

ZONIFICACIÓN ESPACIAL DE LA VEGETACIÓN SUBACUÁTICA EN ZONAS LITORALES DEL LAGO TITICACA, 2018 - 2019

SPATIAL ZONATION OF UNDERWATER VEGETATION IN LITTORAL AREAS OF LAKE TITICACA (2018 – 2019)

José Pasapera García (†) Carmen Villanueva Quispe¹ Humberto Siguayro Mamani¹
Cesar Gamarra Peralta¹ Dennys Arpasi Ordoño¹

<https://doi.org/10.53554/boletin.v38i1.384>

RESUMEN

PASAPERA GARCA, J. (†), VILLANUEVA QUISPE, C., SIGUAYRO MAMANI, H., GAMARRA PERALTA, C. & ARPASI ORDOÑO, D. (2023). Zonificación espacial de la vegetación subacuática en zonas litorales del lago Titicaca, 2018-2019. *Bol Inst Mar Perú*, 38(1), 114-130.- En el presente estudio se evalúa la distribución de las macrofitas y fauna acompañante a lo largo de la zona litoral del lago Titicaca – sector peruano. Se ha determinado el gradiente de vegetación acuática, que, de acuerdo a la profundidad, se desarrolla por bandas formando sustratos a los que están asociados especies de organismos que han establecido hábitats, también se ha determinado asociaciones de macrofitas que son mejores hábitats para peces, así como un factor determinante para especies endémicas. Las profundidades límites del gradiente de vegetación acuática está entre 18 y 23 m. Se registraron 14 especies de macrofitas diferentes que estuvieron alternadamente distribuidas en número de 7 u 8 por cada tramo litoral, la especie más frecuente fue *Chara* sp. Cada especie presentó un desarrollo diferente, asociado principalmente al fondo batimétrico.

PALABRAS CLAVE: lago Titicaca, macrofitas, litoral

ABSTRACT

PASAPERA GARCA, J. (†), VILLANUEVA QUISPE, C., SIGUAYRO MAMANI, H., GAMARRA PERALTA, C. & ARPASI ORDOÑO, D. (2023). Spatial zonation of underwater vegetation in littoral areas of Lake Titicaca (2018-2019). *Bol Inst Mar Peru*, 38(1), 114-130.- The distribution of macrophytes and associated fauna along the littoral zone of Lake Titicaca - Peruvian sector was investigated in this study. The gradient of aquatic vegetation was assessed, with species forming habitats in substrate bands based on depth. Specific macrophyte assemblages were identified as important habitats for fish and played a crucial role in supporting endemic species. The depth range for the aquatic vegetation gradient was found to be between 18 and 23 m. A total of 14 different macrophyte species were recorded, with 7 to 8 species present in each littoral section, and *Chara* sp. being the most common species. Each species displayed distinct development patterns, closely related to the bathymetric characteristics.

KEYWORDS: Lake Titicaca, macrophytes, littoral

1. INTRODUCCIÓN

El lago Titicaca cuenta con variados recursos acuáticos que son aprovechados por el ser humano, tales como peces, aves, totoraes y llachales (asociación de *Elodea*, *Myriophyllum* y *Potamogeton*). Además, debido a su aislamiento y a un largo periodo de existencia (1 millón de años aprox.), el lago se ha convertido en un medio rico y único, poblado por numerosas especies endémicas (NORTHCOTE, 1991). Así mismo, forma parte de los grandes lagos más antiguos del mundo, con características morfométricas, geológicas y climáticas únicas (DEJOUX & ILTIS, 1991; POUILLY, LAZZARO, POINT & AGUIRRE, 2014).

Las macrofitas constituyen un grupo funcional de vegetación muy heterogénea, siendo uno de los

1. INTRODUCTION

Lake Titicaca harbors diverse aquatic resources that are utilized by human populations, including fish, birds, totora reeds, and llachales (*Elodea*, *Myriophyllum*, *Potamogeton* association). Furthermore, owing to its isolation and extensive geological history spanning approximately 1 million years, the lake has evolved into a rich and distinctive ecosystem, supporting a plethora of endemic species (NORTHCOTE, 1991). Moreover, Lake Titicaca ranks among the world's oldest and largest lakes, exhibiting unique morphometric, geological, and climatic characteristics (DEJOUX & ILTIS, 1991; POUILLY, LAZZARO, POINT & AGUIRRE, 2014).

Macrophytes represent a diverse functional group of vegetation that plays a crucial role in

1 IMARPE, Laboratorio Continental de Puno. cvillanueva@imarpe.gob.pe

componentes más importantes por los servicios y funciones ambientales que ejercen dentro de los ecosistemas lacustres como son: producción primaria, oxigenación de las aguas, fijación del dióxido de carbono atmosférico, reguladoras de las propiedades fisicoquímicas del agua, absorción de nutrientes para servir como soporte trófico y alimento para los consumidores primarios. También, sirven como barreras de protección al efecto erosivo de corrientes y flujos de agua (RAMOS, CÁRDENAS-AVELLA & HERRERA, 2013; GALLEGO, 2015). Además, albergan una magnífica componente faunística que encuentra alimentación, áreas de reproducción (desove) y refugio (GALLEGO, 2015).

La presencia de macrofitas en el medio acuático indicaría el estado de la calidad de agua, debido a que ejerce la función de fitorremediación en la purificación del agua y por ende en la sostenibilidad del equilibrio ecológico. Esto debido a la absorción, asimilación y recolección de nutrientes tales como carbono, nitrógeno y fósforo (LAN, CUI, LI, HAN & DONG, 2010). Sin embargo, son sensibles a variaciones en la calidad fisicoquímica e hidromorfológicas de las masas de agua (concentración salina, nutrientes, mineralización, temperatura, transparencia), siendo indicadores de cambios de medio y largo plazo (VICENTE *et al.*, 2004). De tal forma que la desaparición de una especie de un sistema acuático (especialmente las de tamaño pequeño) puede ser altamente significativo (VICENTE *et al.*, 2004).

Sin plantas acuáticas la naturaleza de los ecosistemas cambiaría totalmente, debido a que estarían incapacitados para mantener las comunidades de peces, macroinvertebrados y otros animales que en ellos se encuentran y perdería la estructura que estamos acostumbrados a reconocer en lagos y lagunas (GARCÍA, FERNÁNDEZ & CIRUJANO, 2009). Por lo tanto, la ecozona de los primeros veinte a veinticinco metros es muy importante en la biología del medio y se debe conservar su estabilidad lo mejor posible, para consolidar su función en la producción secundaria de todo el ecosistema (DEJOUX & ILTIS, 1991).

El objetivo de esta investigación fue zonificar espacialmente el área ocupada por las macrofitas

providing various ecosystem services within lacustrine environments. These services include primary production, water oxygenation, atmospheric carbon dioxide sequestration, regulation of physicochemical properties of water, nutrient absorption, and trophic support for primary consumers. Additionally, macrophytes serve as protective barriers against erosive forces caused by water currents and flows (RAMOS, CÁRDENAS-AVELLA & HERRERA, 2013; GALLEGO, 2015) and provide essential habitats for a diverse range of fauna, including feeding areas, spawning grounds, and refuge zones (GALLEGO, 2015).

The presence of macrophytes in aquatic ecosystems can serve as an indication of water quality, as they contribute to the purification of water through their phytoremediation function, thus supporting ecological balance and sustainability. Macrophytes play a crucial role in absorbing, assimilating, and accumulating nutrients such as carbon, nitrogen, and phosphorus (LAN, CUI, LI, HAN & DONG, 2010). However, they are highly sensitive to variations in physicochemical and hydro-morphological conditions of water masses, including salinity, nutrient concentration, mineralization, temperature, and transparency. Consequently, macrophytes can serve as valuable indicators of long-term environmental changes (VICENTE *et al.*, 2004). The disappearance of a species, particularly small-sized species, from an aquatic system can have significant implications (VICENTE *et al.*, 2004).

The absence of aquatic plants would fundamentally alter the nature of ecosystems, as they are essential for supporting fish communities, macroinvertebrates, and other associated fauna, and contribute to the recognizable structure of lakes and lagoons (GARCÍA, FERNÁNDEZ & CIRUJANO, 2009). Therefore, the ecological zone within the first twenty to twenty-five meters plays a key role in the biological dynamics and must be conserved to ensure its stability and its contribution to the overall secondary production of the ecosystem (DEJOUX & ILTIS, 1991).

The aim of this investigation was to spatially delineate the distribution of submerged macrophytes (hydrophytes) within the littoral

sumergidas (hidrofitos), en toda la zona litoral del lago Titicaca sector peruano, así como la profundidad máxima en la que se desarrolla, esto como parte del proyecto de zonificación del litoral del lago Titicaca para promover, ordenar y optimizar sus usos en la acuicultura.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El lago Titicaca, es el lago navegable más alto del mundo y está ubicado entre los territorios del Perú y Bolivia (15°16'21" S a 15°50'20" S - 70°02'10" W a 69°46'23" W), a 3810 msnm de altitud promedio (Fig. 1).

Se consideraron 6 zonas de evaluación: 1. Ojerani -Barco Chucuito -Luquina- Karina; 2. Percca -Charcas; 3. Villa socca - Ilave - Pilcuyo; 4. Juli -Pomata - Cuturapi - Yunguyo; 5. Tilali - Conima - Moho - Vilquechico y 6. Huancané - Taraco - Capachica (Fig. 1).

Muestreo y análisis biológico

Macrófitas sumergidas

Para la colecta de muestras se realizaron transectos perpendiculares a la línea de costa, separados entre sí cada 1,8 a 2 km con la finalidad de cubrir toda el área somera del lago Titicaca. Las

zone of Lake Titicaca, specifically in the Peruvian sector, as well as to determine the maximum depth range in which they thrive. This research is part of a larger project focused on zoning the lake's littoral area to enhance, regulate, and optimize its utilization for aquaculture purposes.

2. MATERIALS AND METHODS

Study area

Lake Titicaca, located between the territories of Peru and Bolivia (15°16'21" S to 15°50'20" S - 70°02'10" W to 69°46'23" W), stands as the world's highest navigable lake, situated at an average altitude of 3,810 masl (Fig. 1).

Six evaluation zones were considered: 1. Ojerani -Barco Chucuito -Luquina- Karina; 2. Percca -Charcas; 3. Villa socca - Ilave - Pilcuyo; 4. Juli -Pomata - Cuturapi - Yunguyo; 5. Tilali - Conima - Moho - Vilquechico y 6. Huancané - Taraco - Capachica (Fig. 1).

Sampling and biological analysis

Submerged macrophytes

Samples were collected using perpendicular transects along the shoreline, spaced approximately 1.8 to 2 km apart, to cover the entire shallow area of Lake Titicaca. Sampling

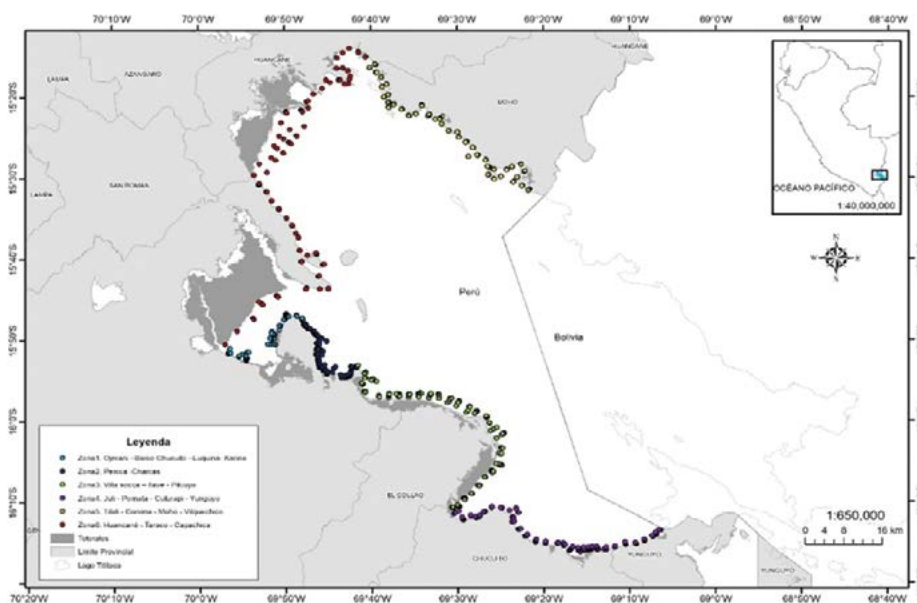


Figura 1.- Mapa de ubicación de zonas evaluadas, lago Titicaca, 2018-2019

Figure 1. Location map of assessed areas, Lake Titicaca (2018-2019)

salidas de prospección se realizaron el 2018 (junio, noviembre y diciembre) y 2019 (marzo, abril y agosto) a bordo del BIC-IMARPE VIII. En cada salida se evaluaron de 15 a 35 transectos (Fig. 1), colectándose muestras en diferentes profundidades (0,5; 5; 10; 15; 20 y 25 m), utilizando rastillos (fabricado según necesidad de muestreo). La profundidad del área de trabajo fue determinada usando un ecosonda instalado en la embarcación. Las muestras fueron enjuagadas y almacenadas en bolsas plásticas con cierre hermético, correctamente rotuladas para su identificación en laboratorio. En cada punto de muestreo se registró la profundidad, coordenadas (grados decimales), característica del sustrato, fecha y hora. Además, se utilizó una cámara subacuática, que permitió observar con mayor detalle las macrofitas.

En laboratorio las macrofitas fueron lavadas en un tamiz de 1 mm de apertura malla para retirar el sedimento, la materia orgánica adherida y diferentes organismos. Para la identificación de las especies se utilizó un estereomicroscopio Meiji EMZ-8T, claves taxonómicas y descripciones aplicadas por DEJOUX y ILTIS (1991), CIRUJANO, MECO y CEZÓN (2011) y GARCÍA, FERNÁNDEZ y CIRUJANO (2009).

Fauna acompañante

El material biológico procedente del lavado de las macrofitas, fueron filtrados y almacenados en frascos de boca ancha. Este material, que se denominó fauna acompañante, fue conservado con alcohol al 5 %, procediendo a ser rotuladas y almacenadas para su posterior análisis en laboratorio. Además, las macrofitas en laboratorio fueron nuevamente lavadas, debido a que aún contenían material biológico, entre ellos especies de macroinvertebrados, por lo que fueron considerados dentro del análisis de fauna acompañante.

Para el reconocimiento taxonómico, se efectuó la misma metodología ya descrita, y para la identificación se utilizaron claves taxonómicas y descripciones, siguiendo a DEJOUX y ILTIS (1991) y DOMÍNGUEZ y FERNÁNDEZ (2009).

Muestreo y análisis fisicoquímico

Se registraron datos *in situ* como: Transparencia con un disco Secchi; temperatura, pH y con-

expeditions were conducted aboard the R/V IMARPE VIII in 2018 (June, November, and December) and 2019 (March, April, and August). Each expedition included the evaluation of 15 to 35 transects (Fig. 1), with samples collected at various depths (0.5, 5, 10, 15, 20, and 25 m) using custom-made sampling rakes. Depth measurements were obtained using an onboard echosounder. The collected samples were rinsed and stored in labeled, airtight plastic bags for subsequent laboratory analysis. Each sampling point was recorded with information on depth, coordinates (in decimal degrees), substrate characteristics, date, and time. In addition, an underwater camera was utilized to provide detailed observations of the macrophytes.

In the laboratory, the macrophytes were thoroughly rinsed using a 1 mm mesh sieve to remove sediment, attached organic matter, and other organisms. Species identification was conducted using a Meiji EMZ-8T stereomicroscope, along with taxonomic keys and descriptions referenced from ILTIS (1991), CIRUJANO, MECO, & CEZÓN (2011), and GARCÍA, FERNÁNDEZ & CIRUJANO (2009).

Accompanying fauna

The biological material obtained from washing the macrophytes was filtered and stored in wide-mouthed jars. This material, referred to as accompanying fauna, was preserved in 5% alcohol, labeled, and stored for subsequent laboratory analysis. Furthermore, the macrophytes were subjected to additional washing in the laboratory, as they still contained biological material, including macroinvertebrate species, which were considered in the analysis of accompanying fauna.

The taxonomic identification followed the previously described methodology, utilizing taxonomic keys and descriptions as outlined by DEJOUX y ILTIS (1991) and DOMÍNGUEZ & FERNÁNDEZ (2009).

Sampling and physicochemical analysis

In situ measurements were conducted, including Secchi disk readings for transparency; tempera-

ductividad eléctrica con un multiparámetro YSI Profesional Plus; Oxígeno disuelto con un oxímetro óptico Mettler Toledo. Así mismo, se colectó cuidadosamente muestras de agua para evitar la resuspensión del perifiton (WETZEL, 2001) con una botella Niskin a profundidades estándar (superficie, medio y fondo). Se registró medidas de penetración de la luz PAR ($\mu\text{Mol}/\text{m}^2/\text{s}$) mediante un sensor esférico LI-COR® y fluorescencia de clorofila-*a* activa ($\mu\text{g Chl-}a/\text{L}$) mediante un sensor óptico de fluorescencia. El perfilador multiparamétrico RBR-XXR 620 conjuntamente con el CTD CastAway fueron sumergidos con el fin de obtener perfiles verticales simultáneos.

Metodología de análisis en laboratorio

Se determinaron los fosfatos (por el método de ácido ascórbico) (IMARPE 2013A), nitratos (por reducción con cadmio) (IMARPE, 2013B), nitritos (por diazotación) (IMARPE, 2013C), silicatos (por el método de metol) (IMARPE, 2013D) y clorofila-*a* por extracción con acetona (APHA, 2005); para ello se usó un espectrofotómetro Spectrulab 20pc, los sólidos totales disueltos se determinaron por gravimetría (APHA, 2005).

Procesamiento de información

Para el procesamiento se utilizaron programas GIS (sistemas de información geográfica), tomando en consideración presencia y ausencia de las especies de macrofitas identificadas en los puntos de muestreo, se vectorizó polígonos del área de desarrollo de las macrofitas en el litoral del lago, para conocer la profundidad máxima a la que pueden llegar a ocupar y desarrollarse.

3. RESULTADOS

ZONA OJERANI –BARCO CHUCUITO – LUQUINA- KARINA

Se identificaron 7 especies de macrofitas (Tabla 1), las de mayor presencia fueron *Chara* sp., *Elodea potamogeton* y *Potamogeton strictus*. Así mismo, se identificaron 12 especies de fauna acompañante y ejemplares de *Orestias* en estadio inmaduro. Además, ovas procedentes de muestras de las macrofitas obtenidas en campo.

ture, pH, and electrical conductivity using a YSI Professional Plus multiparameter instrument, and dissolved oxygen levels measured with an optical oxygen meter (Mettler Toledo). Water samples were collected carefully using a Niskin bottle at standard depths (surface, middle, and bottom) to minimize periphyton resuspension (WETZEL, 2001). Measurements of photosynthetically active radiation (PAR) penetration ($\mu\text{Mol}/\text{m}^2/\text{s}$) were obtained using a LI-COR® spherical sensor, and active chlorophyll-*a* fluorescence ($\mu\text{g Chl-}a/\text{L}$) was assessed using an optical fluorescence sensor. Simultaneous vertical profiles were obtained using the RBR-XXR 620 multiparameter profiler and the CastAway-CTD device.

Laboratory analysis methodology

Phosphate concentrations were determined using the ascorbic acid method (IMARPE 2013A), nitrate concentrations were measured through cadmium reduction (IMARPE, 2013B), nitrite concentrations were assessed via diazotization (IMARPE, 2013C), silicate concentrations were determined using the metol method (IMARPE, 2013D), and chlorophyll-*a* was extracted with acetone (APHA, 2005). Analysis was conducted using a Spectrulab 20pc spectrophotometer, while total dissolved solids were quantified gravimetrically (APHA, 2005).

Information processing

The processing involved the use of GIS (Geographic Information Systems) software, which considered the presence and absence of identified macrophyte species at the sampling points. Polygons representing the extent of macrophyte distribution along the lake shoreline were vectorized, providing insights into their maximum depth range for colonization and growth.

3. RESULTS

OJERANI –BARCO CHUCUITO –LUQUINA- KARINA ZONE

A total of seven macrophyte species were identified (Table 1), with *Chara* sp., *Elodea potamogeton*, and *Potamogeton strictus* being the most prevalent. In addition, twelve accompanying fauna species were identified, along with immature *Orestias* specimens. Furthermore, eggs were found in macrophyte samples collected during fieldwork.

Las macrofitas se distribuyeron desde 4 m hasta 15 m para la zona sur de la bahía (frente a embarcadero Chucuito, Tacasaya y Parina) (Fig. 2A). No se tuvo acceso a profundidades menores a 4 m, por presencia de cabos de lastre e infraestructura abandonada.

ZONA PERCCA -CHARCAS

Se identificaron 7 especies de macrofitas (Tabla 1) y 1 cianobacteria perteneciente a la familia Nostocaceae. Mayor presencia mostraron las especies *Chara* sp., *Zannichellia palustris* y *Myriophyllum quitense*. También, se identificaron 22 especies de fauna acompañante y de necton como ovas y alevinos del género *Orestias*.

Se evaluó 184 estaciones, de las cuales solo en 62 se obtuvo muestras de macrofitas, estableciéndose que la vegetación acuática en las zonas evaluadas se extiende entre 20 y 23 metros de profundidad (Fig. 2B).

ZONA ACORA – ILAVE- PILCUYO

Se identificaron 7 especies de macrofitas (Tabla 1). Las especies más frecuentes fueron *Zannichellia palustris* y *Chara* sp. Además, se identificaron 21 especies de fauna acompañante y ovas de *Orestias*.

La distribución de las macrofitas sumergidas alcanzaron profundidades de hasta 21 m. La mayoría de las especies se encontraron entre 5 m y 10 m de profundidad, la especie con mayor presencia *Chara* sp. mostró alta distribución y frecuencia en los transectos evaluados (Fig. 2C).

The distribution of macrophytes ranged from 4 m to 15 m in the southern zone of the bay (Chucuito, Tacasaya, and Parina piers) (Fig. 2A). Access to depths shallower than 4 m was restricted due to the presence of ballast cables and abandoned infrastructure.

PERCCA -CHARCAS ZONE

A total of 7 macrophyte species (Table 1) and 1 cyanobacteria belonging to the family Nostocaceae were identified. Higher presences showed the species *Chara* sp., *Zannichellia palustris*, and *Myriophyllum quitense*. Furthermore, 22 accompanying fauna species and nektonic organisms, such as eggs and fry of the genus *Orestias*, were also identified.

We evaluated 184 stations, with macrophyte samples collected from only 62 stations. The study revealed that aquatic vegetation in the evaluated areas extends to depths ranging from 20 to 23 meters (Fig. 2B).

ACORA – ILAVE- PILCUYO ZONE

A total of seven macrophyte species were identified (Table 1). The most frequent species were *Zannichellia palustris* and *Chara* sp. Additionally, 21 accompanying fauna species were documented, along with the presence of *Orestias* eggs.

The submerged macrophytes exhibited a distribution ranging up to 21 m in depth. Most species were found between 5 and 10 m in depth, with *Chara* sp. showing a widespread distribution and high occurrence across the surveyed transects (Fig. 2C).

Tabla 1.- Especies identificadas en la zona litoral del lago Titicaca en el primer año de estudio, 2018

Table 1. Species identified in the littoral zone of Lake Titicaca in the first year of study (2018)

Especies/ Species	Bahía Puno	Churo - Platería	Acora Ilave- Pilcuyo
<i>Azolla filiculoides</i>			
<i>Myriophyllum quitense</i>	x	x	x
<i>Elodea potamogeton</i>	x	x	x
<i>Lemna gibba</i>		x	x
<i>Potamogeton strictus</i>	x	x	x
<i>Zannichellia palustris</i>	x	x	x
<i>Chara</i> sp.	x	x	x
<i>Chara globularis</i>			
<i>Isoetes lacustris</i>		X	
<i>Sciaromium</i> sp.	x		x
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	x		
<i>Ruppia maritima</i>			

ZONA JULI – POMATA-CUTURAPI - YUNGUYO

Se identificó 8 especies de macrofitas (Tabla 2), las más frecuentes fueron *Chara* sp., *Zannichellia palustris* y *Myriophyllum quitense*. Además, se registró una cianobacteria perteneciente a la familia Nostocaceae. Así mismo, se identificaron 28 especies de fauna acompañante y tres morfotipos pertenecientes al necton (ovas y alevinos).

Se evaluó 136 estaciones, y solo en 116 se obtuvo muestras de macrofitas, debido a que, en algunas estaciones, sobre todo mayores a 18 m de profundidad, la vegetación sumergida presentaba distribución muy dispersa (Fig. 2D) y/o pequeña, por tal motivo el rastrillo no logró efectuar la recolección, sin embargo, se realizó registros en videos con una cámara acuática (Fig. 3A).

ZONA TILALI-CONIMA-MOHO

Se identificó 7 especies de macrofitas (Tabla 2). Las macrofitas con mayor presencia fueron *Chara* sp., *Elodea potamogeton* y *Myriophyllum quitense*. Se identificaron 5 especies de fauna acompañante. *Taphius montanus* y *Littoridina* sp. tuvieron mayor distribución. Un caso particular de esta zona es que presentó menor presencia de fauna acompañante respecto al resto de zonas evaluadas, debido a que, probablemente la pendiente en esta parte del lago es más abrupta.

JULI – POMATA-CUTURAPI – YUNGUYO ZONE

Eight macrophyte species were identified (Table 2), with *Chara* sp., *Zannichellia palustris*, and *Myriophyllum quitense* being the most frequent. Additionally, a cyanobacteria belonging to the family Nostocaceae was recorded. Furthermore, 28 accompanying fauna species and three nekton morphotypes (eggs and fry) were identified.

A total of 136 stations were evaluated, with macrophyte samples obtained from 116 stations. In some stations, particularly those deeper than 18 m, the submerged vegetation exhibited a scattered (Fig. 2D) and/or small distribution, making it challenging to collect samples using a rake. Nonetheless, video recordings were made using an underwater camera to document these areas (Fig. 3A).

TILALI-CONIMA-MOHO ZONE

Seven macrophyte species were identified (Table 2). The dominant macrophytes observed were *Chara* sp., *Elodea potamogeton*, and *Myriophyllum quitense*. Five accompanying fauna species were also identified. *Taphius montanus* and *Littoridina* sp. exhibited a wider distribution. Notably, this particular zone showed a lower presence of accompanying fauna compared to other surveyed areas, possibly due to a steeper slope in this section of the lake.

Tabla 2.- Especies de macrofitas identificadas en la zona litoral del lago Titicaca en el segundo año de estudio, 2019

Table 2. Species identified in the littoral zona of Lake Titicaca in the first year of study (2019)

Especies	Juli - Pomata - Cuturapi - Yunguyo	Tilali - Conima- Moho	Vilquechico - Huancané - Taraco - Capachica
<i>Azolla filiculoides</i>		x	
<i>Myriophyllum quitense</i>	x	x	x
<i>Elodea potamogeton</i>	x	x	x
<i>Lemna gibba</i>	x		
<i>Potamogeton strictus</i>	x		x
<i>Zannichellia palustris</i>	x	x	x
<i>Chara</i> sp.	x	x	x
<i>Chara globularis</i>		x	x
<i>Isoetes lacustris</i>	x		
<i>Sciaromium</i> sp.		x	x
<i>Ranunculus trichophyllus</i>			
<i>Ruppia maritima</i>	x		x

Se evaluó 182 estaciones, se obtuvieron muestras de macrofitas en 108 estaciones. La información obtenida indica que frente a Tilali y Conima (Fig. 2E) las macrofitas sumergidas alcanzan 20 m de profundidad.

A total of 182 stations were assessed, with macrophyte samples collected from 108 stations. The data gathered indicates that submerged macrophytes extend to depths of up to 20 m off Tilali and Conima (Fig. 2E).

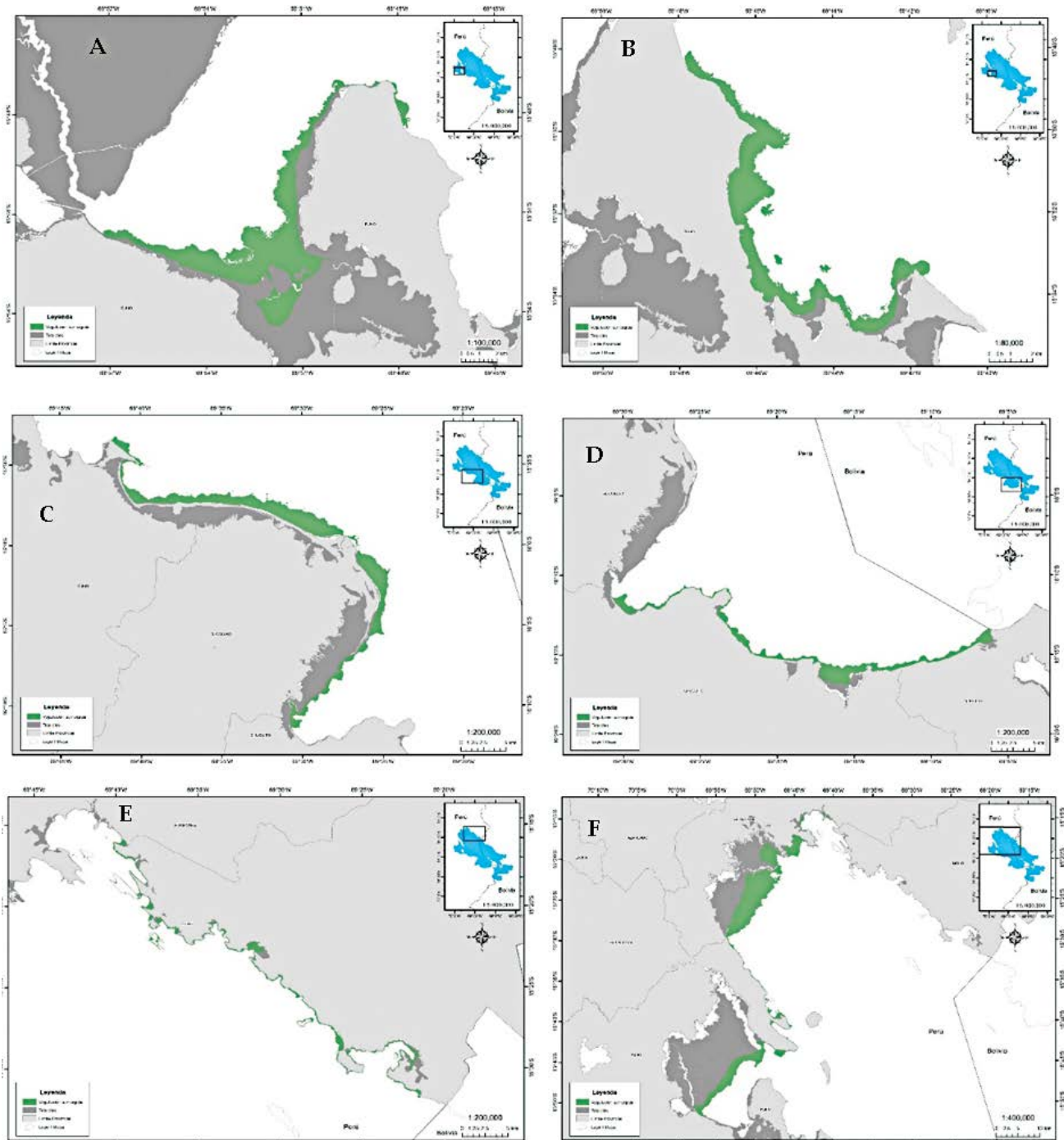


Figura 2.- Distribución de la vegetación sumergida en la zona litoral del lago Titicaca (2018-2019): A) Zona Bahía Puno; B) Zona Churo - Platería; C) Zona Acora-Ilave-Pilcuyo; D) Zona Juli, Pomata, Cuturapi, Yunguyo; E) Zona Tiali, Conima, Moho; F) Zona Vilquechico - Huancané - Taraco - Pusi - Capachica

Figure 2. Distribution of submerged vegetation in the littoral zone of Lake Titicaca (2018-2019): A) Puno Bay Zone; B) Churo - Platería Zone; C) Acora-Ilave-Pilcuyo Zone; D) Juli, Pomata, Cuturapi, Yunguyo Zone; E) Tiali, Conima, Moho Zone; F) Vilquechico - Huancané - Taraco - Pusi - Capachica Zone

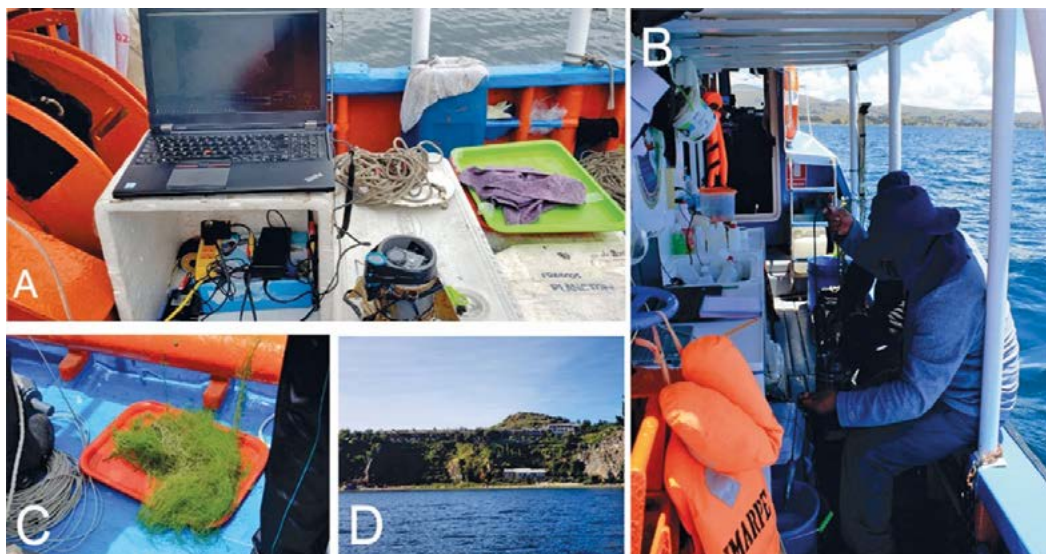


Figura 3.- A) Equipo utilizado para registro y captura de video de las macrofitas sumergidas; B) Personal de IMARPE, tomando datos de parámetros fisicoquímicos; C) Muestra de macrofita sumergida obtenida por el rastrillo; D) Frente a la isla Suasi, Moho 2019

Figure 3. A) Equipment used to record and capture video of submerged macrophytes; B) IMARPE staff, taking data on physicochemical parameters; C) Sample of submerged macrophytes obtained by the rake; D) Off Suasi Island, Moho 2019

ZONA VILQUECHICO–HUANCANE–TARACO-CAPACHICA

Se identificaron 8 especies de macrofitas (Tabla 2). Las especies más representativas fueron *Chara* sp., *Ruppia maritima*, *Zannichellia palustris* y *Myriophyllum quitense*. Además, se identificaron 18 especies de fauna acompañante y tres morfotipos pertenecientes al necton (ovas y alevinos).

Se evaluó 204 estaciones, solo en 151 se obtuvo macrofitas. Para la zona de Vilquechico, Huancané, Ramis, Capachica y Bahía de Puno (Fig. 2F) se resalta que la vegetación sumergida presenta una distribución más amplia, ocupando mayores distancias a la línea de costa, debido a que la pendiente batimétrica es más suave, sobre todo frente a Pusi y Taraco alcanzando profundidades de hasta 21 m.

4. DISCUSIÓN

Análisis espacial de macrofitas sumergidas al norte y sur del lago

Para este análisis se tomaron en cuenta 2 zonas en específico, zona norte conformada por Tilali, Conima, Moho, Vilquechico, Huancané, Ramis, Capachica y zona sur conformada por Platería, Acora, Ilave, Pilcuyo, Juli, Pomata, Cuturapi y Yunguyo.

VILQUECHICO–HUANCANE–TARACO-CAPACHICA ZONE

Eight macrophyte species were identified (Table 2). The prominent species included *Chara* sp., *Ruppia maritima*, *Zannichellia palustris*, and *Myriophyllum quitense*. In addition, 18 accompanying fauna species and three morphotypes belonging to the nekton (eggs and juveniles) were identified.

A total of 204 stations were evaluated, and macrophytes were obtained from 151 stations. Notably, the Vilquechico, Huancané, Ramis, Capachica, and Puno Bay zones (Fig. 2F) exhibited a wider distribution of submerged vegetation, extending further from the littoral. This is attributed to a gentler bathymetric slope, particularly in the areas of Pusi and Taraco, where depths of up to 21 m were recorded.

4. DISCUSSION

Spatial analysis of submerged macrophytes north and south of the lake

For the purpose of this analysis, two distinct zones were considered: the northern zone comprising Tilali, Conima, Moho, Vilquechico, Huancané, Ramis, and Capachica, and the southern zone comprising Platería, Acora, Ilave, Pilcuyo, Juli, Pomata, Cuturapi, and Yunguyo.

En la zona norte se identificaron 10 especies de macrofitas y 20 de fauna acompañante (macroinvertebrados). Las macrofitas mostraron amplia distribución en el gradiente batimétrico, alcanzando profundidades hasta de 20 m (Fig. 4). Las especies más frecuentes fueron: *Chara* sp. que se registró con mayor presencia en las localidades de Capachica, Conima, Huancané, Moho, Pusi y Tilali; *Azolla* sp. fue hallada frente a las localidades de Conima y Moho. DEJOUX y ILLIS (1991) menciona que las Characeas prefieren orillas anegables y las playas de arena como medio idóneo para su desarrollo, así mismo algunas prefieren las facies órgano-detriticas carbonatadas que mayormente eran encontradas en el lago menor entre 10 y 20 m de profundidad y, otras en las facies carbonatadas del lago mayor. Este grupo de Characeas son consideradas fijadores del calcio (BOULANGE & AQUIZE, 1981) y dominantes en dos regiones del lago Titicaca (bahía de Puno y al oeste de Huiñaimarca), donde la concentración de sal es un tanto elevada (ALLEN, 1940), esto explicaría la tendencia de este grupo para ocupar espacios muy profundos.

Las Characeas fueron las que mayor distribución y frecuencia presentaron a lo largo del gradiente batimétrico (20 m); las especies *Myriophyllum quitense* y *Elodea potamogeton* fueron registradas entre 2 y 15 m de profundidad; mientras que *Ruppia maritima*, *Potamogeton strictus*, *Sciaromiun* sp., solo alcanzaron hasta 7 m de profundidad.

Cabe resaltar que los fondos cubiertos por *Chara* sp. se distribuían de 1,5 a 20 m de profundidad, encontrándose con mayor frecuencia entre 6 y 15 m que, según DEJOUX y ILLIS (1991) es donde se encuentra uno de los biotopos más representativos y diversificados del lago.

Por otro lado, la fauna acompañante representada por los géneros *Hyalella*, *Littoridina* y *Taphius*, tuvo como preferencia áreas con mucha vegetación que generalmente se encontraban entre 2 y 15 m de profundidad, donde la temperatura varió de 12,7 a 14,9 °C, el pH fue 8,5 y, el promedio del oxígeno disuelto (OD) osciló entre 6,39 y 6,38 mg/L (Tabla 3), según DEJOUX y ILLIS (1991) en los estudios realizados en el lago menor indican que los macroinvertebrados que presentan mayor distribución son los anfípodos (*Hyalella* sp.),

In the northern zone, a total of 10 macrophyte species and 20 accompanying fauna species (macroinvertebrates) were identified. The macrophytes were widely distributed along the bathymetric gradient, with depths reaching up to 20 m (Fig. 4). Among the most frequent species, *Chara* sp. showed higher presence in the localities of Capachica, Conima, Huancané, Moho, Pusi, and Tilali, while *Azolla* sp. was found off the Conima and Moho localities. According to DEJOUX & ILLIS (1991) Characeae species prefer marshy shores and sandy beaches as their optimal habitat for growth, with some species favoring organo-detrital carbonate facies predominantly found in the Lake Titicaca's shallow sub-basin at depths between 10 and 20 m, while others thrive in the carbonate facies of its deep main basin. These Characeae species are known to be calcium fixers (BOULANGE & AQUIZE, 1981) and dominate in two regions of Lake Titicaca, namely Puno Bay and the western region of Huiñaimarca, where salinity levels are relatively high (ALLEN, 1940). This observation provides insight into the preference of this group for occupying deeper aquatic habitats.

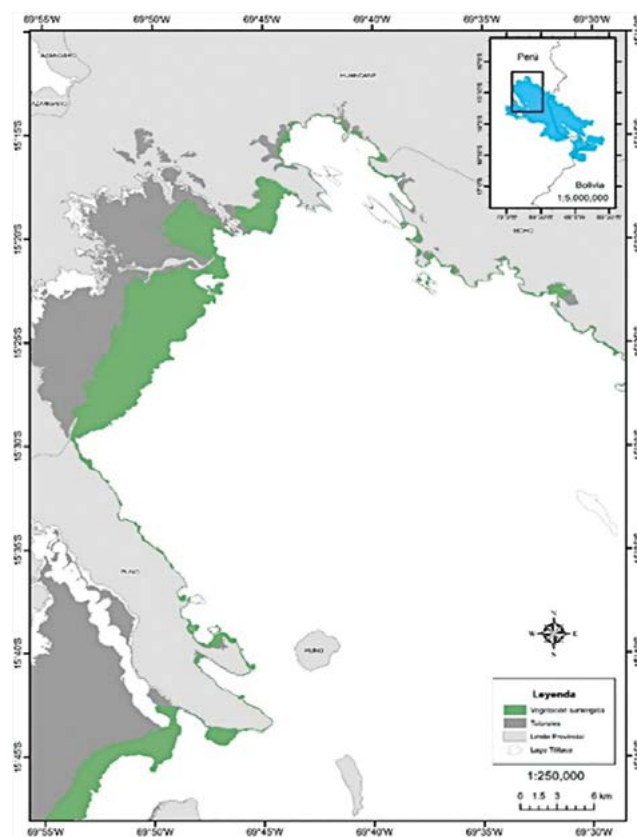


Figura 4.- Distribución espacial de las macrofitas sumergidas en la zona norte del lago Titicaca, 2019

Figure 4. Spatial distribution of submerged macrophytes in the northern part of Lake Titicaca (2019)

que generalmente se encuentran desde 0,5 m de profundidad hasta fondos poco profundos, donde comparten espacios con los oligoquetos, los Chironomidos y ciertos moluscos (*Littoridina* sp.) que no son muy exigentes en cuanto al oxígeno (Tabla 3).

En la zona sur, que comprende las localidades de Platería, Acora, Ilave, Juli, Pomata, Cuturapi y Yunguyo, se identificaron 13 especies de macrofitas y 41 de fauna acompañante, las macrofitas se distribuyeron hasta 23 m de profundidad, alcanzando la profundidad máxima de toda el área evaluada. La especie que alcanzó un rango máximo de distribución fue *Chara* sp.; otras especies como *Zannichellia palustris* y *Elodea potamogeton*, alcanzaron hasta 19-20 m de profundidad (Fig. 5). COLLOT, KORIYAMA y GARCÍA (1983) consideran a las Characeas como el grupo vegetal que más abunda en el Lago Titicaca, puesto que presentan gran distribución. Esto es corroborado por el presente estudio ya que registros de videos captan la extensión de esta vegetación (*Chara* sp.), si bien es cierto no se puede

The Characeae species demonstrated the highest distribution and frequency along the bathymetric gradient (20 m). *Myriophyllum quitense* and *Elodea potamogeton* were recorded between depths of 2 and 15 m, whereas *Ruppia maritima*, *Potamogeton strictus*, and *Sciaromiun* sp. were limited to depths of up to 7 m.

It is noteworthy that the substrates covered by *Chara* sp. extended from 1.5 to 20 m in depth, with a greater frequency observed between 6 and 15 m, which, as stated by DEJOUX & ILTIS (1991), represents one of the most distinctive and diverse biotopes in the lake.

On the other hand, the associated fauna, represented by the genera *Hyaella*, *Littoridina*, and *Taphius*, displayed a preference for areas rich in vegetation, predominantly situated between 2 and 15 m in depth. In these areas, the temperature ranged from 12.7 to 14.9 °C, the pH measured 8.5, and the average dissolved oxygen (DO) levels varied between 6.39 and 6.38 mg/L (Table 3). According to DEJOUX & ILTIS (1991), previous investigations on the Lake Titicaca's shallow sub-basin indicate that the macroinvertebrates exhibiting the widest distribution are amphipods (*Hyaella* sp.), commonly found from depths of 0.5 m to shallow bottoms. They coexist with oligochaetes, chironomids, and certain mollusks (*Littoridina* sp.) that display lower oxygen requirements (Table 3).

In the southern zone, comprising Platería, Acora, Ilave, Juli, Pomata, Cuturapi, and Yunguyo, a total of 13 macrophyte species and 41 accompanying fauna species were identified. The macrophytes exhibited a distribution range of up to 23 m in depth, reaching the maximum depth recorded in the study area. *Chara* sp. showed the broadest distribution, while *Zannichellia palustris* and *Elodea potamogeton* reached depths of 19-20 m (Fig. 5). Previous research by COLLOT, KORIYAMA & GARCÍA (1983) highlights Characeae as the most abundant plant group in Lake Titicaca, supporting their extensive distribution. Our study's video recordings visually captured the extent of *Chara* sp. vegetation, although specific abundance estimation was not feasible

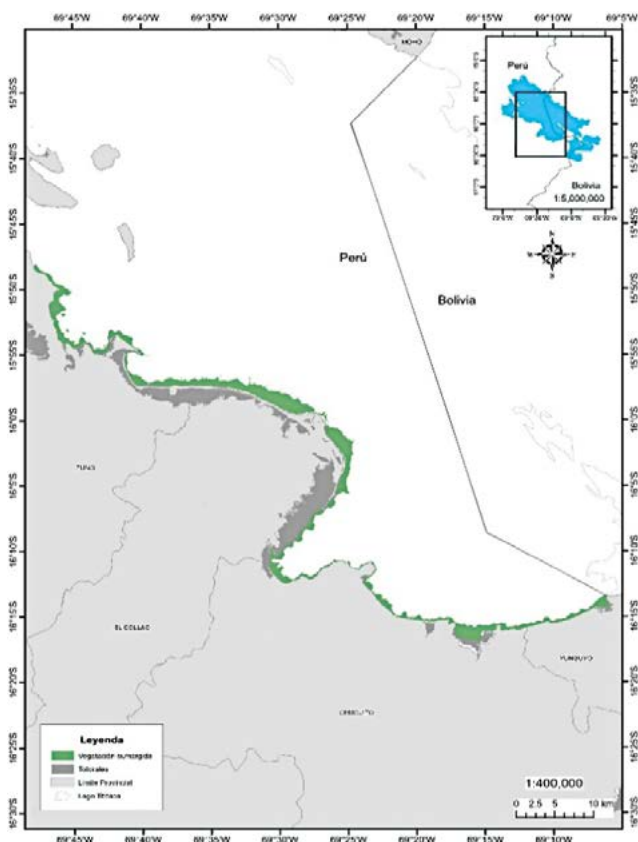


Figura 5.- Distribución de macrofitas sumergidas en la zona sur del lago Titicaca, 2019

Figure 5. Distribution of submerged macrophytes in the southern area of Lake Titicaca (2019)

Tabla 3.- Estadístico de la distribución superficial de parámetros fisicoquímicos (T: Temperatura, CE: Conductividad eléctrica, pH: Potencial de hidrogeno, OD: Oxígeno disuelto, SAT: Saturación de oxígeno, PO4: Fosfato, SiO2: Silicato, NO2: Nitrito, NO3, Nitrato, Chl-a: Clorofila-a, SST: Solidos suspendidos totales), Isobata <5 m. Zona Norte (Litoral Tilali – Llachón). Lago Titicaca (Lago Mayor). 2019

Table 3. Statistics of surface distribution of physicochemical parameters (T: Temperature, CE: Electrical conductivity, pH: Hydrogen potential, OD: Dissolved oxygen, SAT: Oxygen saturation, PO4: Phosphate, SiO2: Silicate, NO2: Nitrite, NO3: Nitrate, Chl-a: Chlorophyll-a, SST: Total suspended solids), Isobath <5 m. Northern Zone (Tilali - Llachón Littoral). Lake Titicaca's main basin (2019)

ZONA MUESTREO	FECHA MUESTREO	ESTACIÓN MUESTREO	MEDIDAS DE TENDENCIA Y DISPERSIÓN	T (°C)	CE (µS/cm)	pH	OD (mg/L)	SAT (%)	PO4 (mg/L)	SiO2 (mg/L)	NO2 (mg/L)	NO3 (mg/L)	Chl-a (mg/m³)	SST (mg/l)
LITORAL			N° muestras	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
TILALI-VILQUECHICO (LAGO MAYOR)	Mayo 2019	20	Media	14,90	1493,10	8,53	6,39	100,33	0,067	0,653	0,011	0,037	0,83	3,59
			Desv. Estandar	0,39	10,35	0,09	0,19	3,51	0,052	0,100	0,006	0,023	0,47	4,23
			Coef.Variabilidad	2,62	0,69	1,10	2,99	3,50	77,31	15,24	56,55	62,25	55,97	118,01
LITORAL			N° muestras	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
VILQUECHICO-LLACHON (LAGO MAYOR)	Agosto 2019	15	Media	12,74	1524,40	8,55	6,68	99,41	0,080	0,422	0,018	0,033	0,60	14,53
			Desv. Estandar	0,65	51,66	0,08	0,46	5,96	0,054	0,120	0,025	0,020	0,33	5,70
			Coef.Variabilidad	5,13	3,39	0,99	6,91	6,00	67,79	28,46	135,26	61,83	54,14	39,25
LITORAL			Media	13,82	1508,75	8,54	6,54	99,87	0,074	0,538	0,014	0,035	0,72	9,06
ZONA NORTE (LAGO TITICACA)	Isóbata <5m		Desv. Estandar	0,52	31,01	0,09	0,33	4,74	0,053	0,110	0,015	0,022	0,40	4,97
			Coef.Variabilidad	3,88	2,04	1,04	4,95	4,75	72,55	21,85	95,90	62,04	55,06	78,63

calcular la abundancia específica debido a que el estudio se basó principalmente en la presencia de macrofitas sumergidas, estudios realizados por TUTIN (1940), ALLEN (1940) y COLLOT, KORIYAMA Y GARCÍA (1983) dieron a conocer que las superficies ocupadas por Characeas fueron de 436 km² en el lago menor, o sea más del 60 % estaba ocupada por este grupo de especies.

Las macrofitas identificadas podrían definirse o clasificarse de acuerdo a la batimetría y el alejamiento con relación a la costa, debido a que en la zona sur no existe un cambio brusco en la batimetría. En ese sentido, las especies que se encontraron entre 1,5 y 5 m de profundidad conformarían la primera asociación como son *Myriophyllum quitense*, *Elodea potamogeton*, *Zannichellia palustris* y *Potamogeton strictus* que se registraron con mayor frecuencia en profundidades de 1 a 3 m. DEJOUX Y ILTIS (1991) mencionan que *Myriophyllum* sp. y *Elodea* sp. presentan un desarrollo idóneo a profundidades de 1 a 2 m. Por otro lado, las especies de fauna que se registraron para esta primera asociación fueron: *Taphius montanus* y *Littoridina* sp. así como insectos del género *Aeschna* y Anfípodos, también se encontraron ovas de Ispi, donde la temperatura, oxígeno disuelto y pH oscilaron entre 15,1 y 15,6 °C; 6,56 - 6,85 mg/L y 8,47, respectivamente (Tabla 4), cumpliendo con los requisitos idóneos para su desarrollo (PROYECTO BOL, 2002).

as the focus was primarily on submerged macrophyte presence. Studies conducted by TUTIN (1940), ALLEN (1940), and COLLOT, KORIYAMA & GARCÍA (1983) reported that Characeae occupied an area of 436 km² in the Lake Titicaca's shallow sub-basin, accounting for over 60% of the total area occupied by this species group.

The identified macrophytes can be characterized and classified based on bathymetry and distance from the shoreline, as the southern zone lacks abrupt changes in bathymetry. Thus, the species found between 1.5 and 5 m in depth form the first assemblage, including *Myriophyllum quitense*, *Elodea potamogeton*, *Zannichellia palustris*, and *Potamogeton strictus*, which were most frequently observed at depths of 1 to 3 m. According to DEJOUX & ILTIS (1991), *Myriophyllum* sp. and *Elodea* sp. thrive optimally at depths of 1 to 2 m. In terms of fauna, the first assemblage comprises *Taphius montanus* and *Littoridina* sp., *Aeschna* insects, and amphipods, along with the presence of Ispi eggs. The recorded temperature, dissolved oxygen, and pH ranged between 15.1 and 15.6 °C, 6.56 to 6.85 mg/L, and 8.47, respectively (Table 4), meeting the suitable requirements for their development (PROYECTO BOL, 2002).

Tabla 4.- Estadístico de la distribución superficial de parámetros fisicoquímicos (T: Temperatura, CE: Conductividad eléctrica, pH: Potencial de hidrogeno, OD: Oxígeno disuelto, SAT: Saturación de oxígeno, PO4: Fosfato, SiO2: Silicato, NO2: Nitrito, NO3, Nitrato, Chl-a: Clorofila-a, SST: Solidos suspendidos totales), isobata <5 m. Zona Sur (Litoral Carina - Yunguyo). Lago Titicaca (Lago Mayor). 2018-2019

Table 4. Statistics of surface distribution of physicochemical parameters (T: Temperature, CE: Electrical conductivity, pH: Hydrogen potential, OD: Dissolved oxygen, SAT: Oxygen saturation, PO4: Phosphate, SiO2: Silicate, NO2: Nitrite, NO3: Nitrate, Chl-a: Chlorophyll-a, SST: Total suspended solids), Isobath <5 m. Southern Zone (Carina – Yunguyo littoral). Lake Titicaca's main basin (2018-2019)

ZONA MUESTREO	FECHA MUESTREO	ESTACIÓN MUESTREO	MEDIDAS DE TENDENCIA Y DISPERSIÓN	T (t)	CE (µS/cm)	pH (mg/L)	OD (%)	SAT (mg/L)	PO4 (µSm/cm)	SiO2 (mg/L)	NO2 (mg/L)	NO3 (mg/L)	Chl-a (mg/m³)	SST (mg/L)
LITORAL			Nº muestras	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
CARINA-VILLA SOCCA (LAGO MAYOR)	Noviembre 2018	12	Media	15,68	1511,08	8,44	6,56	104,60	0,109	0,499	0,010	0,066	0,73	2,57
			Desv. Estandar	0,72	1,93	0,03	0,38	6,48	0,025	0,015	0,003	0,074	0,24	5,11
			Coef. Variabilidad	4,58	0,13	0,38	5,82	6,19	23,27	3,01	25,95	111,86	32,17	198,65
LITORAL			Nº muestras	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
VILLA SOCCA-JULI (LAGO MAYOR)	Diciembre 2018	15	Media	15,18	1513,75	8,34	6,70	105,81	0,119	0,577	0,005	0,021	0,75	1,40
			Desv. Estandar	1,74	6,05	0,06	0,46	9,51	0,093	0,115	0,002	0,037	0,40	0,67
			Coef. Variabilidad	11,49	0,40	0,66	6,89	8,99	78,30	19,93	30,45	178,41	53,29	47,60
LITORAL			Nº muestras	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
JULI-YUNGUYO (LAGO MAYOR)	Marzo 2018	17	Media	16,33	1509,06	8,64	6,85	110,46	0,057	1,062	0,004	0,069	0,89	21,41
			Desv. Estandar	0,41	16,68	0,09	0,79	13,18	0,032	0,506	0,003	0,065	0,48	9,60
			Coef. Variabilidad	2,54	1,11	1,09	11,55	11,93	56,12	47,66	82,88	94,58	54,17	44,83
LITORAL			Media	15,73	1511,30	8,47	6,71	106,96	0,095	0,713	0,006	0,052	0,79	8,46
ZONA SUR (LAGO TITICACA)	Isóbata <5m		Desv. Estandar	0,96	8,22	0,06	0,55	9,72	0,050	0,212	0,003	0,059	0,37	5,12
			Coef. Variabilidad	6,20	0,54	0,71	8,09	9,04	52,56	23,53	46,43	128,28	46,55	97,03

La segunda asociación estaría conformada por especies que se desarrollan entre los 4 y 8 m como son *Chara sp.*, *Zannichellia sp.* y *Myriophyllum sp.*, en este rango de profundidades se registra con mayor frecuencia a las Characeas que por excelencia tienden a dominar y distribuirse con suma facilidad en profundidades que son más adversas para otro grupo de especies, encontrando las profundidades entre 4,5 y 7,5 m como zonas de desarrollo máximo (ILTIS & MOURGUIAT, 1991). Por otro lado, los moluscos se registraron con mayor frecuencia en comparación a los Anfípodos y Quironómidos, debido a que en estas profundidades encuentran mayores facultades para su desarrollo (DEJOUX & ILTIS, 1991).

La tercera asociación se da a partir de 10 m en adelante, donde la frecuencia de la especie *Chara sp.* fue de 95 %. Así también especies como *Potamogeton sp.* y *Myriophyllum sp.* eran registradas, pero con baja presencia, sin embargo, es muy raro encontrar otro tipo de especies desarrollarse en esas profundidades, se sabe que *Potamogeton sp.* no llegaba a florecer nunca y en el lago menor se reproducía vegetativamente a esta profundidad (DEJOUX & ILTIS, 1991). Según COLLOT, KORIYAMA y GARCÍA (1983) podría estar ocurriendo lo que se conoce como sucesión de las poblaciones vegetales que empezaría desde la costa hacia el centro

The second assemblage would consist of species that thrive in the depth range of 4 to 8 m, including *Chara sp.*, *Zannichellia sp.*, and *Myriophyllum sp.* Characeae, in particular, are frequently dominant and distributed in depths that pose challenges for other species, with depths between 4.5 and 7.5 m being their prime developmental zones (ILTIS & MOURGUIAT, 1991). Mollusks were more prevalent compared to amphipods and chironomids, as these depths offer more favorable conditions for their occurrence (DEJOUX & ILTIS, 1991).

The third assemblage is observed from 10 m onwards, with *Chara sp.* being the dominant species, accounting for 95% of the frequency. Other species such as *Potamogeton sp.* and *Myriophyllum sp.* were also present but with lower abundance. Notably, it is uncommon to find other species thriving at these depths. In the Lake Titicaca's shallow sub-basin, *Potamogeton sp.* was unable to reach the flowering stage and reproduced vegetatively at this depth (DEJOUX & ILTIS, 1991). This pattern suggests a potential succession of plant populations from the lake's shoreline towards its center, facilitated by the gentle slope that allows species to colonize and adapt to new areas based on their ecological requirements (COLLOT, KORIYAMA & GARCÍA, 1983).

del lago Titicaca, esto debido a que siempre se observa una pequeña pendiente, por lo que las especies estarían colonizando y adaptándose a nuevas áreas de acorde a sus necesidades.

En esta investigación podemos mencionar que las asociaciones de vegetación cambian de acuerdo a la pendiente batimétrica y debido a las condiciones fisicoquímicas que se presentan en el lago Titicaca, los registros obtenidos con la cámara

It is noteworthy that in our research these vegetation assemblages vary based on the bathymetric slope and the physicochemical conditions observed in Lake Titicaca. The data obtained from the underwater camera facilitated the construction of a graph that provides a clearer understanding of the assemblages among submerged macrophytes in relation to depth, including the maximum limits reached in each assessment zone (Fig. 6).

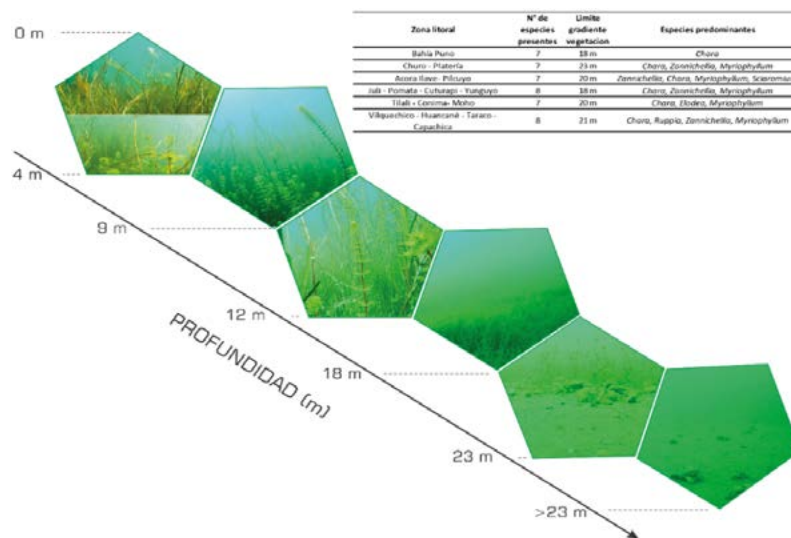


Figura 6.- Gradiente de vegetación acuática obtenida a partir de información del fondo subacuático registrada con cámara fotográfica acuática. 2018-2019

Figure 6. Gradient of aquatic vegetation obtained from underwater bottom information recorded with aquatic camera (2018-2019)

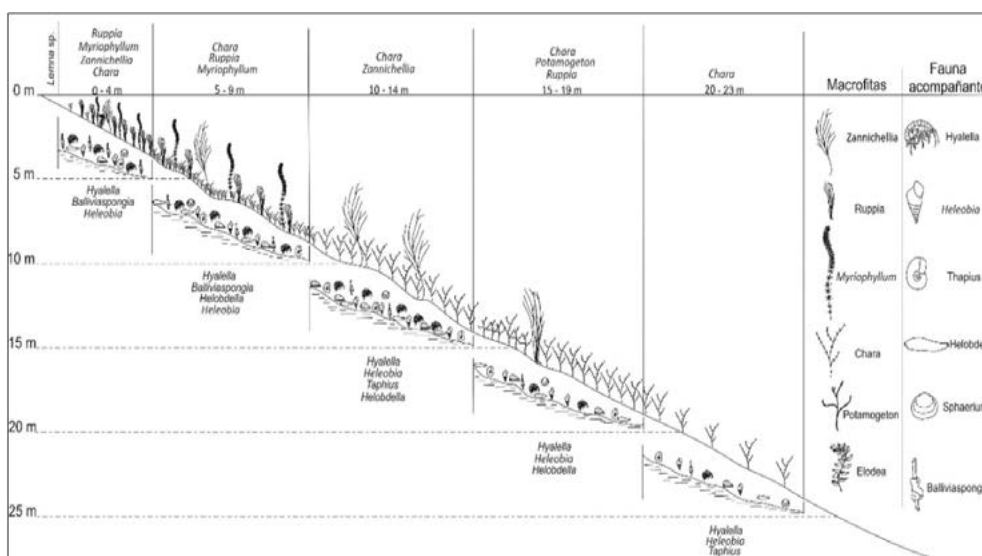


Figura 7.- Gradiente de vegetación subacuática y fauna acompañante obtenida de análisis de muestras realizadas en la salida de prospección, 2018 -2019

Figure 7. Gradient of underwater vegetation and accompanying fauna obtained from analysis of samples taken on the survey trip (2018 -2019)

subacuática permitieron realizar un gráfico que explicaría mejor las asociaciones que se dan en el grupo de macrofitas sumergidas respecto a la profundidad, además del límite máximo alcanzado en cada zona de evaluación (Fig. 6).

En el siguiente gráfico se puede observar un resumen de la distribución de los diferentes tipos de macrofitas y la fauna acompañante con respecto a la profundidad (Fig. 7), cabe aclarar que la imagen realizada es en base a la presencia de especies registradas y evaluadas en todo el tramo litoral del lago Titicaca en ciertos meses del año, no da cuenta de la evolución natural de las poblaciones vegetales que pueden cambiar como consecuencia de las variaciones plurianuales del nivel del agua. En tal sentido, se puede apreciar que una especie en particular (*Chara* sp.) está presente en cada rango de las profundidades evaluadas. COLLOT, KORIYAMA y GARCÍA (1983) y DEJOUX y ILLIS (1991) mencionan que la especie *Chara* sp. en los ecosistemas lacustres de la cuenca del Titicaca es importante, debido a que es uno de las más abundantes en biomasa en el lago y netamente las más productivas, capaces de invadir superficies vacías dejadas por la explotación de las totoras y capaces de adaptarse a niveles de salinidad muy elevados.

5. CONCLUSIONES

Se ha determinado la existencia de una gradiente de vegetación acuática, que, de acuerdo a la profundidad forman asociaciones con especies de macroinvertebrados. Las asociaciones de macrofitas están consideradas como hábitats idóneos para depósito de ovas, desarrollo de primeros estadios y alimento de peces nativos, debido a que estas asociaciones brindan refugio ante posibles depredadores y albergan organismos que sirven de alimento en cada etapa de desarrollo.

La gradiente de la vegetación acuática se encontró entre 18 y 23 m y la extensión probablemente se deba a la geología y a las condiciones ecológicas del medio. Se encontraron 14 especies de macrofitas que estuvieron alternadamente distribuidas en número de 7 y 8 por tramo litoral. Cada especie tiene una profundidad o fondo batimétrico para su desarrollo, de manera similar a como la asociación de macrofitas cambia con la profundidad.

The following graph provides an overview of the distribution of different types of macrophytes and accompanying fauna in relation to depth (Fig. 7). It should be noted that the image represents the presence of recorded and evaluated species along the entire shoreline of Lake Titicaca during specific months of the year, without accounting for the natural population dynamics influenced by multi-year water level variations. Nevertheless, it is evident that a particular species, *Chara* sp., occurs across all depth ranges. Previous studies by COLLOT, KORIYAMA & GARCÍA (1983) and DEJOUX & ILLIS (1991) emphasize the importance of *Chara* sp. in the lacustrine ecosystems of the Titicaca basin. It is known to be highly abundant in biomass and exhibits exceptional productivity. Moreover, it demonstrates the capacity to colonize vacant areas resulting from the exploitation of totora reeds, while also adapting to high levels of salinity.

5. CONCLUSIONS

A gradient of aquatic vegetation has been identified, which forms assemblages with macroinvertebrate species based on depth. These macrophyte assemblages are recognized as ideal habitats for egg deposition, early-stage development, and food sources for native fish. By providing shelter from potential predators and hosting organisms that serve as nourishment throughout various developmental stages, these assemblages play a crucial role in the ecosystem.

The gradient of aquatic vegetation ranged from 18 to 23 m, and its extent is likely influenced by the geology and ecological conditions of the environment. A total of 14 macrophyte species were identified, with an alternating distribution of 7 to 8 species per littoral segment. Each species exhibited a specific depth or bathymetric preference for its development, mirroring the changes in macrophyte assemblages along the depth gradient.

The northern and southern zones exhibit a significant overlap in macrophyte species, indicating a homogeneous distribution of

La zona norte y sur comparten gran mayoría de especies de macrofitas, indicando la distribución uniforme de la fauna acompañante, sin embargo, existe diferencias en ciertos puntos debido a la geomorfología que presentan las costas y fisiografías muy diferentes, en la que se ubican bahías (semicerradas y abiertas), penínsulas, zonas de playa, etc. que están moldeados por la acción del viento, el oleaje y la interacción del continente que conforma la cuenca. Esto hace que las especies, por ejemplo: en zonas rocosas cambien completamente su distribución, así como la composición de organismos a diferencia de una zona de playa cerrada, dato interesante que en cada lugar se forman biotopos únicos para cada fin en común (áreas para desove, refugios, alimentación, etc.).

Recomendaciones

El presente estudio demuestra que la vegetación sumergida en el lago Titicaca alcanza profundidades de hasta 23 m, y es importante debido a que ofrece servicios ecosistémicos para especies nativas además de ser considerado como la zona más productiva de los lagos por lo que es necesario protegerla, en tal sentido se recomienda que todo el cinturón de vegetación sumergida hasta 23 m se declare como área excluida para la acuicultura.

Agradecimientos

† Esta investigación se inició, se ejecutó y se redactó con el Físico **José Melisades Pasapera García** quien laboró en el Laboratorio Continental de Puno del Instituto del Mar del Perú y con profundo sentimiento de pesar rinde su reconocimiento póstumo al que en vida fue investigador del área de Limnología, su excepcional y polifacética personalidad destaca con elevados principios éticos y morales, con sencillez propia de palabra serena gentil y oportuna propio de su elevada calidad humana y su soberanía de gentil hombre que conquistó el aprecio de todos los que hemos tenido la oportunidad de contar con su amistad. Con mucha justicia y merecimiento que le rinde el área de Limnología del Laboratorio Continental de Puno – IMARPE.

associated fauna. However, variations occur in specific locations due to distinct coastal geomorphology and diverse physiographic characteristics, encompassing semiclosed and open bays, peninsulas, and beach zones. These landforms are influenced by wind, wave action, and continental interactions shaping the basin. Consequently, species distribution and organism composition differ substantially between rocky areas and enclosed beaches. Notably, each locality harbors unique biotopes tailored for specific functions such as spawning grounds, refuges, and feeding areas.

Recommendations

The findings of this study reveal that submerged vegetation in Lake Titicaca extends to depths of up to 23 m. This vegetation plays a key role in providing ecosystem services to native species and is recognized as the most productive area within the lake. Therefore, it is imperative to protect this vital habitat. As a recommendation, designating the entire submerged vegetation belt up to 23 m as an exclusion zone for aquaculture activities is highly advised.

Acknowledgments

† This research was undertaken, carried out, and documented in collaboration with Physicist **José Melisades Pasapera García** who worked at the IMARPE's Continental Laboratory of Puno. With profound sadness, we posthumously acknowledge his significant contributions as a Limnology researcher. His remarkable and multifaceted personality was marked by high ethical and moral principles, coupled with a gentle and timely eloquence that exemplified his exceptional humanity and distinguished character. He earned the admiration and respect of all those fortunate enough to have enjoyed his friendship. The Limnology department of the Continental Laboratory of Puno - IMARPE pays just and deserving tribute to his memory.

6. REFERENCIAS

- ALLEN, G. O. (1940). – 9. Charophyta, En H. C. Gilson (Ed.), *The Percy Sladen Trust Expedition to Lake Titicaca in 1937* (pp. 155-160). Trans. Limn. Soc. London ser.
- APHA. (2005). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. (17° ed.). Editores Díaz de Santos S.A.
- BOULANGE, B. y AQUIZE, E. (1981). Morphologie, hydrographic et climatologic dy lac Titicaca et son bassin versant. *Rev. Hydrobiol. Trop.*, 14(4), 269-287. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/cahiers/hydrob-trop/01812.pdf
- CIRUJANO, S., MECO, A. & CEZÓN, K. (2011). Flora acuática: Macrofitos [Diapositiva de PowerPoint]. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/agua/formacion/06-Macrofitos-Santos%20Cirujano_tcm30-175307.pdf
- COLLOT, D., KORIYAMA, F. & GARCÍA, E. (1983). Répartitions, biomasses et productions des macrophytes du lac Titicaca. *Revue d'Hydrobiologie Tropicale*, 16(3), 241–261. http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/cahiers/hydrob-trop/15484.pdf
- DEJOUX, C. & ILLIS, A. (1991). *El lago Titicaca: Síntesis del conocimiento limnológico actual*. ORSTOM, HISBOL. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers08-10/36603.pdf
- DOMÍNGUEZ, E. & FERNÁNDEZ, H. (Eds.). (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo.
- GALLEGO, D. B. (2015). Caracterización de las macrofitas del humedal Meandro del Say como insumo de las herramientas de conservación [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniera Ambiental]. Universidad Santo Tomas. Facultad de Ingeniería Ambiental. <https://hdl.handle.net/11634/2543>
- GARCÍA, P., FERNÁNDEZ, R. & CIRUJANO, S. (2009). *Habitantes del agua - Macrófitos (N° 2)*. Agencia Andaluza del Agua. http://www.jolube.es/pdf/libro_macrofitos_andalucia_2010.pdf
- ILLIS, A. & MOURGUIAT, P. (1991). Repartición y biomasa. En C. Dejoux & A. Illis (Eds.), *El lago Titicaca: Síntesis del conocimiento limnológico actual* (pp. 251-262). ORSTOM, HISBOL. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers08-10/36603.pdf
- IMARPE. (2013 a, b, c, d). Protocolo de análisis de nitrito, nitratos, silicatos y fosfatos en agua de mar. Cod. IMP-AFIOQG/Pt-LAB 01.01. 23 pp.
- LAN, Y., CUI, B., LI, X., HAN, Z. & DONG, W. (2010). The determinants and control measures of the expansion of aquatic macrophytes in wetlands. *Procedia Environmental Sciences*, 2, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.175>
- NORTHCOTE, T. (1991). Eutrofización y problemas de polución. En C. Dejoux & A. Illis (Eds.), *El lago Titicaca: Síntesis del conocimiento limnológico actual* (pp. 563-572). ORSTOM, HISBOL. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers08-10/36603.pdf
- POUILLY, M., LAZZARO, X., POINT, D. & AGUIRRE, M. (2014). *Línea base de conocimientos sobre los recursos hidrológicos en el sistema TDPS con enfoque en la cuenca del Lago Titicaca*. Quito, Ecuador: https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers14-09/010062838.pdf
- PROYECTO BOL/98/G31. (2002). Manual de transformación y comercialización. Conservación de la biodiversidad en la cuenca del lago Titicaca –Desaguadero-Poopo-Salar de Coipasa (TDPS). Sub contrato “Desarrollar la capacidad de programas de pesca artesanal en Bolivia”, 32 pp.
- RAMOS, C., CÁRDENAS-AVELLA, N. & HERRERA, Y. (2013). Caracterización de la comunidad de Macrofitas acuáticas en lagunas del Páramo de La Rusia (Boyacá-Colombia). *Revista Ciencia En Desarrollo*, 4(2), 73–82. https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencia_en_desarrollo/article/view/2641
- TUTIN, M. A. (1940). – 10 The macrophytic vegetation of the Lake Titicaca, In: The Percy Sladen Trust expedition to Lake Titicaca in 1937. *Trans linn. Sos. London, Bot set*, 3, 1(2), 161 -189.
- VICENTE, E., DE HOYOS, C., SÁNCHEZ, P., CAMBRA, J., ECTOR, L., SABATER, S. & GARCÍA-BERTHOUS, E. (2004). *Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la directiva marco del agua en la Confederación Hidrográfica del Ebro*. Ministerio de Medio Ambiente. https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/agua/publicaciones/Protocolos_muestreo_biologico_con_portada_tcm30-214764.pdf
- WETZEL, R. G. (2001). *Limnología*. OMEGA S.A.