en uso de las atribuciones conferidas por la Ley Universitaria N° 30220, el Estatuto, el Reglamento General, el Reglamento del Docente Unionista y el Reglamento Interno de Trabajo de la Universidad;

SE RESUELVE:

Otorgar a los docentes de las carreras profesionales de la Universidad Peruana Unión, Campus Lima, Juliaca y Tarapoto, el **RECONOCIMIENTO a la EXCELENCIA ACADÉMICA DOCENTE**, en mérito a su desempeño en el semestre académico 2024-I; y disponer se expida la resolución correspondiente para que se les reconozca como tales, conforme a la nómina siguiente:

CAMPUS LIMA		
Unidad académica	Programa de estudio	Nombres y Apellidos
Facultad de Ingeniería y Arquitectura	Ingeniería Ambiental	Mg. Victor Stive Flores Gomez
	Ingeniería Civil	Mtra. Kelly Veronica Campos Macedo
	Ingeniería de Sistemas	Ing. Maria Antonieta Vidalon Aliaga
	Arquitectura	Arq. Fredy Jhon Mendoza Nuñez
	Ingeniería de Industrias Alimentarias	Ing. Luis Renato Gago Cancela

Regístrese y comuníquese. - (FDO). - Dr. Walter Sixto Murillo Anton, Rector de la Universidad Peruana Unión. - (FDO). - Abog. René Wilberth Gonzales Taco, Secretario General de la Universidad Peruana Unión.



Abog. René Wilberth Gonzales Taco
SECRETARIO GENERAL

✉ sectram@upeu.edu.pe, registroacademico.sg@upeu.edu.pe, registroadministrativo.sg@upeu.edu.pe,
gradosytitulos.sg@upeu.edu.pe, asistente.sg@upeu.edu.pe

Villa Unión, S/N Ñaña, altura km 19 de la Carretera Central, Lurigancho-Chosica, Lima

Durante o doutorado também desenvolvi atividades de docência como professor no curso de graduação no Programa de Engenharia Ambiental no período 2023-2024, na Universidade Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco, Perú, com reconhecimentos de excelência.

		Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión Creada por Ley 15527 promulgada el 23 de Abril de 1965 LICENCIADA	Consejo Universitario Ordinario	Secretaria General
---	---	--	---------------------------------------	-----------------------

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO
N° 0445-2023-UNDAC-C.U.

Cerro de Pasco, 10 de mayo de 2023.

VISTO:

El oficio N° 0337-2023-VRAC del Vicerrectorado Académico, sobre aprobación de contrato a plazo determinado de docente ganador de concurso público en la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Ambiental - Oxapampa, para el periodo académico 2023 del Mg. Víctor Stive FLORES GÓMEZ, del 30 de marzo de 2023 al 31 de diciembre del 2023, DC - B1 32 horas semanal/mensual. AIRHSP: 000703.

CONSIDERANDO:

Que, en la Ley Universitaria N° 30220 señala en su artículo 80° numeral 80.3 Los docentes son: Contratados: que prestan servicios a plazo determinado en los niveles y condiciones que fija el respectivo contrato; concordante con el artículo 120° inciso c) del Estatuto vigente de la UNDAC; Que, según la Directiva N° 005-2023-DAA-VRAC, "Directiva de Contrato de Docentes y Jefes de Práctica mediante Concurso Público de Méritos - UNDAC 2023, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 0138-2023-UNDAC-C.U., del 28 de febrero de 2023; Que, de conformidad con el Reglamento de Admisión de Contrato de Docentes y Jefes de Práctica mediante Concurso Público de Méritos - UNDAC 2023, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 0141-2023-UNDAC-C.U., del 28 de febrero de 2023 y siendo necesidad institucional cumplir el cronograma del desarrollo académico; Que, habiendo verificado el Vicerrectorado Académico, pone a consideración de los miembros del Honorable Consejo Universitario el documento de visto, sobre la aprobación del contrato a plazo determinado de docente ganador de concurso público en la plaza N° 167, en la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Ambiental - Oxapampa, para el periodo académico 2023 del Mg. Víctor Stive FLORES GÓMEZ, del 30 de marzo de 2023 al 31 de diciembre del 2023, DC - B1 32 horas semanal/mensual, según el Oficio N° 0157-2023-UNDAC/DFI y Resolución de Decanato N° 0521-2023-UNDAC-DFI/GYT de la Facultad de Ingeniería, que aprueba el contrato con cargo a dar cuenta al Consejo de Facultad y cumple con enviar la propuesta al Consejo Universitario para su aprobación, adjunto de los (Anexos) del proceso de concurso; Que, resulta necesario aprobar el contrato mediante acto resolutivo, de acuerdo con la normatividad vigente; El señor Rector en ejercicio de las atribuciones que le confiere la Ley Universitaria N° 30220, el artículo 29° inciso h) del Estatuto vigente de la UNDAC y estando al acuerdo del Honorable Consejo Universitario Ordinario N° 04-2023 de fecha 10 de mayo de 2023.

SE RESUELVE. -

ARTÍCULO PRIMERO. - Aprobar el contrato a plazo determinado de docente ganador de concurso público en la plaza N° 167 Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Ambiental - Oxapampa, Facultad de Ingeniería, para el periodo académico 2023 del 30 de marzo de 2023 al 31 de diciembre de 2023 que se señalan:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	TIPO DE CONTRATO	PUNTAJE OBTENIDO	CÓDIGO AIRHSP
01	Mg. FLORES GÓMEZ, Víctor Stive	DC - B1 32 horas	66.12	000703

ARTÍCULO SEGUNDO. - Remitir la presente resolución a los organismos e instancias competentes para su conocimiento y demás fines conforme a ley.

Regístrese, comuníquese y archívese.



Dr. Angel Claudio NÚÑEZ MEZA
RECTOR



Dr. César Augusto MEZA ANDAMAYO
SECRETARIO GENERAL (e)

C.c. VRAC / DAA / Fac. Ingeniería / E.F.P. Ingeniería Ambiental - Oxapampa / Recursos Humanos / SU Gestión Compensación / Interesado / Escalafón / Archivo Reg. Exp. 186048

Riuzi
16.6.23

EL SUB DIRECTOR DE LA ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL. PROGRAMA DE ESTUDIOS DE INGENIERIA AMBIENTAL QUE SUSCRIBE;

HACE CONSTAR

Que, el Mg. Víctor Stive FLORES GOMEZ

Identificado con DNI N° 44155913, docente contratado a plazo determinado docente ganador de concurso público, de tipo DC – B1 32 horas, en atención a la ficha de evaluación de Desempeño Docente ha sido evaluado por este Despacho, según los criterios establecidos en la citada ficha; ha alcanzado el puntaje de **84 PUNTOS**, con lo cual se determina su Desempeño del periodo académico 2023-A como **EXCELENTE**.

Se le expide el presente documento a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Oxapampa, agosto de 2023.


UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION
FACULTAD DE INGENIERIA
DE INGENIERIA AMBIENTAL OXAPAMPA
.....
Mg. Jesús Marino Gomez Miguel
SUB DIRECTOR

Ciudad Universitaria Carretera Central Km. 3.5 Barrio Miraflores – Oxapampa Telefax N° 063 –
462128 Correo Electrónico: epambientalexapampa@undac.edu.pe

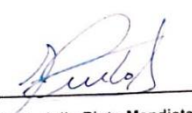
8.3 Actividades em participação e organização de eventos académicos

El proyecto interuniversitario *"Por una acuicultura más saludable en el Lago Titicaca"*, certifica a:



Víctor Stive Flores Gómèz

Por haber participado del curso intensivo presencial **"INVESTIGACIÓN PARA LA CONSERVACIÓN DE LAGOS ALTOANDINOS"** realizado del 8 al 12 de Agosto 2022, con un total de 60 horas académicas.


M.Sc. Julio Pinto Mendieta
Promotor Boliviano
Director Académico
Carrera de Biología, Universidad Mayor de San Andrés (UMSA)


Prof. Dr. ir. Geert Janssens
Promotor Belga
Director del Departamento de Veterinaria y Biología
Universidad de Gante (UGent)





**LUNES**
15 DE JULIO, 2024
5:00 PM – 7:30 PM

EVENTO VIRTUAL

**LIMA Y CALLAO**
LCOY 24
VOCES JUVENILES POR EL CLIMA

RECURSOS HÍDRICOS

PONENTE:

Egresado en la Universidad Nacional del Antiplano como Ingeniero Biólogo con doctorado en tecnología ambiental y maestría de Ecosistema y Recursos Acuáticos en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, actualmente docente e investigador en la Universidad Peruana Unión (UPeU)



Dr. Victor Flores Gomez
Biólogo

<https://www.facebook.com/photo/?fbid=122119826756330484&set=pcb.122119826798330484>.



8.4 Atividades como pesquisador científico

Foi designado como Coordenador da Área Funcional de Pesquisas em Recursos das Águas Interiores no período marco dezembro do ano 2022, do Instituto del Mar del Perú, organismo do Ministerio de Producción do Perú.

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ



RESOLUCIÓN DE DIRECCIÓN EJECUTIVA CIENTÍFICA nº 024-2022-IMARPE/DEC

Callao, 25 de febrero de 2022

VISTOS:

El Memorándum nº 002-2022-IMARPE/DGIA de fecha 13 de enero de 2022 de la Dirección General de Investigaciones en Acuicultura; el Proveído nº 184-2022-IMARPE/DEC de fecha 14 de enero de 2022 de la Dirección Ejecutiva Científica; el Memorándum nº 036-2022-IMARPE/AFRH de fecha 19 de enero de 2022 del Área Funcional de Recursos Humanos; el Proveído nº 00330-2022-IMARPE-OGA de fecha 20 de enero de 2022, de la Oficina General de Administración; y el Informe nº 049-2022-IMARPE/OGAJ, de fecha 22 febrero de 2022 de la Oficina General de Asesoría Jurídica, y;



CONSIDERANDO:

Que, a través del Memorándum nº 002-2022-IMARPE/DGIA de fecha 13 de enero de 2022, la Dirección General de Investigaciones en Acuicultura, se dirige a la Dirección

SE RESUELVE:

Artículo 1.- Encargar con eficacia anticipada al 1 de enero al 28 de febrero de 2022, la plaza de Coordinador del Área Funcional de Investigaciones en Recursos de Aguas Continentales – AFIRAC, de la Dirección General de Investigaciones en Acuicultura al profesional Juan Alfredo Rubio Rodríguez. Asimismo, encargar la plaza de Coordinador de la citada Área Funcional al profesional Víctor Stive Flores Gómez del 1 de marzo al 31 de diciembre de 2022.

Artículo 2.- Disponer que la Oficina General de Administración, a través del Área Funcional de Recursos Humanos, inserte en los legajos personales de los profesionales citados en el artículo 1, la presente Resolución y realice las acciones administrativas que correspondan;

Artículo 3.- Notificar la presente Resolución a la Dirección General de Investigaciones en Acuicultura y los profesionales citados en el artículo 1 de la misma.



Regístrese, Comuníquese y Archívese,



Firmado digitalmente por:
GUEVARA CARRASCO Renato
Carol FAU 20148138886 hard
Motivo: Director
Ejecutivo Científico
Fecha: 28/02/2022 16:20:58-0500

Em 2024 aprovei concurso de mérito para assumir oficialmente o posto de Coordinador de Pesquisa em Águas Interiores do Perú, pelo Instituto del Mar del Peru.

CONCURSO PÚBLICO DE MÉRITOS CAP N° 002-2024-IMARPE

CUADRO DE MÉRITOS

PROCESO N°: 003

PLAZA: Coordinador de Área Funcional de Investigaciones en Recursos de Aguas Continentales

N°	Apellidos y Nombres	Evaluación Curricular	Evaluación Técnica/ Conoc.	Entrevista Personal	Total	Orden de Méritos
1	Flores Gómez, Víctor Stive	37.20	22.00	23.46	82.66	1°
2	Monroy Rospigliosi, Aldrin Almir	32.30	23.00	24.35	79.65	2°

El(a) postulante ganador(a) debe presentarse en el Área Funcional de Recursos Humanos al día siguiente hábil de la publicación de resultados, para la suscripción del contrato.

Callao; 19 de julio de 2024



Firmado digitalmente por:
GOYA SUEYOSHI Elisa FAU
20148138888 hard
Motivo: Coordinadora del
AFIB
Fecha: 19/07/2024 13:53:24-0500

Elisa Goya Sueyoshi
DNI 07615446



Firmado digitalmente por:
RAMOS DE LA CRUZ Ana
Fanny FAU 20148138888 soft
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 19/07/2024 14:49:25-0500

Ana Ramos De La Cruz
DNI 41076414

9 REFERÊNCIAS

- Abbasi, T., & Abbasi, S. (2012). Water Quality Indices. Em *Water Quality Indices*. <https://doi.org/10.1016/C2010-0-69472-7>
- Achá, D., Guédron, S., Amouroux, D., Point, D., Lazzaro, X., Fernandez, P. E., & Sarret, G. (2018). Algal bloom exacerbates hydrogen sulfide and methylmercury contamination in the emblematic high-altitude lake titicaca. *Geosciences (Switzerland)*, 8(12). <https://doi.org/10.3390/geosciences8120438>
- Ahlgren, J., Tranvik, L., Gogoll, A., Waldebäck, M., Markides, K., & Rydin, E. (2005). Sediment depth attenuation of biogenic phosphorus compounds measured by ³¹P NMR. *Environmental Science and Technology*, 39(3), 867–872. <https://doi.org/10.1021/es049590h>
- Ahmed, A., & Wanganeo, A. (2015). Phytoplankton succession in a tropical freshwater lake, Bhoj Wetland (Bhopal, India): spatial and temporal perspective. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(4). <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4410-0>
- Ali, E. M. (2011). Impact of drain water on water quality and eutrophication status of Lake Burullus, Egypt, a southern Mediterranean lagoon. *African Journal of Aquatic Science*, 36(3), 267–277. <https://doi.org/10.2989/16085914.2011.636897>
- Ali, H., & Khan, E. (2018). Bioaccumulation of non-essential hazardous heavy metals and metalloids in freshwater fish. Risk to human health. *Environmental Chemistry Letters*, 16(3), 903–917. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0734-7>
- Amorim, C. A., & Moura, A. D. (2021). Ecological impacts of freshwater algal blooms on water quality, plankton biodiversity, structure, and ecosystem functioning. *Science of the total environment*, 758. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143605>
- Archundia, D., Duwig, C., Spadini, L., Uzu, G., Guédron, S., Morel, M. C., Cortez, R., Ramos Ramos, O., Chincheros, J., & Martins, J. M. F. (2017). How Uncontrolled Urban Expansion Increases the Contamination of the Titicaca Lake Basin (El Alto, La Paz, Bolivia). *Water, Air, and Soil Pollution*, 228(1). <https://doi.org/10.1007/s11270-016-3217-0>
- Argota Pérez, G., Escobar Mamani, F., & Moreno Terrazas, E. G. (2020). Calidad estacionaria del agua ante el costo ambiental sostenible relativo con agregación de biomarcadores:

- Bahía de Puno, lago Titicaca, Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(2), 146–154. <https://doi.org/10.18271/ria.2020.602>
- Bajaña, L. S., Martínez-Fresneda, M., Navarro, J. C., de S. Celente, G., & Lobo, E. A. (2022). Water Quality Index (WQI) Calibration in the Paute River Hydrographical Basin, South Inter-Andean Region of Ecuador, Based on the Environmental Agreement N° 097-A. *Sustainable Water Resources Management*, 8, Article No. 5. <https://doi.org/10.1007/s40899-021-00590-0>
- Ballesteros, I., Castillejo, P., Haro, A. P., Montes, C. C., Heinrich, C., & Lobo, E. A. (2020). Genetic barcoding of Ecuadorian epilithic diatom species suitable as water quality bioindicators. *Comptes rendus biologies*, 343(1), 41–52. <https://doi.org/10.5802/crbiol.2>
- Bhateria, R., & Jain, D. (2016). Water quality assessment of lake water: a review. *Sustainable Water Resources Management*, 2(2), 161–173. <https://doi.org/10.1007/s40899-015-0014-7>
- Bilous, O., Afanasyev, S., Abonyi, A., Bondar-Kunze, E., & Hein, T. (2024). Reynolds phytoplankton functional classification approach helps evaluate the historical ecological status of the large European Southern Bug River (Ukraine). *Ecological Research*, 39(1), 97–111. <https://doi.org/10.1111/1440-1703.12424>
- Birk, S., Bonne, W., Borja, A., Brucet, S., Courrat, A., Poikane, S., Solimini, A., van de Bund, W. V., Zampoukas, N., & Hering, D. (2012). Three hundred ways to assess Europe's surface waters: An almost complete overview of biological methods to implement the Water Framework Directive. *Ecological indicators*, 18, 31–41. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.10.009>
- Borrego-Ramos, M., Bécares, E., García, P., Nistal, A., & Blanco, S. (2021). Epiphytic diatom-based biomonitoring in mediterranean ponds: Traditional microscopy versus metabarcoding approaches. *Water (Switzerland)*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/w13101351>
- Brown, R. M., McClelland, N. I., Deininger, R. A., & Tozer, R. G. (1970). A water quality index - Do we dare? *Water and Sewage Works*, 117(10), 339–343.
- Buley, R. P., Adams, C., Belfiore, A. P., Fernandez-Figueroa, E. G., Gladfelter, M. F., Garner, B., & Wilson, A. E. (2021). Field evaluation of seven products to control cyanobacterial blooms in aquaculture. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(23), 29971 – 29983. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12708-0>

- Canedo, C., Pillco Zolá, R., & Berndtsson, R. (2016). Role of Hydrological Studies for the Development of the TDPS System. Em *Water* (Vol. 8, Número 4). <https://doi.org/10.3390/w8040144>
- Capriles, J. M., Moore, K. M., Domic, A. I., & Hastorf, C. A. (2014). Fishing and environmental change during the emergence of social complexity in the Lake Titicaca Basin. *Journal of Anthropological Archaeology*, 34, 66–77. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jaa.2014.02.001>
- Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, 22(2), 361–369. <https://doi.org/10.4319/lo.1977.22.2.0361>
- Carpenter S.R., Cole J.J., Hodgson J.R., Kitchell J.F. & Pace M.L. et al. (2001). Trophic cascades, nutrients, and lake productivity. *Ecological Monographs*, 71(2): 163–186. [https://doi.org/10.1890/0012-9615\(2001\)071\[0163:TCNALP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9615(2001)071[0163:TCNALP]2.0.CO;2)
- Chaffin, J. D., Mishra, S., Kane, D. D., Bade, D. L., Stanislawczyk, K., Slodysko, K. N., Jones, K. W., Parker, E. M., & Fox, E. L. (2019). Cyanobacterial blooms in the central basin of Lake Erie: Potentials for cyanotoxins and environmental drivers. *Journal of Great Lakes Research*, 45(2), 277–289. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2018.12.006>
- Chidiac, S., El Najjar, P., Ouaini, N., El Rayess, Y., & El Azzi, D. (2023a). A comprehensive review of water quality indices (WQIs): history, models, attempts and perspectives. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 22(2), 349–395. <https://doi.org/10.1007/s11157-023-09650-7>
- Chura, R. (2009). Desarrollo de la acuicultura en el Lago Titicaca (Perú). *AquaTIC*, 31, 6–19.
- Chura-Cruz René, C. S. L. A. T. M. J. S. Z. M. V. Q. C. (2013). Relación entre el nivel del lago y la precipitación sobre los desembarques del pejerrey *Odontesthes bonariensis* (Valenciennes, 1835) en el sector peruano del Lago Titicaca entre 1981 Y 2010. *Ecología Aplicada*, 12, 19–28.
- Correll, D. L. (1999). Phosphorus: a rate limiting nutrient in surface waters. *Poultry Science*, 78(5), 674–682. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/ps/78.5.674>
- da Costa, M. R. A., Attayde, J. L., & Becker, V. (2016). Effects of water level reduction on the dynamics of phytoplankton functional groups in tropical semi-arid shallow lakes. *Hydrobiologia*, 778(1), 75–89. <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2593-6>
- Davies, C. H., Coughlan, A., Hallegraef, G., Ajani, P., Armbrrecht, L., Atkins, N., Bonham, P., Brett, S., Brinkman, R., Burford, M., Clementson, L., Coad, P., Coman, F., Davies, D.,

- Dela-Cruz, J., Devlin, M., Edgar, S., Eriksen, R., Furnas, M., ... Richardson, A. J. (2016). A database of marine phytoplankton abundance, biomass and species composition in Australian waters. *Scientific Data*, 3(1), 160043. <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.43>
- Davis, T. W., Bullerjahn, G. S., Tuttle, T., McKay, R. M., & Watson, S. B. (2015). Effects of Increasing Nitrogen and Phosphorus Concentrations on Phytoplankton Community Growth and Toxicity During Planktothrix Blooms in Sandusky Bay, Lake Erie. *Environmental Science & Technology*, 49(12), 7197–7207. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b00799>
- Dejoux, C., & Iltis, A. (1992). Lake Titicaca: A Synthesis of Limnological Knowledge. *Lake Titicaca: A Synthesis of Limnological Knowledge*.
- Deng, J., Paerl, H. W., Qin, B., Zhang, Y., Zhu, G., Jeppesen, E., Cai, Y., & Xu, H. (2018). Climatically-modulated decline in wind speed may strongly affect eutrophication in shallow lakes. *Science of the Total Environment*, 645, 1361–1370. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.208>
- Diaz-Torres, O., de Anda, J., Yadira Lugo-Melchor, O., Pacheco, A., Orozco-Nunnelly, D. A., Shear, H., Senes-Guerrero, C., & Sebastian Gradilla-Hernandez, M. (2021). Rapid Changes in the Phytoplankton Community of a Subtropical, Shallow, Hypereutrophic Lake During the Rainy Season. *Frontiers in Microbiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.617151>
- Dörnhöfer, K., & Oppelt, N. (2016). Remote sensing for lake research and monitoring - Recent advances. *Ecological Indicators*, 64, 105 – 122. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.12.009>
- Du, X., Song, D., Ming, K., Yang, J., Jin, X., Wang, H., Liu, H., Wang, L., Zhao, C., & Huo, T. (2022). Functional Responses of Phytoplankton Assemblages to Watershed Land Use and Environmental Gradients. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.819252>
- Duan, X., Zhang, C., Struewing, I., Li, X., Allen, J., & Lu, J. (2022). Cyanotoxin-encoding genes as powerful predictors of cyanotoxin production during harmful cyanobacterial blooms in an inland freshwater lake: Evaluating a novel early-warning system. *Science of the Total Environment*, 830. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154568>
- Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z.-I., Knowler, D. J., Lévêque, C., Naiman, R. J., Prieur-Richard, A.-H., Soto, D., Stiassny, M. L. J., & Sullivan, C. A. (2006).

- Freshwater biodiversity: Importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 81(2), 163–182. <https://doi.org/10.1017/S1464793105006950>
- El-Serehy, H. A., Abdallah, H. S., Al-Misned, F. A., Al-Farraj, S. A., & Al-Rasheid, K. A. (2018). Assessing water quality and classifying trophic status for scientifically based managing the water resources of the Lake Timsah, the lake with salinity stratification along the Suez Canal. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(7), 1247–1256. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.05.022>
- Escobar-Mamani, F., Moreno-Terrazas, E., Siguayro-Mamani, H., & Pérez, G. A. (2023). Physicochemical characterization and presence of heavy metals in the trout farming area of Lake Titicaca, Peru. *Sains Tanah*, 20(2), 140–149. <https://doi.org/10.20961/stjssa.v20i1.62357>
- Essaid, H. I., Kuwabara, J. S., Corson-Dosch, N. T., Carter, J. L., & Topping, B. R. (2021). Evaluating the dynamics of groundwater, lakebed transport, nutrient inflow and algal blooms in Upper Klamath Lake, Oregon, USA. *Science of the Total Environment*, 765. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142768>
- Farfán, D. F. B., Calli, R. P. P., Terrazas, E. G. M., Peralta, C. G., & Montesinos-Tubée, D. B. (2015). Water quality of the inner Puno Bay, Titicaca Lake, during summer 2011. *Revista Peruana de Biología*, 22(3), 335–340. <https://doi.org/10.15381/rpb.v22i3.11440>
- Flores-Gómez, S., Da Costa, A. B., & Lobo, E. A. (2024). Assessment of Water Quality in High-Pressure Peruvian Anthropogenic Sectors of Lake Titicaca Using a Calibrated Index. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 12, 97-114. <https://doi.org/10.4236/gep.2024.128006>
- Freitas, N. C. W., Heinrich, C. G., Etges, T., de Souza Celente, G., & Lobo, E. A. (2021). Assessment of potential reference sites for evaluating the ecological status of subtropical and temperate Brazilian lotic systems using the epilithic diatom community. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(7), 8698–8708. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11136-w>
- Fu, H., Chen, L., Ge, Y., Wu, A., Liu, H., Li, W., Yuan, G., & Jeppesen, E. (2022). Linking human activities and global climatic oscillation to phytoplankton dynamics in a subtropical lake. *Water Research*, 208. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117866>

- Gallina, N., Salmaso, N., Morabito, G., & Beniston, M. (2013). Phytoplankton configuration in six deep lakes in the peri-Alpine region: are the key drivers related to eutrophication and climate? *Aquatic Ecology*, 47(2), 177–193. <https://doi.org/10.1007/s10452-013-9433-4>
- Gaskill, J. A., Harris, T. D., & North, R. L. (2020). Phytoplankton Community Response to Changes in Light: Can Glacial Rock Flour Be Used to Control Cyanobacterial Blooms? *Frontiers in Environmental Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.540607>
- Gebler, D., Kolada, A., Pasztaleniec, A., & Szoszkiewicz, K. (2021). Modelling of ecological status of Polish lakes using deep learning techniques. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(5), 5383 – 5397. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10731-1>
- Gons, H. J. (1999). Optical teledetection of chlorophyll a in turbid inland waters. *Environmental Science and Technology*, 33(7), 1127–1132. <https://doi.org/10.1021/es9809657>
- Hilt, S., Alirangues Nunez, M. M., Bakker, E. S., Blindow, I., Davidson, T. A., Gillefalk, M., Hansson, L.-A., Janse, J. H., Janssen, A. B. G., Jeppesen, E., Kabus, T., Kelly, A., Koehler, J., Lauridsen, T. L., Mooij, W. M., Noordhuis, R., Phillips, G., Ruecker, J., Schuster, H.-H., ... Sayer, C. D. (2018). Response of Submerged Macrophyte Communities to External and Internal Restoration Measures in North Temperate Shallow Lakes. *Frontiers in Plant Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00194>
- Ho, J. C., Michalak, A. M., & Pahlevan, N. (2019a). Widespread global increase in intense lake phytoplankton blooms since the 1980s. *Nature*, 574(7780), 667+. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1648-7>
- Ho, J. C., Michalak, A. M., & Pahlevan, N. (2019b). Widespread global increase in intense lake phytoplankton blooms since the 1980s. *Nature*, 574(7780), 667+. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1648-7>
- Horton, R. K. (1965). An index number system for rating water quality. *Journal of Water Pollution Control Federation*, 37(3), 300–306.
- Hou, X., Feng, L., Dai, Y., Hu, C., Gibson, L., Tang, J., Lee, Z., Wang, Y., Cai, X., Liu, J., Zheng, Y., & Zheng, C. (2022). Global mapping reveals increase in lacustrine algal blooms over the past decade. *NATURE GEOSCIENCE*, 15(2), 130+. <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00887-x>
- IFPRI. (2015). The Murky Future of Global Water Quality: New Global Study Projects Rapid Deterioration in Water Quality. *The Murky Future of Global Water Quality: New Global Study Projects Rapid Deterioration in Water Quality*.

- Jacquemin, C., Bertrand, C., Franquet, E., Mounier, S., Misson, B., Oursel, B., & Cavalli, L. (2019). Effects of catchment area and nutrient deposition regime on phytoplankton functionality in alpine lakes. *Science of The Total Environment*, 674, 114–127. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.117>
- Janssen, A. B. G., de Jager, V. C. L., Janse, J. H., Kong, X., Liu, S., Ye, Q., & Mooij, W. M. (2017). Spatial identification of critical nutrient loads of large shallow lakes: Implications for Lake Taihu (China). *Water Research*, 119, 276–287. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.04.045>
- Jenny J.P., Anneville O., Arnaud F., Baulaz Y., Bouffard, Domaizon I., Bocaniov S.A., et al. (2020) Scientist’s Warning to Humanity: rapid degradation of the world’s large lakes. *J. Great Lakes Res.*, 46: 686-702.
- Jeppesen, E., Nørges, P., Davidson, T. A., Haberman, J., Nørges, T., Blank, K., Lauridsen, T. L., Sondergaard, M., Sayer, C., Laugaste, R., Johansson, L. S., Bjerring, R., & Amsinck, S. L. (2011). Zooplankton as indicators in lakes: a scientific-based plea for including zooplankton in the ecological quality assessment of lakes according to the European Water Framework Directive (WFD). *Hydrobiologia*, 676(1), 279–297. <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0831-0>
- Jia, J., Gao, Y., Sun, K., Lu, Y., Wang, J., & Shi, K. (2022). Phytoplankton community composition, carbon sequestration, and associated regulatory mechanisms in a floodplain lake system. *Environmental Pollution*, 306. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119411>
- Katip, A., Ileri, S., Karaer, F., & Onur, S. (2015). Determination of the Trophic State of Lake Uluabat (Bursa-Turkey). *EKOLOJI*, 24(97), 24–35. <https://doi.org/10.5053/ekoloji.2015.07>
- Khan, F. A., & Ansari, A. A. (2005). Eutrophication: An ecological vision. *Botanical Review*, 71(4), 449–482. [https://doi.org/10.1663/0006-8101\(2005\)071\[0449:EAEV\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0006-8101(2005)071[0449:EAEV]2.0.CO;2)
- Kong, X., Seewald, M., Dadi, T., Friese, K., Mi, C., Boehrer, B., Schultze, M., Rinke, K., & Shatwell, T. (2021). Unravelling winter diatom blooms in temperate lakes using high frequency data and ecological modeling. *Water Research*, 190. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116681>
- Kozak, A., Budzyńska, A., Dondajewska-Pielka, R., Kowalczywska-Madura, K., & Gołdyn, R. (2020). Functional groups of phytoplankton and their relationship with environmental

- factors in the restored ularzewskie lake. *Water (Switzerland)*, 12(2).
<https://doi.org/10.3390/w12020313>
- Kröger, B., Selmeczy, G. B., Casper, P., Soininen, J., & Padisák, J. (2023). Long-term phytoplankton community dynamics in Lake Stechlin (north-east Germany) under sudden and heavily accelerating eutrophication. *Freshwater Biology*, 68(5), 737–751.
<https://doi.org/10.1111/fwb.14060>
- Kruk, C., Mazzeo, N., Lacerot, G., & Reynolds, C. S. (2002). Classification schemes for phytoplankton: a local validation of a functional approach to the analysis of species temporal replacement. *Journal of Plankton Research*, 24(9), 901–912.
<https://doi.org/10.1093/plankt/24.9.901>
- Lazzaro, X. (1987). A review of planktivorous fishes: Their evolution, feeding behaviours, selectivities, and impacts. *Hydrobiologia*, 146(2), 97–167.
<https://doi.org/10.1007/BF00008764>
- Lazzaro, X., Cruz, V., Ormachea, M., Lanza, W., Maldonado, J., & Nuñez, A. (2023). *El Observatorio permanente del Lago Titicaca (OLT) – Investigación y monitoreo de la eutrofización del Lago Menor con estaciones limnológicas, boya HydroMet y teledetección satelital*. IRD/BOREA, UMSA/IE & UMSA/IIGEO.
- Le Moal, M., Gascuel-Oudou, C., Ménesguen, A., Souchon, Y., Étrillard, C., Levain, A., Moatar, F., Pannard, A., Souchu, P., Lefebvre, A., & Pinay, G. (2019). Eutrophication: A new wine in an old bottle? *Science of The Total Environment*, 651, 1–11.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.139>
- Lobato, T. C., Hauser-Davis, R. A., Oliveira, T. F., Silveira, A. M., Silva, H. A. N., Tavares, M. R. M., & Saraiva, A. C. F. (2015). Construction of a novel water quality index and quality indicator for reservoir water quality evaluation: A case study in the Amazon region. *Journal of Hydrology*, 522, 674–683. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.01.021>
- Lobo, E. A., Schuch, M., Heinrich, C. G., da Costa, A. B., Düpont, A., Wetzel, C. E. et al (2015). Development of the Trophic Water Quality Index (TWQI) for Subtropical Temperate Brazilian Lotic Systems. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187, Article No. 354. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4586-3>
- Lobo, E. A., Freitas, N. W., & Salinas, V. H. (2019). Diatoms as bioindicators: Ecological aspects of the algae response to eutrophication in Latin America. *Mexican Journal of Biotechnology*, 4(1), 1–24. <https://doi.org/10.29267/mxjb.2019.4.1.1>

- Lobo, E. A., Heinrich, C. D., Shuch, M., Wetzel, C. E., Ector. (2016). 1. Diatoms as bioindicators in rivers. p. 245-271. In: Necchi Jr. (Ed.). *River Algae*. Springer International Publishing. 2016. ISBN 987-3-319-31983-4. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-31984-1>.
- Loza del Carpio, A. L., & Ccancapa Salcedo, Y. (2020). Mercurio en un arroyo altoandino con alto impacto por minería aurífera artesanal (La Rinconada, Puno, Perú). *Revista internacional de contaminación ambiental*, 36(1), 33–44. <https://doi.org/10.20937/rica.2020.36.53317>
- Ma, C., Stokal, M., Kroeze, C., Wang, M., Li, X., Hofstra, N., & Ma, L. (2020). Reducing river export of nutrients and eutrophication in Lake Dianchi in the future. *Blue-Green Systems*, 2(1), 73–90. <https://doi.org/10.2166/bgs.2020.923>
- Magesh, N. S., Krishnakumar, S., Chandrasekar, N., & Soundranayagam, J. P. (2013). Groundwater quality assessment using WQI and GIS techniques, Dindigul district, Tamil Nadu, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(11), 4179–4189. <https://doi.org/10.1007/s12517-012-0673-8>
- Mancilla, M. (2016). Explicit Arguments, Hidden Biases: Uncovering the Role of Institutional Relationships in a Dispute Over Scientific Data in Lake Titicaca (Bolivia). *Society and Natural Resources*, 29(9), 1110–1123. <https://doi.org/10.1080/08941920.2016.1150540>
- Mantzouki, E., Visser, P. M., Bormans, M., & Ibelings, B. W. (2016). Understanding the key ecological traits of cyanobacteria as a basis for their management and control in changing lakes. *Aquatic Ecology*, 50(3, SI), 333–350. <https://doi.org/10.1007/s10452-015-9526-3>
- McQueen D.J., Johannes M.R.S., Post J.R., Stewart T.J. & Lean D.R.S. (1989) Bottom-up and top-down impacts on freshwater pelagic community structure. *Ecological Monographs*, 59: 289-309.
- Mishra, A., Alnahit, A., & Campbell, B. (2021). Impact of land uses, drought, flood, wildfire, and cascading events on water quality and microbial communities: A review and analysis. *Journal of Hydrology*, 596, 125707. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125707>
- Montoya H., Komárková, J., Komárek, J. (2014). Cyanobacterial species, potentially forming water-blooms in the lake Titicaca (Peru). *Arnaldoa* 21 (2): 381-390.
- Moretto, D. L., Panta, R. E., da Costa, A. B., & Lobo, E. A. (2012). Calibration of water quality index (WQI) based on Resolution no 357/2005 of the Environment National Council

- (CONAMA). *Acta Limnologica Brasiliensia*, 24(1), 29–42.
<https://doi.org/10.1590/S2179-975X2012005000024>
- Morris, O. F., Loewen, C. J. G., Woodward, G., Schäfer, R. B., Piggott, J. J., Vinebrooke, R. D., & Jackson, M. C. (2022). Local stressors mask the effects of warming in freshwater ecosystems. *Ecology Letters*, 25(11), 2540–2551. <https://doi.org/10.1111/ele.14108>
- Moss B., Kosten S., Meerhoff M., Baàarbee R.W., Jeppesen E., Mazzeo N., Havens K., Lacerot G., Liu Z., De Meester L., Paerl H. & Scheffer M. (2011). Allied aàack: climate change and eutrophicaRon. *Inland Waters*, 1: 101-105.
- O'Reilly, C. M., S. Sharma, D. K. Gray, S. E. Hampton, J. S. Read, R. J. Rowley, P. Schneider, J. D. Lenters, P. B. McIntyre, B. M. Kraemer, et al. (2015), Rapid and highly variable warming of lake surface waters around the globe, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 10,773–10,781, doi:10.1002/2015GL066235
- Ortega, D. J. P., Pérez, D. A., Américo, J. H. P., De Carvalho, S. L., & Segovia, J. A. (2016). Development of index of resilience for surface water in watersheds. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 10(1), 72–82.
<https://doi.org/10.4090/juee.2016.v10n1.007282>
- Padisák, J., Borics, G., Grigorszky, I., & Soróczki-Pintér, É. (2006). Use of phytoplankton assemblages for monitoring ecological status of lakes within the water framework directive: The assemblage index. *Hydrobiologia*, 553(1), 1–14.
<https://doi.org/10.1007/s10750-005-1393-9>
- Paerl, H. W. (2018). Mitigating Toxic Planktonic Cyanobacterial Blooms in Aquatic Ecosystems Facing Increasing Anthropogenic and Climatic Pressures. *Toxins*, 10(2 C7-76). <https://doi.org/10.3390/toxins10020076>
- Parparov, A., & Hambright, K. D. (2007). Composite Water Quality: Evaluation and Management Feedbacks. *Water Quality Reseaerc Journal of Canada*, 42(1), 20–25.
<https://doi.org/10.2166/wqrj.2007.004>
- Parparov, A., Hambright, K. D., Hakanson, L., & Ostapenia, A. (2006). Water quality quantification: basics and implementation. *Hydrobiologia*, 560, 227–237.
<https://doi.org/10.1007/s10750-005-1642-y>
- Pouilly, M., Lazzaro, X., Point, D., & Aguirre, M. (2014a). *Línea base de conocimientos sobre los recursos hidrológicos en el sistema TDPS con enfoque en la cuenca del Lago Titicaca* (IRD & UICN, Orgs.). <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/2014-015.pdf>

- Pouilly, M., Lazzaro, X., Point, D., & Aguirre, M. (2014b). *Línea base de conocimientos sobre los recursos hidrológicos en el sistema TDPS con enfoque en la cuenca del Lago Titicaca* (IRD & UICN, Orgs.).
- Reynolds, C. S. (1997) Vegetation Processes in the Pelagic. A Model for Ecosystem Theory. ECI, Oldendorf.
- Reynolds, C. S., Huszar, V., Kruk, C., Naselli-Flores, L., & Melo, S. (2002). Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research*, 24(5), 417–428. <https://doi.org/10.1093/plankt/24.5.417>
- Reynolds, C. S. (2006). *The ecology of phytoplankton*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511542145>
- Reynolds, C. S., Huszar, V., Kruk, C., Naselli-Flores, L., & Melo, S. (2002). Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research*, 24(5), 417–428. <https://doi.org/10.1093/plankt/24.5.417>
- Salmaso, N., Naselli-Flores, L., & Padisak, J. (2015). Functional classifications and their application in phytoplankton ecology. *Freshwater Biology*, 60(4), 603–619. <https://doi.org/10.1111/fwb.12520>
- Sayers, M. J., Fahnenstiel, G. L., Shuchman, R. A., & Bosse, K. R. (2021). A new method to estimate global freshwater phytoplankton carbon fixation using satellite remote sensing: initial results. *International Journal of Remote Sensing*, 42(10), 3708–3730. <https://doi.org/10.1080/01431161.2021.1880661>
- Scheffer, M., Hosper, S. H., Meijer, M.-L., Moss, B., & Jeppesen, E. (1993). Alternative equilibria in shallow lakes. *Trends in Ecology and Evolution*, 8(8), 275–279. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(93\)90254-M](https://doi.org/10.1016/0169-5347(93)90254-M)
- Schneider, S. C., Biberdžić, V., Braho, V., Gjoreska, B. B., Cara, M., Dana, Z., Đurašković, P., Eriksen, T. E., Hjermann, D., Imeri, A., Jovanović, K., Krizmanić, J., Kupe, L., Loshkoska, T., Kemp, J. L., Marković, A., Patceva, S., Rakočević, J., Stojanović, K., ... Vermaat, J. E. (2020). Littoral eutrophication indicators are more closely related to nearshore land use than to water nutrient concentrations: A critical evaluation of stressor-response relationships. *Science of The Total Environment*, 748, 141193. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141193>

- Sieburth, J. McN., Smetacek, V., & Lenz, J. (1978). Pelagic ecosystem structure: Heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnology and Oceanography*, 23(6), 1256–1263. <https://doi.org/10.4319/lo.1978.23.6.1256>
- Sigee, D. C. (2005). Freshwater Microbiology: Biodiversity and Dynamic Interactions of Microorganisms in the Aquatic Environment. Em *Freshwater Microbiology: Biodiversity and Dynamic Interactions of Microorganisms in the Aquatic Environment*. John Wiley and Sons. <https://doi.org/10.1002/0470011254>
- Siguayro, H., Pasapera, J., Villanueva, C., Coila, J., & Gamarra, C. (2022). Evaluación de fuentes contaminantes en el anillo circunlacustre del lago Titicaca (sector peruano), 2017. *Boletín del Instituto del Mar del Perú*, 37(2), 361–386. <https://doi.org/https://doi.org/10.53554/boletin.v37i2.378>
- Smith, V. H. (2003). Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems - A global problem. *Environmental science and pollution research*, 10(2), 126–139. <https://doi.org/10.1065/espr2002.12.142>
- Sondergaard, M., Jensen, P. J., & Jeppesen, E. (2001). Retention and internal loading of phosphorus in shallow, eutrophic lakes. *The Scientific World Journal*, 1, 427 – 442. <https://doi.org/10.1100/tsw.2001.72>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., de Vries, W., de Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B., & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Suresh, K., Tang, T., Van Vliet, M. T. H., Bierkens, M. F. P., Stokal, M., Sorger-Domenigg, F., & Wada, Y. (2023). Recent advancement in water quality indicators for eutrophication in global freshwater lakes. *Environmental Research Letters*, 18(6). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acd071>
- Svirčev, Z., Lalić, D., Bojadžija Savić, G., Tokodi, N., Drobac Backović, D., Chen, L., Meriluoto, J., & Codd, G. A. (2019). Global geographical and historical overview of cyanotoxin distribution and cyanobacterial poisonings. *Archives of Toxicology*, 93(9), 2429–2481. <https://doi.org/10.1007/s00204-019-02524-4>
- Tao, Y., Yuan, Z., Xiaona, H., & Wei, M. (2012). Distribution and bioaccumulation of heavy metals in aquatic organisms of different trophic levels and potential health risk assessment

- from Taihu lake, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 81, 55–64.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.04.014>
- Tudela, J. (2012). Valoración económica de los beneficios ambientales de políticas de gestión en la Reserva Nacional del Titicaca. *Economía y Sociedad*, 80, 30–37.
- Uddin, M. G., Nash, S., & Olbert, A. I. (2021). A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. *Ecological Indicators*, 122.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107218>
- Vera Cartas, J., Pucheu, K. S., & Torres Beristain, B. (2013). Contributions towards an ecosystem based management of Lake Titicaca. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 16(3), 240–247. <https://doi.org/10.1080/14634988.2013.789384>
- Wang, Z., Qi, F., Liu, L., Chen, M., Sun, D., & Nan, J. (2021). How do urban rainfall-runoff pollution control technologies develop in China? A systematic review based on bibliometric analysis and literature summary. *Science of The Total Environment*, 789, 148045. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148045>
- Watson, S. B., Miller, C., Arhonditsis, G., Boyer, G. L., Carmichael, W., Charlton, M. N., Confesor, R., Depew, D. C., Höök, T. O., Ludsin, S. A., Matisoff, G., McElmurry, S. P., Murray, M. W., Peter Richards, R., Rao, Y. R., Steffen, M. M., & Wilhelm, S. W. (2016). The re-eutrophication of Lake Erie: Harmful algal blooms and hypoxia. *Harmful Algae*, 56, 44–66. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.hal.2016.04.010>
- Wetzel, R. G. (2001). 3 - *Rivers and lakes—Their distribution, origins, and forms* (R. G. B. T.-L. (Third E. WETZEL, Org.; p. 15–42). Academic Press.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-057439-4.50007-1>
- Woodward, G., Perkins, D. M., & Brown, L. E. (2010). Climate change and freshwater ecosystems: Impacts across multiple levels of organization. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1549), 2093–2106.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0055>
- Xu, H., Paerl, H. W., Qin, B., Zhu, G., Hall, N. S., & Wu, Y. (2015). Determining critical nutrient thresholds needed to control harmful cyanobacterial blooms in eutrophic Lake Taihu, China. *Environmental Science and Technology*, 49(2), 1051 – 1059.
<https://doi.org/10.1021/es503744q>

- Yan, T., Shen, S.-L., & Zhou, A. (2022). Indices and models of surface water quality assessment: Review and perspectives. *Environmental Pollution*, 308. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119611>
- Yao, X., Zhang, Y., Zhang, L., & Zhou, Y. (2018). A bibliometric review of nitrogen research in eutrophic lakes and reservoirs. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 66, 274–285. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2016.10.022>
- Yusuf, Z. H. (2020). Phytoplankton as bioindicators of water quality in nasarawa reservoir, Katsina State Nigeria. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 32. <https://doi.org/10.1590/s2179-975x3319>
- Zhang, C., Brett, M. T., Nielsen, J. M., Arhonditsis, G. B., Ballantyne, A. P., Carter, J. L., Kann, J., Muller-Navarra, D. C., Schindler, D. E., Stockwell, J. D., Winder, M., & Beauchamp, D. A. (2022). Physiological and nutritional constraints on zooplankton productivity due to eutrophication and climate change predicted using a resource-based modeling approach. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 79(3), 472–486. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2021-0071>
- Zhang, X., Chen, C., Ding, J., Hou, A., Li, Y., Niu, Z., Su, X., Xu, Y., & Laws, E. A. (2010). The 2007 water crisis in Wuxi, China: Analysis of the origin. *Journal of Hazardous Materials*, 182(1), 130–135. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.06.006>
- Zhou, Q., Zhang, Y., Li, K., Huang, L., Yang, F., Zhou, Y., & Chang, J. (2018). Seasonal and spatial distributions of euphotic zone and long-term variations in water transparency in a clear oligotrophic Lake Fuxian, China. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 72, 185 – 197. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2018.01.005>
- Zhu, M., Zhu, G., Nurminen, L., Wu, T., Deng, J., Zhang, Y., Qin, B., & Ventela, A.-M. (2015). The Influence of Macrophytes on Sediment Resuspension and the Effect of Associated Nutrients in a Shallow and Large Lake (Lake Taihu, China). *PLOS ONE*, 10(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127915>
- Zotou, I., Tsihrintzis, V. A., & Gikas, G. D. (2020). Water quality evaluation of a lacustrine water body in the Mediterranean based on different water quality index (WQI) methodologies. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 55(5), 537–548. <https://doi.org/10.1080/10934529.2019.1710956>



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO E
DOUTORADO
**TECNOLOGIA
AMBIENTAL**



Av. Independência, 2293 - Universitário
Santa Cruz do Sul - RS
CEP 96815-900

(51) 3717-7300
www.unisc.br