

# FITOPLANCTON EN TRES LAGUNAS ALTOANDINAS DE LA PROVINCIA AMBO, REGIÓN HUÁNUCO, PERÚ

## PHYTOPLANKTON IN THREE HIGH-ANDEAN LAGOONS OF AMBO PROVINCE, HUANUCO REGION, PERU

José Cavero<sup>1</sup>Mary Manrique  
Marilu BouchonFabiola Zavalaga  
Carla Aguilar

Flor Chang

### RESUMEN

CAVERO J, MANRIQUE M, ZAVALAGA F, CHANG F, BOUCHON M, AGUILAR C. 2020 *Fitoplancton en tres lagunas alto andinas de la Provincia Ambo, Región Huánuco, Perú. Inf Inst Mar Perú. 47(3): 357-366.* - En el marco del Programa Presupuestal 0094-2016 y del Proyecto "Monitoreo Hidrobiológico de los Recursos Hídricos para el Desarrollo de la Acuicultura", en los meses de abril, julio y octubre se efectuaron evaluaciones hidrobiológicas en tres lagunas altoandinas con potencial uso en acuicultura: Huascacocha, Quimahuanca y Huampo de la provincia de Ambo, Región Huánuco. Se recolectaron 27 muestras fitoplanctónicas, se analizaron empleando la metodología de Utermöhl. Se determinó riqueza de especies y abundancia relativa de la comunidad. Se identificaron 7 grupos taxonómicos: Bacillariophyta, Chlorophyta, Charophyta, Chrysophyta, Cyanophyta, Dinophyta y Euglenophyta. En la Laguna Huascacocha la riqueza varió entre 30 y 40 taxa, la abundancia relativa (%) más representativa fue del phylum Chlorophyta, representando entre el 76,7% y 87,9%, el género predominante fue *Botryococcus* con 61,3%. En la laguna Quimahuanca, la riqueza varió entre 28 y 42 taxa, la abundancia relativa más representativa fue del grupo Chlorophyta en el monitoreo de abril (48,79%), las Bacillariophyta en julio (61,94%) y Charophyta en octubre (94,57%), el género predominante del último grupo fue *Staurastrum* (61,38%). En la laguna Huampo, la riqueza varió entre 23 y 31 taxa, la abundancia relativa más representativa fue del grupo Bacillariophyta en abril (28,46%), en julio (72,46%) fue el grupo Chrysophyta y en octubre (75,33%), el género predominante fue *Dinobryon* con 74,8%. Se registraron los parámetros fisicoquímicos de temperatura, turbidez, transparencia, pH, oxígeno disuelto, dureza, alcalinidad, CO<sub>2</sub> y cloruros. Se determinaron los índices de diversidad ecológica de: Margalef, Shannon-Wiener y equidad de Pielou.

PALABRAS CLAVE: variación estacional, diversidad fitoplanctónica, evaluación hidrobiológica

### ABSTRACT

CAVERO J, MANRIQUE M, ZAVALAGA F, CHANG F, BOUCHON M, AGUILAR C. 2020. *Phytoplankton in three high-Andean lagoons of Ambo Province, Huanuco Region, Peru. Inf Inst Mar Peru. 47(3): 357-366.* - Hydrobiological evaluations were carried out in three high-Andean lagoons with potential for aquaculture: Huascacocha, Quimahuanca, and Huampo in Ambo Province, Huanuco Region. These evaluations were carried out as part of the Budget Program 0094-2016 and the project "Hydrobiological Monitoring of Water Resources for the Development of Aquaculture" in April, July, and October. A total of 27 phytoplankton samples were collected and analyzed according to the Utermöhl method. We determined species richness and relative abundance of the community. Seven taxonomic groups were identified: Bacillariophyta, Chlorophyta, Charophyta, Chrysophyta, Cyanophyta, Dinophyta, and Euglenophyta. In the Huascacocha Lagoon, the richness varied between 30 and 40 taxa. The phylum Chlorophyta had the most representative relative abundance (%), between 76.7% and 87.9%; *Botryococcus* was the predominant genus with 61.3%. In the Quimahuanca lagoon, the richness varied between 28 and 42 taxa. In April, the Chlorophyta group had the most representative relative abundance (48.79%), while in July, Bacillariophyta was the most abundant with 61.94% and in October, the most abundant was Charophyta (94.57%); *Staurastrum* was the predominant genus in the last group (61.38%). In the Huampo Lagoon, richness varied between 23 and 31 taxa. Bacillariophyta showed the most representative relative abundance in April (28.46%), while Chrysophyta was the most abundant in July (72.46%) and October (75.33%); *Dinobryon* was the predominant genus with 74.8%. We recorded the physicochemical parameters of temperature, turbidity, transparency, pH, dissolved oxygen, hardness, alkalinity, CO<sub>2</sub>, and chlorides. The Margalef, Shannon-Wiener, and Pielou's equity indexes were determined.

KEYWORDS: seasonal variation, phytoplankton diversity, hydrobiological evaluation

## 1. INTRODUCCIÓN

El Instituto del Mar del Perú en el marco del Programa Presupuestal 0094 - 2016, tiene el proyecto "Monitoreo Hidrobiológico de los

Recursos Hídricos para el Desarrollo de la Acuicultura", con el cual se realizaron monitoreos de la comunidad fitoplanctónica de las lagunas Huascacocha, Quimahuanca y Huampo, ubicadas en la Provincia Ambo, Región Huánuco, Perú.

<sup>1</sup> IMARPE, Dirección General de Acuicultura. jcavero@imarpe.gob.pe

Las lagunas altoandinas, estudiadas, corresponden a la vertiente del Atlántico (vertiente Oriental Andina) en la que se han registrado 7.441 lagunas, de las cuales 76 se encuentran en explotación y 133 en estudio, quedando 7.232 lagunas no aprovechadas y sin estudios realizados. No obstante, la disponibilidad hídrica en la vertiente del Atlántico representa el 98,2% del porcentaje nacional, muy por encima del 1,5% que representa la vertiente del Pacífico o del 0,3% de la vertiente del Titicaca (INEI, 2015). Es por ello que la vertiente del Atlántico tiene gran potencial en términos de investigación científica y de desarrollo tecnológico.

La evaluación hidrobiológica incluye el estudio de los organismos acuáticos, pudiendo detectar alteraciones en las comunidades biológicas a causa de diferentes impactos o estresores. Los estudios sobre fitoplancton pueden ser utilizados para inferir sobre el estado de los ambientes acuáticos y caracterizar biológicamente las masas de agua de las lagunas en diferentes épocas del año. Además, los organismos fitoplanctónicos responden rápidamente a los cambios que puedan ocurrir en las masas de agua debido a procesos naturales o por actividades antropogénicas (DE LA LANZA *et al.*, 2000).

El objetivo del presente estudio fue el de ampliar el conocimiento de algunos atributos estructurales de la comunidad fitoplanctónica, como son la composición específica, riqueza

de especies y abundancia relativa, así como también, determinar la variación estacional del fitoplancton y determinar algunos parámetros fisicoquímicos presentes en las Lagunas Huascacocha, Quimahuanca y Huampo de la Provincia Ambo.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### Área de estudio

La Provincia de Ambo se ubica al sur de la Región de Huánuco en el Centro Norte del Perú, con una extensión aproximada de 1.571,59 km<sup>2</sup> (GOREHCO, 2013a).

Las lagunas altoandinas incluidas en el presente estudio están ubicadas en la Provincia de Ambo (altitud de 2.064 m.s.n.m.) del distrito de San Rafael, Huánuco, Perú, donde el clima es de frígido a muy frígido, con precipitaciones entre 500 y 1.500 mm/año (GOREHCO, 2013b). Las lagunas evaluadas se describen en la Tabla 1 y figura 1.

### Trabajo de campo y de laboratorio

Se recolectaron 27 muestras de fitoplancton en época de lluvia (meses de abril y julio) y de estiaje o seca (mes de octubre). Se utilizó una botella van Dorn de 5 L de capacidad, recolectando en cada estación 1 muestra y 2 réplicas de 250 mL cada una; se filtró la muestra utilizando una malla de 10 µ; las muestras fueron preservadas en solución de lugol al 1%.

Tabla 1.- Estaciones de monitoreo de las lagunas altoandinas, Ambo, Huánuco

Laguna	Estación	Latitud S	Longitud W	Altitud (m.s.n.m.)	Área (Ha)	Perímetro (m)	Profundidad máx (m)
Huascacocha	SRLHu1	10°20'17,66"	76°3'43,42"	4.024	33.83	2.289	6,67
	SRLHu2	10°20'16,29"	76°3'34,25"				
	SRLHu3	10°20'10,54"	76°3'29,21"				
Quimahuanca	SRLQu1	10°19'59,61"	76°2'55,25"	4.006	27.72	2.406	11,0
	SRLQu2	10°19'56,31"	76°2'50,71"				
	SRLQu3	10°19'53,42"	76°2'43,35"				
Huampo	SRLH1	10°7'13,67"	76°3'59,27"	3.809	31.12	6.066	21,50
	SRLH2	10°7'6,95"	76°3'48,88"				
	SRLH3	10°6'59,54"	76°3'26,12"				

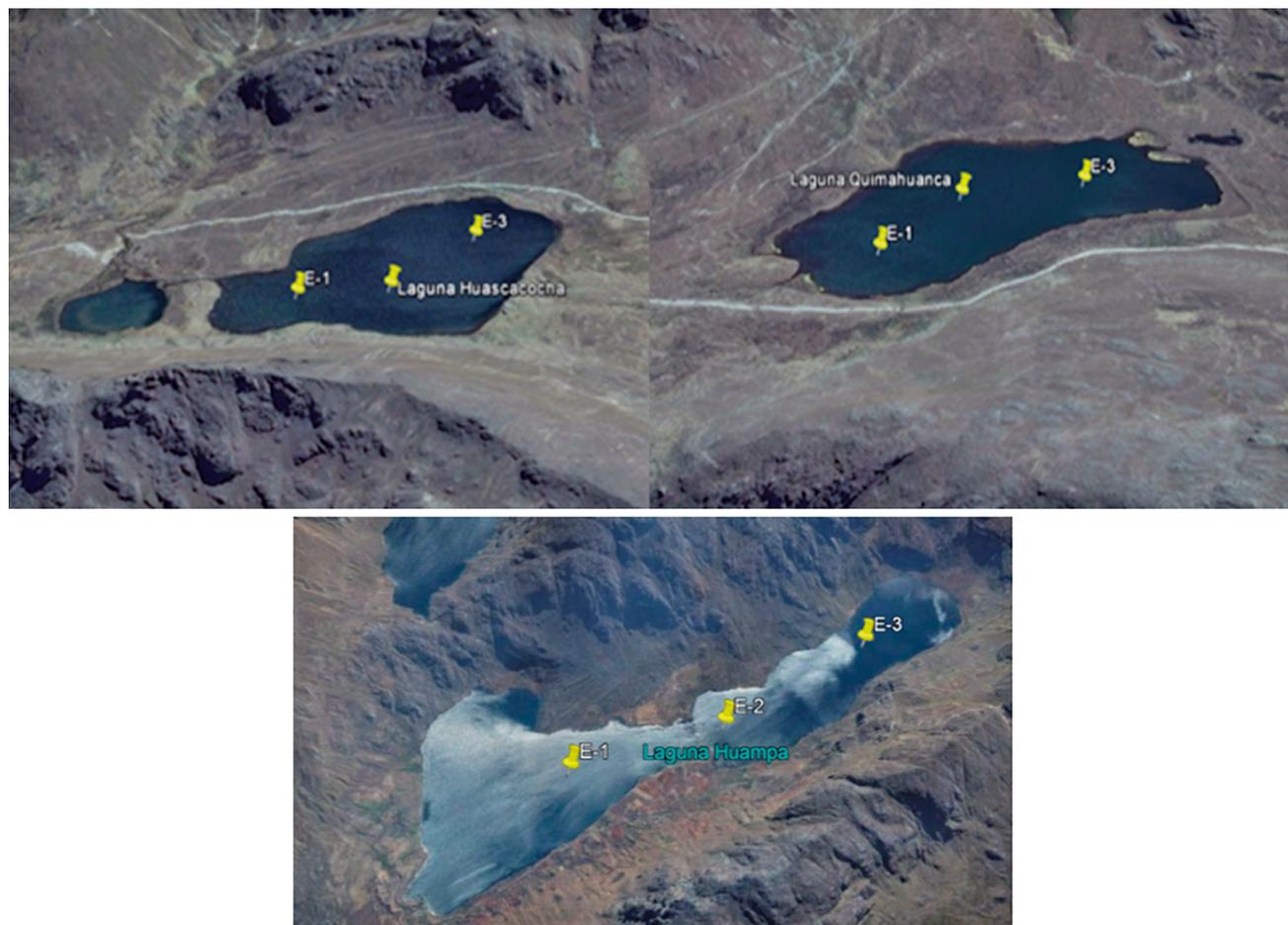


Figura 1.- Vista satelital de las lagunas Huascacocha, Quimahuanca y Huampa

Para la determinación *in situ* de los parámetros físico-químicos, se utilizó un termómetro digital y un equipo multiparámetro portátil modelo HI 83203 (temperatura, pH, oxígeno disuelto, nitrógeno amoniacal y dureza). Para registrar la alcalinidad, nitritos y dióxido de carbono, se utilizó un equipo portátil Hach FF1A. Para turbidez se empleó un turbidímetro portátil Lamotte y para medir la transparencia en el cuerpo de agua se empleó la metodología del disco Secchi.

En el laboratorio, se empleó la metodología de Utermöhl (AENOR, 2007) para el análisis de fitoplancton. Se homogenizó la muestra y se colocó una sub-muestra en la cámara de Utermöhl, se dejó sedimentar de 24 a 48 horas, dependiendo del volumen de la cámara. Se observó e identificó el componente específico de la muestra, utilizando un microscopio invertido marca Zeiss, provisto de una cámara Axion. Cam ICC5 y ocular micrométrico (1000X) de inmersión.

### Trabajo de gabinete

Se determinaron algunos atributos de la comunidad fitoplanctónica (composición específica, riqueza de especies, abundancia relativa). La riqueza específica, los índices de diversidad de Margalef, Shannon-Weaver y Equidad Pielou se evaluaron a través del programa PAST 2.17. Se evaluó la normalidad de los datos físicoquímicos (temperatura, pH, oxígeno disuelto, dureza, alcalinidad, dióxido de carbono, turbidez, transparencia, profundidad y cloruros) con el estadístico de Anderson Darling; se aplicó el ANOVA paramétrico de una vía (datos con distribución normal) y ANOVA no paramétrico de Kruskal Wallis (datos sin distribución normal). Se empleó el programa MINITAB 17 para detectar diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

### 3. RESULTADOS

Las lagunas estudiadas durante el período abril, julio y octubre presentaron una composición fitoplanctónica caracterizada principalmente por los grupos que muestra la Tabla 2.

#### Composición de especies

**Laguna Huascacocha.-** En los meses de abril, julio y octubre se observaron 31, 30 y 40 taxa respectivamente, pertenecientes a los grupos Bacillariophyta, Chlorophyta, Charophyta, Cyanophyta, Dinophyta y Euglenophyta (Tabla 4). Con respecto a la abundancia relativa (%) más representatividad presentó el grupo Chlorophyta con 87,96%; 76,67% y 78,09%, respectivamente (Tabla 2). En cuanto a la riqueza de taxa el grupo más representativo fue Bacillariophyta con 10 géneros en abril, 14 géneros en julio, mientras que el phylum Chlorophyta fue más representativo en octubre con 13 taxa (Fig. 2). El género predominante en esta laguna fue *Botryococcus* del phylum Chlorophyta con 61,38% (Tabla 3, Fig. 3a).

**Laguna Quimahuanca.-** Se encontraron 28, 35 y 42 taxa en los meses de abril, julio y octubre, respectivamente, distribuidos en los grupos Bacillariophyta, Chlorophyta, Charophyta, Cyanophyta, Dinophyta y Euglenophyta (Tabla 4). Con respecto a la abundancia relativa (%), en abril Chlorophyta fue el predominante (48,79%), en julio fue Bacillariophyta (61,94%) y en octubre Charophyta (94,57%) (Tabla 2). La mayor riqueza de taxa la presentó el grupo Bacillariophyta con 11 géneros en abril, 16 géneros en julio y 15 en octubre (Fig. 2). El género predominante fue *Staurastrum* con 61,38% (Tabla 3, Fig. 3b).

**Laguna Huampo:** Durante abril presentó 23 taxa, 31 para julio y 29 en octubre; distribuidos entre los grupos Bacillariophyta, Chlorophyta, Charophyta, Chrysophyta, Cyanophyta, Dinophyta y Euglenophyta (Tabla 4). Con respecto a la abundancia de los grupos taxonómicos en abril Bacillariophyta fue la predominante (28,46%), para julio y octubre fue Chrysophyceae con 72,46% y 75,33%, respectivamente (Tabla 2). La mayor riqueza específica fue de Bacillariophyta con 8 géneros en abril, 11 géneros en julio y en octubre (Fig. 2). El género predominante fue *Dinobryum* (74,83%) (Tabla 3, Fig. 3c).

Tabla 2.- Abundancia relativa (%) representativa de los grupos taxonómicos del fitoplancton por laguna en los meses de abril, julio y octubre del 2016

Grupo taxonómico	Huascacocha			Quimahuanca			Huampo		
	Abril	Julio	Oct	Abril	Julio	Oct	Abril	Julio	Oct
Bacillariophyta	7,29%	19,37%	13,62%	9,33%	61,94%	1,78%	28,46%	10,87%	1,75%
Chlorophyta	87,96%	76,67%	78,09%	48,79%	37,08%	3,43%	8,42%	4,19%	6,51%
Charophyta	4,09%	2,32%	7,63%	24,97%	0,96%	94,57%	20,34%	10,55%	12,94%
Chrysophyta	0,00%	0,00%	0,00%	0,55%	0,00%	0,01%	27,56%	72,46%	75,33%
Cyanophyta	0,00%	0,00%	0,58%	1,07%	0,00%	0,01%	3,01%	1,90%	3,47%
Dinophyta	0,20%	0,68%	0,04%	2,17%	0,00%	0,16%	11,72%	0,02%	0,00%
Euglenophyta	0,46%	0,95%	0,04%	13,12%	0,01%	0,04%	0,50%	0,02%	0,01%

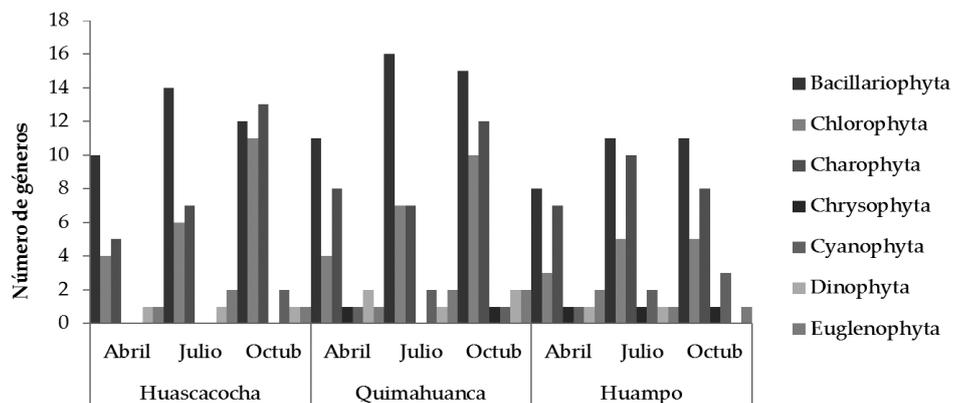


Figura 2.- Porcentaje de predominancia (%) de géneros de fitoplancton en las lagunas Huascacocha, Quimahuanca y Huampo durante los meses monitoreados

Tabla 3.- Listado de taxa registrados por laguna y mes de muestreo durante el 2016

Géneros	Huascacocha			Quimahuanca			Huampo		
	Ab	Jul	Oct	Ab	Jul	Oct	Ab	Jul	Oct
<b>Bacillariophyta</b>									
<i>Aulacoseira</i> sp.		x			x				
<i>Craticula</i> sp.								x	x
<i>Craticula</i> sp.		x	x		x	x			
<i>Cyclotella</i> sp.									x
<i>Cymbella</i> sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Diploneis</i> sp.	x		x		x				
<i>Encyonema</i> sp.		x			x				
<i>Epithemia</i> sp.	x	x	x		x	x	x	x	x
<i>Eumotia</i> sp.					x	x	x		
<i>Frustulia</i> sp.				x		x			
<i>Gomphonema</i> sp.		x	x		x	x		x	
<i>Hannaea</i> sp.	x	x			x		x	x	
<i>Navicula</i> sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Nitzschia sigmoidea</i>				x		x			x
<i>Nitzschia</i> sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Pinnularia</i> sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Sellaphora</i> sp.				x					
<i>Stauroneis</i> sp.		x	x	x	x	x		x	x
<i>Stausira</i> sp.	x	x	x	x	x	x			x
<i>Surirella</i> sp.					x				
<i>Tabellaria</i> sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Ulnaria</i> sp.	x	x	x	x		x		x	x
<b>Chlorophyta</b>									
<i>Ankistrodesmus</i> sp.	x		x	x	x	x			
<i>Botryococcus</i> sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Bulbochaete</i> sp.			x						
<i>Coelastrum</i> sp.		x	x		x	x			
<i>Crucigenia quadrata</i>				x					
<i>Crucigenia</i> sp.			x		x	x		x	
<i>Dictyosphaerium</i> sp.		x	x						
<i>Gonium</i> sp.							x	x	
<i>Nephrocitium</i> sp.								x	x
<i>Oedogonium</i> sp.	x	x	x		x	x	x		x
<i>Oocystis</i> sp.			x			x			x
<i>Pediastrum boryanum</i>				x					
<i>Pediastrum</i> sp.		x	x			x			
<i>Scenedesmus</i> sp.	x	x	x	x	x	x		x	x
<i>Volvox</i> sp.			x			x			
<b>Charophyta</b>									
<i>Arthrodesmus</i> sp.			x			x	x	x	x
<i>Closterium</i> sp.	x	x	x	x		x	x	x	
<i>Cosmarium</i> sp.		x	x		x	x		x	x
<i>Desmidiium</i> sp.		x	x			x			x
<i>Elakatothrix</i> sp.	x		x	x			x	x	x
<i>Euastrum</i> sp.		x			x	x			
<i>Gonatozygon</i> sp.	x		x	x	x	x	x	x	x
<i>Hyalotheca</i> sp.	x	x	x	x	x	x		x	
<i>Micrasterias</i> sp.						x			
<i>Mougeotia</i> sp.				x			x	x	
<i>Pleurotaenium</i> sp.			x			x			
<i>Spondylosium</i> sp.		x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Staurastrum</i> sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Staurodesmus</i> sp.				x	x				
<i>Xanthidium</i> sp.			x			x		x	x
<i>Zygnema</i> sp.			x						
<b>Chrysophyta</b>									
<i>Dinobryon</i> sp.				x		x	x	x	x
<b>Cyanophyta</b>									
<i>Anabaena</i> sp.			x	x	x		x	x	x
<i>Oscillatoria</i> sp.			x		x	x			x
<i>Woronichinia</i> sp.								x	x
<b>Dinophyta</b>									
<i>Peridinium</i> sp.1	x	x	x	x	x	x	x	x	
<i>Peridinium</i> sp.2				x		x			
<b>Euglenophyta</b>									
<i>Euglena</i> sp.							x		
<i>Phacus</i> sp.		x	x		x	x		x	
<i>Trachelomonas</i> sp.	x	x		x	x	x	x		x

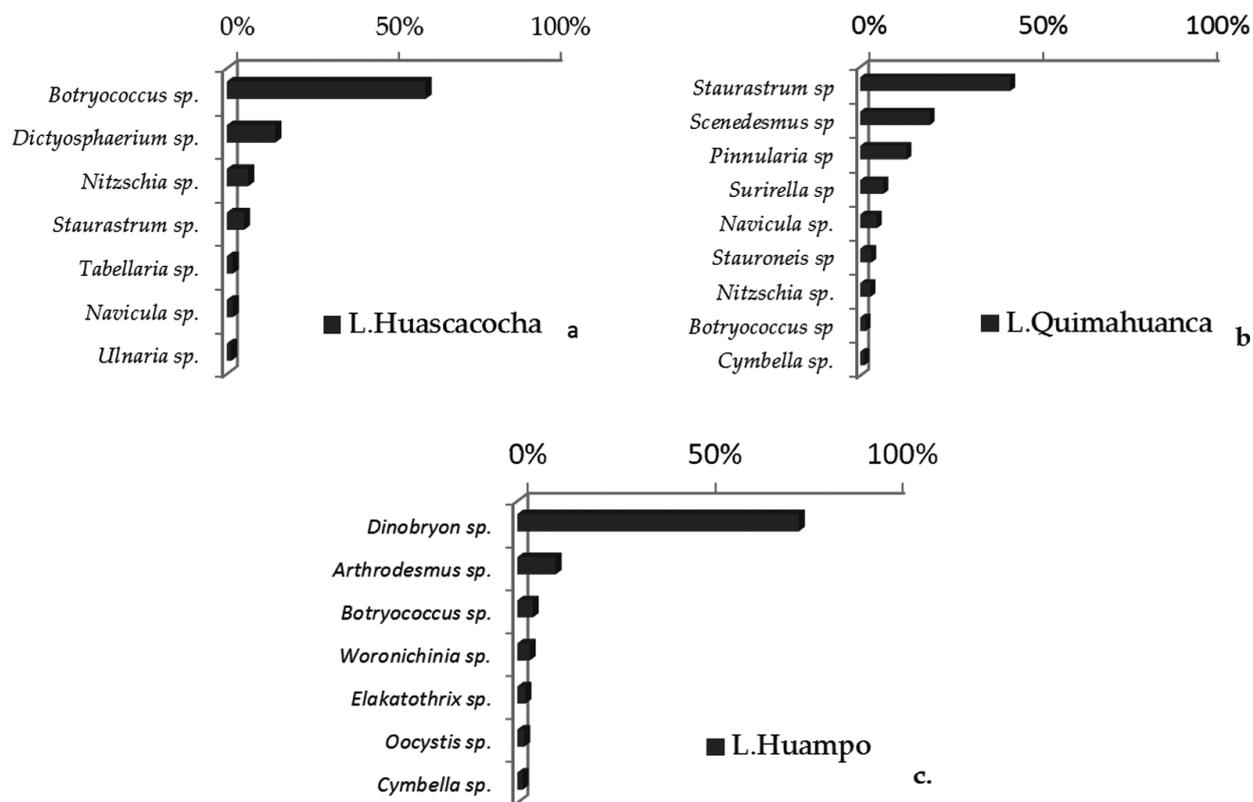


Figura 3.- Abundancia relativa (%) (Mayor al 1% de los géneros) de los principales taxa de fitoplancton encontrados en las lagunas de a. Huascacocha, b. Quimahuanca y c. Huampo

Tabla 4.- Comparación de algunos índices de biodiversidad del fitoplancton en las lagunas Huascacocha, Quimahuanca y Huampo

Mes	Nº Indiv (Und/L)	Riqueza específica (S)	Margalef (D <sub>Mg</sub> )	Shannon Weaver (H')	Equidad Pielou (J')
<b>Laguna Huascacocha</b>					
Abr	3912	31	1,539	0,878	0,349
Jul	2628	30	2,557	1,812	0,613
Oct	125250	40	2,395	1,480	0,450
<b>Laguna Quimahuanca</b>					
Abr	2345	28	2,440	2,046	0,698
Jul	266930	35	2,777	2,372	0,757
Oct	224267	42	2,732	1,334	0,405
<b>Laguna Huampo</b>					
Abr	995	23	2,173	2,111	0,767
Jul	12322	31	2,236	1,260	0,402
Oct	154217	29	1,704	1,011	0,332

### Índices de biodiversidad

La abundancia se presentó en la laguna Quimahuanca en octubre con 224.267 N° Individuos (Und/L), registrando también la mayor Riqueza específica (S) con 42 taxa. Mientras que, la menor abundancia la registró Huampo en abril con 995 N° Individuos (Und/L), registrando también la menor riqueza específica (S) de 23 taxa.

El Índice de Margalef (DMg) presentó el mayor valor en Quimahuanca (2,777) en julio y el menor valor (1,539) en Huascacocha en abril. Para el Índice de Shannon Weaver (H') el mayor valor se registró en Quimahuanca (2,372) en julio y el menor (0,878) en Huascacocha en abril.

Respecto al Índice de Equidad Pielou (J'), el mayor valor (0,767) se registró en abril y el menor valor (0,332) en octubre y ambos en Huampo (Tabla 4).

### Parámetros fisicoquímicos

Los resultados de las variables físicoquímicas *in situ* en las tres lagunas muestran variaciones del pH con medias entre 6,50 ±0,10 y 7,25 ±0,22; en cuanto al oxígeno disuelto (mg/L) pudimos observar medias entre 7,67 ±0,58 y 9,25 ±0,10; en ambos casos dichos rangos se encuentran dentro de lo establecido por el DSN<sup>o</sup> 015-2015 – MINAM, donde el límite permisible para el cultivo de especies hidrobiológicas para el pH es de 6,0 a 9,0 y para oxígeno disuelto ≥ 5 mg/L. La dureza (mg/L) presentó valores promedios entre 17,10 ±1,71 y 51,30 ±1,71; mientras que la alcalinidad (mg/L CaCO<sub>3</sub>) osciló entre 22,80 ±9,87 y 51,30 ±1,71, para ambos casos, visto desde un enfoque de utilización de los cuerpos de agua en la acuicultura, dichos rangos no son adecuados, no obstante, respecto a la temperatura del agua (°C), se registraron medias entre 12,00 ±0,10 y 13,50 ±0,10, siendo ideal para un óptimo desarrollo, buena incubación y reproducción de trucha (FONDEPES, 2014). Con respecto al parámetro CO<sub>2</sub> (mg/L), el valor de las medias variaron entre 5,00 ±0,00 y 10,00 ±0,00, siendo Huampo, en julio, la laguna que presentó el mayor valor (10,00

mg/L), RAGASH (2009) indica que valores < 7 ppm son ideales para el desarrollo de la acuicultura. Respecto al parámetro cloruro (mg/L) las medias varían entre 0,70 ±0,17 y 2,40 ±0,20, que según MARÍN (2003) en aguas naturales, los valores no deben sobrepasar de 20 a 40 mg/L e incluso valores menores. Para el parámetro turbidez (NTU) los valores medios oscilan entre 0,42 ±0,02 y 2,75 ±0,02, para el parámetro transparencia entre 2,50 ±0,10 y 9,00 ±0,00 y respecto a la profundidad (m) desde 5,30 a 21,50. Finalmente, los parámetros de nitrógeno amoniacal (mg/L NH<sub>3</sub>) y nitritos (mg/L) tuvieron resultados nulos (Tabla 5).

Los parámetros fisicoquímicos según época de muestreo, presentaron diferencias significativas (p<0,05). Entre lagunas (Huascacocha, Quimahuanc y Huampo), en abril se registraron diferencias significativas (p<0,05), respecto a los parámetros de pH, oxígeno, temperatura, turbidez, transparencia, profundidad y cloruros fue similar para julio. La comparación entre lagunas monitoreas para octubre presentó diferencias significativas (p <0,05) para los parámetros de oxígeno, temperatura, turbidez, transparencia y profundidad (Tabla 6).

Tabla 5.- Valores promedio (±D.S.) de los parámetros fisicoquímicos evaluados en las lagunas Huascacocha, Quimahuanc y Huampo durante el 2016

Parámetros físico químicos	Huascacocha			Quimahuanc			Huampo		
	Abr	Jul	Oct	Abr	Jul	Oct	Abr	Jul	Oct
	Prom. +/-DE								
pH (UpH)	7,00±0,10	7,00±0,20	6,50±0,50	6,50±0,10	6,75±0,10	6,67±0,29	6,50±0,20	7,25±0,22	6,50±0,50
Oxígeno disuelto (mg/L)	8,00±0,10	9,25±0,10	7,67±0,58	9,00±0,10	8,50±0,20	8,17±0,29	8,00±0,20	8,50±0,10	8,50±0,50
Dureza (mg/L)	17,10±1,71	51,30±1,71	28,50±9,87	17,10±1,71	34,20±5,13	37,05±4,94	34,2±4,52	51,30±1,71	28,50±9,87
Alcalinidad (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	51,30±0,00	34,20±1,71	34,20±0,00	51,30±1,71	51,30±1,71	22,80±9,87	51,30±1,71	34,20±4,52	34,20±0,00
CO <sub>2</sub> (mg/L)	5,00±0,00	5,00±0,00	5,00±0,00	5,00±0,00	5,00±0,00	5,00±0,00	5,00±0,00	10,00±0,00	5,00±0,00
Cloruro (mg/L)	1,80±0,10	1,80±0,13	0,70±0,17	1,50±0,10	1,60±0,17	0,80±0,35	2,40±0,10	2,40±0,20	0,80±0,35
Temperatura (°C)	12,70±0,10	13,00±0,10	13,13±0,32	12,50±0,10	12,00±0,26	12,90±0,36	13,50±0,10	12,00±0,10	11,30±0,20
Turbidez (NTU)	2,68±0,01	2,75±0,02	0,78±0,07	0,77±0,02	0,65±0,01	0,65±0,10	0,62±0,02	0,42±0,02	0,55±0,05
Transparencia (m)	5,50±0,00	5,00±0,00	5,00±0,00	2,90±0,02	2,50±0,10	2,67±0,29	9,00±0,00	9,00±0,00	7,17±0,29
Profundidad (m)	5,30±0,26	6,50±0,20	6,67±0,29	10,50±0,50	11,00±1,00	11,00±1,00	20,50±0,50	21,00±1,00	21,50±1,53

Prom (+/-DE): Promedio (+/- desviación estándar)

Tabla 6.- ANOVA/Kruskal-Wallis de las variables fisicoquímicas de las lagunas altoandinas, según época monitoreada

Parámetros	Época de muestreo			A			B			C		
	<sup>1,2</sup> valor	P valor	Sig									
Dureza	13,85 <sup>1</sup>	0,001 <sup>1</sup>	*1	5,40 <sup>1</sup>	0,067 <sup>1</sup>	n.s <sup>1</sup>	5,40 <sup>1</sup>	0,067 <sup>1</sup>	n.s <sup>1</sup>	2,23 <sup>1</sup>	0,327 <sup>1</sup>	n.s <sup>1</sup>
Alcalinidad	14,36 <sup>1</sup>	0,001 <sup>1</sup>	*1	0,00 <sup>1</sup>	1,000 <sup>1</sup>	n.s <sup>1</sup>	5,49 <sup>1</sup>	0,064 <sup>1</sup>	n.s <sup>1</sup>	2,55 <sup>1</sup>	0,284 <sup>1</sup>	n.s <sup>1</sup>
CO <sub>2</sub>	14,36 <sup>1</sup>	0,001 <sup>1</sup>	*1	0,00 <sup>1</sup>	1,000 <sup>1</sup>	n.s <sup>1</sup>	5,40 <sup>1</sup>	0,067 <sup>1</sup>	n.s <sup>1</sup>	0,00 <sup>1</sup>	1,000 <sup>1</sup>	n.s <sup>1</sup>
pH	5,26 <sup>2</sup>	0,012 <sup>2</sup>	*2	12,50 <sup>2</sup>	0,070 <sup>2</sup>	*2	5,77 <sup>2</sup>	0,040 <sup>2</sup>	*2	0,17 <sup>2</sup>	0,845 <sup>2</sup>	n.s <sup>2</sup>
Oxígeno	2,55 <sup>2</sup>	0,098 <sup>2</sup>	n.s <sup>2</sup>	237,50 <sup>2</sup>	0,000 <sup>2</sup>	*2	94,23 <sup>2</sup>	0,000 <sup>2</sup>	*2	13,63 <sup>2</sup>	0,004 <sup>2</sup>	*2
Temperatura	2,12 <sup>2</sup>	0,141 <sup>2</sup>	n.s <sup>2</sup>	84,00 <sup>2</sup>	0,000 <sup>2</sup>	*2	33,33 <sup>2</sup>	0,001 <sup>2</sup>	*2	45,81 <sup>2</sup>	0,00 <sup>2</sup>	*2
Turbidez	14,36 <sup>1</sup>	0,001 <sup>1</sup>	*1	7,20 <sup>1</sup>	0,027 <sup>1</sup>	*1	7,20 <sup>1</sup>	0,027 <sup>1</sup>	*1	8,71 <sup>2</sup>	0,013 <sup>2</sup>	*2
Transparencia	0,15 <sup>1</sup>	0,859 <sup>1</sup>	n.s <sup>1</sup>	7,20 <sup>1</sup>	0,027 <sup>1</sup>	*1	7,20 <sup>1</sup>	0,027 <sup>1</sup>	*1	365,9 <sup>2</sup>	0,000 <sup>2</sup>	*2
Profundidad	14,36 <sup>1</sup>	0,001 <sup>1</sup>	*1	942,32 <sup>2</sup>	0,000 <sup>2</sup>	*2	5,77 <sup>2</sup>	0,040 <sup>2</sup>	*2	8,02 <sup>1</sup>	0,018 <sup>1</sup>	*1
Cloruro	34,15	0,000 <sup>2</sup>	*1	63,00 <sup>2</sup>	0,000 <sup>2</sup>	*2	17,83 <sup>2</sup>	0,003 <sup>2</sup>	*2	0,00 <sup>1</sup>	1,000 <sup>1</sup>	n.s <sup>1</sup>

A: Lagunas Huascacocha, Quimahuanca y Huampo muestreados en abril

B: Lagunas Huascacocha, Quimahuanca y Huampo muestreados en julio

C: Lagunas Huascacocha, Quimahuanca y Huampo muestreados en octubre

<sup>1</sup>: Estadístico de prueba de Kruskal Wallis, a un nivel de confianza del 0,05 (pruebas no paramétricas)

<sup>2</sup>: Estadístico de prueba de ANOVA, a un nivel de confianza del 0,05 (pruebas no paramétricas)

#### 4. DISCUSIÓN

La composición fitoplanctónica de las lagunas Huascacocha, Quimahuanca y Huampo, están caracterizadas por una diversidad de taxa pertenecientes a los grupos taxonómicos Bacillariophyta, Chlorophyta, Charophyta, Chrysophyta, Cyanophyta, Dinophyta y Euglenophyta. En las tres lagunas las Bacillariophyta presentaron mayor riqueza de géneros, durante la época de lluvias, mientras que, para la época de estiaje predominaron las Charophyta solo en la laguna Huascacocha.

Durante la época de lluvias, en la laguna Huascacocha el género predominante fue *Botryococcus* perteneciente al grupo Chlorophyta, ello coincide con JOHN *et al.* (2002) quien indica que este género es cosmopolita, común y abundante en lagunas y lagos, y ocasionalmente en aguas salobres.

En la laguna Quimahuanca el género predominante fue *Staurastrum* del grupo Charophyta, HALL & MC COURT (2015) mencionan que este género lo podemos encontrar en ambientes ligeramente ácidos. Lo que estaría de acuerdo con lo registrado en dicha laguna que presentó valores de pH en abril de 6,50 ±0,10; julio de 6,75 ±0,10 y octubre de 6,67 ±0,29.

En la laguna Huampo el género predominante fue *Dinobryon* perteneciente al grupo Chrysophyta, que es considerado como bioindicador, se le puede encontrar en ambientes ligeramente ácidos e indican oligotrofia, lo que significa que el cuerpo de agua en el que habita presenta poca materia orgánica y/o nutrientes, lo que implica en este caso una baja diversidad de especies, común en regiones montañosas (BELLINGER *et al.*, 2010). Asimismo, esta laguna presentó valores de pH en abril de 6,50 ±0,20, julio de 7,25 ±0,22 y octubre de 6,50 ±0,50.

Mayores abundancias N<sup>o</sup> Indiv (Und/L) se registraron en dos lagunas durante octubre: Huampo (154.217 Und/L) y Huascacocha (125.250 Und/L). Para Quimahuanca se registró mayor abundancia en julio (266.930 Und/L).

Con respecto a los índices de diversidad en la Laguna Huampo, el Índice de Margalef en octubre presentó un promedio < 2 que indica baja biodiversidad, mientras en abril y julio valores entre 2 y 5 que indica de mediana a alta diversidad. Para el índice de diversidad específica Shannon - Wiener (H') en julio y octubre se encontraron valores entre 0 y 1,5 que indica poca diversidad y en abril entre 1,6 y 3,0 que indica mediana diversidad. Para el índice de equidad de Pielou (J') el máximo valor promedio obtenido fue de 0,767 en abril.

En la Laguna Huascacocha, el Índice Margalef en abril presentó un promedio  $< 2$  que indica baja biodiversidad, mientras en julio y octubre valores entre 2 y 5 que indican mediana a alta diversidad. Para el Índice de Diversidad Específica Shannon - Wiener ( $H'$ ) en abril y octubre presentaron valores entre 0 y 1,5 que indica poca diversidad y en julio entre 1,6 y 3,0 que indica mediana diversidad. Respecto al índice de equidad de Pielou ( $J'$ ) el máximo valor promedio obtenido fue de 0,613 en julio.

En la Laguna Quimahuanca, el Índice Margalef en los meses evaluados presentó promedios entre 2 y 5 que indican de mediana a alta diversidad. Respecto al índice de diversidad específica Shannon - Wiener ( $H'$ ) en octubre se observó el valor que varió entre 0 y 1,5 que indica poca diversidad, mientras que abril y julio se encontraron valores que oscilaron entre 1,6 y 3,0 que indica mediana diversidad. Respecto al índice de equidad de Pielou ( $J'$ ) el máximo valor promedio obtenido fue de 0,757 en julio.

Las lagunas evaluadas presentaron rangos de pH con valores de medias entre  $6,50 \pm 0,10$  a  $7,25 \pm 0,22$  que son propias de este tipo de cuerpo de agua según ROLDÁN & RAMÍREZ (2008) quienes indican que para lagunas naturales de alta montaña los valores de pH varían entre 6,5 y 7,5.

En relación al oxígeno disuelto los valores de las medias se encuentran entre  $7,67 \pm 0,58$  a  $9,25 \pm 0,10$  según el análisis estadístico no existe diferencias significativas de acuerdo a la época de muestreo y lagunas, los valores registrados guardan relación con la altitud de la zona de estudio ubicadas entre 2.289 y 4.006 msnm; según VASQUEZ *et al.* (2015) cuanto menor sea la altitud sobre el nivel del mar, mayor será la presión atmosférica y mayor será la capacidad que tiene el agua para disolver oxígeno.

Respecto al parámetro de dureza (mg/L), los valores de las medias oscilaron entre  $17,10 \pm 1,71$  a  $51,30 \pm 1,71$  que según RODRÍGUEZ & ANZOLA (2001) podrían ser consideradas como aguas blandas (agua con poca cantidad de minerales) comunes en zonas de alturas (RAVEN *et al.*, 1992).

La alcalinidad, está referida a la cantidad de iones bicarbonatos que se encuentran en el agua y cuya presencia determina la capacidad del agua para

neutralizar ácidos (iones  $H^+$ ) y mantener el pH constante. Bajos niveles de alcalinidad indican aguas con poca capacidad de neutralización MARGALEF (1983), las tres lagunas evaluadas presentaron valores que oscilan entre  $22,80 \pm 9,87$  a  $51,30 \pm 1,71$  que indica baja alcalinidad. Debido a que esta variable al igual que la dureza, están asociadas con la mineralización del agua y tiene una alta relación con la conductividad, los valores registrados para ambos parámetros indicarían una baja mineralización de las zonas evaluadas.

Con respecto al  $CO_2$ , valores entre 5 y 10 mg/L son óptimos para los peces, pero valores superiores a 40 mg/L se tornan peligrosos para la vida en el agua WEDLER (1998), en este caso, los valores de las lagunas monitoreadas varían de  $5,00 \pm 0,00$  a  $10,00 \pm 0,00$ . El mayor valor se registró en Huampo durante julio, esto puede guardar relación con la presencia del género *Dinobryon*, perteneciente al grupo Chrysophyta, que tiende a encontrarse en lagos pequeños, oligotróficos, con bajos nutrientes, alta turbidez y deficiencia en  $CO_2$  (REYNOLDS & IRISH 1997)

Respecto al parámetro cloruro (mg/L), las medias varían entre  $0,70 \pm 0,17$  a  $2,40 \pm 0,20$ , que según MARÍN (2003) para aguas naturales no contaminadas, los valores de cloruro se sitúan alrededor de 20 a 40 mg/L e incluso valores menores. Los valores registrados indicarían que dichos cuerpos de agua no presentan contaminación.

Aunque la temperatura del agua ( $^{\circ}C$ ) no presentó diferencias significativas entre las épocas de muestreo en general el intervalo de medias registradas varió entre  $12,00 \pm 0,10$  a  $13,50 \pm 0,10$  es característico para zonas alto andinas.

La laguna Huascacocha presenta mayor de turbidez en abril ( $2,68 \pm 0,01$ ) y julio ( $2,75 \pm 0,02$ ), sin embargo disminuye su turbidez en octubre ( $0,78 \pm 0,07$ ), lo que puede estar relacionado a la presencia del grupo Chlorophyta, que registró en el mes de abril (87,96%), julio (76,67%) y octubre (78,09%) ya que en algunos casos la turbidez está influenciada por la cantidad de fitoplancton que se desarrolla o la materia inorgánica en suspensión (MOREIRA y GARCÍA 2010).

El parámetro de transparencia no presentó diferencias significativas entre las épocas de

muestreo, oscilando entre  $2,50 \pm 0,10$  a  $9,00 \pm 0,00$ , siendo uno de los parámetros determinantes de la distribución vertical de la productividad fitoplanctónica (ESTEVEZ, 1998); en este caso se observó que el  $N^{\circ}$  Indiv (Und/L) de las lagunas monitoreadas es inversamente proporcional a los valores de transparencia registrados.

## 5. CONCLUSIÓN

El estudio realizado ha permitido contribuir al conocimiento de la comunidad fitoplanctónica de tres lagunas altoandinas de la sierra central del Perú, además la data obtenida sobre las condiciones fisicoquímica y geográfica, hace que ésta información sea de gran valor, como una herramienta más sin descartar otras de mayor relevancia como la accesibilidad y la valorización del recurso, para la evaluación y determinación de posibles zonas con potencial acuícola.

## 6. REFERENCIAS

- AENOR. 2007. Norma española UNE-EN 15204, Calidad del agua. Guía para el recuento de fitoplancton por microscopía invertida (técnica de Utermöhl). Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Madrid, España. 1- 44 pp.
- BELLINGER E, SIGEE D. 2010. Freshwater algae. Identification and use as bioindicators. Wiley-Blackwell, Chichester, West Sussex, UK. 1 – 284 pp.
- DE LA LANZA E, HERNÁNDEZ S, CARBAJAL P. 2000. Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (Bioindicadores). Plaza y Valdés. México. 1- 633 pp.
- DECRETO SUPREMO N<sup>o</sup> 015-2015 – MINAM. [Citado enero 2016/12]. Disponible a partir de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/12/Decreto-Supremo-N%C2%B0-015-2015-MINAM.pdf>
- ESTEVEZ F. 1998. Fundamentos de Limnología. 2<sup>a</sup> ed. Ed. Interciencia. Sao Paulo. 1- 409 pp.
- FONDO NACIONAL DE DESARROLLO PESQUERO (FONDEPES). 2014. Manual de Trucha en Ambientes Convencionales. Lima, Perú. 1- 88 pp.
- GOBIERNO REGIONAL HUÁNUCO (GOREHCO). 2013a. Estudio de diagnóstico zonificación para el tratamiento de la demarcación territorial de la provincia Ambo. Huánuco. Perú. 1 – 196 pp.
- GOBIERNO REGIONAL DE HUÁNUCO (GOREHCO). 2013b. Plan de desarrollo regional concertado de Huánuco 2013 – 2021. Huánuco. Perú. 1 – 196 pp.
- HALL J, McCOURT R. 2015. Conjugating green algae and desmids. In: Freshwater Algae of North America: Classification and Ecology. 2<sup>nd</sup> Edition. Eds. Wehr, J. D., Sheath, R. G., and Kociolek, R. P. Elsevier, Amsterdam. pp. 429-457.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA (INEI). 2015. Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales. Lima. Perú. 1- 594 pp.
- JOHN D, WHITTON B, BROOK A. 2002. The freshwater algal flora of the British Isles. An identification guide to freshwater and terrestrial algae. Published by Cambridge University Press in association with The Natural History Museum, London and the British Phycological Society. 1 – 702 pp.
- MARÍN R. 2003. Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas. Ediciones Días de Santos. Madrid, España. 311 pp.
- MARGALEF R. 1983. Limnología. Ediciones Omega S.A., Barcelona. 1- 1010 pp.
- MOREIRA J, GARCÍA M. 2010. Atlas de Organismos Planctónicos en los Humedales de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.
- RAGASH. 2009. Manual de crianza de trucha. Municipalidad distrital de Ragash. 25 pp.
- RAVEN P, EVERT R, EICHHORN S. 1992. Biología de las plantas. Editorial Reverté. Barcelona. Vol 2.
- REYNOLDS S, IRISH A. 1997. Modelling phytoplankton dynamics in lakes and reservoirs. The problem of *in-situ* growth rates. Hydrobiologia. 349: 5–17 pp.
- RODRÍGUEZ G, ANZOLA E. 2001. Calidad del agua y productividad de un estanque en acuicultura. Fundamentos de la Acuicultura Continental. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. 2<sup>a</sup> Edición. Bogotá. Cap. V.
- ROLDÁN G, RAMÍREZ J. 2008. Fundamentos de Limnología Neotropical. 2da. Ed. Medellín (Colombia). Editorial Universidad de Antioquia, Universidad Católica de Oriente y Academia Colombiana de Ciencias. 1- 440 pp.
- VASQUEZ Q, TALAVERA N, INGA G. 2015. Evaluación del impacto en la calidad de agua debido a la producción semi intensiva de trucha (*Oncorhynchus mykiss*) en jaulas flotantes en la laguna Arapa - Puno. Rev. Soc. Quím. Perú, Lima. 82(1): 1-14 pp.
- WEDLER E. 1998. Introducción en la acuicultura con énfasis en los Neotrópicos. Litoflash Impresión. Santa Marta, Colombia. 1- 388 pp.