

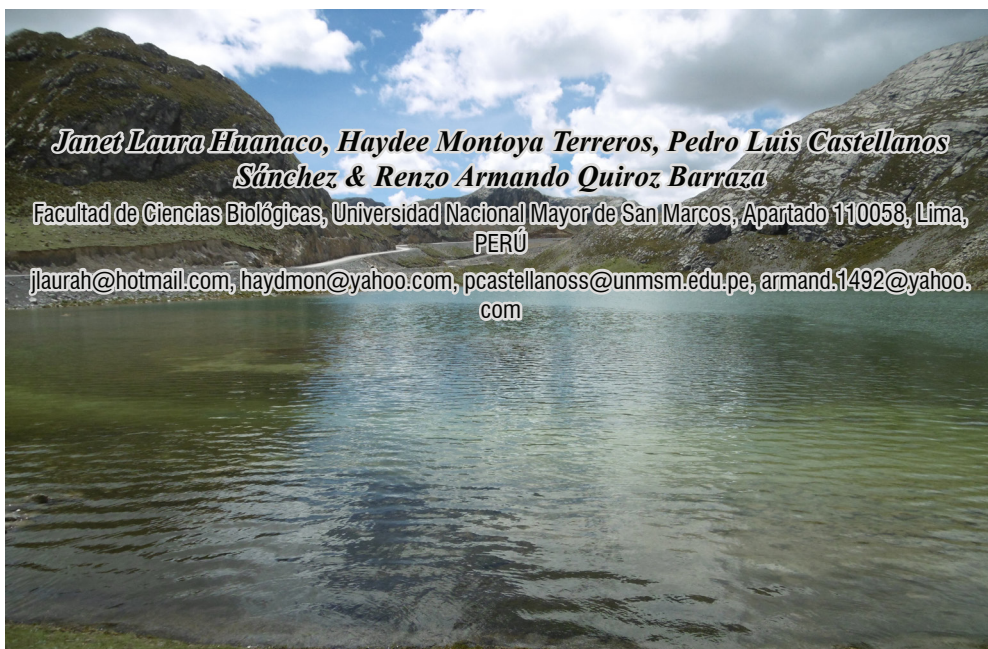
Evaluación de la diversidad del fitoplancton de la laguna La Viuda (Lima, Perú) en agosto- noviembre 2016

Phytoplankton diversity assessment of La Viuda Lagoon (Lima, Peru) in August-November 2016

*Janet Laura Huanaco, Haydee Montoya Terreros, Pedro Luis Castellanos
Sánchez & Renzo Armando Quiroz Barraza*

Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Apartado 110058, Lima,
PERÚ

jlaurah@hotmail.com, haydmon@yahoo.com, pcastellanoss@unmsm.edu.pe, armand.1492@yahoo.
com



Resumen

El Perú tiene una megadiversidad de lagunas altoandinas, siendo la laguna La Viuda, ubicada en Lima (4500 m s.n.m.), una de ellas. El muestreo de fitoplancton se realizó en agosto (3 estaciones) y en noviembre (7 estaciones). Se evaluó la calidad del agua mediante parámetros fisicoquímicos (temperatura, conductividad, pH, salinidad, fosfato, nitrato, nitrógeno, fósforo, metales totales y dureza); el conteo de fitoplancton se realizó por el método de Lackey (cel/mL); además se calcularon la abundancia (%) y los índices de diversidad alfa (diversidad, riqueza, dominancia y equitatividad). En agosto (invierno), la división Bacillariophyta predominó en E-01 (75.41 %) y la división Chlorophyta en E-02 (66.52 %) y E-03 (63.19 %); en noviembre (primavera) la división Bacillariophyta predominó en E-01 (64.27 %) y E-02 (55.30 %), mientras que en las demás estaciones la división Chlorophyta fue la más abundante. La diversidad alfa para agosto indicó que hay una mayor diversidad de especies en la E-01 con respecto a las otras estaciones y no hay dominancia. En noviembre, se observó una mayor diversidad en la E-08 y sí existe dominancia en la E-06, predominando *Oocystis lacustris* Chodat con un 69.45 %. Esta laguna tiene aguas frías, pH ácido, salinidad muy baja, conductividad baja, dureza moderada, niveles de nitratos y fosfatos reducidos, y entre los metales el calcio, sílice y magnesio fueron los más abundantes. El presente trabajo aporta una investigación de la diversidad fitoplanctónica y la calidad del agua de la laguna La Viuda por no existir antecedentes de estudios de este cuerpo de agua.

Palabras clave: laguna La Viuda, fitoplancton, diversidad alfa, parámetros fisicoquímicos, calidad del agua.

Abstract

Peru is a country with numerous high-Andean lagoons. La Viuda Lagoon located in Lima (4500 m a.s.l.) is one of them. The phytoplankton sampling was executed in August (3 stations) and November (7 stations). The quality of water was evaluated using physicochemical parameters (temperature, conductivity, pH, salinity, phosphate, nitrate, nitrogen, phosphorus, total metals and hardness); the phytoplankton counting was performed by the Lackey method (cel/mL); abundance (%) and the alpha diversity indexes (richness, diversity, dominance and evenness) were calculated. In August (winter), the Bacillariophyta division predominated in E-01 (75.41 %) and the Chlorophyta division in E-02 (66.52 %) and E-03 (63.19 %); in November (spring) the Bacillariophyta division predominated in E-01 (64.27 %) and E-02 (55.30 %), while in the others stations the Chlorophyta division was the most abundant. The alpha diversity for August indicates us that there is a greater diversity of species in the E-01 with respect to the others seasons, there isn't dominance. In November, there is higher diversity of species in the E-08, the station with higher dominance was E-06 in which *Oocystis lacustris* Chodat predominated with 69.45 %. This lagoon has cold waters, acid pH, very low salinity, low conductivity, moderate hardness, reduced nitrate and phosphate, and among the metals, calcium, silica and magnesium were the most abundant. The present work provides an investigation of the phytoplanktonic diversity and water quality of La Viuda Lagoon because there is no background of studies of this body of water.

Keywords: La Viuda Lagoon, phytoplankton, alpha diversity, physicochemical parameters, water quality.

Citación: Laura, J.; H. Montoya; P. Castellanos & R. Quiroz. 2018. Evaluación de la diversidad del fitoplancton de la laguna La Viuda (Lima, Perú) en agosto-noviembre 2016. *Arnaldoa* 25 (3): 1027-1040. DOI: <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.253.25314>

Introducción

El Perú cuenta con numerosas lagunas en las cordilleras altoandinas que se originan directa o indirectamente de los nevados. Entre las principales cordilleras nevadas en el territorio peruano tenemos: Blanca, Huallanca, Raura, La Viuda, Central, Chonta, Ampato, Vilcabamba, Urubamba, Chila, La Raya, Vilcanota, Apolobamba, entre otras. La Cordillera La Viuda, tiene cerca de 1074 Lagunas: 816 lagunas inventariadas, y 258 lagunas no inventariadas, y comprende un área de 10577,06 km² (ANA, 2014).

La laguna altoandina Verde Cocha es conocida como La Viuda y está ubicada en la cordillera la Viuda del departamento de Lima. La unidad litoestratigráfica de esta zona está compuesta de calizas micriticas gris parda a beige, en capas medias a gruesas, intercaladas con calizas nodulares y que pertenecen a la eratema mesozoica, sistema cretáceo y serie superior (INGEMMET, 2017).

Nuestro país cuenta con una vasta riqueza natural que incluye a los

organismos acuáticos, como el fitoplancton. Varias lagunas altoandinas no han sido investigadas, como el caso de la Laguna La Viuda. Los inventarios corresponden a la parte física y no biológica por lo que no se conoce los componentes biológicos para tomar medidas de conservación en caso de deterioro de su biodiversidad (MINAM, 2014). Asimismo, hay lagunas de nuestro país que no han sido aún categorizadas por la Autoridad Nacional de Agua, por la ausencia de datos con respecto a la calidad del agua como la Laguna La Viuda (DS 004-2017). La presente investigación tiene como objetivo determinar la diversidad del fitoplancton y la calidad del agua de la laguna La Viuda, contribuir en el conocimiento de esta laguna altoandina con el fin de aportar información para futuras investigaciones.

Material y métodos

Muestreo

La laguna La Viuda está localizada en el departamento de Lima, provincia de Canta, a una altitud de 4500 msnm, para la primera evaluación (agosto-2016)

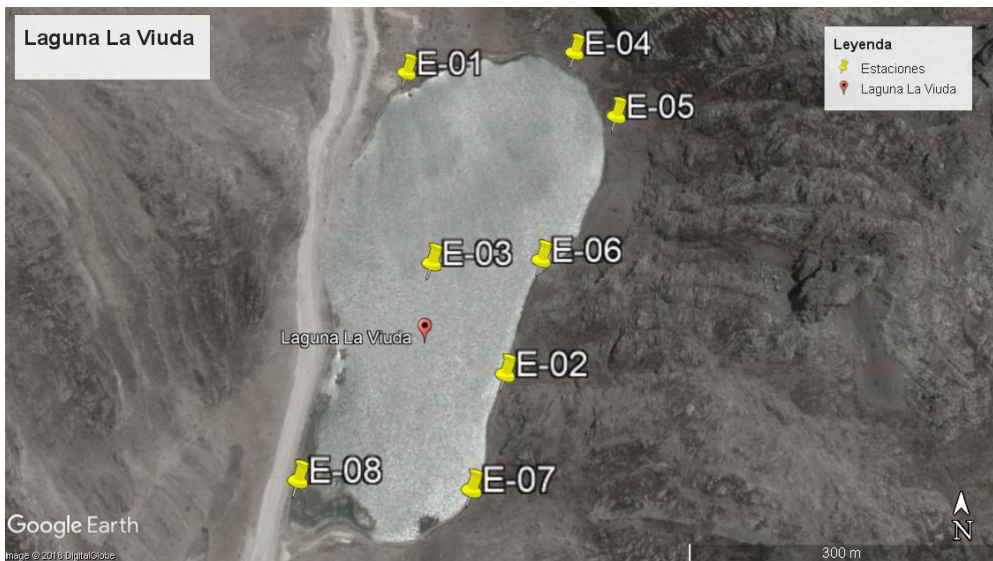


Fig. 1. Estaciones de muestreo de la laguna La Viuda (4500 m s.n.m.). Fuente: Google Earth.

se establecieron tres estaciones de muestreo: E-01 y E-02 ubicados en la zona litoral y E-03 (zona limnética). Para la segunda evaluación (noviembre-2016) se establecieron 7 estaciones de muestreo: E-01, E-02, E-04, E-05, E-06, E-07 y E-08. El punto E-03 no fue realizado debido a la falta de accesibilidad a la zona limnetica. La toma de muestra para calidad del agua se realizó los puntos E-01, E-02 y E-08 (Fig. 1).

La selección de los puntos de muestreo se realizó de acuerdo a la morfología del litoral y accesibilidad de la laguna: E-01, litoral con abundante sedimento arenoso;

E-02, sin litoral, pendiente rocosa vertical abrupta, escasa vegetación de Poaceae; E-03, zona limnética; E-04, litoral de piedras pequeñas, vegetación de Poaceae; E-05, litoral pedregoso con pendiente elevado y Poaceae, presencia de musgos acuáticos; E-06, litoral pedregoso con pendiente elevado y vegetación abundante de Poaceae; E-07, litoral pedregoso, vegetación sumergida; E-08, litoral pedregoso sin vegetación, sedimento lodoso. Las estaciones de muestreo fueron georreferenciados con un GPS (GARMIN etrex 10) (Tabla 1).

Tabla 1. Ubicación espacial de las estaciones de muestreo (UTM).

Estaciones	Puntos UTM		Estaciones	Puntos UTM	
E-01	N	8744282	E-03	N	8744073
	E	342847		E	342878
E-02	N	8743959	E-04	N	8744306
	E	342955		E	343029
E-05	N	8744234	E-07	N	8743845
	E	343073		E	342922
E-06	N	8744077	E-08	N	8743853
	E	342992		E	342749

La metodología de recolección de la muestra se realizó en frascos de 1L, las cuales fueron preservadas con formaldehído al 4% para su análisis posterior (APHA, 2012; MINAM, 2014). Las muestras fueron superficiales (0-30 cm de profundidad).

La calidad del agua (salinidad, fosfato, nitrato, fosforo total y dureza) se realizó de acuerdo al APHA (2012). El nitrógeno total fue realizado por el método de Kjeldahl (APHA, 2012). Los metales totales se realizaron por el método de espectrofotometría de plasma ICP-OES (EPA, 1994) y los datos resultantes fueron transformados en logaritmo

decimal para la interpretación de los resultados. La temperatura fue registrada con un termómetro (Boeco) y el pH con varillas Sigma-Aldrich, ambos *in situ*. La conductividad fue medida en un equipo multiparámetro (Thermo Scientific).

Identificación y análisis cuantitativo del fitoplancton de la laguna La Viuda

El análisis de fitoplancton cualitativo y cuantitativo se realizó de acuerdo al APHA (2012), empleando la técnica de concentración por sedimentación. La identificación y enumeración del fitoplancton se realizó mediante un microscopio compuesto con ocular micrometrico (LW scientific I-4 se-

ries). Así mismo, el conteo se realizó según el método de Lackey (1938).

La identificación taxonómica de especies se realizó de acuerdo a Prescott (1973), Bellinger & Sigeer (2010). Los cálculos de los índices biológicos (índice de Margalef; índice de Shannon-Wiener; índice de simpson; índice de Dominancia de Simpson, índice recíproco de Simpson, índice de Pielou y la abundancia (Samo *et al.*, 2008; MINAM, 2014).

Resultados

Evaluación de la calidad del agua

Los resultados de la calidad del agua de la laguna La Viuda indican que es un cuerpo de aguas frías (13,3-17,5 °C), aguas dulces (salinidad 0,11-0,13 ppm), ligeramente ácidas (pH 6), conductividad (166-183 μS/cm), fosfato (0,001-0,04 ppm), nitrato (0,09-0,16 ppm), nitrógeno (2,96-3,42 ppm), fósforo (0,008-0,054 ppm) (Tabla 2).

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos de las tres estaciones de muestreo en la laguna La Viuda en primavera (noviembre 2016).

Estación	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (μS/cm)	Salinidad (ppm)	Fosfato (ppm)	Nitrato (ppm)	Nitrógeno (ppm)	Fósforo (ppm)
E-01	13,3	6	182	0,13	0,01	0,16	3,42	0,042
E-02	13,8	6	183	0,13	0,04	0,12	2,96	0,054
E-08	17,5	6	166	0,11	0,001	0,09	3,18	0,008

Respecto a los metales totales, se observa que los elementos con valores más elevados son Ca (22,78-25,84 ppm), Si (1,15-1,21 ppm), Mg (1,51-1,54 ppm), K

(0,35-0,38 ppm) y Na (0,24-0,26 ppm) (Fig. 2). La dureza total medida como carbonato de calcio se registró para la E-01: 70,28, E-02: 70,79 y E-08: 63,11 mg CaCO₃/L.

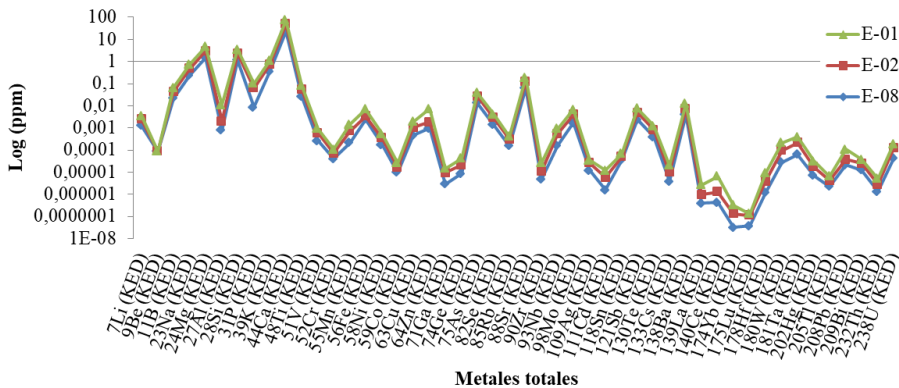


Fig. 2. Concentración de metales totales (ppm) por ICP óptico de tres estaciones de la laguna La Viuda en primavera (noviembre 2016).

Fitoplancton e índice de diversidad de la laguna La Viuda

La evaluación de las divisiones fitoplanctónicas en invierno (agosto)

demonstraron la mayor abundancia de Chlorophyta en E-02 (66,52%) y E-03 (63,19%), mientras que en la estación E-01 la mayor abundancia corresponde a la división Bacillariophyta (75,41%) (Tabla 3).

Tabla 3. Concentración (cel/mL) y su abundancia (%) por divisiones de fitoplancton en invierno (agosto 2016), laguna La Viuda.

División	E-01		E-02		E-03	
	Concentración (cel/mL)	Abundancia (%)	Concentración (cel/mL)	Abundancia (%)	Concentración (cel/mL)	Abundancia (%)
Bacillariophyta	57,02	75,41	1,39	4,02	1,88	7,64
Dinophyta	2,07	2,73	8,37	24,11	5,80	23,61
Chlorophyta	14,88	19,67	23,09	66,52	15,51	63,19
Cyanophyta	0,41	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00
Otros	1,24	1,64	1,86	5,36	1,36	5,56
Organismos fitoplanctónicos totales	75,62	100,00	34,71	100,00	24,55	100,00

La evaluación de las divisiones del fitoplancton en primavera (noviembre) demostraron la mayor abundancia de Bacillariophyta en la E-01 (64,27%) y Chlorophyta en la E-02 (55,30%), mientras que en las demás estaciones la división Chlorophyta fue la más abundante (Tabla 4).

Tabla 4. Concentración (cel/mL) y su abundancia (%) por divisiones de fitoplancton en primavera (noviembre 2016), laguna La Viuda.

División	E-01		E-02	
	Concentración (cel/mL)	Abundancia (%)	Concentración (cel/mL)	Abundancia (%)
Bacillariophyta	485,84	64,27	578,33	55,30
Dinophyta	20,94	2,77	17,32	1,66
Chlorophyta	249,20	32,96	434,61	41,56
Cyanophyta	0,00	0,00	0,00	0,00
Otros	0,00	0,00	15,58	1,49
Organismos fitoplanctónicos totales	755,99	100,00	1045,84	100,00
División	E-04		E-05	
	Concentración (cel/mL)	Abundancia (%)	Concentración (cel/mL)	Abundancia (%)
Bacillariophyta	398,03	23,04	208,62	31,74
Dinophyta	120,51	6,98	51,33	7,81
Chlorophyta	1110,11	64,27	395,72	60,20
Cyanophyta	87,64	5,07	0,00	0,00
Otros	10,96	0,63	1,66	0,25
Organismos fitoplanctónicos totales	1727,25	100,00	657,32	100,00
División	E-06		E-07	
	Concentración (cel/mL)	Abundancia (%)	Concentración (cel/mL)	Abundancia (%)
Bacillariophyta	48,49	10,63	479,52	41,99

Dinophyta	6,93	1,52	42,62	3,73
Chlorophyta	400,07	87,67	614,50	53,81
Cyanophyta	0,00	0,00	0,00	0,00
Otros	0,87	0,19	5,33	0,47
Organismos fitoplanctónicos totales	456,36	100,00	1141,97	100,00
División	E-08			
	Concentración (cel/mL)	Abundancia (%)		
Bacillariophyta	159,81	43,42		
Dinophyta	20,09	5,46		
Chlorophyta	188,12	51,12		
Cyanophyta	0,00	0,00		
Otros	0,00	0,00		
Organismos fitoplanctónicos totales	368,02	100,00		

La diversidad del fitoplancton para el mes de agosto en las estaciones (E-01, E-02, E-03) se presentan en la Fig. 3. La E-01 observó que los organismos fitoplanctónico más abundantes (%) fueron *Fragilaria* sp. (18,58%), *Cymbella* sp. (16,94 %), *Sphaerocystis schroeteri* Chodat (14,75%), *Navicula* sp. 2 (14,21%). En E-02, *Sphaerocystis schroeteri* Chodat

fue el más abundante con el 43,76 % seguido de *Gymnodinium* sp. (22,77%) y *Oocystis lacustris* Chodat (22,32%). En E-03 el organismos más abundante fue *Sphaerocystis schroeteri* Chodat (41,67%) seguido de *Gymnodinium* sp. (15,97%) y *Oocystis lacustris* Chodat (14,58%) respectivamente.

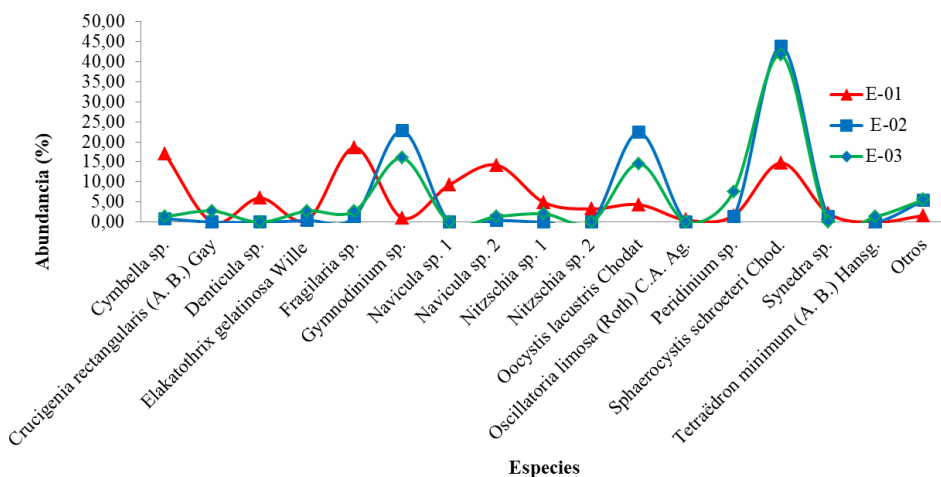


Fig. 3. Abundancia (%) del fitoplancton en tres estaciones de muestreo de la laguna La Viuda, (agosto 2016).

Los análisis de los índices de diversidad alfa para el mes de agosto indicaron que hay una mayor riqueza en las estaciones E-03 (3,12) y E-01 (3,01). La mayor diversidad de especies se alcanzó en la E-01 (índice de Shannon-Wiener de 3,30 e índice de diversidad de Simpson de 0,88) con respecto a las otras estaciones. El índice

de dominancia de Simpson al tener un valor de 0,12 reafirma la diversidad de la E-01 por ser el valor más bajo con respecto a las otras estaciones. La tendencia de equitatividad de las especies en la E-01 fue demostrada por el índice de Pielou (0,87). Así mismo, no se observa dominancia en ninguna estación (Tabla 5).

Tabla 5. Índices biológicos de diversidad alfa para tres estaciones de muestreo durante invierno (agosto 2016), laguna La Viuda.

Índices de Diversidad alfa	ESTACIÓN		
	E-01	E-02	E-03
Número de especies	14,00	9,00	11,00
Índice de Riqueza de Margalef	3,01	2,26	3,12
Índice de Diversidad Shannon-Wiener	3,30	2,10	2,67
Índice de Dominancia de Simpson	0,12	0,30	0,23
Índice recíproco Simpson	8,06	3,37	4,30
Índice de Diversidad de Simpson	0,88	0,70	0,77
Índice de Pielou	0,87	0,66	0,77

La diversidad del fitoplancton de la Laguna La Viuda (Lima-Perú) para el mes de Noviembre-2016 demostró que *Fragilaria* sp. fue la especie más abundante

en las estaciones E-01 (35,73%), E-02 (42,38%), mientras que en las demás estaciones la especie más predominante fue *Oocystis lacustris* Chodat (Fig. 4).

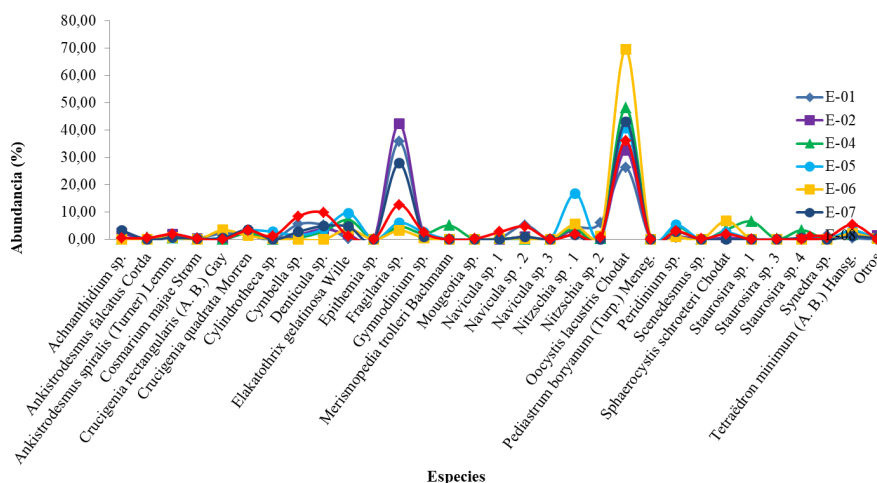


Fig. 4. Abundancia (%) del fitoplancton en 7 estaciones de muestreo de laguna La Viuda (noviembre 2016). La clorofita *Oocystis lacustris* Chodat fue la especie más abundante (línea amarilla) en la E-06.

Los análisis de los índices de diversidad alfa para el mes de noviembre indicaron que hay una mayor riqueza y diversidad en la E-08 (3,55 y 3,30) con respecto a las otras

estaciones. El índice de dominancia de Simpson para la E-06 fue 0,49, esto indicó que existe dominancia predominando *Oocystis lacustris* Chodat (Tabla 6).

Tabla 6. Índices biológicos de diversidad alfa para siete estaciones de muestreo, primavera (noviembre 2016), laguna La Viuda.

Índices de Diversidad alfa	ESTACIÓN						
	E-01	E-02	E-04	E-05	E-06	E-07	E-08
Número de especies	19,00	16,00	20,00	15,00	15,00	16,00	22,00
Índice de Riqueza de Margalef	2,72	2,16	2,55	2,16	2,29	2,13	3,55
Índice de Diversidad Shannon-Wiener	2,89	2,47	2,95	2,88	1,88	2,56	3,30
Índice de Dominancia de simpson	0,21	0,29	0,26	0,22	0,49	0,27	0,17
Índice recíproco Simpson	4,70	3,44	3,92	4,63	2,02	3,67	5,81
Índice de Diversidad de Simpson	0,79	0,71	0,74	0,78	0,51	0,73	0,83
Índice de Pielou	0,68	0,62	0,68	0,74	0,48	0,64	0,74

Discusión

La presente investigación contribuye al conocimiento de la composición de metales que en un futuro podría servir para categorizar este cuerpo de agua según los Estándares de Calidad Ambiental para Agua de nuestro país (ECA), según el ECA la concentración de los metales debe ser indispensables para conocer la calidad del agua, entre los metales hallados en la laguna La Viuda, tenemos al aluminio (Al) 0,0008-0,0088, arsénico (As) 0,0113-0,0135, berilio (Be) 0 - $8,5 \times 10^{-5}$, boro (B) 0,021-0,022, cadmio (Cd) $1,55 \times 10^{-6}$ - $6,22 \times 10^{-6}$, cobalto (Co) $7,05 \times 10^{-6}$ - $9,69 \times 10^{-6}$, cobre (Cu) 0,0005-0,0009, cromo (Cr) $3,04 \times 10^{-5}$ - $4,03 \times 10^{-5}$, hierro (Fe) 0,0009-0,0036, litio (Li) 0,00114-0,00125, mercurio (Hg) $1,04 \times 10^{-5}$ - $7,06 \times 10^{-5}$, níquel (Ni) 0,00017-0,00019, plomo (Pb) $1,61 \times 10^{-5}$ - $7,09 \times 10^{-5}$, uranio (U) $4,15 \times 10^{-5}$ - $7,73 \times 10^{-5}$, vanadio (V) 0,00026-0,0035, talio (Tl) $1,89 \times 10^{-6}$ - $2,29 \times 10^{-6}$, zinc (Zn) 0,0009-0,0053, entre otros, cuyas concentraciones en esta laguna está por debajo de los límites del ECA lo que puede explicarse por los atributos geológicos de los suelos, subsuelos o fenómenos extremos, entre otros. Estos también podrían influenciar y hacer que las concentraciones de estas características inorgánicas sean superiores a la categoría de los ECA por ello, es necesario conocer esta data preliminar de metales (DS 004-2017-MINAM). Los

datos de dureza (70,28 para la E-01, 70,79 para E-02 y 63,11 mg CaCO₃/L para E-08) demostraron que la laguna La Viuda tiene aguas moderadamente duras según la clasificación de dureza OMS (2011), estos resultados son coherentes con el hecho de que la unidad litoestratigráfica de la laguna La Viuda se encuentra sobre caliza micrítica (INGEMMET, 2017).

La diversidad de especies observadas puede atribuirse a la presencia de micronutrientes como potasio, sílice, sodio y en general a los otros microelementos que son necesarios para el crecimiento de fitoplancton, por ejemplo el silicio es importante y requerido por las diatomeas, y el selenio puede ser importante para algunos género como Chrysochomulina (Andersen, 2005; Bellinger & Sigeo 2010).

Las concentraciones de nitrógeno y fósforo halladas están asociadas al estado trófico de la laguna. Diversos autores han realizado investigaciones para determinar índices tróficos enfocados principalmente en el nitrógeno y fósforo, sin embargo, clasificar el estado trófico de un cuerpo de agua únicamente con parámetros clásicos como nitrógeno total y fósforo total no es lo más adecuado, por ello se han ido introduciendo otros parámetros como el carbono, clorofila y transparencia, entre otros (Janus & Vollenweider, 1981).

En nuestro estudio observamos que

el valor del nitrógeno total en ppm se encuentra entre 2,96-3,42 y el fósforo total en ppm está entre 0,008-0,054. Los valores de nitrógeno total no cumplirían con el ECA y los valores de fósforo total de E-01 y E-02 tampoco cumplirían (DS 004-2017). De acuerdo a las tablas de TSI de Carlson (1977) y otros investigadores (Janus & Vollenweider, 1981), si tomamos el valor del fósforo (como único factor limitante), las tres estaciones evaluadas de la laguna La Viuda demostrarían una tendencia mesotrófica. Por otro lado, Alvarez (2016, p: 69, 72) menciona tablas de otros autores quienes clasifican el estado trófico de los lagos en base a amoníaco y fósforo; en el presente estudio la metodología para calcular el nitrógeno total fue Kjeldahl y los valores obtenidos corresponden al amoníaco libre, según esta información las tres estaciones evaluadas de la laguna La Viuda demostrarían una tendencia eutrófica con relación al nitrógeno; y se encontraría entre un estado oligotrófico y eutrófico para el fósforo total según la tablas mencionadas por Alvarez (2016); sin embargo, esto no es concluyente ni certero pues hay que considerar la naturaleza del suelo en el cual yace la laguna La Viuda, pues simplemente puede ser que el fosforo provenga de minerales propios característicos del lugar, además se debe tomar en cuenta otros parámetros como el fósforo disuelto P-PO₄, fósforo particulado, nitrato-nitrógeno, hierro, demanda de oxígeno químico, entre otros, así como, parámetros ambientales como la superficie de lago, profundidad media y máxima, altitud, temperatura de la zona epilimnética, temperatura del suelo, entre otros como lo ha mencionado Schröder en su modelo de correlación citado por Vollenweider *et al.* (1998, p: 355).

En la laguna La Viuda no hemos

encontrado presencia significativa de cianobacterias (además que tenía aguas transparentes), los niveles de nitrato estuvieron entre 0,09-0,16 ppm y los niveles de fosfato entre 0,001-0,04 ppm, en nuestro país el límite para la concentración de nitrato es 13 mg/L en lagos y lagunas (DS 004-2017), por lo cual el nitrato no afectaría en la calidad del agua para la laguna la Viuda en caso se le asigne la categoría 4; en relación al fosfato el ECA no menciona nada al respecto, sin embargo Wimalawansa & Wimalawansa (2015) toma como referencia una tabla para categorizar muestras de agua para contenido de fosfato por lo que la E-01 y E-08 de la laguna la Viuda estaría en el grado 1, es decir que no están contaminados y la E-02 estaría en el grado 2, es decir en este punto las plantas están sobrestimuladas, pero el nivel es aceptable.

En los sedimentos lacustres, es posible encontrar diatomeas bentónicas como las diatomeas que provienen de la columna de agua y que, constituyen grandes cantidades de potenciales restos algales en el tiempo según Alvia *et al.* (2008) y Reynolds *et al.* (1982). En el presente trabajo, en el mes de agosto la E-01 estaba caracterizada por la presencia de abundante sedimento y abundante espuma producida por el viento, con una concentración mayor de diatomeas y de organismos fitoplanctónicos en general.

En noviembre, también se observó este mismo comportamiento para la estación E-01, sin embargo en la E-02 debido a que las aguas superficiales de la Laguna La Viuda tenían movimiento originado por la variación de la dirección del viento, presentó una mayor abundancia de diatomeas. Smith & Smith (2007) y Margalef *et al.* (1955) mencionan que los vientos intervienen en la mezcla del epilimnion de los sistemas lacustres y

producen pseudomovimientos de las aguas observadas.

Las estaciones E-2, E-03 del mes de agosto y las estaciones E-04, E-05, E-06, E-07 y E-08 predominaron las clorofitas que es lo esperado a observar en aguas dulces, según Lee (2008) cerca del 90% de las algas en aguas dulces son clorofitas. Sin embargo, las cianofitas fueron escasas, esto se explica por el pH ligeramente ácido ($\text{pH}=6$), las cianofitas viven en un ambiente alcalino, generalmente no toleran aguas con pH por debajo de 5 y son pocos comunes entre pH de 5-6, por otro lado crecen a una temperaturas mayores de 20 °C aunque pueden ser tolerantes (Giannuzi, 2009; Lee, 2008). En nuestro estudio la temperatura osciló entre 13,3-17,5, las pocas cianofitas que se encontraron no entraron a conteo por carecer de contenido celular según la metodología de recuento del APHA (2012).

Con respecto a los índices de diversidad alfa, el índice de Riqueza de Margalef (1958) indica que para valores menores a 2 son zonas de baja diversidad y mayores a 5 son zonas de alta biodiversidad, tomando como principio esto decimos que la estación E-03 y E-01 tienen una diversidad media en comparación con la estación E-02. El índice de Shannon y Wiener, según Magurran (2004) usualmente está entre 1,5 y 3,5, en este muestreo todos los valores están en este rango, siendo el valor más alto para la estación E-01 (3,30) y el más bajo para la estación E-02 (2,10). Finalmente, al realizar los índices de Simpson (Peet, 1974; Lande, 1996; Magurran, 2004) observamos que el índice de diversidad de Simpson (1-D) confirma que la estación E-01 es la que presenta mayor diversidad (0,88 cercano a 1), el índice recíproco de Simpson tiene el valor más alto en E-01 (8,06), se considera que esta y las restantes estaciones para el mes de agosto presenta diversidad. Para

el mes de agosto-2016, concluimos que no hay especies dominantes en ninguna de las tres estaciones, debido al rango de los valores del índice de Dominancia Simpson es 0,12-0,30 próximo a 0 y el índice de Pielou (0,66-0,87) que al estar próximo a 1 indica que hay una mayor equitatividad (Magurran, 1989).

Con respecto al 2do muestreo de Noviembre (Primavera), de acuerdo al índice de Margalef se considera a todas las estaciones evaluadas como zonas de mediana diversidad (valores por encima de 2 y menos de 5) y entre ellas la E-08 es la que presenta mayor riqueza (3,55). El índice de Shannon y Wiener oscila entre el rango de 1,5 y 3,5 según Magurra (2004) y el valor más alto fue para la estación E-08 (3,30) y el valor más bajo para la E-06 (1,88), el índice de diversidad según Simpson confirma que la E-08 presenta mayor diversidad de especies (0,83) y que la E-06 presenta la menor diversidad (0,51); asimismo si hay presencia de especies dominantes en la estación E-06 (0,49), el índice de Pielou con un valor de 0,48 indica que las especies de E-06 se alejan de la equitatividad con respecto a las otras estaciones predominando *Oocystis lacustris* Chodat con un 69,45 %.

Finalmente, las aguas de la Laguna la Viuda, son transparentes, frías, ligeramente ácidas, con variedad de microelementos. La diversidad del fitoplancton también es variable y está relacionada con la estacionalidad e indicaron baja abundancia de fitoplancton en invierno (agosto) con respecto a primavera (noviembre). Los niveles de nitratos y fosfatos son aceptables, pero es necesario a futuro determinar el estado trófico de esta laguna altoandina tomando en cuenta varios parámetros de acorde a nuestra realidad geográfica y a diferentes niveles de profundidad con

el fin de contribuir al conocimiento de la diversidad fitoplanctónica y la calidad del agua de este cuerpo de agua.

Contribución de los autores

J. L. & H. M. Identificación de los organismos, el análisis de las muestras, interpretación de las muestras y redacción. P. C. Análisis e interpretación de los resultados, aprobación de la redacción final. R. Q. Recolección de datos e información, interpretación de resultados y redacción. Todos los autores han leído el manuscrito final y aprobado la revisión.

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Literatura citada

- Alvarez, C.** 2016. Determinación analítica de detergentes en las aguas de los pantanos de villa. Tesis para optar el Título de Licenciada en Química PUCP.
- Alvial, I.; F. Cruces; A. Araneda; M. Grosjean & R. Urrutia.** 2008. Estructura comunitaria de diatomeas presentes en los sedimentos superficiales de ocho lagos andinos de Chile central. *Revista Chilena de Historia Natural* 81: 83-94. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2008000100007>.
- ANA.** 2014. Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas del Perú. Disponible en: http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/inventario_de_lagunas_del_peru_parte1.pdf. Acceso: 14 de abril del 2018.
- Andersen, R.** 2005. *Algal culturing techniques*. Phycological society. Londres. 578 pp.
- APHA, AWWA, WEF American Public Health Association, American Water Works Association, The Water Environment Federation.** 2012. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 22nd, 724 pp.
- Bellinger, E. & D. Sigeo.** 2010. *Freshwater Algae: Identification and Use as Bioindicators*. John Wiley & Sons. 271 pp.
- Carlson, R.** 1977. A trophic state index for lakes. *Limnology and oceanography* 22(2):361-369. doi/10.4319/lo.1977.22.2.0361.
- Carlson, R.** 1980. More complications in the chlorophyll-Secchi disk relationship. *Limnology and oceanography* 25(2):379-382 DOI: 10.4319/lo.1980.25.2.0379.
- DS N° 004-2017-MINAM.** Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. 7 de junio de 2017. El Peruano Normas legales.
- EPA Environmental Protection Agency.** 1994. *Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry. Method 200.7, Revisión 4.4.*
- Giannuzzi, L.** 2009. *Cianobacterias y cianotoxinas: identificación, toxicología, monitoreo y evaluación de riesgo*. 1ed. Buenos Aires. 238 pp.
- INGEMMET Instituto geológico, minero y metalúrgico.** 2017. Carta Geológica Nacional Escala 1: 100,000. Disponible en: http://geocatminapp.ingemmet.gob.pe/complementos/Descargas/Mapas/publicaciones/serie_a/mapas/23-k.htm. Acceso: 14 de abril del 2018.
- Janus, L. & R. Vollenweider.** 1981. The OECD cooperative program on eutrophication. Environment Canada. Scientific series 131.
- Lackey, J.** 1938. The manipulation and counting of river plankton and changes in some Organisms due to formalin preservation. *Public health reports*. 53(47):2080-2093. doi: 10.2307/4582717
- Lande, R.** 1996. Statistics and partitioning of species diversity, and similarity among multiple communities. *OIKOS* 76: 5-13. doi:10.2307/3545743
- Lee, R.** 2008 *Phycology*. 4ta ed. Cambridge University Press. 547 pp.
- Magurran, A.** 1989. *Diversidad ecológica y su medición*. Ediciones Vedral. Barcelona. 199 pp.
- Magurran, A.** 2004. *Measuring biological diversity*. Blackwell Science Ltd. 256 pp.
- Margalef, R.** 1958. Information Theory in Ecology. *General Systematics*, 3: 36-71.
- Margalef, R.; M. Duran & F. Saiz.** 1955. El fitoplancton

de la ría de Vigo de enero de 1953 a marzo de 1954. *Inv. Pesq.* Tomo II. Pag 85-129.

Environmental Science. 1: 1-18.

MINAM Ministerio del ambiente. 2014. Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú/Departamento de Limnología, Departamento de Ictiología -- Lima: Ministerio del Ambiente. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/diversidadbiologica/wp-content/uploads/sites/21/2014/02/M%C3%A9todos-de-Colecta-identificaci%C3%B3n-y-an%C3%A1lisis-de-comunidades-biol%C3%B3gicas.compressed.pdf>. Acceso: 14 de abril del 2018.

OMS Organización mundial de la salud. 2011. Hardness in Drinking-water, Background document for development of WHO guidelines for Drinking-water Quality. Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/hardness.pdf. Acceso: 14 de abril del 2018.

Peet, R. 1974. The Measurement of Species Diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics.* 5:285-307. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.05.110174.001441>

Prescott, G. 1975. *Algae of the Western Great Lakes Area.* W.M. C. Brown Company Publisher. 977 pp.

Reynolds, C.; H. Morison & C. Butterwick. 1982. The sedimentary flux of phytoplankton in the south basin of Windermere. *Limnol. Oceanogr.* 27(6): 1162-1175. doi: 10.4319/lo.1982.27.6.1162

Samo, A.; A. Garmendia & J. Delgado. 2008. *Introducción Práctica a la ecología.* Pearson educación S.A., Madrid. 248 pp.

Smith, T. & R. Smith. 2007. *Ecología.* Pearson. España. 574 pp.

Vollenweider, R. ; F. Giovanardi; G. Montanari & A. Rinaldi. 1998. Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special reference to the NW Adriatic sea: Proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index. *Environmetrics,* 9:329-357. DOI: 10.1002/(SICI)1099-095X(199805/06)9:33.3.CO;2-0

Wimalawansa, S. & J. Wimalawansa. 2015. Protection of Watersheds, and Control and Responsible use of Fertiliser to Prevent Phosphate Eutrophication of Reservoirs. *International Journal of Research in*

