

# ASPECTOS FÍSICOQUÍMICOS DEL LAGO TITICACA, JULIO 2019

## PHYSICOCHEMICAL ASPECTS OF LAKE TITICACA (JULY 2019)

Humberto Siguayro M<sup>1</sup>

Yerko B. Franco<sup>2</sup>

### RESUMEN

SIGUAYRO, H., FRANCO, Y. (2022). Aspectos fisicoquímicos del lago Titicaca, Julio 2019. *Inf Inst Mar Perú*. 49(4): 538-551.- El lago Titicaca es el ecosistema de agua dulce más importante de Perú y Bolivia, provee múltiples beneficios socioeconómicos y ambientales, además constituye una reserva de agua dulce primordial para los habitantes del anillo circunlacustre. En el 2019, del 10 al 24 de julio, se realizó la evaluación limnológica del lago Titicaca por el equipo conformado por IMARPE, PELT y ALT (representante de MAYA y PACU de Bolivia), con el objetivo de caracterizar las variables físicas, químicas, biológicas y su relación con la biomasa íctica en la bahía de Puno, Lago Mayor y Lago Menor. Se establecieron 71 estaciones de muestreo en 8 perfiles según la morfología del lago. Los resultados obtenidos en el Lago Mayor presentaron gradiente de temperatura con mezcla incompleta, con altos contenidos de oxígeno disuelto por encima de 50 m de profundidad que no mostró anoxia a más de 250 m de profundidad, pH con tendencia básica; así mismo, se encontraron concentraciones elevadas de fosfatos y nitratos en el hipolimnion, sin embargo, para el silicato y nitritos fue fluctuante. La máxima de clorofila-a se presentó entre 10 y 50 m de profundidad. En la bahía de Puno, Lago Menor y zonas someras, estos parámetros fisicoquímicos presentaron fluctuaciones, concentraciones elevadas de fosfatos, nitratos y clorofila-a frente a la desembocadura del río Coata y Suches y frente a Desaguadero en el Lago Menor. Se apreciaron niveles altos de variabilidad principalmente los fosfatos y nitratos en columna de agua.

PALABRAS CLAVE: lago Titicaca, aspectos fisicoquímicos, variabilidad

### ABSTRACT

SIGUAYRO, H., FRANCO, Y. (2022). *Physicochemical aspects of Lake Titicaca (July 2019)*. *Inf Inst Mar Perú*. 49(4): 538-551.- Lake Titicaca is the most important freshwater ecosystem in Peru and Bolivia, providing multiple socioeconomic and environmental benefits, as well as constituting an essential freshwater reserve for the inhabitants of the circumlacustrine ring. From July 10 to 24, 2019, the limnological assessment of Lake Titicaca was carried out by the team formed by IMARPE, PELT, and ALT (representative of MAYA and PACU from Bolivia), to characterize the physicochemical and biological variables and their relationship with the fish biomass in the Puno Bay and Lake Titicaca's deep main basin and shallow sub-basin. A total of 71 sampling stations were established in 8 profiles according to the morphology of the lake. The results obtained in Lake Titicaca's deep main basin showed a temperature gradient with incomplete mixing, with high dissolved oxygen contents above a depth of 50 m that did not show anoxia at depths of more than 250 m, pH with a basic tendency. Likewise, high concentrations of phosphates and nitrates were found in the hypolimnion; nevertheless, for silicate and nitrites, the concentration was fluctuating. The maximum chlorophyll-a occurred between 10 and 50 m deep. In the Puno Bay, Lago Titicaca's shallow sub-basin, as well as in other shallow areas, these physicochemical parameters showed fluctuations, high concentrations of phosphates, nitrates, and chlorophyll-a off of the mouth of the Coata and Suches rivers and off Desaguadero in the shallow sub-basin. We observed high levels of variability, especially for phosphates and nitrates in the water column.

KEYWORDS: Lake Titicaca, physicochemical aspects, variability

## 1. INTRODUCCIÓN

El lago Titicaca es el ecosistema de agua dulce más importante de Perú y Bolivia, provee múltiples beneficios socioeconómicos y ambientales, además constituye reserva de agua dulce primordial para los habitantes del anillo circunlacustre del lago (ILTIS, 1981; RNT, 2003).

POUILLY *et al.* (2014), indican que: «...las primeras investigaciones hidrológicas, hidroquímicas y ecológicas fueron desarrolladas por la expedición Percy Sladen liderado por Cary Gilson entre 1939, 1940 y 1955.

*En 1973 Richerson realizó el estudio limnológico en la zona norte del Lago Titicaca, mostrando una estacionalidad débil, perfiles termales con estratificación débil y persistente en periodo seco, en julio registró una isoterma de 11,1-12,2 °C mezclándose hasta 100 m de profundidad.»*

Según estudios de RICHERSON *et al.* (1977): «... el lago Titicaca sería clasificado como oligotrófico monomítico con mezcla incompleta en algunos años. Además realizaron mediciones de oxígeno disuelto, pH, alcalinidad, fosfatos, nitritos entre otros compuestos, el pH (8,5) superficial se registró durante la mayor parte

1 Laboratorio Continental de Puno – Instituto del Mar del Perú. hsiguayro@imarpe.gob.pe

2 Ministerio de Medio Ambiente y Agua - Bolivia

del año y en el fondo fue  $<8,4$ , el oxígeno disuelto alcanzó entre  $2,4$  y  $4,8$  mg/L a  $140$  m de profundidad, la máxima transparencia de  $10,5$  m fue registrada en agosto, además se observó la concentración en clorofila-a de  $1,5$  mg/m<sup>3</sup>, la biomasa fitoplanctónica estuvo dominado por clorofitas y cianobacterias, el zooplancton por el copépodo calanoida *Boeckella titicacae*.»

LAZZARO (1980-1985) realizó estudios de evaluación estacional de la comunidad fitoplanctónica y las relaciones con los parámetros fisicoquímicos en el Lago Menor, esta zona del lago fue «...caracterizado como polimíctico con temperatura entre  $8$  y  $14$  °C, la transparencia al disco Secchi alcanzó hasta  $7,0$  m todo el año, el coeficiente de extinción de la luz fotosintética activa ( $K_d$  PAR) se determinó entre  $0,22$ - $1,2$  m<sup>-1</sup>, la biomasa del fitoplancton estaba dominado por clorofíceas ( $60 - 90\%$ ), la clorofila-a se detectó entre  $\leq 0,5$  y  $\geq 2,0$  mg/m<sup>3</sup>.»

En los periodos de 1984–1985, en el ámbito del convenio UMSA-IMARPE, se realizó estudios limnológicos a lo largo de un ciclo anual, observándose mezcla completa en junio-agosto con ocasionales estratificaciones térmicas superficiales inestables, presencia de mayores concentraciones de oxígeno disuelto durante todo el año, el pH mostró valores elevados en superficie hasta  $50$  m de profundidad debido a la fotosíntesis y bajos a partir de  $150$  m de profundidad debido a la oxidación-reducción, mineralización descomposición orgánica, etc. POUILLY *et al.* (2014) indican que «... en verano el CO<sub>2</sub> alcanzó hasta  $7,0$  mg/L en el fondo, en invierno seco la máxima abundancia de fitoplancton se encontró entre  $5$  y  $10$  m de profundidad con transparencia de  $10$  m, la zona eufótica alcanzó  $27$  m en primavera y verano, disminuyendo en invierno a  $12$  m.»

El IMARPE entre el 2006 y 2018 desarrolló evaluaciones de biomasa íctica en el lago Titicaca; desde 2008 realizó estudios limnológicos; en superficie la temperatura fluctuó entre  $10,9$  °C (julio 2007) y  $17,3$  °C (diciembre 2012), el oxígeno disuelto  $4,21$  mg/L en abril 2010 y  $8,85$  mg/L (diciembre 2007), la conductividad eléctrica entre  $1200$  uS/cm (abril 2007) y  $1994$  uS/cm (diciembre 2012), el pH con tendencia alcalina ( $7,86$ - $8,99$ ), (IMARPE, 2015, 2016; POUILLY *et al.*, 2014).

En julio 2019, el equipo liderado por IMARPE, PELT y ALT (representante de MAYA y PACU de Bolivia), realizaron estudios limnológicos en la bahía de Puno, Lago Mayor y Lago Menor; con el objetivo de caracterizar las variables físicas, químicas, biológicas y su relación con la biomasa íctica.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

Del 10 al 24 de julio 2019, se desarrolló la evaluación limnológica del lago Titicaca, el equipo liderado por IMARPE, PELT y ALT (representante de MAYA y PACU de Bolivia), realizaron estudios limnológicos en la bahía de Puno, Lago Mayor y Lago Menor. Se levantó información limnológica como: transparencia, temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad, CO<sub>2</sub>, fluorescencia de la clorofila-a y PAR, se colectaron muestras de agua para determinar nutrientes (fosfato, silicato, nitrato y nitrito), SST y clorofila-a para el análisis en laboratorio.

### Área de estudio

El estudio comprendió la bahía de Puno (superficie en agua de  $588$  km<sup>2</sup>, longitud  $41$  km, ancho  $30$  km, profundidad máxima  $51$  m, profundidad media  $8$  m). Lago Mayor: superficie  $6493$  km<sup>2</sup>, longitud  $151$  km, ancho  $69$  km, profundidad máxima  $284$  m, profundidad media  $135$  m. Lago Menor: superficie  $1367$  km<sup>2</sup>, longitud  $62$  km, ancho  $41$  km, profundidad máxima  $42$  m, profundidad media  $9$  m (ILTIS *et al.*, 1991).

### Estaciones de muestreo

El sistema de registro de variables limnológicas y colecta de agua *in situ* se realizó según el protocolo de muestreo y análisis del IMARPE (IMARPE, 2013), siguiendo transectos sistemáticos paralelos entre sí y perpendiculares a la ribera del lago (Fig. 1), se tuvo  $71$  estaciones de muestreo y  $8$  perfiles, considerados entre la zona litoral y pelágica que corresponden a la bahía de Puno, Lago Mayor y Lago Menor, se consideraron a diferentes niveles batimétricos, dependiendo de la profundidad del lago.

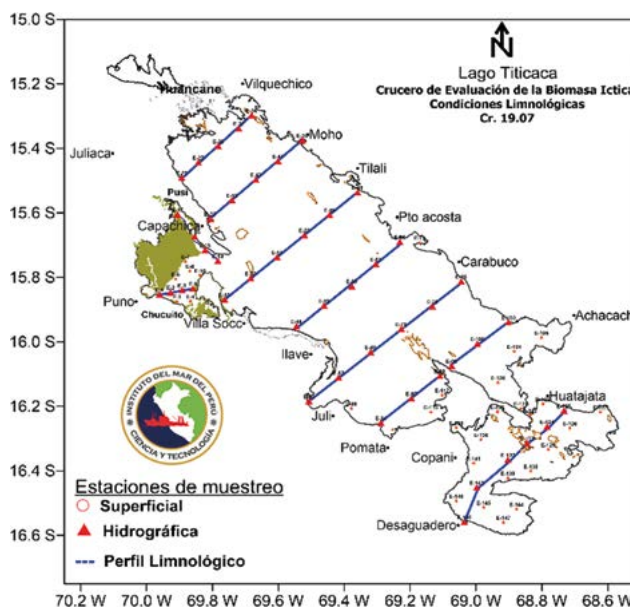


Figura 1.- Estaciones de muestreo en el lago Titicaca. Cr. 1907

## Muestreo y registro de variables fisicoquímicas en campo

El estudio comprendió los registros y análisis de: transparencia con un disco Secchi de 30 cm de diámetro, la temperatura, pH y conductividad eléctrica con un multiparámetro YSI Profesional Plus, oxígeno disuelto con un oxímetro óptico Mettler Toledo, el dióxido de carbono se determinó con un kit Hanna para titulación (HANNA, 2018), se colectaron 252 muestras de agua a profundidades estándar con una botella Niskin de 5 L de capacidad en frascos de 250 y 500 mL de PVC para determinar nutrientes, clorofila-a y SST. Además se tomaron medidas de penetración de la luz PAR ( $\mu\text{Mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ), mediante un sensor esférico LI-COR® y fluorescencia ( $\mu\text{g Chl-a}/\text{L}$ ) mediante un sensor óptico de fluorescencia, estos sensores se encuentran montados en un perfilador multiparamétrico RBR-620 dotado de otros sensores, de modo que fue posible obtener perfiles verticales simultáneos, se hizo lances hasta 250 m de profundidad, además se usó el CTD CastAway (con sensores de temperatura, conductividad eléctrica y densidad), este último diseñado con capacidad máxima de lance hasta 100 m de profundidad.

## Metodología de análisis de agua en laboratorio

Los nutrientes (fosfatos, silicatos, nitritos, nitratos) y clorofila-a se determinó por espectrofotometría (IMARPE, 2013; APHA, 2005), se usó un espectrofotómetro SpectrumLab 20pc y los sólidos suspendidos totales por gravimetría (APHA, 2005).

## Determinación de la zona eufótica y coeficiente de extinción

El límite de la zona eufótica ( $Z_{eu}$ ) es la profundidad donde llega 1% de la luz incidente (MARGALEF, 1983; CABRERA y MONTECINO *et al.*, 1987; WETZEL, 2001). Según CABRERA y MONTECINO (1987), WETZEL (2001), LEÓN-PALMEROA *et al.*, (2017), el coeficiente de atenuación vertical de la luz ( $K_{PAR}$ ) entre la superficie del agua y profundidad de  $z$  metros se estimó en base a la transformación semilogarítmica de la ley de Lambert-Beer:

$$\ln(I_z) = \ln(I_0) - K_{PAR} * z$$

Dónde:

$I_z$  = Intensidad de la radiación a la profundidad de  $z$  metros

$I_0$  = Intensidad de la radiación debajo de la superficie del agua.

La zona fótica ( $Z_{eu}$ ) se determinó considerando el 1% de la radiación admitida en superficie como límite para la producción primaria:

$$Z_{eu} = \ln(0,01)/K_{PAR}$$

## Análisis estadístico

Se realizó un análisis exploratorio mediante el uso de estadísticos de tendencia central (media aritmética) y de dispersión (desviación estándar).

## 3. RESULTADOS

### Distribución superficial

La Tabla 1 y figura 2 muestran las medias de tendencia y dispersión de parámetros fisicoquímicos. La temperatura presentó aguas relativamente frías propias de la época, la bahía de Puno mostró una media de  $13,0 \pm 0,43$  °C, el Lago Mayor  $13,1 \pm 0,52$  °C y el Lago Menor presentó valores bajos  $11,3 \pm 0,74$  °C; se observó incremento en  $0,5$  °C (bahía de Puno y Lago Mayor) y  $0,2$  °C (Lago Menor) respecto a los valores obtenidos en julio 2018. Rangos menores ( $<11,5$  °C) se observaron frente a las desembocaduras de los ríos Coata y Suches por las mañanas, a partir del mediodía registraron masas de agua levemente elevados.

El oxígeno disuelto registró concentraciones medias de  $7,4 \pm 0,46$  mg/L en la bahía de Puno fue ligeramente alto respecto a las mediciones obtenidas en el Lago Mayor ( $6,5 \pm 0,22$  mg/L) y Lago Menor ( $6,8 \pm 0,56$  mg/L), en julio 2018 se encontró concentraciones similares para la bahía de Puno y Lago Mayor, sin embargo, fue alto para el Lago Menor.

El dióxido de carbono presentó nula o menor presencia en el Lago Menor y bahía de Puno. Los rangos medios de pH ( $8,5 \pm 0,2$ ) con tendencia básica no mostraron variabilidad, la conductividad eléctrica ( $1.569,2 \pm 147,0$   $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) fue ligeramente variable, observándose valores altos en el Lago Menor.

Los fosfatos, SST, clorofila-a y transparencia presentaron moderada variabilidad entre estaciones de muestreo, los nitratos y nitritos alta variabilidad y los silicatos baja variabilidad, la máxima transparencia (13,0 m) se registró en el Lago Mayor al medio día.

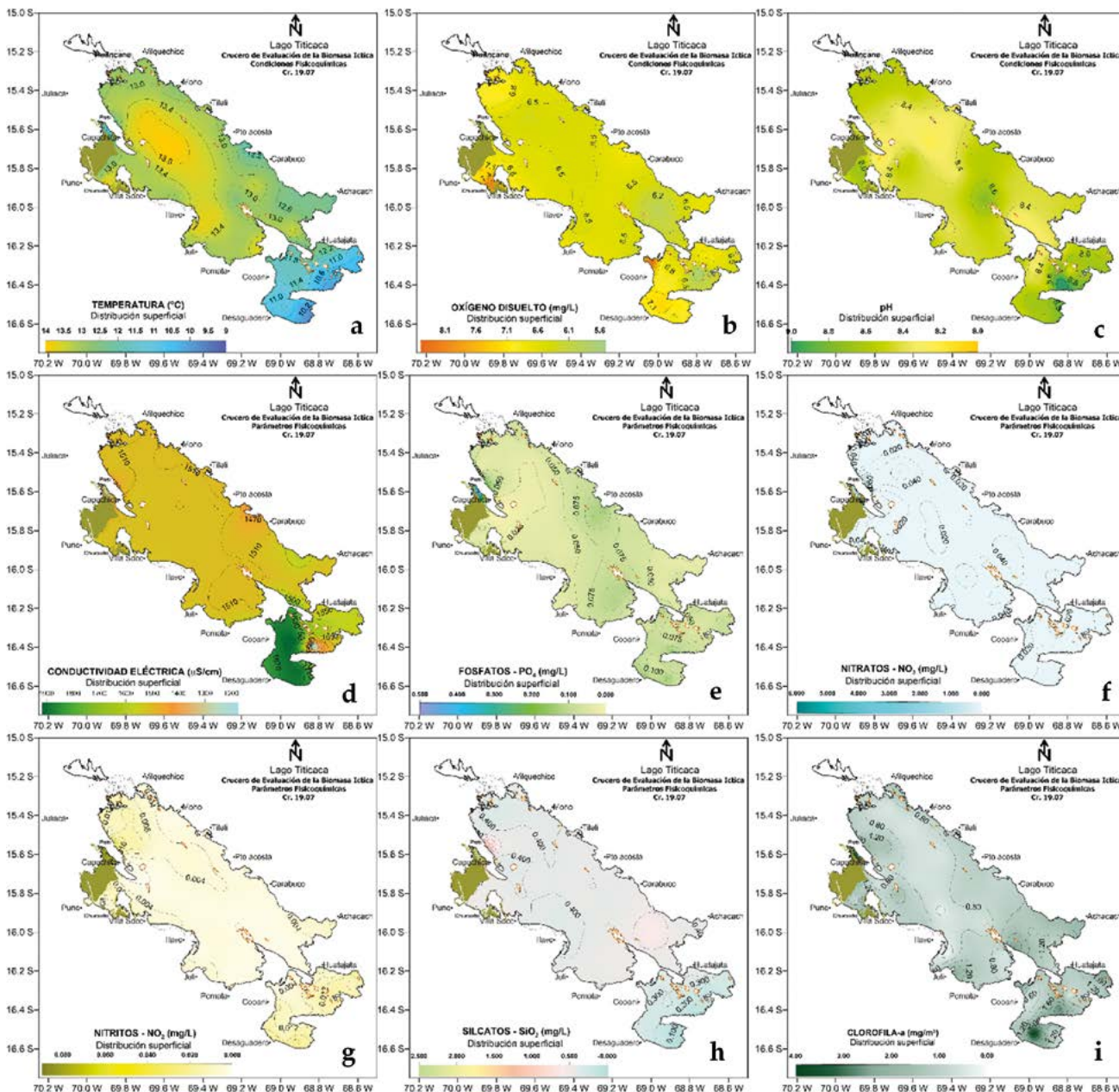


Figura 2.- Distribución superficial de: a) Temperatura (°C), b) Oxígeno disuelto (mg/L), c) pH, d) Conductividad eléctrica (µS/cm), e) PO<sub>4</sub> (mg/L), f) NO<sub>3</sub> (mg/L), g) NO<sub>2</sub> (mg/L), h) SiO<sub>2</sub> (mg/L) e i) Clorofila-a (mg/m<sup>3</sup>). Lago Titicaca. Cr.1907

Tabla 1.- Estadístico de parámetros fisicoquímicos. Distribución superficial. Lago Titicaca. Cr.1907

ZONA MUESTREO	ESTACIONES MUESTREO	ESTADÍSTICO	TEMPERATURA (°C)	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (mS/cm)	pH	OXÍGENO DISUELTO (mg/L)	PO <sub>4</sub> (mg/L)	SiO <sub>2</sub> (mg/L)	NO <sub>2</sub> (mg/L)	NO <sub>3</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	CLOROFILA-A (mg/m <sup>3</sup> )	TRANSPARENCIA (m)
BAHIA DE PUNO	8	N° muestras	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7
		Media	13,3	1519,4	8,59	7,41	0,044	0,440	0,007	0,032	11,28	1,42	7,1
		Desv. Estandar	0,43	5,0	0,08	0,46	0,027	0,059	0,004	0,040	4,55	0,46	3,01
		Coef. Variab.	3,22	0,33	0,93	6,19	61,89	13,40	56,03	126,47	40,30	32,17	42,35
DESEMBOCADURA COATA - CAPACHICA	2	N° muestras	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
		Media	11,5	1353,5	8,55	6,26	0,280	1,696	0,048	0,325	9,75	2,50	3,25
		Desv. Estandar	1,84	133,6	0,13	0,76	0,328	1,280	0,065	0,411	2,83	1,98	0,35
		Coef. Variab.	15,99	9,87	1,57	12,20	117,11	75,51	135,40	126,39	29,01	79,08	10,88
LAGO MAYOR	41	N° muestras	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	34
		Media	13,1	1513,4	8,44	6,53	0,053	0,429	0,004	0,027	8,74	0,95	9,7
		Desv. Estandar	0,52	21,0	0,11	0,22	0,030	0,053	0,003	0,017	4,90	0,50	1,96
		Coef. Variab.	3,94	1,38	1,35	3,34	56,37	12,46	92,86	65,35	56,07	52,64	20,20
LAGO MENOR	20	N° muestras	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	11
		Media	11,3	1724,9	8,58	6,79	0,080	0,269	0,010	0,025	3,71	1,52	7,6
		Desv. Estandar	0,74	199,1	0,21	0,56	0,036	0,109	0,007	0,020	2,68	0,89	1,89
		Coef. Variab.	6,55	11,54	2,50	8,26	45,32	40,50	63,96	79,12	72,17	58,65	24,96

**Distribución vertical**

**Sección Chimu – Parina (bahía de Puno).**

La Tabla 2 y figura 3 muestran las medidas de tendencia y dispersión de parámetros fisicoquímicos. La distribución de la temperatura mostró un intervalo relativamente homogéneo  $12,8 \pm 0,4$  °C al igual que en julio 2018 ( $12,5 \pm 0,4$  °C) con un ligero incremento de  $0,4$  °C, apreciándose una gradiente casi uniforme. El oxígeno disuelto presentó media de  $7,04 \pm 0,41$  mg/L, no mostró variación respecto a julio 2018 ( $7,3 \pm 0,42$  °C). Se encontró valores de pH ( $8,61 \pm 0,08$ ) con tendencias básicas. El CO<sub>2</sub> mostró variación entre  $0,83$  mg/L en superficie y  $2,0$  mg/L en fondo. La conductividad eléctrica ( $1523,9 \pm 12,1$  µS/cm) con altos contenidos de sales. Las concentraciones de PO<sub>4</sub> ( $0,076 \pm 0,056$  mg/L), NO<sub>2</sub> ( $0,010 \pm 0,009$  mg/L), NO<sub>3</sub> ( $0,022 \pm 0,022$  mg/L) y Clorofila-a ( $1,50 \pm 0,94$  mg/L) mostraron alta variación. Los silicatos ( $0,540 \pm 0,169$  mg/L) y SST ( $13,22 \pm 4,48$  mg/L) presentaron moderada variación. La máxima de clorofila-a ( $>2,00$  mg/m<sup>3</sup>) se presentó

en el fondo. El patrón de extinción de la PAR (Z1%) se observó a  $26,0$  m de profundidad con un coeficiente de atenuación ( $K_{PAR}$ ) estimado en  $0,15$  m<sup>-1</sup>, la máxima transparencia fue  $8,5 \pm 1,0$  m.

**Sección Pusi – Vilquechico (Lago Mayor).** En columna de agua, presentó temperatura media de  $12,9 \pm 0,2$  °C, apreciándose gradiente homogénea al igual que el oxígeno disuelto ( $6,65 \pm 0,32$  mg/L), pH ( $8,55 \pm 0,01$  mg/L) y conductividad eléctrica ( $1509,4 \pm 1,5$  mg/L) mostraron muy baja variabilidad. Los valores de CO<sub>2</sub> ( $1,56 \pm 0,86$  mg/L), PO<sub>4</sub> ( $0,066 \pm 0,041$ mg/L), NO<sub>2</sub> ( $0,008 \pm 0,007$  mg/L), NO<sub>3</sub> ( $0,011 \pm 0,005$  mg/L), SST ( $11,88 \pm 5,77$  mg/L) y Clorofila-a ( $1,43 \pm 0,86$  mg/m<sup>3</sup>) mostraron alta variabilidad en columna de agua, sin embargo, las concentraciones de SiO<sub>2</sub> ( $0,388 \pm 0,070$  mg/L) estuvieron casi homogéneas, con baja variabilidad. La extinción de la PAR (Z1%) se apreció hasta  $14$  m de profundidad (observado a  $15:30$  horas) con coeficiente de atenuación ( $K_{PAR}$ ) estimado de  $0,33$  m<sup>-1</sup> y la máxima transparencia fue  $6,0$  m frente a la desembocadura del río Ramis (Tabla 3, Fig. 4).

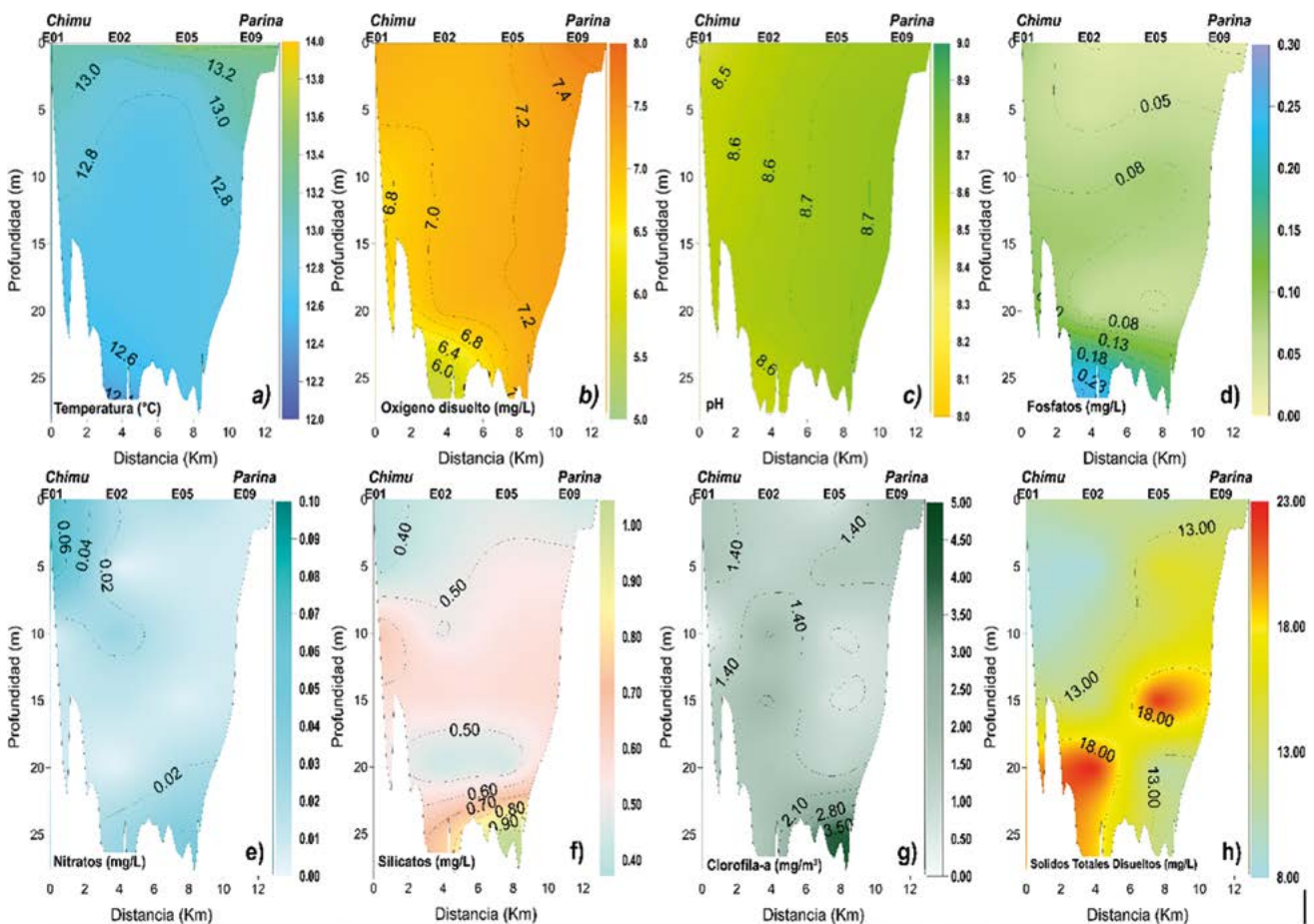


Figura 3.- Distribución vertical de: a) Temperatura (°C), b) Oxígeno disuelto (mg/L), c) pH, d) Fosfato (mg/L), e) Nitrato (mg/L), f) Silicato (mg/L), g) Clorofila-a (mg/m<sup>3</sup>) y h) SST (mg/m<sup>3</sup>). Sección Chimu – Parina (bahía de Puno). Lago Titicaca. Cr1907

Tabla 2.- Estadístico de parámetros fisicoquímicos. Distribución vertical. Chimu – Parina (bahía de Puno). Lago Titicaca. Cr1907

ZONA ESTACIONES MUESTREO MUESTREO	MEDIDAS DE TENDENCIA Y DISPERSIÓN	TEMPERATURA (°C)	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS/cm)	pH (mg/L)	OXÍGENO DISUETO (mg/L)	CO <sub>2</sub> (mg/L)	PO <sub>4</sub> (mg/L)	SiO <sub>2</sub> (mg/L)	NO <sub>2</sub> (mg/L)	NO <sub>3</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	CLOROFILA-A (mg/m <sup>3</sup> )
BAHÍA PUNO	N° muestras	16	16	16	16	15	16	16	16	16	16	16
	Máxima	13,6	1566,0	8,69	7,68	2,00	0,250	1,041	0,032	0,076	22,75	4,11
	Mínima	12,3	1512,0	8,43	5,69	0,50	0,022	0,370	0,001	0,002	8,50	0,08
	Media	12,8	1523,9	8,61	7,04	1,20	0,076	0,540	0,010	0,022	13,22	1,50
	Devst. Estandar	0,4	12,1	0,08	0,41	0,49	0,056	0,169	0,009	0,022	4,48	0,94
Coef. Variabilidad	3,09	0,79	0,94	5,76	41,07	74,74	31,24	81,19	100,58	33,89	62,62	
Promedio (Columna de agua)	0,5 m	13,3	1520,0	8,58	7,28	0,83	0,039	0,430	0,006	0,029	11,31	1,34
	5 m	12,9	1521,0	8,62	7,10	1,00	0,039	0,481	0,002	0,014	13,75	1,36
	10 m	12,9	1520,5	8,64	7,12	1,00	0,077	0,530	0,006	0,020	12,75	1,40
	15 m	12,7	1520,0	8,65	7,13	1,25	0,077	0,583	0,014	0,009	17,13	1,40
	20 m	12,6	1520,5	8,66	7,11	1,75	0,053	0,433	0,016	0,011	16,75	1,36
25 m	12,4	1541,5	8,61	6,40	2,00	0,204	0,888	0,025	0,034	15,62	2,90	

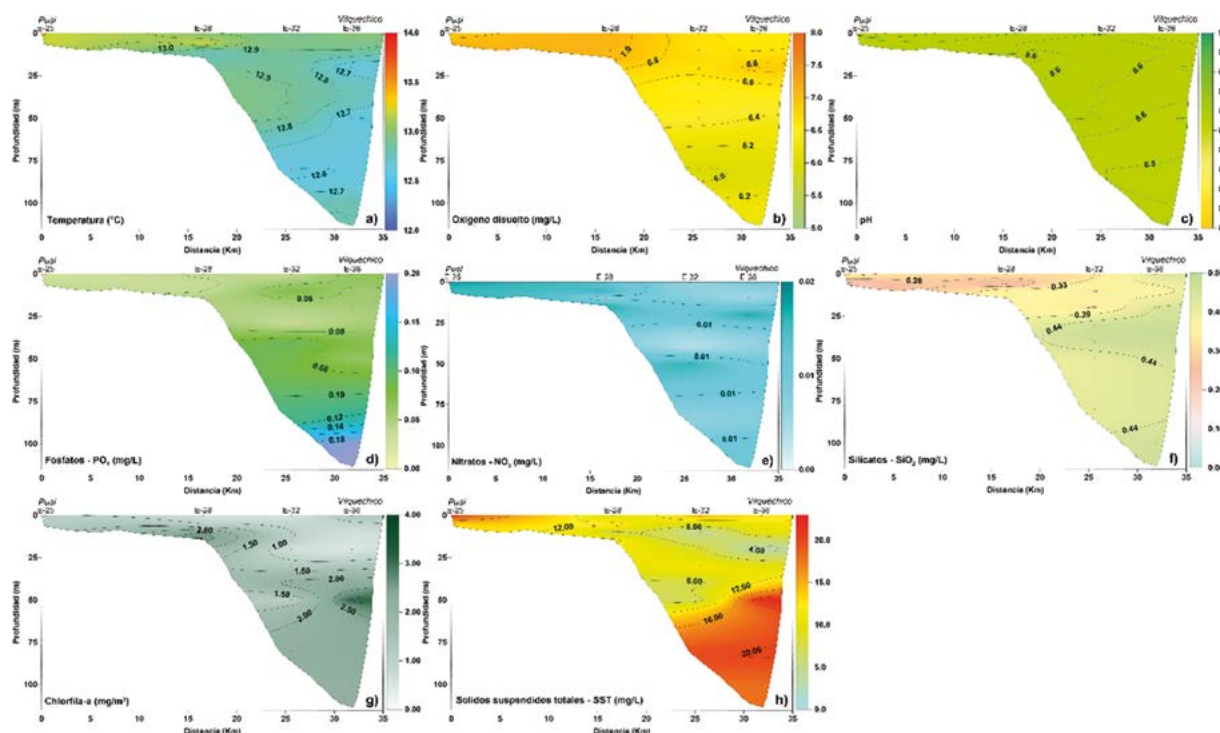


Figura 4. Distribución vertical de: a) Temperatura (°C), b) Oxígeno disuelto (mg/L), c) pH, d) Fosfato (mg/L), e) Nitrato (mg/L), f) Silicato (mg/L), g) Clorofila-a (mg/m<sup>3</sup>) y h) Sólidos Totales Disueltos (mg/L). Sección Pusi – Vilquechico. Lago Titicaca. Cr.1907

Tabla 3.- Estadístico de parámetros fisicoquímicos. Distribución vertical. Pusi-Vilquechico (Lago Mayor, zona norte). Lago Titicaca. Cr1907

ZONA MUESTREO	ESTACIONES MUESTREO	MEDIDAS DE TENDENCIA Y DISPERSIÓN	TEMPERATURA (°C)	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS/cm)	pH (mg/L)	OXÍGENO DISUETO (mg/L)	CO <sub>2</sub> (mg/L)	PO <sub>4</sub> (mg/L)	SiO <sub>2</sub> (mg/L)	NO <sub>2</sub> (mg/L)	NO <sub>3</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	CLOROFILA-A (mg/m <sup>3</sup> )
Pusi-Vilquechico (Lago Mayor)	4	N° muestras	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
		Máxima	13,2	1512,0	8,57	7,10	3,00	0,197	0,473	0,028	0,018	22,25	3,15
		Mínima	12,6	1506,0	8,52	5,98	0,00	0,026	0,209	0,002	0,003	2,50	0,51
		Media	12,9	1509,4	8,55	6,66	1,56	0,066	0,388	0,008	0,011	11,88	1,43
		Devst. Estandar	0,2	1,5	0,01	0,32	0,86	0,041	0,070	0,007	0,005	5,77	0,86
Coef. Variabilidad	1,36	0,10	0,16	4,73	55,42	61,78	18,02	84,21	46,13	48,54	60,06		
Promedio (Columna de agua)	0,5 m	13,0	1510,3	8,54	6,79	1,25	0,044	0,361	0,008	0,011	14,37	0,85	
	10 m	12,9	1509,7	8,56	6,76	1,17	0,057	0,378	0,011	0,006	7,08	1,39	
	20 m	12,8	1509,0	8,56	6,75	1,75	0,050	0,385	0,005	0,015	5,50	0,55	
	30 m	12,9	1510,0	8,56	6,49	2,00	0,039	0,470	0,005	0,006	11,75	1,19	
	40 m	12,9	1510,0	8,56	6,54	2,00	0,092	0,473	0,003	0,003	7,50	2,13	
	50 m	12,9	1512,0	8,56	6,49	2,00	0,088	0,412	0,004	0,016	7,00	1,02	
	80 m	12,6	1510,0	8,54	5,98	2,00	0,109	0,420	0,028	0,007	19,75	2,21	
100 m	12,8	1506,0	8,54	6,29	3,00	0,197	0,463	0,003	0,011	18,00	2,13		

**Sección Capachica – Moho (Lago Mayor).**- Se observó una columna de agua con temperatura media de  $12,9 \pm 0,4$  °C, pH ( $8,42 \pm 0,09$ ) y conductividad eléctrica ( $1514,1 \pm 4,4$   $\mu\text{S/cm}$ ), mostraron un periodo de mezcla con baja variabilidad. Las concentraciones de oxígeno disuelto fluctuaron entre 6,46 mg/L (superficie) y 2,23 mg/L (250 m de profundidad), altos contenidos de este gas ( $>6,0$  mg/L) se registraron hasta 100 m de profundidad, valores altos (5,0 mg/L) de  $\text{CO}_2$  encontrados en el fondo expresaron moderada variabilidad. Las concentraciones de  $\text{PO}_4$  ( $0,071 \pm 0,038$  mg/L),  $\text{SiO}_2$  ( $0,674 \pm 0,480$  mg/L) y  $\text{NO}_3$  ( $0,113 \pm 0,151$  mg/L) presentaron alta variación en columna de agua, observándose valores elevados por debajo de 100 m de profundidad, sin embargo,  $\text{NO}_2$  ( $0,005 \pm 0,004$  mg/L) y SST ( $11,14 \pm 4,73$  mg/L) fluctuaron; mostrando moderada variabilidad. La máxima clorofila-a ( $>1,00$  mg/m<sup>3</sup>) se presentó entre 20 y 50 m de profundidad y la extinción de la PAR (Z1%) se apreció a 30 m de profundidad (observado a las 11:30 horas) con coeficiente de atenuación ( $K_{\text{PAR}}$ ) de  $0,15 \text{ m}^{-1}$ , con transparencia de 10,0 m (Fig. 5).

**Sección Tilali – Villa Socca (Lago Mayor).**- Se registró gradiente térmica de  $12,8 \pm 0,5$  °C, reflejó una columna casi homogénea con diferencia de 1,2 °C entre superficie y fondo, el pH ( $8,38 \pm 0,11$ ) y conductividad eléctrica ( $1.515,3 \pm 2,8$   $\mu\text{S/cm}$ ) también fueron uniformes con muy baja variación a nivel vertical. Altos contenidos de oxígeno disuelto ( $>6,0$  mg/L) se registraron hasta 50 m de profundidad, en el fondo no presentó anoxia (2,41 mg/L) con altos valores (6,0 mg/L) de  $\text{CO}_2$ . Las concentraciones de  $\text{SiO}_2$  ( $0,684 \pm 0,0,431$  mg/L) y SST ( $9,67 \pm 6,07$  mg/L) presentaron moderada variación. Los valores de  $\text{PO}_4$  ( $0,078 \pm 0,063$  mg/L) y  $\text{NO}_3$  ( $0,113 \pm 0,136$  mg/L) mostraron alta variabilidad con rangos elevados por debajo de 100 m de profundidad, el  $\text{NO}_2$  ( $0,005 \pm 0,004$  mg/L) fue variable en la columna de agua. La máxima de clorofila-a ( $>1,00$  mg/m<sup>3</sup>) se presentó entre 10 y 20 m de profundidad. Se apreció una extinción de la PAR (Z1%) a 18 m de profundidad (observado a las 14:30 horas) con coeficiente de atenuación ( $K_{\text{PAR}}$ ) de  $0,26 \text{ m}^{-1}$  la transparencia fue 12,0 m (Tabla 4, Fig. 6).

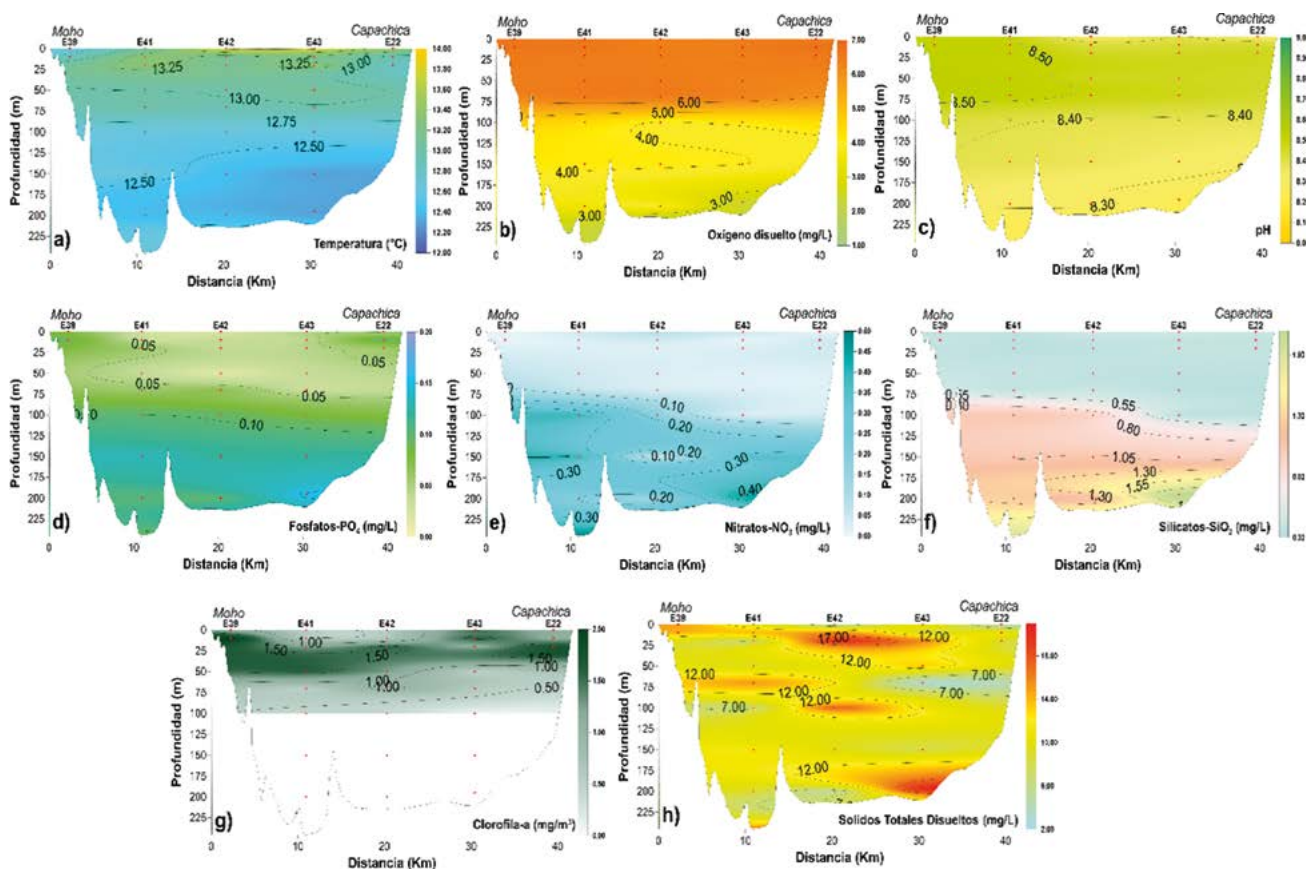


Figura 5.- Distribución vertical de: a) Temperatura (°C), b) Oxígeno disuelto (mg/L), c) pH, d) Fosfato (mg/L), e) Nitrato (mg/L), f) Silicato (mg/L), g) Clorofila-a (mg/m<sup>3</sup>) y h) Sólidos Totales Disueltos (mg/L). Sección Moho – Capachica. Lago Titicaca. Cr.1907

Tabla 4.- Estadístico de los parámetros fisicoquímicos. Distribución vertical. Tilali – Villa Socca (Lago Mayor, zona media). Lago Titicaca. Cr1907.

ZONA MUESTREO	ESTACIONES MUESTREO	MEDIDAS DE TENDENCIA Y DISPERSIÓN	TEMPERATURA (°C)	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS/cm)	pH (mg/L)	OXÍGENO DISUETO (mg/L)	CO <sub>2</sub> (mg/L)	PO <sub>4</sub> (mg/L)	SiO <sub>2</sub> (mg/L)	NO <sub>2</sub> (mg/L)	NO <sub>3</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	CLOROFILA-A (mg/m <sup>3</sup> )
Tilali - Villa Socca (Lago Mayor)	6	N° muestras	32	32	32	32	12	32	32	32	32	32	24
		Máxima	14.0	1520.0	8.57	6.95	6.00	0.254	2.035	0.021	0.508	24.00	1.62
		Mínima	12.2	1509.0	8.20	2.13	1.00	0.009	0.209	0.001	0.002	1.25	0.08
		Media	12.8	1515.3	8.38	5.32	3.25	0.078	0.684	0.005	0.113	9.67	0.84
		Desv.Estandar	0.5	2.8	0.11	1.52	1.76	0.063	0.431	0.004	0.136	6.07	0.45
	Coef. Variabilidad	3.77	0.19	1.34	28.53	54.29	80.83	62.97	86.96	119.68	62.72	53.30	
	Promedio (Columna de agua)	0,5 m	13.5	1512.7	8.38	6.56	1.83	0.041	0.429	0.004	0.025	9.67	0.82
		10 m	12.9	1513.5	8.46	6.52	2.00	0.019	0.340	0.008	0.028	17.50	1.12
		20 m	12.8	1514.0	8.48	6.49	3.00	0.034	0.382	0.005	0.026	9.37	1.10
		50 m	12.9	1514.0	8.46	6.32	3.00	0.042	0.426	0.006	0.058	8.50	0.91
70 m		12.6	1516.7	8.40	4.76	3.00	0.083	0.746	0.005	0.128	10.83	0.59	
100 m	12.3	1517.7	8.36	4.12	4.00	0.111	0.656	0.004	0.144	8.42	0.39		
150 m	12.3	1516.7	8.31	4.01	5.50	0.159	1.039	0.004	0.277	5.17	-		
200 m	12.3	1518.0	8.25	3.15	6.00	0.168	1.575	0.003	0.323	3.67	-		
250 m	12.2	1517.5	8.20	2.41	6.00	0.155	1.345	0.005	0.231	5.12	-		

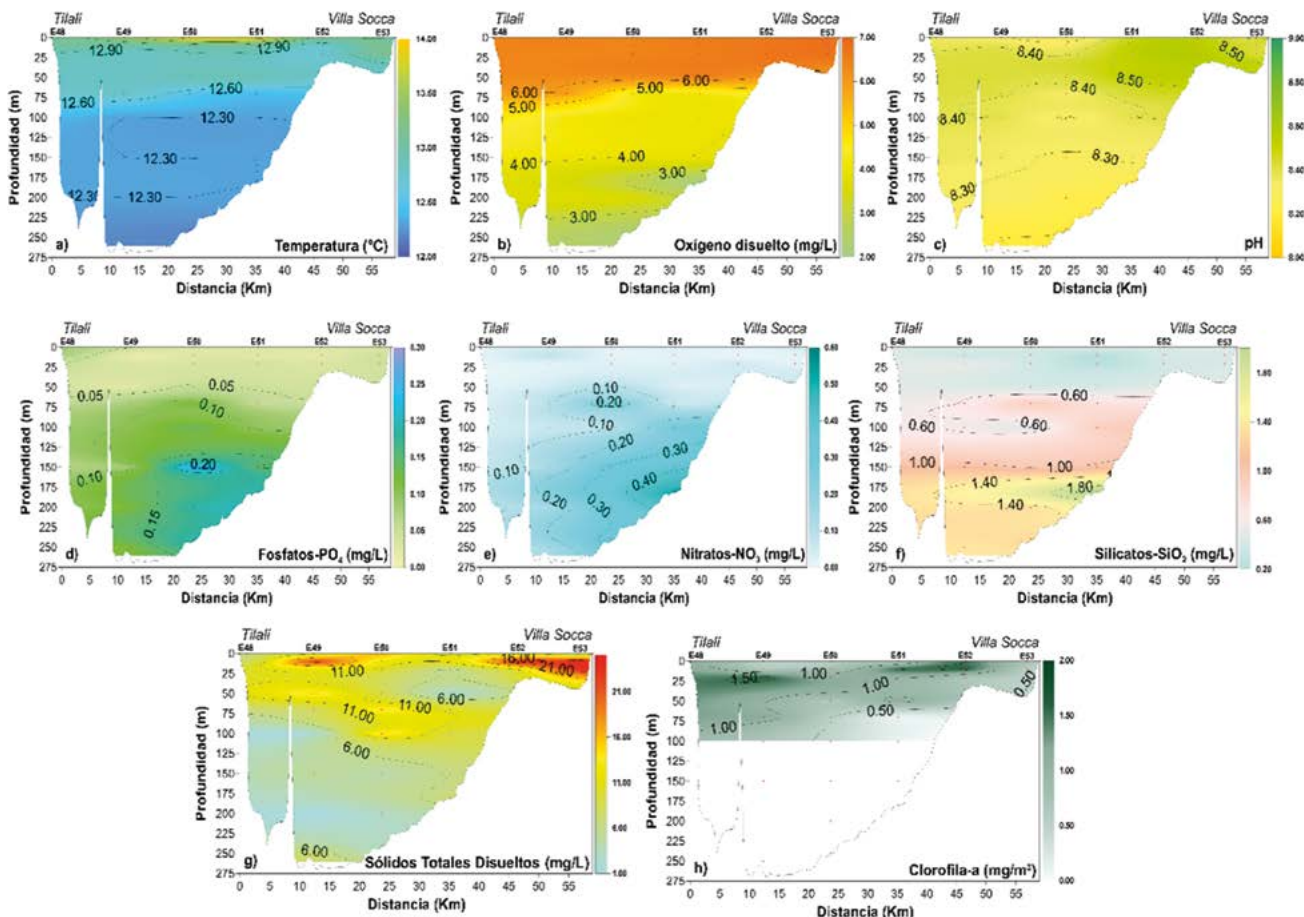


Figura 6.- Distribución vertical de: a) Temperatura (°C), b) Oxígeno disuelto (mg/L), c) pH, d) Fosfato (mg/L), e) Nitrato (mg/L), f) Silicato (mg/L), h) Sólidos Totales Disueltos (mg/L), g) Clorofila-a (mg/m<sup>3</sup>). Sección Tilali – Villa Socca. Lago Titicaca. Cr.1907

**Escoma - Cachipucara (Lago Mayor).**- Se apreció una columna de agua con temperatura media de  $12,8 \pm 0,4$  °C, pH  $8,39 \pm 0,13$  y conductividad eléctrica  $1.519,0 \pm 11,0$  µS/cm, presentaron muy baja variabilidad, con mínima de 12,3 °C, 7,99 y 1.460 uS/cm a 230 m de profundidad, respectivamente. Las concentraciones de oxígeno

disuelto fluctuaron entre 6,54 mg/L (superficie) y 1,08 mg/L (230 m de profundidad), altos contenidos de este gas (>6,0 mg/L) se registraron hasta 50 m de profundidad, detectándose moderada variación con concentración de 1,08 mg/L a 230 m de profundidad encontrándose altos valores (6,50 mg/L) de CO<sub>2</sub>. Los valores



de  $PO_4$  ( $0,096 \pm 0,067$  mg/L),  $SiO_2$  ( $0,722 \pm 0,473$  mg/L) y  $NO_3$  ( $0,121 \pm 0,130$  mg/L) reflejaron alta variabilidad en la columna de agua, con mayor presencia por debajo de 100 m de profundidad. Sin embargo, estuvieron fluctuantes los nitritos y SST a nivel vertical, con moderada variabilidad.

La máxima de clorofila-a ( $>1,00$  mg/m<sup>3</sup>) se registró entre 20 y 50 m de profundidad. Se observó extinción de PAR (Z1%) hasta 30 m de profundidad (a las 13:30 horas) con coeficiente de atenuación ( $K_{PAR}$ ) de  $0,15$  m<sup>-1</sup> y transparencia fue 11,0 m (Tabla 5, Fig. 7).

Tabla 5.- Estadístico de los parámetros fisicoquímicos. Distribución vertical. Escoma - Cachipucara (Lago Mayor, zona media). Lago Titicaca. Cr1907

ZONA MUESTREO	ESTACIONES MUESTREO	MEDIDAS DE TENDENCIA Y DISPERSIÓN	TEMPERATURA (°C)	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS/cm)	pH (mg/L)	OXÍGENO DISUETO (mg/L)	CO <sub>2</sub> (mg/L)	PO <sub>4</sub> (mg/L)	SiO <sub>2</sub> (mg/L)	NO <sub>2</sub> (mg/L)	NO <sub>3</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	CLOROFILA-A (mg/m <sup>3</sup> )
Escoma-Cachipucara (Lago Mayor)	5	N° muestras	27	27	27	27	11	27	27	27	27	27	20
		Máxima	13,6	1519,0	8,56	6,68	6,50	0,298	2,247	0,019	0,395	20,00	1,19
		Mínima	12,2	1460,0	7,99	1,08	1,50	0,031	0,349	0,001	0,013	2,50	0,00
		Media	12,8	1513,8	8,39	5,18	3,32	0,096	0,722	0,006	0,121	9,18	0,79
		Desv.Estandar	0,4	11,0	0,13	1,64	1,40	0,067	0,473	0,004	0,130	3,79	0,39
		Coef. Variabilidad	3,37	0,72	1,52	31,68	42,23	69,90	65,45	76,51	107,05	41,31	49,95
Promedio (Columna de agua)	0,5 m		13,2	1513,6	8,46	6,54	2,33	0,076	0,410	0,003	0,023	10,45	0,90
	10 m		13,2	1514,0	8,46	6,53	2,50	0,061	0,390	0,003	0,024	11,17	0,62
	20 m		13,1	1514,7	8,47	6,47	2,50	0,048	0,405	0,006	0,024	10,67	1,11
	50 m		13,0	1515,7	8,48	6,41	3,00	0,050	0,426	0,005	0,026	7,08	1,13
	70 m		12,7	1517,0	8,43	4,93	3,00	0,067	0,533	0,004	0,071	7,83	0,71
	100 m		12,4	1517,7	8,36	4,01	3,50	0,108	0,908	0,008	0,330	6,92	0,20
	150 m		12,4	1517,3	8,31	4,12	3,50	0,172	1,011	0,007	0,235	6,50	-
	200 m		12,3	1518,3	8,25	2,89	5,00	0,190	1,397	0,006	0,300	11,08	-
230 m		12,2	1460,0	7,99	1,08	6,50	0,123	2,247	0,019	0,131	11,75	-	

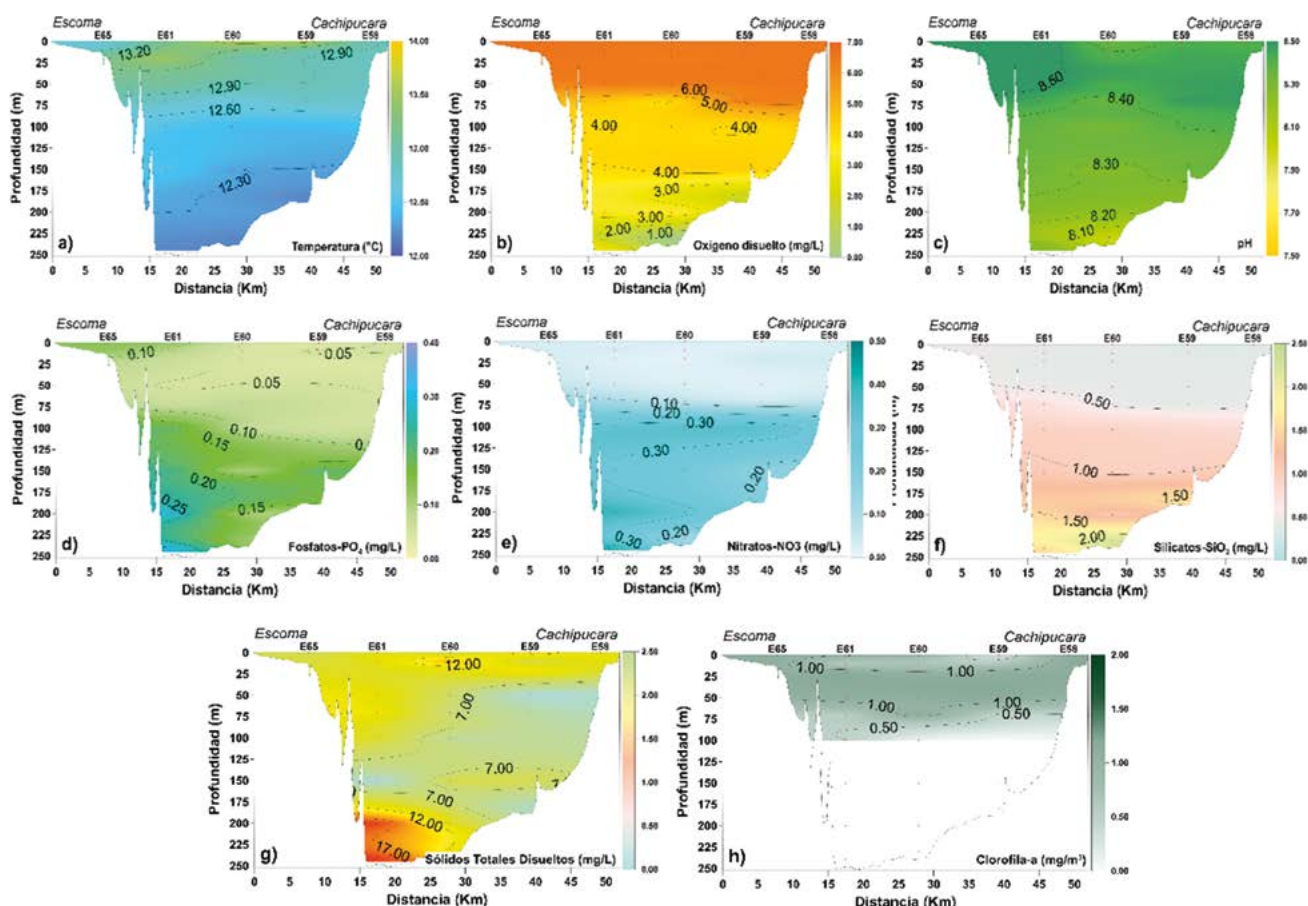


Figura 7.- Distribución vertical de: a) Temperatura (°C), b) Oxígeno disuelto (mg/L), c) pH, d) Fosfato (mg/L), e) Nitrato (mg/L), f) Silicato (mg/L), g) Sólidos Totales Disueltos (mg/L), h) Clorofila-a (mg/m<sup>3</sup>). Sección Escoma - Cachipucara. Lago Titicaca. Cr.1907

**Sección Carabuco – Juli (Lago Mayor).**- La temperatura ( $12,9 \pm 0,4$  °C), pH ( $8,49 \pm 0,09$ ) y conductividad eléctrica ( $1514,9 \pm 3,2$  °C) reflejaron baja dispersión a nivel vertical, observándose casi homogénea hasta 200 m de profundidad. Las concentraciones medias de oxígeno disuelto oscilaron entre 6,56 mg/L (superficie) y 2,46 mg/L (fondo), valores > 5,00 mg/L se registraron por encima de 100 m de profundidad y el fondo no presentó anoxia, observándose valores bajos de CO<sub>2</sub> ( $1,79 \pm 0,45$  mg/L) que expresaron baja variación. Las concentraciones de

PO<sub>4</sub> ( $0,112 \pm 0,086$  mg/L) y NO<sub>3</sub> ( $0,073 \pm 0,098$  mg/L) expresaron alta variabilidad en la columna de agua, denotándose valores elevados de PO<sub>4</sub> y NO<sub>3</sub> por debajo de 70 m de profundidad, en tanto los valores de SiO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y SST se mostraron oscilantes. La máxima de clorofila-a (>0,09 mg/m<sup>3</sup>) se registró entre 20 y 50 m de profundidad y la extinción de PAR (Z1%) se apreció a 26 m de profundidad (a las 12:15 horas) con un coeficiente de atenuación ( $K_{PAR}$ ) estimado de 0,18 m<sup>-1</sup> y la máxima transparencia fue 12,0 m (Tabla 6, Fig. 8).

Tabla 6.- Estadístico de los parámetros fisicoquímicos. Distribución vertical. Carabuco - Juli (Lago Mayor, zona sur). Cr.1907

ZONA MUESTREO	ESTACIONES MUESTREO	MEDIDAS DE TENDENCIA Y DISPERSIÓN	TEMPERATURA (°C)	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS/cm)	pH (mg/L)	OXÍGENO DISUETO (mg/L)	CO <sub>2</sub> (mg/L)	PO <sub>4</sub> (mg/L)	SiO <sub>2</sub> (mg/L)	NO <sub>2</sub> (mg/L)	NO <sub>3</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	CLOROFILA-A (mg/m <sup>3</sup> )
Carabuco - Juli (Lago Mayor)	6	Nº muestras	32	32	32	32	12	32	32	32	32	32	28
		Máxima	13,8	1520,0	8,79	6,99	2,50	0,328	1,187	0,021	0,341	21,50	1,19
		Mínima	12,1	1510,0	8,28	2,46	1,00	0,026	0,375	0,001	0,009	0,25	0,08
		Media	12,9	1514,9	8,49	5,93	1,79	0,112	0,511	0,005	0,073	7,58	0,79
		Desv. Estandar	0,4	3,2	0,09	1,15	0,45	0,086	0,200	0,004	0,096	4,84	0,33
		Coef. Variabilidad	3,22	0,21	1,12	19,30	25,13	77,13	39,05	84,47	132,04	63,91	41,32
Promedio (Columna de agua)	0,5 m		13,2	1513,7	8,52	6,56	1,67	0,058	0,416	0,002	0,032	7,54	0,72
	10 m		13,0	1514,3	8,52	6,54	1,67	0,069	0,425	0,005	0,025	6,63	0,87
	20 m		13,0	1514,5	8,52	6,41	1,50	0,079	0,428	0,007	0,014	8,12	0,96
	50 m		12,9	1513,5	8,51	6,38	2,00	0,071	0,416	0,001	0,037	14,00	0,94
	70 m		12,8	1515,5	8,43	5,75	2,00	0,146	0,538	0,003	0,101	3,38	0,70
	100 m		12,6	1515,3	8,46	5,49	2,00	0,178	0,529	0,005	0,080	8,50	0,34
	150 m		12,3	1517,3	8,38	3,75	2,50	0,285	0,875	0,012	0,252	6,92	-
200 m		12,1	1518,0	8,39	2,46	-	0,179	1,187	0,007	0,316	0,25	-	

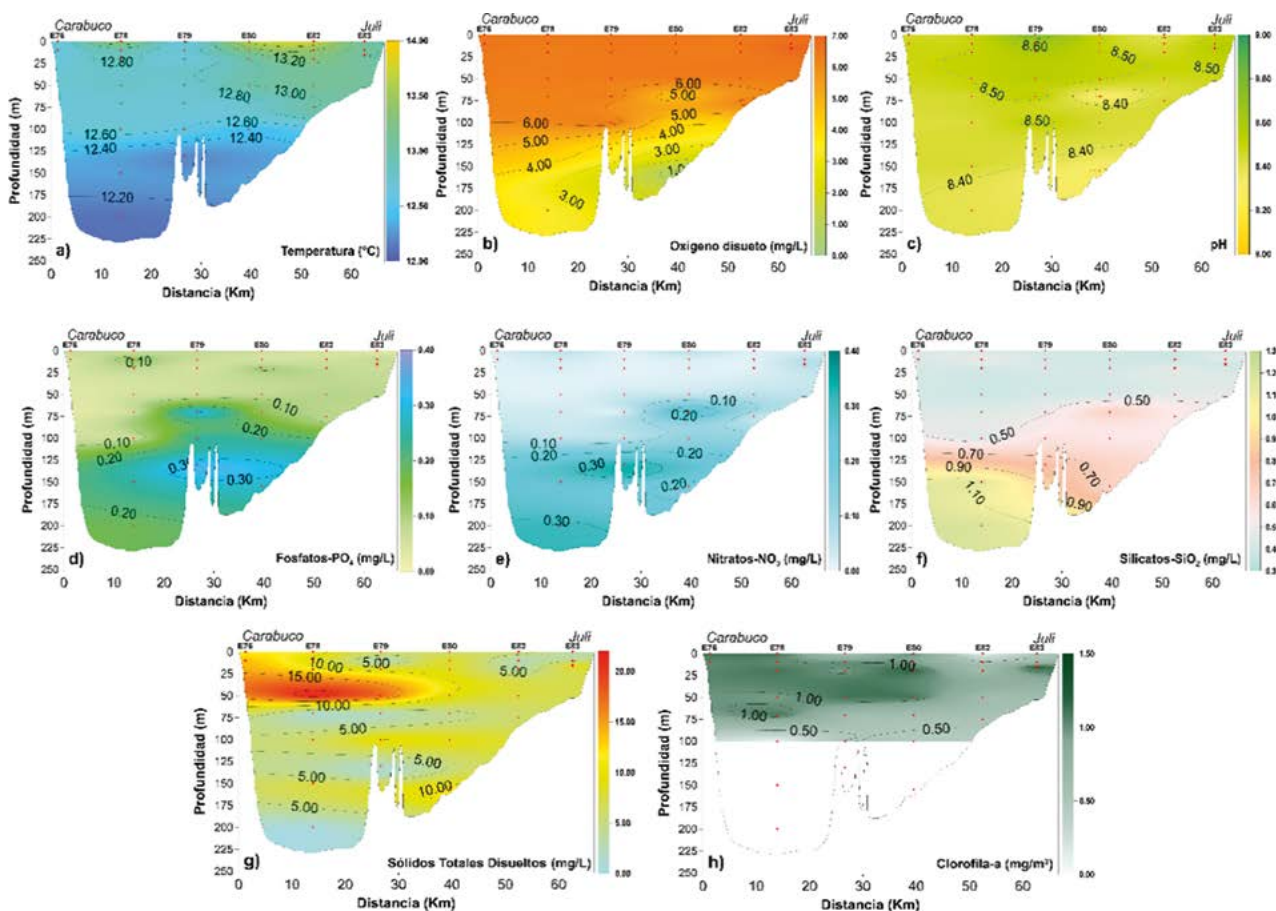


Figura 8.- Distribución vertical de: a) Temperatura (°C), b) Oxígeno disuelto (mg/L), c) pH, d) Fosfato (mg/L), e) Nitrato (mg/L), f) Silicato (mg/L), h) Sólidos Totales Disueltos (mg/L), g) Clorofila-a (mg/m<sup>3</sup>). Sección Carabuco - Juli. Lago Titicaca. Cr.1907

Tabla 7.- Estadístico de los parámetros fisicoquímicos. Distribución vertical. Pomata – Península Copacabana (Lago Mayor, zona sur). Lago Titicaca. Cr1907

ZONA MUESTREO	ESTACIONES MUESTREO	MEDIDAS DE TENDENCIA Y	TEMPERATURA (°C)	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS/cm)	pH (mg/L)	OXÍGENO DISUETO (mg/L)	CO <sub>2</sub> (mg/L)	PO <sub>4</sub> (mg/L)	SiO <sub>2</sub> (mg/L)	NO <sub>2</sub> (mg/L)	NO <sub>3</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	CLOROFILA-A (mg/m <sup>3</sup> )
Pomata-Copacabana (Lago mayor)	3	N° muestras	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
		Máxima	13,1	1521,0	8,52	6,74	3,00	0,223	1,041	0,033	0,349	16,75	1,10
		Mínima	12,4	1514,0	8,31	3,46	1,00	0,057	0,386	0,001	0,011	0,25	0,07
		Media	12,9	1516,6	8,44	5,87	1,73	0,125	0,557	0,006	0,093	2,55	0,73
		Desv.Estandar	0,2	1,7	0,07	1,13	0,53	0,047	0,220	0,008	0,125	4,07	0,30
	Coef. Variabilidad	1,90	0,11	0,83	19,30	30,58	37,39	39,44	122,19	134,96	159,73	41,15	
	Promedio (Columna de agua)	0,5 m	13,0	1516,7	8,45	6,54	1,17	0,107	0,451	0,002	0,023	2,08	0,83
		10 m	13,0	1515,3	8,48	6,56	1,50	0,104	0,404	0,005	0,016	6,08	0,85
		20 m	13,0	1516,3	8,49	6,51	1,50	0,114	0,430	0,005	0,026	1,50	0,91
		50 m	13,0	1516,0	8,49	6,32	2,00	0,125	0,496	0,006	0,031	1,88	0,77
70 m		12,6	1517,0	8,35	4,44	2,00	0,140	0,748	0,007	0,220	1,25	0,55	
100 m	12,4	1519,0	8,37	3,83	2,75	0,186	1,007	0,018	0,345	1,50	0,29		

Tabla 8.- Estadístico de los parámetros fisicoquímicos. Distribución vertical. Península Copacabana-Achacachi (Lago Mayor, Zona Este). Lago Titicaca. Cr1907

ZONA MUESTREO	ESTACIONES MUESTREO	MEDIDAS DE TENDENCIA Y	TEMPERATURA (°C)	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS/cm)	pH (mg/L)	OXÍGENO DISUETO (mg/L)	CO <sub>2</sub> (mg/L)	PO <sub>4</sub> (mg/L)	SiO <sub>2</sub> (mg/L)	NO <sub>2</sub> (mg/L)	NO <sub>3</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	CLOROFILA-A (mg/m <sup>3</sup> )
Penins. Copacabana-Achacachi (Lago mayor)	3	N° muestras	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	9
		Máxima	13,2	1594,0	8,43	6,40	9,20	0,223	1,552	0,007	0,398	15,75	2,64
		Mínima	12,0	1513,0	8,08	1,21	1,00	0,022	0,473	0,001	0,028	1,00	0,44
		Media	12,5	1522,9	8,29	4,86	2,75	0,092	0,742	0,004	0,176	4,84	1,13
		Desv.Estandar	0,3	23,6	0,12	1,61	2,29	0,062	0,309	0,002	0,154	4,24	0,67
	Coef. Variabilidad	2,74	1,55	1,42	33,19	83,24	67,48	41,65	61,22	87,72	87,59	58,96	
	Promedio (Columna de agua)	0,5 m	12,6	1541,7	8,35	6,17	1,50	0,051	0,518	0,003	0,036	4,83	1,79
		10 m	12,5	1516,0	8,41	5,90	1,50	0,092	0,537	0,004	0,028	1,75	1,10
		20 m	12,5	1515,0	8,41	5,82	2,00	0,061	0,626	0,005	0,100	15,75	0,59
		50 m	12,3	1516,0	8,33	4,04	2,50	0,061	0,798	0,006	0,213	6,50	0,59
70 m		12,2	1513,0	8,28	3,83	3,00	0,079	0,841	0,003	0,294	1,50	1,02	
100 m	12,2	1516,0	8,16	4,13	3,00	0,171	0,809	0,002	0,385	4,25	0,44		
150 m	12,0	1518,0	8,18	3,78	3,50	0,140	0,907	0,003	0,348	1,00	-		
190 m	12,6	1518,0	8,08	1,21	9,20	0,223	1,552	0,005	0,398	1,00	-		

Tabla 9.- Estadístico de los parámetros fisicoquímicos. Distribución vertical. Sección Huatajata – Desaguadero. Lago Menor. Cr.1907

ZONA MUESTREO	ESTACIONES MUESTREO	MEDIDAS DE TENDENCIA Y DISPERSIÓN	TEMPERATURA (°C)	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (µS/cm)	pH (mg/L)	OXÍGENO DISUETO (mg/L)	CO <sub>2</sub> (mg/L)	PO <sub>4</sub> (mg/L)	SiO <sub>2</sub> (mg/L)	NO <sub>2</sub> (mg/L)	NO <sub>3</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	CLOROFILA-A (mg/m <sup>3</sup> )
Huatajata - Desaguadero (Lago Menor)	5	N° muestras	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
		Máxima	12,4	1886,0	8,86	7,16	3,00	0,149	0,642	0,023	0,033	11,50	2,29
		Mínima	10,6	1551,0	8,48	6,37	1,00	0,048	0,085	0,001	0,005	0,75	0,59
		Media	11,6	1721,7	8,62	6,79	1,51	0,084	0,316	0,009	0,018	5,46	1,42
		Desv.Estandar	0,6	152,6	0,09	0,24	0,43	0,031	0,130	0,007	0,009	3,49	0,44
	Coef. Variabilidad	5,01	8,86	1,09	3,50	28,61	37,11	41,17	74,90	50,03	63,88	30,93	
	Promedio (Columna de agua)	0,5 m	11,6	1704,8	8,62	6,76	1,40	0,088	0,325	0,011	0,019	3,15	1,29
		5 m	11,9	1662,3	8,61	6,82	1,57	0,080	0,316	0,013	0,016	4,50	1,72
		10 m	11,7	1715,0	8,60	6,64	1,50	0,085	0,333	0,007	0,022	7,08	1,48
		20 m	11,9	1714,5	8,57	6,79	1,65	0,103	0,444	0,003	0,014	6,25	1,14
30 m		12,2	1552,0	8,58	6,56	3,00	0,057	0,436	0,001	0,007	3,00	0,59	

**Sección Pomata–Península Copacabana–Achacachi (Lago Mayor).**- Para el perfil Pomata – Península Copacabana, se apreció temperatura media de 12,9 ± 0,2 °C, el pH 8,44 ± 0,07 y conductividad eléctrica 1.516,6 ± 1,7 µS/cm, presentaron coeficiente de variabilidad muy bajo, en tanto el oxígeno disuelto mostró baja variabilidad con valores altos (>3,5 mg/L)

por encima de 100 m de profundidad, mostrando menor presencia de CO2. Los valores de PO4 (0,125 ± 0,047 mg/L) y SiO2 (0,557 ± 0,220 mg/L) reflejaron moderada variación en tanto el NO3 (0,093 ± 0,125 mg/L) presentó alta variación; observándose mayor presencia en el fondo. Sin embargo, el NO2 y SST fueron fluctuantes con alta variabilidad a nivel

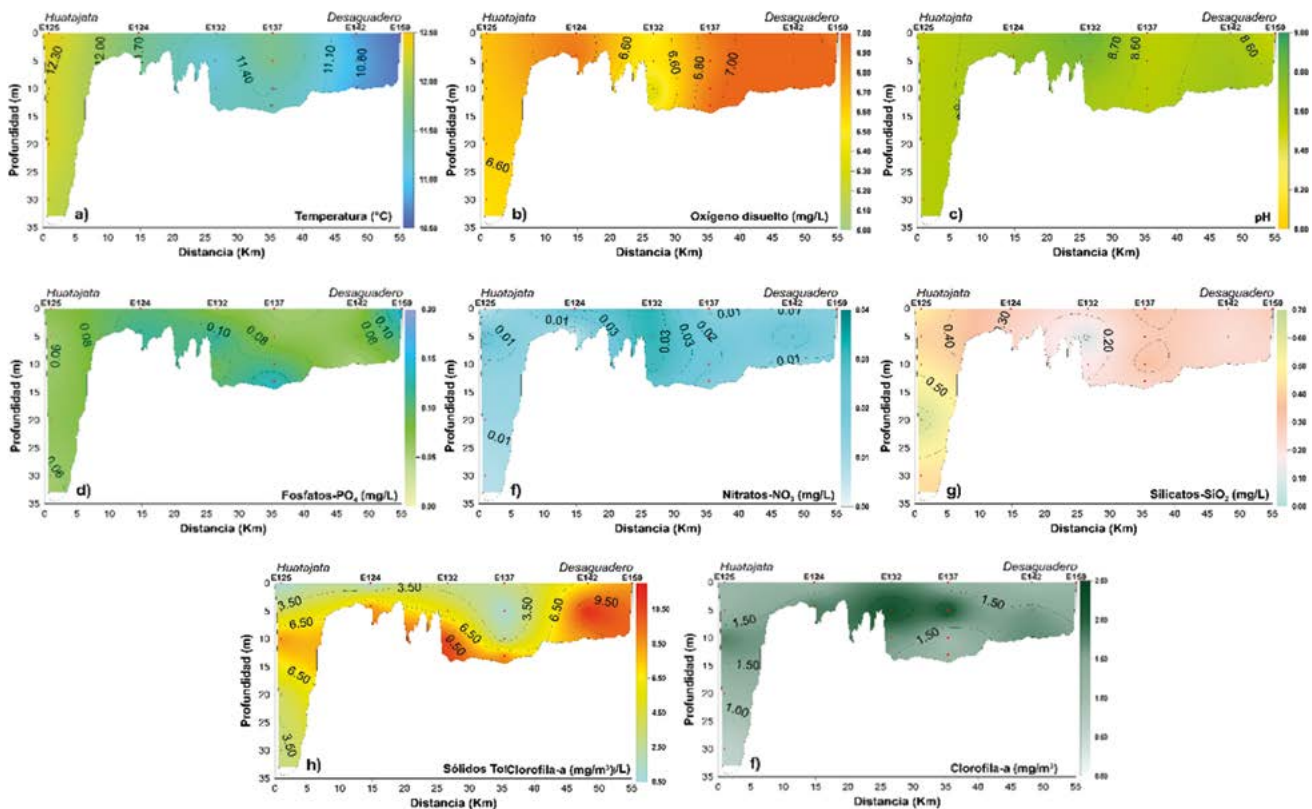


Figura 9.- Distribución vertical de: a) Temperatura (°C), b) Oxígeno disuelto (mg/L), c) pH, d) Fosfato (mg/L), e) Nitrate (mg/L), f) Silicato (mg/L), h) Solidos Totales Disueltos (mg/L), g) Clorofila-a (mg/m<sup>3</sup>). Sección Huatajata - Desaguadero. Lago Titicaca. Cr.1907

vertical. La máxima de clorofila-a ( $>0,90 \text{ mg/m}^3$ ) se observó a 20 m de profundidad (Tabla 7). Respecto al perfil Península Copacabana-Achacachi (lado boliviano), tuvo similar comportamiento, donde la distribución vertical de la temperatura, pH y conductividad también fue homogénea. El oxígeno disuelto fue  $>4,00 \text{ mg/L}$  por encima de 50 m de profundidad y  $\text{SiO}_2 >8,00 \text{ mg/L}$  por debajo de 50 m. Sin embargo, el  $\text{CO}_2$ ,  $\text{PO}_4$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$  y SST mostraron alta variación en sus componentes respectivamente, la máxima de clorofila-a alcanzó hasta 10 m de profundidad (Tabla 8). La extinción de PAR ( $Z_{1\%}$ ) se apreció a 42 m de profundidad (observado a las 13:00 horas) con un coeficiente de atenuación ( $K_{\text{PAR}}$ ) estimado de  $0,11 \text{ m}^{-1}$  en el tramo Pomata – Península Copacabana y a 23 m de profundidad con un  $K_{\text{PAR}}$  de  $0,20 \text{ m}^{-1}$  (percibido a las 11:30 horas) entre Península Copacabana – Achacachi (Tablas 7, 8).

**Sección Huatajata – Desaguadero (Lago Menor).** Este ecosistema acuático de poca profundidad reflejó aguas frías con temperatura media de  $11,4 \pm 0,7 \text{ }^\circ\text{C}$ , mostró valores elevados no significativos en el fondo respecto a los obtenidos en superficie; así mismo, se observó un período de mezcla completa con densidad homogénea al igual que los valores obtenidos

en julio 2018 ( $11,1 \pm 0,40 \text{ }^\circ\text{C}$ ), también se observó gradiente uniforme de oxígeno disuelto, pH y  $\text{CO}_2$ . La mineralización alta en solidos disueltos con  $1739,3 \pm 176,7 \text{ } \mu\text{S/cm}$  de conductividad eléctrica estaría asociada a la presencia de sales como carbonatos y bicarbonatos, fue elevado respecto al valor registrado en julio 2019 ( $1.688,2 \pm 145,57 \text{ } \mu\text{S/cm}$ ). La máxima de clorofila-a ( $>0,70 \text{ mg/m}^3$ ) se presentó a partir de 5 m de profundidad con un patrón de extinción ( $Z_{1\%}$ ) a 15,5 m de profundidad y coeficiente de atenuación ( $K_{\text{PAR}}$ ) estimada de  $0,29 \text{ m}^{-1}$  observada en la zona más profunda del lago Menor (fosa Chua) y la máxima transparencia fue 7,0 m (Tabla 9, Fig. 9).

#### 4. DISCUSIÓN

En el periodo seco, la gradiente térmica presentó fluctuaciones muy estrechas en la columna de agua. Los perfiles termales mostraron débil estratificación (observando una media de  $13,0 \text{ }^\circ\text{C}$  hasta 70 m y  $12,2 \text{ }^\circ\text{C}$  por debajo de 100 m de profundidad) que persiste en la zona media del Lago Mayor en la temporada seca (julio), RICHESON (1977) observó poca diferencia entre la temperatura epilimnética ( $13,0 \text{ }^\circ\text{C}$ ) e hipolimnética ( $11,1 \text{ }^\circ\text{C}$ ), además, percibió un estado isotermal de  $11,1\text{-}11,2 \text{ }^\circ\text{C}$  homogénea hasta 100 m de profundidad; sin embargo, para el

Lago Menor (parte más profunda) LAZZARO (1981) indica que la fuerza de la termoclina al parecer desaparece, observándose una mezcla completa como se presentó en julio 2015 y 2018. Además, ILTIS (1991) indica que las partes menos profundas del Lago Menor y bahía de Puno presentan comportamiento de tipo polimíctico. Por ende, este lago es considerado un lago tropical de altura por su ubicación.

El oxígeno disuelto (OD) experimentó mezcla incompleta en las zonas profundas del Lago Mayor al igual que en julio 2015 y 2018; en superficie (donde se desarrolla la fotosíntesis) este elemento mostró contenido relativamente elevado y homogéneo hasta aproximadamente 100 m de profundidad, Según la Unión Europea (1998) y la OMS (1996), el estándar para el valor de OD para la pesca y la vida acuática varía entre 5,0 y 9,0 mg/L. RICHERSON *et al.* (1975) en 1973 observó ausencia de mezcla por encima de los 100 m, mostrando oxiclina muy reducida en toda la columna. En el hipolimnion, presentó reducción sin llegar a anoxia, según WETZEL (2001); SANCHEZ *et al.* (2017) la disminución de oxígeno disuelto sugiere aumento en la concentración de algunos otros gases en el hipolimnion, principalmente CO<sub>2</sub>, que estaría asociada a la mineralización de materia orgánica impulsada biológicamente; esta condición se estaría dando en el Lago Mayor. Así mismo, ILTIS (1991) menciona que en época de máxima mezcla presenta disminución de la difusión de CO<sub>2</sub> según la profundidad.

La profundidad a la que llegó el 1% de la PAR (zona eufótica), en época seca varió entre 18 y 42 m con coeficiente de atenuación ( $K_{PAR}$ ) de 0,29 m<sup>-1</sup> y 0,11 m<sup>-1</sup> en el Lago Mayor, medido entre 11 y 14 horas, aproximadamente; sin embargo, frente a la desembocadura del río Ramis se estimó muy baja penetración de la luz llegando hasta 14 m y  $K_{PAR}$  0,33 m<sup>-1</sup> medido a las 13 horas. RICHERSON (1977) en 1973 estimó un coeficiente de penetración de la luz de 0,07 m<sup>-1</sup> en el Lago Mayor, sin embargo, en el Lago Menor los valores de Z1 para la PAR fue 15,5 m y  $K_{PAR}$  0,29 m<sup>-1</sup>, mientras que LAZZARO (1981) entre 1979-1980, observó una zona eufótica a 20 m y coeficiente de penetración de la luz de 0,24 m<sup>-1</sup>, lo que indicaría el avance del proceso de eutrofización en el Lago Menor. Según RAMÍREZ *et al.* (2015) el valor de K es mayor en la región litoral que en la zona pelágica, donde la atenuación es ejercida básicamente por el fitoplancton y SST. Cabe señalar que la sensibilidad de la penetración de la luz está asociada al periodo de muestreo (lluvioso o seco), variables meteorológicas, biológicas y hora del muestro (WETZEL, 2001).

La máxima de clorofila-a, presentó valores elevados en la bahía de Puno y en zonas poco profundas del Lago Mayor. Este pigmento fitoplanctónica ( $\leq 1,5$  mg/m<sup>3</sup>) se presentó desde 10 hasta 100 m de profundidad en el Lago Mayor (presencia de una termoclina y oxiclina muy estrecha en la época seca), fueron menores respecto a los valores promedios reportados en 1973 por RICHERSON *et al.* (1977). En el Lago Menor ( $\geq 1,0$  mg/m<sup>3</sup>) se mostró elevado respecto a los valores  $\leq 0,5$  mg/m<sup>3</sup> reportado por LAZZARO (1981) en la época seca entre 1979-1980. El incremento de este pigmento puede deberse a los procesos fotosintéticos asociados a la eutrofización (ILTIS, 1991; NORTHCOTE, 1991; WETZEL, 2001; POUILLY *et al.*, 2014)

El pH en el Lago Mayor al igual que en las evaluaciones en julio de anteriores años, se observó ligeramente menor a lo registrado por RICHERSON *et al.* (1977) en 1973 en el epilimnio (8,50) y en el hipolimnion se apreció también tendencias menores ( $\leq 8,40$ ) respecto a los observados en el periodo isotermal de 1973 ( $\leq 8,50$ ), con ciertos episodios fluctuantes que se debería a la actividad fotosintética (NORTHCOTE, 1991). Un rango de pH de 6,5 a 8,5 es aceptable para la biota acuática de acuerdo con APHA (1999).

En julio 2019, en el Lago Mayor, el epilimnion mostró concentraciones bajas de silicatos respecto a los valores obtenidos en el hipolimnion por RICHERSON *et al.* (1977) en julio 1973, quienes reportaron una gradiente más acentuada del fondo hacia la superficie favoreciendo su difusión, indicando un crecimiento elevado de las diatomeas. En las zonas litorales fueron fluctuantes.

Las concentraciones de fosfatos presentaron valores bajos ( $< 0,070$  mg/L) en la capa superior desde 0,5 – 50 m (epilimnion) y altas ( $> 0,100$  mg/L) en la capa profunda desde 70 – 250 m (hipolimnion) en la zona pelágica del Lago Mayor. Este resultado puede explicarse considerando que el reciclado del fósforo hacia la parte superior de la columna de agua es menor debido a mayor profundidad y mayor distancia respecto a la orilla, lo que trae como consecuencia que el fósforo, que se precipita, tenga mayor dificultad para alcanzar la superficie y por tanto el material exógeno es muy bajo en este sitio (WETZEL, 2001; MARGALEF, 1983). RICHERSON *et al.* (1977) en 1973 reportó 0,015 mg/L entre 0-30 m de profundidad y 0,035 mg/L ( $> 30$  m); así mismo, POUILLY *et al.* (2014) indican que en 1984 – 1985 se apreciaron concentraciones  $< 0,043$  mg/L en columna de agua del Lago Mayor (lado boliviano); según

WETZEL (2001) se puede indicar que este incremento paulatino estaría asociado a los procesos internos del fósforo en el cuerpo de agua que puede deberse a las fuentes alóctonas y autóctonas.

Las concentraciones mayores de nitratos (>0,120 mg/L) fueron observadas en el hipolimnion desde 100 m de profundidad, estaría asociado al proceso de nitrificación por oxidación de la materia orgánica.

## 5. CONCLUSIONES

En el Lago Mayor se presentó un periodo de mezcla incompleta en la columna de agua, en la bahía de Puno y Lago Menor la mezcla fue homogénea con episodios de estratificación muy estrecha.

El oxígeno disuelto fue alto por encima de 50 m de profundidad, no se apreció anoxia en el fondo del lago. También hubo estabilidad de pH básico; ideales para el soporte de la vida acuática.

Altos contenidos de conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales se presentaron en el Lago Menor.

La máxima de clorofila-a se registró entre 10 y 50 m de profundidad en el Lago Mayor. En zonas poco profundas como la bahía de Puno y Lago Menor se encontró en el fondo.

Mayores contenidos de fosfatos y nitratos estuvieron distribuidos en el hipolimnion (por debajo de 100 m de profundidad) en el Lago Mayor. Así mismo, se observó altos contenidos de fosfatos y nitratos frente a la desembocadura del río Coata (bahía de Puno) y Desaguadero en el Lago Menor.

Mostraron estabilidad la temperatura, pH y conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto y CO<sub>2</sub> mostraron niveles medios de variación, sin embargo, los PO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub> y clorofila-a presentaron alto nivel de variación.

## 6. REFERENCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewaters, 21st Edition. Centennial Edition. APHA, American Water Works Association, Water Environmental Federation, Washington, DC.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). (1999). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed., Washington D.C.

CABRERA, S., MONTECINO, V. (1987). Productividad primaria en ecosistemas límnicos. Arch. Biol. Med. Exp., 20, 105-116.

COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION (Unión Europea). (1998). On The Quality of Water Intended for Human Consumption, Council Directive 98/83/EC, OJ 230.

HANNA. (2017). Manual de instrucciones HI 3818 Equipo de Análisis dióxido de Carbono rango 0-100 mg/L.

ILTIS, A. (1991). Físico Química. En: Dejoux, C. & A. Iltis (eds.), El Lago Titicaca: síntesis del conocimiento limnológico actual. La Paz: Hisbol - ORSTOM. 584 pp. [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers08-10/36603.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers08-10/36603.pdf)

IMARPE. (2013). Protocolo de análisis de agua de mar. Cod. IMP-AFIOQG/Pt-LAB 01.01. Edición 01, febrero 2013, 5 pp.

IMARPE. (2015). Informe Final, Crucero de Estimación de la Biomasa Íctica en el Lago Titicaca. Cr.1507-08. 53 pp.

LAZZARO, X. (1980). Etude du phytoplancton de la station de Chua (Lago Pequeño): physicochimie, production primaire, peuplements. ORSTOM, 50 pp.

LAZZARO, X. (1981). Biomasses, peuplements phytoplanctoniques et production primaire du Lac Titicaca, Revue d'Hydrobiologie tropicale, 14, 349-380.

LAZZARO, X. (1985). Poblaciones, biomasa y producciones fitoplanctónicas del Lago Titicaca, Ecología en Bolivia NP, 7, 23-63.

LEÓN-PALMEROA, RECHEA, I., MORALES-BAQUEROA. (2017). Atenuación de luz en embalses del sureste de la Península Ibérica. V Jornadas de Ingeniería del Agua. 24-26 de octubre. A Coruña.

MARGALEF, R. (1983). Limnología. Ediciones Omega S.A Barcelona, 1010 pp.

NORTHCOTE, T. (1991). Contaminación. En: DEJOUX, C. & A. Iltis (EDS.), El Lago Titicaca: síntesis del conocimiento limnológico actual. La Paz: Hisbol - ORSTOM, 584 pp

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. IRD -UICN, Quito, Ecuador. 320 pp.

RAMÍREZ, R. J. J., ARCILA, L. M. C., SEPÚLVEDA, A. S. C. (2015). Cuantificación de los componentes que afectan el coeficiente de atenuación vertical para irradiación descendente en el embalse Riogrande II (Colombia). Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat., 39(151), 228-238. doi: <http://dx.doi.org/10.18257/raccefyn.150>

RESERVA NACIONAL DEL TITICACA (RNT). (2003). Plan Maestro de la Reserva Nacional del Titicaca. Lima: Instituto Nacional de Recursos Naturales.

RICHERSON, P. J. (1975). Régimen de estratificación termal. En: Dejoux, C. & A. Iltis (eds.), El Lago Titicaca: síntesis del conocimiento limnológico actual. La Paz: Hisbol - ORSTOM, 584 pp.

RICHERSON, P. J., WIDMER, C., KITTEL, T. (1977). The limnology of Lake Titicaca (Peru-Bolivia), a large, high altitude tropical lake, University of California, Institute of Ecology, Davis, USA, 43p.

SANCHEZ, *et al.* (2017). Anthropogenic and climatic factors enhancing hypolimnetic anoxia in a temperate mountain lake. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.10.049>

WETZEL, R. G. (2001). Limnología. Ediciones OMEGA S.A. Barcelona - España. 671 pp.