

CARACTERIZACIÓN TRÓFICA DE DOS BOFEDALES DE LA PROVINCIA DE CANDARAVE, REGIÓN TACNA

TROPHIC CHARACTERIZATION OF TWO BOFEDALES OF THE PROVINCE OF CANDARAVE, TACNA REGION

¹Liduvina Sulca Quispe, ²Pablo Franco León, ³Eduardo Oyague Passuni

RESUMEN

Los bofedales altoandinos son los ecosistemas acuáticos más vulnerables y frágiles, por ser el sumidero de muchas sustancias como sedimentos, minerales, nutrientes de plantas acuáticas y materiales orgánicos. Por ese motivo, el objetivo de la investigación fue determinar la condición trófica y calidad del agua de los bofedales de Candarave mediante el uso de indicadores fitoplanctónicos. Se registró la composición del fitoplancton de dos bofedales de la provincia de Candarave. La colecta de las muestras se realizó con una red de 20 µm y fueron analizados en el laboratorio de botánica de la UNJBG, mediante claves especializadas. Además, se determinó la relación de los parámetros fisicoquímicos del agua con las comunidades del fitoplancton mediante el índice de correlación de Pearson con una significancia de $P \leq 0,05$ para establecer relaciones de sensibilidad entre ambas métricas. Los componentes fitoplanctónicos identificados corresponden a 6 divisiones: *Cyanobacteria*, *Euglenophyta*, *Cryptophyta*, *Crysophyta*, *Bacillariophyta* y *Chlorophyta*. Se utilizó a las *Bacillariophytas* (*diatomeas*) para la caracterización trófica y calidad del agua. La estimación del índice IDG permite concluir que los bofedales de Candarave (C1 y C2) presentan diferentes condiciones tróficas y calidad del agua en diferentes meses calificados como: polución moderada (eutrofización); polución media (eutrofización acentuada), calidad normal, polución fuerte y condición óptima del agua.

Palabras clave: Bioindicador, bofedal, eutrofización.

ABSTRACT

High Andean bofedals are the most vulnerable and fragile aquatic ecosystems, because they are the sink of many substances such as sediments, minerals, nutrients from aquatic plants and organic materials. For this reason, the objective of the research was to determine the trophic condition and water quality of Candarave bofedals through the use of phytoplankton indicators. The phytoplankton composition of two bofedals from Candarave province was recorded. The collection of the samples was carried out with a network of 20 µm and they were analyzed in the botanical laboratory of the UNJBG, using specialized keys. In addition, the relationship of the physicochemical parameters of the water with the phytoplankton communities was determined by means of the Pearson correlation index with a significance of $P \leq 0,05$ to establish sensitivity relationships between both metrics. The identified phytoplankton components correspond to 6 divisions: *Cyanobacteria*, *Euglenophyta*, *Cryptophyta*, *Crysophyta*, *Bacillariophyta* and *Chlorophyta*. The *Bacillariophytas* (*diatoms*) were used for trophic characterization and water quality. The estimation of the IDG index allows us to conclude that the Candarave bofedals (C1 and C2) have different trophic conditions and water quality in different months classified as: moderate pollution (eutrophication); medium pollution (accentuated eutrophication), normal quality, strong pollution and optimal water condition.

Keywords: Bioindicator, bofedal, eutrophication.

¹ Facultad de Ciencias. Escuela Profesional de Biología-Microbiología, Herbario Takana, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna - Perú. E-mail: liduvi_@hotmail.es

² Facultad de Ciencias. Escuela Profesional de Biología-Microbiología, Herbario Takana, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna - Perú. E-mail: pablofranco2@hotmail.com

³ Científico de Knight Piésold Consultores. Lima – Perú.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas lenticos que integran los bofedales tienen importancia ecológica y económica porque abastecen gran parte de las necesidades hídricas, mantienen organismos acuáticos y retienen sedimentos (Rodríguez, 2012). Casi la totalidad de agua disponible en el planeta que corresponde a aproximadamente el 0,3%, se almacena en los lagos; por lo que, constituyen elementos críticos para la preservación de los ecosistemas y la biodiversidad del planeta. Sin embargo, los bofedales se encuentran entre los ecosistemas acuáticos más vulnerables y frágiles, ya que son el sumidero de muchas sustancias como sedimentos, minerales, nutrientes de plantas acuáticas y materiales orgánicos provenientes de su cuenca (López *et al.*, 2015). De igual forma, los disturbios naturales (internos) y antropogénicos (externos) generan espacial y temporalmente, una gran variabilidad, afectando la diversidad biológica, sus ciclos naturales y a los mismos ecosistemas. Es indispensable un monitoreo periódico del estado trófico de estos valiosos ecosistemas con la finalidad de entender las variaciones en el tiempo asociadas a procesos naturales o antrópicos, Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (VOTMA, 2004).

El estado trófico de un ecosistema acuático está referido a su capacidad productiva basado en la composición nutricional de nitrógeno y fósforo principalmente, que controla el desarrollo de la comunidad biótica productiva, determinando la estructura y calidad del sistema (Moreno *et al.*, 2010). Los cuerpos acuáticos, según el estado trófico, se clasifican en: ultra oligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e hipertrófico y se da en un marco específico de condiciones lacustres (López *et al.*, 2015).

La caracterización trófica de un ecosistema acuático se puede efectuar mediante el análisis de factores fisicoquímicos y determinación de la abundancia y composición del plancton, perifiton y bentos. Sin embargo, el fitoplancton es el bioindicador más prometedor que alerta tempranamente de los cambios ocurridos en la composición química y características de un sistema acuático por su capacidad de respuesta rápida a diversos contaminantes justificado por su ciclo de vida muy corto (Rodríguez, 2012). Las diatomeas, un componente del fitoplancton, son excelentes bioindicadores del estado ecológico de los ecosistemas acuáticos fluviales que aportan información diferente sobre los niveles de contaminación del agua gracias a su sensibilidad a los contaminantes orgánicos e inorgánicos y a su rápida respuesta ante los cambios químicos del agua (Agencia SEO, 2015). Las diatomeas se han utilizado con gran éxito para supervisar el cambio ambiental. Su amplia distribución, su fácil recolección y preservación, las hace aptas para cualquier posible revisión taxonómica y la disposición de una extensa información de las exigencias ecológicas de un número considerable de especies (López y Siqueiros, 2011).

A nivel local, no existen estudios similares en bofedales; sin embargo, Calizaya *et al.* (2013) desarrollaron un estudio titulado “*Evaluación de la calidad del agua fluvial con diatomeas (Bacillariophyceae), una experiencia en Tacna, Perú*”; para lo cual, evaluaron 10 estaciones ubicadas a lo largo de la cuenca del río Locumba, durante seis periodos en un ciclo anual y evaluaron la diversidad, número de diatomeas y varios parámetros fisicoquímicos. Los autores concluyeron que conforme se descende en la cuenca, la diversidad de diatomeas disminuye de 2,37 bits cel⁻¹ a 0,71 bits cel⁻¹ y el gradiente de contaminantes se incrementa. Además refieren, que hubo incremento en el número de especies tolerantes a altos niveles de perturbación ambiental e incremento en todos los parámetros fisicoquímicos para evaluar el grado de contaminación. Asimismo, sugieren que las diatomeas pueden ser adecuados bioindicadores al momento de evaluar la calidad del agua en esta cuenca.

En ese sentido, el objetivo del presente estudio fue determinar la condición trófica y la calidad del agua de los bofedales altoandinos de Candarave, mediante el uso de indicadores fitoplanctónicos.

MATERIAL Y MÉTODOS

El tipo de diseño de investigación es básico, cuantitativo, descriptivo de tipo causal explicativo. El área de estudio se localiza en la provincia de Candarave, departamento de Tacna. Se eligieron aleatoriamente dos bofedales identificados como Calientes 1 (C1) y Calientes 2 (C2). El bofedal C1 tiene una extensión de 16 ha y está ubicado entre las coordenadas N 81110900 y E 381600 a una altitud de 4444 m.s.n.m. En tanto que el bofedal C2 tiene una extensión de 4 ha y está ubicado entre las coordenadas N 8109500 y E 380300 a una altitud de 4556 m.s.n.m. El tamaño de la muestra corresponde a cinco estaciones georeferenciadas en cada bofedal que se determinó mediante la curva de acumulación de especies descrito por Jiménez y Hortal (2003), herramienta que permite definir el tamaño de unidad muestral y sirve para planificar el esfuerzo de muestreo que se debe invertir en el trabajo de inventariado. Las evaluaciones se realizaron mensualmente durante los meses de abril 2016 a marzo 2017.

Las muestras fueron colectadas en las cinco estaciones de cada bofedal, de acuerdo a la metodología establecida por el MINAM (2014) para muestras cuantitativas concentradas y cualitativas para el estudio taxonómico, abarcando la mayor extensión posible en orillas y zona abierta de los cuerpos de agua. Se filtró 40 litros de agua a través de la red de fitoplancton de 20 µm de abertura de poro. Para la fijación de muestras se utilizó alcohol etílico. En los mismos puntos de muestreo se midieron los siguientes parámetros fisicoquímicos, in situ: pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y temperatura del agua a través de un equipo multiparámetro portátil HACH ORP- HQ40d.

La identificación y cuantificación de géneros de algas que conforman el fitoplancton se realizó en el laboratorio de Botánica de la UNJBG. La identificación se hizo utilizando un microscopio compuesto binocular equipado con oculares de 12,5 y objetivos de 40x y 100x con una cámara conectada a un computador para captura de imágenes y el uso de guías y claves taxonómicas tales como: Ciugulea *et al.* (2010), Krammer *et al.* (2008), Bicudo *et al.* (2006), Streble *et al.* (1987), Bourrely (1972), Fernández (1999), Jairo (2000), Martínez de Fabricius (2003), Anagnostidis *et al.* (1988), Camburn *et al.* (2000) y Cadima (2005). La cuantificación se realizó mediante una cámara Sedgewick-Rafter de 1 ml con las que se construyeron una matriz de datos en la hoja de cálculo de Excel.

Con los parámetros fisicoquímicos se realizó un análisis de correlación con las comunidades fitoplanctónicas mediante el análisis de correlación de Pearson con un nivel de significancia de $P \leq 0,05$ para conocer qué parámetros fisicoquímicos tuvieron más influencia en la abundancia y distribución del fitoplancton. Estos análisis se realizaron en el programa PAST.

Por ser indicadores biológicos, las microalgas pueden señalar el estado trófico y la calidad del agua, ya que se pueden emplear índices con base en su composición y abundancia que indican la condición de los ambientes acuáticos (Rodríguez, 2012). El estado trófico y la calidad del cuerpo de agua de los bofedales en estudio, se han determinado mediante el Índice Diatómico Genérico (IDG), considerando los géneros de diatomeas de la zona de estudio según su frecuencia, abundancia y sensibilidad.

RESULTADOS

Características fisicoquímicas

Los valores de los parámetros fisicoquímicos para los bofedales C1 y C2 se muestran en las figuras 1, 2, 3 y 4. En las figuras 1 y 2 se observan una relación inversamente proporcional entre los valores de la temperatura y la concentración del oxígeno disuelto (OD) en ambos bofedales, interpretándose que los cambios estacionales, ocasionan el cambio de la temperatura del agua y en consecuencia un efecto sobre los niveles de oxígeno disuelto.

Por otra parte, el pH del agua es ligeramente neutro con un promedio de 7,2 para el bofedal C1 y 7,1 para el bofedal C2. Los valores de conductividad eléctrica en ambos bofedales, oscilan entre $0,02\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ – $0,07\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, estando por debajo de los ECA – Categoría 4, resultando ser aguas con pobre contenido en sales (figuras 3 y 4).

Los valores del análisis químico de los cuerpos de agua de ambos bofedales fueron registrados una sola vez, observándose una baja concentración de sales disueltas (tabla 1).

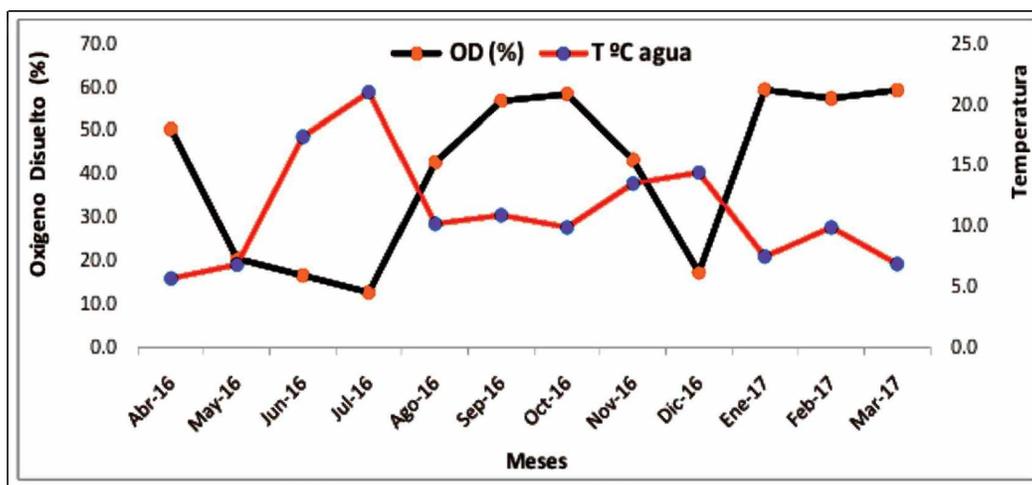


Figura 1. Distribución mensual del OD y la T° del agua del bofedal C1

Fuente: Elaboración propia

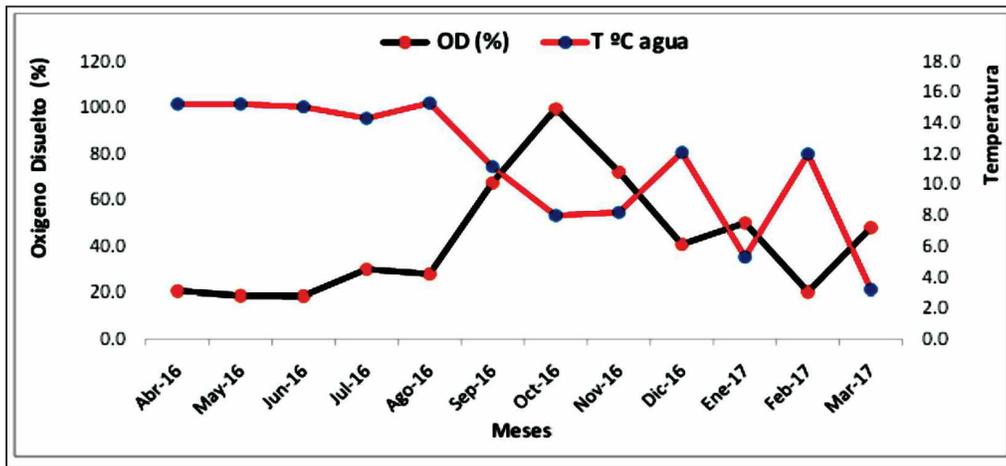


Figura 2. Distribución mensual del OD y la T° del agua del bofedal C2
 Fuente: Elaboración propia

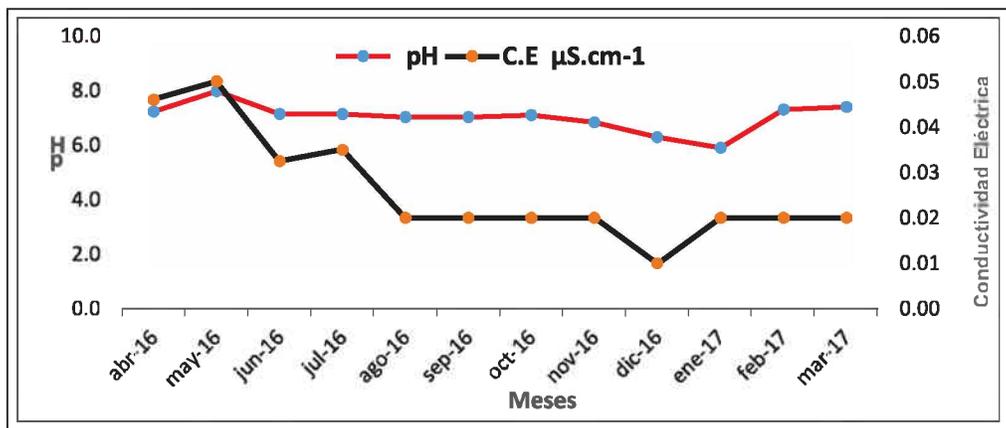


Figura 3. Distribución mensual del pH y la conductividad eléctrica en el bofedal C1
 Fuente: Elaboración propia

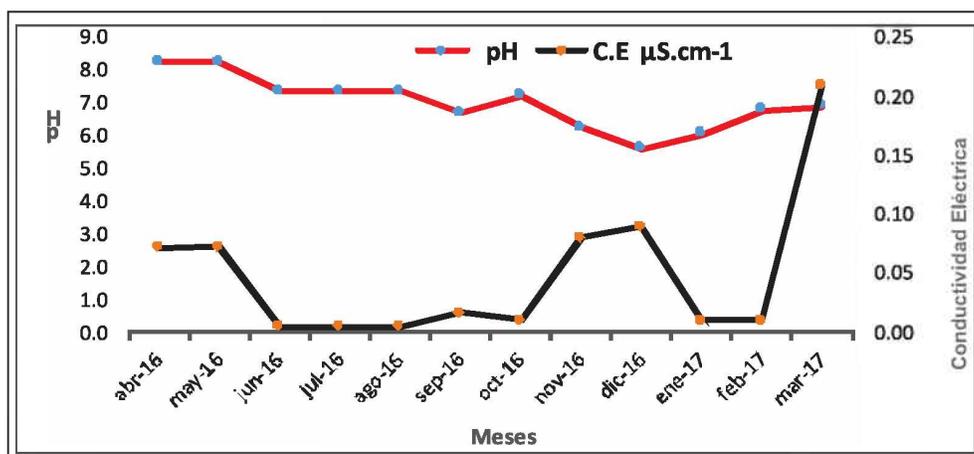


Figura 4. Distribución mensual del pH y la conductividad eléctrica en el bofedal C2
 Fuente: Elaboración propia

Tabla 1. Análisis químico del agua de los bofedales C1 y C2

Bofedales	C1	C2
pH	6,7	6,4
C.E. (dS/m)	0,10	0,05
Calcio (me/l)	0,55	0,27
Magnesio (me/l)	0,20	0,10
Potasio (me/l)	0,12	0,10
Sodio (me/l)	0,5	0,18
Nitratos (me/l)	0,03	0,01
Carbonatos (me/l)	0,00	0,00
Bicarbonatos (me/l)	0,55	0,45
Sulfatos (me/l)	0,06	0,06
Cloruros (me/l)	0,25	0,15
Sodio %	36,49	27,69
Boro (ppm)	0,04	0,00
P (ppm)	0,22	0,07

Fuente: UNALM. Lab. Análisis de Aguas y Suelos

Correlación de las comunidades del fitoplancton con las variables fisicoquímicas

El análisis de correlación de Pearson con $P \leq 0,05$ en el bofedal C1 muestra que las *Cryptophyta* presentan una asociación significativa con la conductividad eléctrica con una significancia de 0,04; las *Euglenophyta* con el oxígeno disuelto con un valor de significancia de 0,028 y las *Cyanobacterias*

muestran una asociación con la temperatura con una significancia de 0,05. Este tipo de correlación explica que una variación brusca de algunos parámetros fisicoquímicos afecta a las comunidades del fitoplancton. También es notable la correlación de las variables OD y T° del agua, que presentan una alta significancia de 0,004 indicando la influencia de una sobre la otra (tabla 2).

Tabla 2. Correlación de las comunidades de fitoplancton con las variables fisicoquímicas con un nivel de $p \leq 0.05$ del bofedal C1

	pH	uS/cm	OD	T° C
<i>Bacillariophyta</i>	0,119	0,090	0,431	0,915
<i>Cyanobacteria</i>	0,566	0,570	0,214	0,050
<i>Chlorophyta</i>	0,218	0,286	0,229	0,104
<i>Criptophyta</i>	0,091	0,040	0,137	0,812
<i>Euglenophyta</i>	0,527	0,311	0,028	0,445
<i>Crysophyta</i>	0,084	0,404	0,220	0,335
pH		0,15997	0,98	0,6467
uS/cm	0,38		0,2382	0,6505
OD	-0,01	-0,32		0,004
T° C	-0,13	-0,13	-0,7	

Fuente: Elaboración propia

En el bofedal C2 el análisis de correlación de Pearson evidencia que las *Criptophyta* presentan un nivel de significancia de 0,037 con la conductividad eléctrica; las *Euglenophyta* una significancia de 0,012 con el oxígeno disuelto, las *Bacillariophyta*

0,037 con el OD y las *Crysophyta* un nivel de significancia de 0,021 con la temperatura. Así mismo la correlación del OD y T° (0,01) indica el efecto de la variación de una sobre la otra (tabla 3).

Tabla 3. Correlación de las comunidades del fitoplancton con variables fisicoquímica con un nivel de $p \leq 0.05$ del bofedal C2

	pH	uS/cm	OD	T°
Bacillariophyta	0,74	0,694	0,037	0,8829
Chlorophyta	0,88	0,830	0,622	0,5591
Cianobacteria	0,40	0,806	0,683	0,1076
Criptophyta	0,06	0,037	0,071	0,3573
Euglenophyta	1,00	0,211	0,012	0,4120
Crysophyta	0,31	0,234	0,878	0,021
pH		0,820	0,176	0,0683
uS/cm	-0,1		0,921	0,1992
OD	-0,4	0,0		0,01
T°	0,5	-0,4	-0,7	

Fuente: Elaboración propia

Comunidades fitoplanctónicas

Entre las comunidades del fitoplancton del bofedal C1, se observa la presencia constante de tres grupos durante todo el periodo de estudio. Las *Bacillariophyta* es el grupo dominante (42% a 93%)

sobre el resto de grupos; le siguen las *Cyanobacterias* (5% a 20%) y las *Chlorophyta* (5% - 10%). Los *Cryptophyta*, *Euglenophyta* y *Crysophyta* sólo se presentan eventualmente y en porcentajes muy bajos, menor al 2% (figura 5).

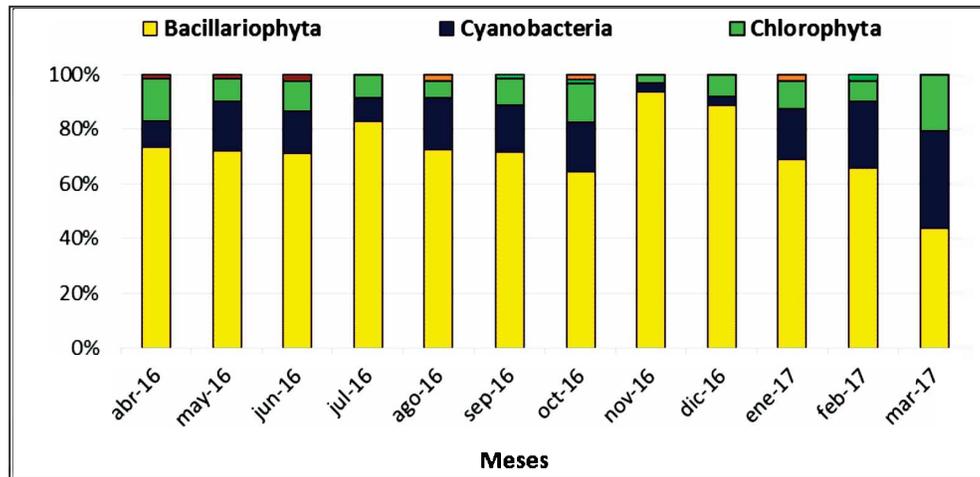


Figura 5. Comunidades del fitoplancton del bofedal C1
 Fuente: Elaboración propia

En el bofedal C2, las comunidades del fitoplancton se presentaron de manera similar que en el bofedal C1 con dominancia de las *Bacillariophyta* (48% a 89%), seguidos de la *Cyanobacteria* (10% a 25%) y

Chlorophyta (10% a 20 %). Los grupos menores y eventuales fueron los *Euglenophyta*, *Cryptophyta* y *Crysophyta* (<2%) (figura 6).

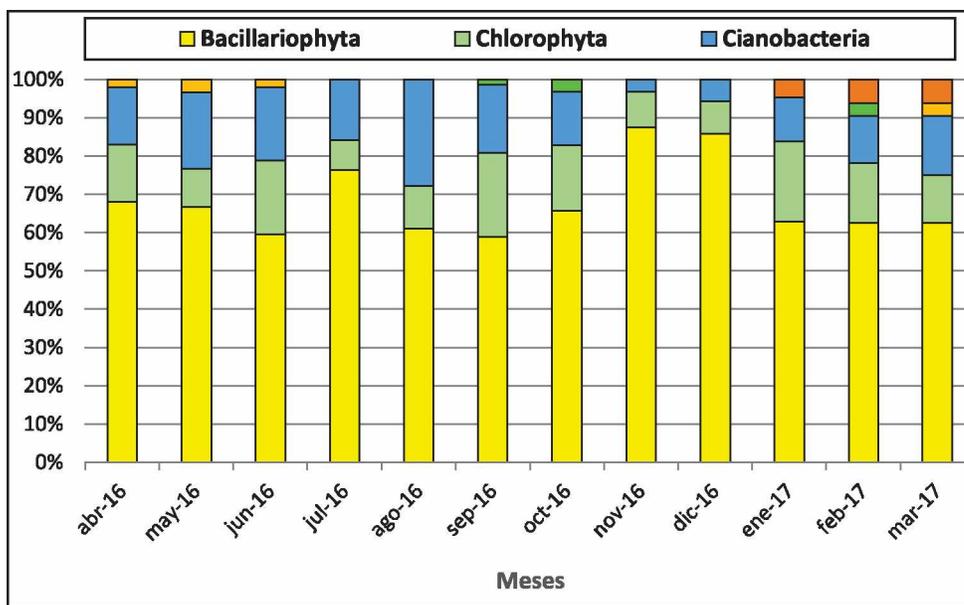


Figura 6. Comunidades fitoplanctónicas del bofedal C2
 Fuente: Elaboración propia

La riqueza de especies observada en los bofedales C1 y C2 a lo largo de los 12 meses de evaluación de cada grupo del fitoplancton es como sigue: las *Bacillariophytas* presentaron mayor riqueza de especies, en cambio las *Cyanobacterias* y *Chlorophytas* mostraron menor riqueza, así como los *Cryptophyta*, *Euglenophyta* y *Crysophyta* una riqueza de especies muy escasa. La alta riqueza de especies de las *Bacillariophytas* puede deberse a su gran capacidad

adaptativa y tolerancia a diferentes tipos de hábitat y condiciones tróficas. La reducida riqueza de especies de las *Cyanobacterias* y *Chlorophytas* tendría relación con las bajas temperaturas de la zona que hacen lenta la descomposición de la materia orgánica de los bofedales y en consecuencia las concentraciones de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo son bajas (tabla 4).

Tabla 4. Riqueza de especies de los bofedales C1 y C2

Meses	<i>Bacillariophyta</i>		<i>Cyanobacteria</i>		<i>Chlorophyta</i>		<i>Criptophyta</i>		<i>Euglenophyta</i>		<i>Crysophyta</i>	
	B - C1	B - C2	B - C1	B - C2	B - C1	B - C2	B - C1	B - C2	B - C1	B - C2	B - C1	B - C2
abr-16	47	32	6	7	10	7	1	0	0	0	0	0
may-16	52	20	13	6	6	3	1	0	0	0	0	0
jun-16	32	31	7	10	5	10	1	0	0	0	0	0
jul-16	39	29	4	6	4	3	0	0	0	0	0	0
ago-16	34	22	9	10	3	4	0	0	0	0	1	0
sep-16	45	43	11	13	6	16	0	0	1	1	0	0
oct-16	40	42	11	9	9	11	0	0	1	2	1	0
nov-16	29	28	1	1	1	3	0	0	0	0	0	0
dic-16	32	30	1	2	3	3	0	0	0	0	0	0
ene-17	33	27	9	5	5	9	0	2	0	0	1	2
feb-17	27	20	10	4	3	5	0	2	1	1	0	2
mar-17	21	20	17	5	10	4	0	2	0	0	0	2

Fuente: Elaboración propia

Índices de diversidad del fitoplancton

En el bofedal C1 el índice de diversidad de Shannon tiene una variación mensual con tendencia a disminuir, siendo su menor valor en noviembre y volviéndose a recuperar en los siguientes meses. El promedio del índice de Shannon es de 3,8

Bits/individuo indicando que la diversidad es alta. En tanto que el índice de equidad Simpson presenta valores mucho más uniformes a lo largo del tiempo con un promedio de 0,88 indicando que las especies están adecuadamente distribuidas dentro de su comunidad fitoplanctónica (figura 7).

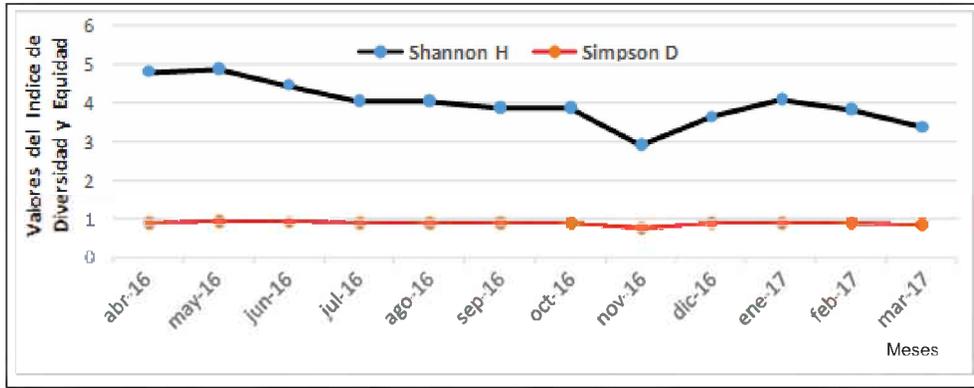


Figura 7. Variación mensual de los índices de Shannon H y Simpson 1-D del bofedal C1
 Fuente: Elaboración propia

En el bofedal C2 el índice de Shannon presenta un comportamiento más variable a lo largo del tiempo, con un promedio de 3,59 bits/individuo, indicando que la diversidad es alta y el índice de equidad Simpson 1-D, al igual que en el caso del bofedal C1,

muestra valores constantes durante el tiempo de estudio, obteniéndose un promedio de 0,86 que indica que las especies están adecuadamente distribuidas dentro de sus comunidades (figura 8).

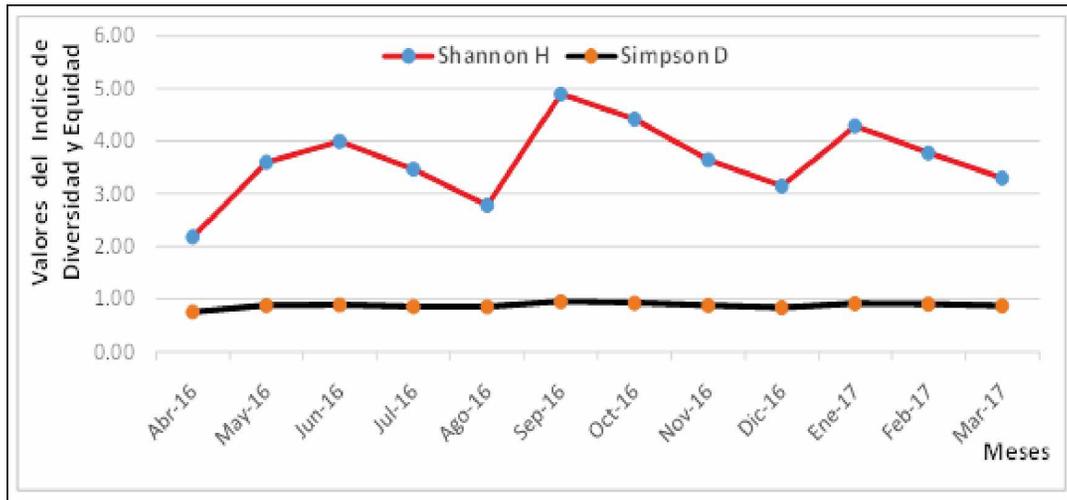


Figura 8. Variación mensual del índice de Shannon H y Simpson 1-D en el bofedal C2
 Fuente: Elaboración propia

La abundancia de individuos es variable en el bofedal C1 observándose un mayor incremento en el mes de enero; en cambio, en el bofedal C2 se observa un mayor incremento en julio y va en descenso en los meses siguientes volviéndose a incrementar en el mes de marzo. Estas variaciones en los valores de

abundancia se explica considerando que cada estación evaluada (5 estaciones por cada bofedal) son micro habitat sujetas a muchas variables que influyen en la dinámica ecológica de cada comunidad del fitoplancton (figura 9).

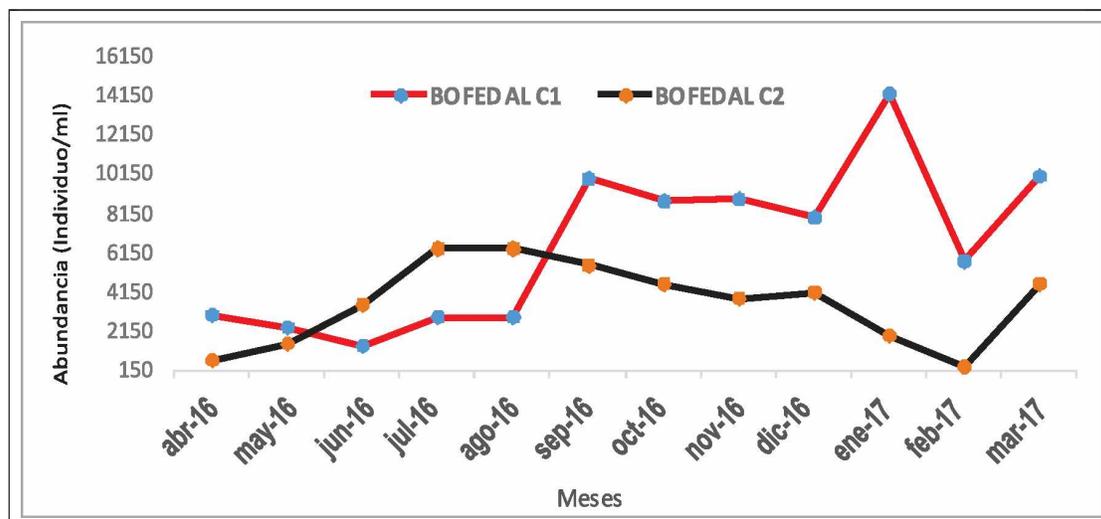


Figura 9. Abundancia del fitoplancton de los bofedales C1 y C2 – Candarave
 Fuente: Elaboración propia

Determinación del estado trófico y calidad del agua de los bofedales mediante el uso de fitoplancton: Índice Diatómico Genérico (IDG).

La determinación del estado trófico y calidad del agua del bofedal se realizó mediante el uso del Índice

IDG que utiliza a las diatomeas (*Bacillariophyta*) como organismos bioindicadores (figura 10).

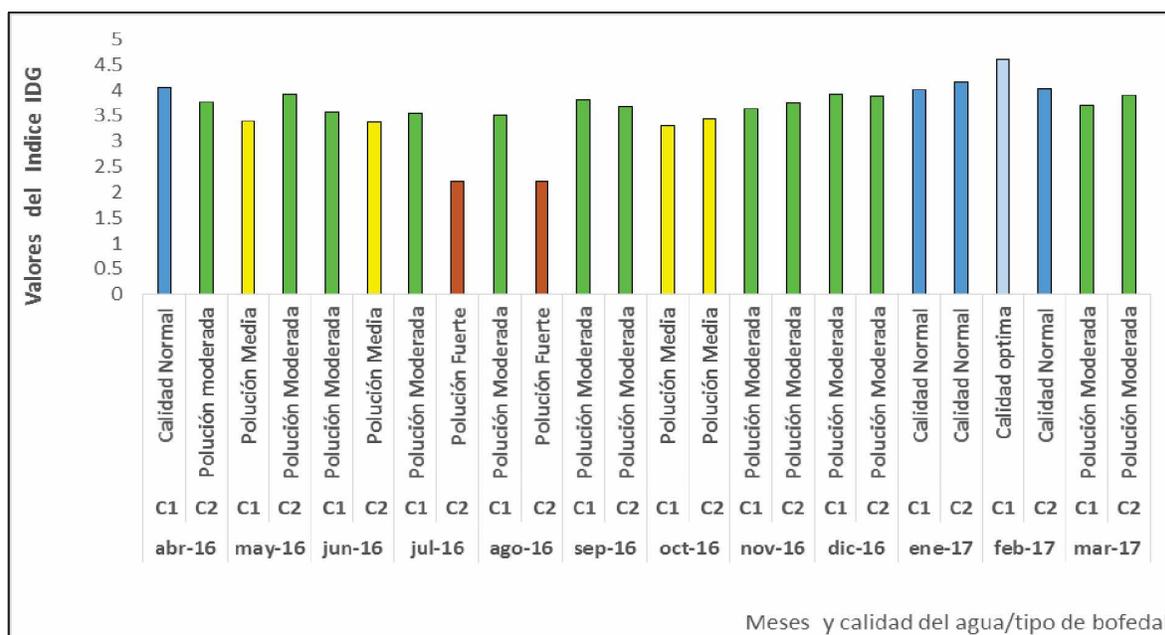


Figura 10. Estado trófico y calidad del agua de los bofedales C1 y C2
 Fuente: Elaboración propia

Durante los 12 meses de evaluación se estimó el índice IDG a los bofedales C1 y C2, obteniéndose diferentes valores del índice calculado por cada mes: 13 estimaciones corresponden a la condición de polución moderada (eutrofización); 4 corresponden a polución media (eutrofización acentuada); 4 indican calidad normal del agua, 2 corresponden a polución fuerte y una de condición óptima. Los diferentes tipos de condición trófica obtenidos tienen relación con el

contenido de materia orgánica que se acumula en los bofedales (figura 10).

Así mismo se identificó a un grupo de géneros de diatomeas (*Bacillariophyta*) que pueden ser utilizadas como organismos bioindicadores por su alta frecuencia y abundancia durante los meses de monitoreo en los bofedales como: *Fragilaria*, *Cocconeis*, *Synedra*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Cymbella*,

Melosira, Pinnularia, Gomphonema, Epithemia, Rhopalodia, Diploneis, Hantzschia, Rhoiscophenia, Surirella, Neidium, Achnanthes, Frustulia, Denticula, Caloneis, Amphora, Diatoma, Anomoeoneis, Eunotia, Tabellaria, Stauroneis, Amphipleura, Cymatopleura y Cyclotella.

de evaluación indican que la condición de Polución Moderada (eutrofización) presenta el mayor porcentaje (58%); la condición de Polución Media (eutrofización acentuada) 17%; la condición de Calidad Normal 17% y la condición de Calidad óptima el 8% (figura 11).

La distribución porcentual de los diferentes tipos de calidad del agua del bofedal C1 a lo largo del tiempo

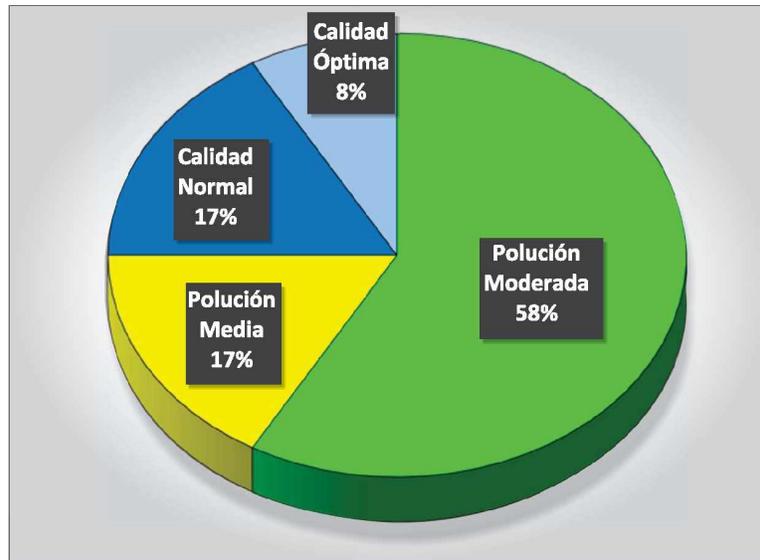


Figura 11. Distribución porcentual de los tipos de calidad del agua de los bofedales C1
Fuente: Elaboración propia

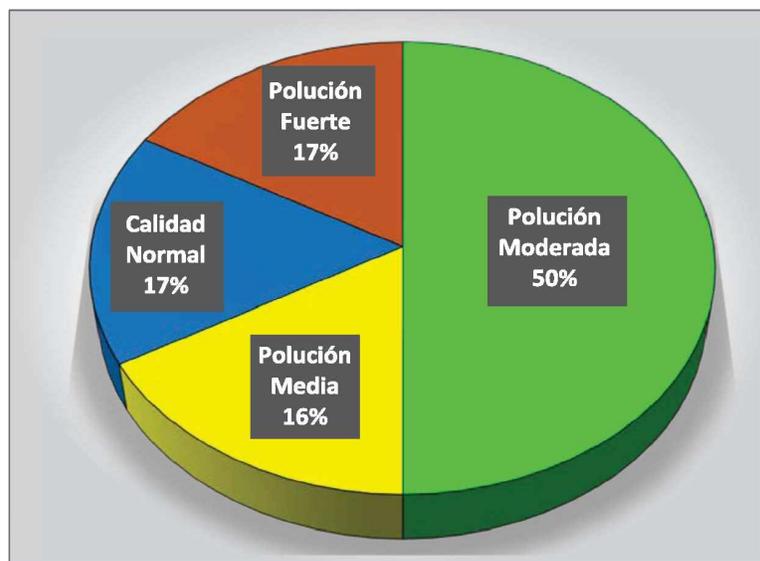


Figura 12. Distribución porcentual de los tipos de calidad del agua de los bofedales C2
Fuente: Elaboración propia

La distribución porcentual de los diferentes tipos de calidad del agua del bofedal C2, muestra que la condición de Polución Moderada (eutrofización) presenta el mayor porcentaje (50%); la condición de Polución Media (eutrofización acentuada) representa el 16%; la condición de Calidad Normal 17% y la Polución Fuerte 17% (figura 12). En ambos bofedales, se observa que la condición de polución moderada domina en la mayoría de meses evaluados, teniendo relación con las bajas temperaturas de la zona que no permite la rápida descomposición de la materia orgánica.

DISCUSIÓN

En cada uno de los bofedales (C1 y C2) se obtuvieron los valores de las variables físicas y químicas. Los nitratos fluctuaron en C1: 0,03 me/l y en C2: 0,01 me/l; en lo referente a fósforo en C1: 0,02 ppm y en C2: 0,07 ppm. Tanto el nitrógeno (N) como el fósforo (P) son elementos necesarios para la vida pero su exceso puede ser perjudicial para el ambiente. Los valores obtenidos en ambos bofedales son bajos. Por otra parte, el pH del agua es ligeramente neutro con un promedio de 7,2 para el bofedal C1 y 7,1 para el bofedal C2. Los valores de conductividad eléctrica en ambos bofedales, oscilan entre $0,02\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ – $0,07\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, estando por debajo de los ECA – Categoría 4, resultando ser aguas con pobre contenido en sales (figuras 3 y 4). Los valores del análisis químico de los cuerpos de agua de ambos bofedales fueron registrados una sola vez, observándose una baja concentración de sales disueltas (tabla 1).

El fitoplancton en los bofedales C1 y C2 está representado por seis grupos: *Bacillariophyta*, *Cyanobacteria*, *Chlorophyta*, *Crysochyta*, *Criptophyta* y *Euglenophyta*. Los tres primeros son los más constantes durante los meses de estudio, mientras que los otros grupos son estacionales. Los resultados obtenidos son similares a lo reportado por Montoya *et al.* (2005) para los bofedales de Ancash (4,640–4,660 m.s.n.m) en la que hay un valor representativo de los tres grupos; *Bacillariophyta*, *Cyanobacteria*, *Chlorophyta* pero con diferente grupo dominante. En nuestro estudio, las *Bacillariophyta* (diatomeas) es el grupo dominante en diversidad y abundancia, seguido de las *Cyanobacteria* y *Chlorophyta*. Según Montoya *et al.* (2005) el grupo dominante está representada por las *Chlorophyta* (21 especies), seguido de las *Cyanobacteria* y *Bacillariophyta* (12 y 10 especies). Otros autores como Millar *et al.* (1984) reportan “que las *Bacillariophytas* registran sus valores de abundancia más altos con el período de mezcla estacional”. Esto se explica por la facultad que tiene este grupo a responder a condiciones de medios inestables y turbulentos (Margalef, 1978). Otro trabajo similar a los resultados obtenidos en los bofedales de Candarave, es reportado por De León y Chalar

(2003), referido al río Uruguay donde se construyó una represa, determinándose la abundancia y diversidad del fitoplancton donde hay una dominancia de las *Bacillariophyta*, *Cyanobacteria* y *Chlorophyta*, y en menor cantidad la presencia de *Chrysophyta* y *Criptophyta*. Según Vásquez, Ariza, y Pinilla (2006) las divisiones fitoplanctónicas más representativas en el estado trófico de diez humedales del altiplano *cundiboyacense*, fueron *Cyanophyta*, *Chlorophyta* y *Euglenophyta*. Las dos primeras presentan algas que son bioindicadoras de ecosistemas en estado de meso a eutrofia (Pinilla, 2000) y la última se encuentra normalmente en cuerpos de agua ricos en materia orgánica. Estos resultados concuerdan con los determinados en el estudio de algún modo coincidiendo sobre todo en las comunidades.

Según Streble y Krauter (1987) consideran que los medios β -mesosapróbicos se caracterizan por presentar regular contenido en materia orgánica, es típico de ambientes acuáticos de baja profundidad y de corriente muy lenta o estancada, así mismo los medios β -mesosapróbicos son equivalentes a sistemas mesotróficos, con moderada cantidad de nutrientes y con porcentajes de saturación de oxígeno bajos (30%); donde es común la presencia de tres grupos del fitoplancton cianobacterias, diatomeas y chlorofitas. Estos reportes tienen concordancia con los resultados obtenidos en los bofedales de Candarave. Fontúrbel (2005) menciona que el fitoplancton en lugares más contaminados, existe una menor diversidad.

Pinilla (2000) evaluó tres grupos de bofedales; un primer grupo dominado principalmente por cianobacterias indicando que estos ecosistemas tienen condiciones de eutrofia. Otro conjunto de bofedales presenta una alta dominancia de euglenófitos y clorofilas caracterizando a estos sistemas como mesotróficos con cierta tendencia a eutróficos y un tercer grupo con *Chlorophytas* como organismos dominantes indicando que los sistemas tienen aguas mesotróficas a eutróficas

Los resultados obtenidos con el Índice IDG: polución moderada o eutrofización, polución media o eutrofización acentuada; calidad normal, polución fuerte y condición óptima. Son caracterizaciones de organismos bioindicadores (diatomeas). Díaz y Rivera (2004) reportan a especies de diatomeas bioindicadoras: *A. cf. lanceolata* se caracteriza por adaptarse fácilmente a los ríos con altos contenidos de fósforo; para *F. arcus*, *Gomphonema* spp, *N. cf. radiosa*, *Stauroneis* sp1 y *Stauroneis* sp2 existe una fuerte relación con el fósforo reactivo soluble (PRS). Por otra parte, *M. varians* se desarrolla fácilmente bajo condiciones eutrofizadas.

Alarcón y Peláez (2012) reportan en *Estudio de calidad del agua del río Sendamal (Celendín, Cajamarca, Perú): determinación mediante uso de*

diatomeas; del total de diatomeas reconocidas, los géneros *Nitzschia*, *Gomphonema* y *Navicula* están usualmente asociadas con ecosistemas contaminados, con una fuerte correlación con una contaminación orgánica, específicamente *Gomphonema parvulum* y *Nitzschia palea*, que se han encontrado en la zona de estudio, estas se relacionan a áreas de escorrentía de terrenos agrícolas o con altas concentraciones de nitratos y fosfatos. Así mismo, consideran a otras especies de diatomeas como indicadoras de condición saprobia, por ser constantes en situaciones de contaminación orgánica; específicamente, *Amphipleura lindheimeri*, *Fragilaria ulna* (*Ulnaria ulna*), *Navicula cryptotenella*, *Nitzschia amphibia*, *Nitzschia nana*, *Sellaphora pupula*. Estos resultados tienen relación con lo determinado para los bofedales de Candarave, a lo largo del monitoreo se determinó como diatomeas indicadoras de contaminación orgánica a todas las reportadas por Alarcón y Peláez (2012).

El comportamiento de la diversidad Shannon H (figuras 10 y 11) del fitoplancton de ambos bofedales C1 y C2; muestran diferencia. En el bofedal C1 no se observa mayores cambios de sus valores en el tiempo; en el bofedal C2 se aprecia oscilaciones de sus valores. Sin embargo, los valores promedio de Shannon es de 3,8 (C1) y 4,0 (C2) bits ind⁻¹, indicando estos valores en ambos bofedales, condiciones de eutrofización moderada. Según Lozano (2005) reporta que cuando el índice de Shannon es menor a 2,4 – 2,5 son indicativos de que el ecosistema se encuentra sometido a fuerte tensión antrópica.

CONCLUSIONES

Las comunidades del fitoplancton presentes en los bofedales C1 y C2 corresponden a: *Bacillariophyta*, *Cyanobacteria*, *Chlorophyta*, *Crysophyta*, *Criptophyta* y *Euglenophyta*. Los tres primeros grupos se comportan como indicadores de estados mesotróficos, los otros tres grupos son más estacionales de modo tal que su presencia no está relacionado a algún cambio de estado en los bofedales.

En el bofedal C1 las comunidades algales de *Cyanobacteria*, *Criptophyta* y *Euglenophyta* presentan relación de sensibilidad con las variables fisicoquímicas de temperatura, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto, respectivamente.

En el bofedal C2 las comunidades algales de *Bacillariophyta* y *Euglenophyta*, *Criptophyta*, y *Crysophyta* presentan relación de sensibilidad con las variables fisicoquímicas de oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y temperatura, respectivamente.

Se concluye que de las diferentes comunidades del fitoplancton sobresalen las *Bacillariophytas*, consideradas como elementos definitorios y/o complementarios en la determinación de la calidad

biológica de los ambientes dulceacuícolas. Las diatomeas se usan con gran éxito para supervisar el cambio ambiental, ya que responden rápida y sensiblemente a cambios físicos, químicos y biológicos que se producen en su entorno. Además, su amplia distribución, su fácil recolección y preservación, las hace aptas para cualquier posible revisión taxonómica.

El índice IDG permitió caracterizar diferentes condiciones tróficas y calidad del agua en ambos bofedales: Polución moderada (eutrofización); Polución media (eutrofización acentuada), Calidad normal del agua, Polución fuerte y Condición óptima.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia SEO. (2015). Diatomeas. *Cimera Estudios Aplicados S.L.* Madrid. Recuperado de: <http://www.cimera.es/algas-diatomeas-bioindicadores-acuaticos-contaminacion>
- Anagnostidis, K. & J. Komárek. (1988). Modern approach to the classification system of cyanophytes 3-Oscillatoriales. *Archiv für Hydrobiologie*, 80(1-4), 327-472.
- Alarcón, N y Peláez, F. (2012). Calidad del agua del río Sendamal (Celendín, Cajamarca, Perú): determinación mediante uso de diatomeas. *REBIOL, Revista Científica de la Facultad de Ciencias Biológicas*, 34(2), 29-37.
- Bicudo, C. y Menezes M. (2006). *Géneros de algas de Aguas Continentais Do Brasil*. São Carlos, Brasil: Rima Editora.
- Camburn, K. y Charles D. (2000). Diatoms of Low-Alkalinity Lakes in the Northeastern United States. *Academy of Natural Sciences of Philadelphia, Special Publication*, 18, 152.
- Ciugulea, I. y Triemer. E. (2010). A Color Atlas of Phtosynthetic Euglenoids. *Michigan State University Press*.
- Cadima, M. (2005). *Algas de Bolivia con énfasis en el Fitoplancton: Importancia, Ecología, Aplicaciones y distribución de Géneros*. Santa Cruz, Bolivia: Centro de Ecología Difusión Simón I.
- Díaz, C y Rivera, C. (2004). Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadoras de condiciones ambientales. *Revista Caldasia*, 26(2), 381-394.
- De león, L y Chalar, G. (2003). Abundancia y Diversidad del Fitoplancton en un embalse de Salto Grande Cielo Estacional y distribución Espacial, Asociación Española de Limnología, Madrid. *Revista Limnetica*, 22(1-2), 103-113.
- Fontúrbel, F. (2005). Indicadores Físicoquímicos y Biológicos del Proceso de Eutrofización del lago Titicaca (Bolivia). *Revista Ecología Aplicada*, 4(1,2), 136-141.
- Jairo, J. (2000). *Fitoplancton de Agua Dulce*. Colombia: ED. Universidad de Antioquia.
- Jiménez, A. y Hortal, J. (2003). Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de

- evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de arcnología*. Recuperado de: http://jhortal.com/pubs/2003-Jimenez-Valverde&Hortal_Rev_Ib_Aracnol.pdf
- Krammer K. y Lange-Bertalot, H. (2008). 'Bacillariophyceae', in *Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2:Teil 2, Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae*. Alemania: Spektrum Akademischer Verlag.
- López, F. y Siqueiros, B. (2011). *Diatomeas como indicadores de localidad ecológica de los Oasis de baja California Sur*. Recuperado de: <http://www.biodiversidad.gob.mx/Biodiversitas/Articulos/biodiv99art2.pdf>
- Lozano, L. (2005). La Bioindicación de la Calidad del agua: Importancia de los Macroinvertebrados en la cuenca alta del río Juan Amarillo, cerros orientales de Bogotá. *Umbral Científico*, 7, 5-11.
- Martínez, A. (2003). Bacillariophyceae del Río Cuarto, Provincia de Córdoba, Argentina: Naviculaceae II. *Iheringia, Serie Botánica*, 53(3), 3-34.
- Ministerio del ambiente (MINAM). (2014). *Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú*. Recuperado de: <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>
- Ministerio de vivienda, ordenamiento territorial y medio ambiente (MVOTMA). (2004). *Indicadores ambientales*. Recuperado de: https://www.dinama.gub.uy/indicadores_ambientales/ficha/oan-indice-estado-trofico/
- Montoya, H., Gómez, J., Chanco, M., Mariano, M., Baldeón, S., Benavente, M., Carrillo, E., Beltrán H., Prado, I., Severino, R. y Carrasco, N. (2005). Biodiversidad Algal de los Humedales Alto andinos de la Cordillera Huayhuash, Ancash, Perú. *Libro Resumen de la XIV Reunión Científica del ICBAR*. Lima.
- Moreno, D., Quintero, J., y López, A. (2010). *Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia*. Recuperado de: <http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n78ne/eutrofia2.pdf>
- Pinilla, G. (2000). *Indicadores Biológicos en Sistemas Acuáticos Continentales de Colombia: Compilación Bibliográfica*. Bogotá, Colombia: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Rodríguez, L. (2012). *Determinación del estado trófico de tres ecosistemas lénticos de la sabana de Bogotá con base al fitoplancton, en dos periodos climáticos contrastantes*. Recuperado de: <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11125/1/RodriguezGarzonLauraStefhany2013.pdf>
- Streble, H. y Krauter, D. (1987). *Atlas de los microorganismos de agua dulce*. Barcelona, España: Editorial Omega S.A.
- Vásquez, C., Ariza, A. y Pinilla, G. (2006). *Descripción del estado trófico de diez humedales del altiplano cundiboyacense*. Recuperado de: (<http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/scientarium/ar>)