

Estructura del ensamblaje de microcrustáceos en tres distritos biogeográficos de los Andes de Bolivia

Francisca Acosta¹, Ximena Aguilera, Melina Campero¹, Pablo Prado¹, Carla E. Fernández^{1,*}

¹Unidad de Limnología Recursos Acuáticos, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia

*carlaelo.fernandez@gmail.com

Resumen

La estructura de los ensamblajes de microcrustáceos de zonas altas en los Andes, es poco conocida. En este trabajo, describimos la composición y riqueza del ensamblaje de microcrustáceos zooplanctónicos (es decir, la estructura del ensamblaje) de 27 lagunas altoandinas, distribuidas en tres distritos biogeográficos de la Cordillera Oriental de Bolivia: Titicaca y Cordillera Real (La Paz), Tunari (Cochabamba) y Los Frailes (Potosí). Las muestras biológicas fueron obtenidas en cada laguna, según la metodología limnológica convencional y se identificaron un total de 34 especies de microcrustáceos (copépodos y cladóceros). Las especies de los géneros *Boeckella* y *Daphnia* fueron características, con dos especies endémicas de la región altoandina, *D. peruviana* y *B. titicacae*. Las lagunas de los distritos de La Paz y Cochabamba mostraron un ensamblaje de microcrustáceos similar al de las lagunas del distrito de Potosí. La abundancia y riqueza no mostró diferencias significativas entre los sectores estudiados, sin embargo, existe una tendencia a ser mayor en las lagunas del distrito de Potosí. En Bolivia aún quedan zonas poco exploradas y se sabe que pocas especies del zooplancton son realmente cosmopolitas, lo cual refuerza la necesidad de mayores estudios regionales detallados, ya que estudios apoyan la existencia de endemismos no descritos en los Andes de Sudamérica.

Palabras clave: *Zooplankton, Copépodos, Cladóceros, Boeckella, Daphnia, Lagos andinos, Bolivia, Endemismo.*

Abstract

We describe the composition and richness of zooplanktonic microcrustaceans of 27 high Andean lakes, distributed in three districts of the Eastern Cordillera of Bolivia (La Paz, Cochabamba, Potosí). Biological samples were obtained following standard limnological methodology, and a total of 34 species of microcrustaceans (copepods and cladocerans) were identified. The species of genera *Boeckella* and *Daphnia* were characteristic, with two endemic species to the high Andean region, *D. peruviana* and *B. titicacae*. The lakes of La Paz and Cochabamba showed a similar assemblage of zooplanktonic microcrustaceans, with respect to the lakes of Potosí district. The relative abundance and richness did not show significant differences between the studied districts, however, there is a tendency to be higher in lakes of Potosí. The knowledge about zooplankton species and its distribution is still lacking in Bolivia, and it is known that few zooplankton species are truly cosmopolitan, which reinforces the need for more detailed regional studies, since other studies support the existence of undescribed endemism in the Central Andes of South America.

Key words: *Zooplankton, Copepods, Cladocerans, Boeckella, Daphnia, Andean lakes, Bolivia.*

1. Introducción

Las características de la zona tropical varían ampliamente en relación con la altitud. Variables ambientales como la temperatura (que disminuye 6.5 °C por cada 1000 m ascendidos), o la presión (que disminuye aproximadamente 1.2 kPa por cada 100 m ascendidos) son fundamentales para el desarrollo

biológico de los organismos, y por lo general, los ecosistemas de montaña a altitudes elevadas son considerados sistemas extremos. En este sentido, la región Altoandina de Bolivia se caracteriza por poseer una compleja fisiografía, con elevaciones por encima de los 4800 msnm y por la presencia de numerosos lagos y lagunas de origen glaciar o tectónico (Navarro & Maldonado, 2004). De éstos, el lago Titicaca es

sin duda el que ha recibido mayor atención por su tamaño y características particulares, sin embargo, las numerosas lagunas, ya sean someras o profundas, son las que dominan el paisaje altoandino (Maldonado et al., 2011).

A pesar de que las lagunas de altura son consideradas menos diversas que los cuerpos de agua de tierras bajas (Green, 1995), se reconoce que zonas como los Andes en Sud-América han sido escasamente explorados, tanto en su zona pelágica como litoral, y son a la vez considerados como un importante centro de biodiversidad (hotspot) con alto grado de endemismo (Coronel, Declerck, & Brendonck, 2007; Kotov, Sinev, & Berrios, 2010; Mergeay et al., 2008; Myers, Mittermeier, Mittermeier, da Fonseca, & Kent, 2000). Los organismos acuáticos que viven en estos ecosistemas están sujetos a condiciones ambientales extremas, como baja presión de oxígeno, baja temperatura y altos niveles de radiación ultravioleta (Cabrol et al., 2014; Jacobsen & Dangles, 2017; Madsen et al., 2015; Quenta et al., 2016), las que actúan como filtros estructurando las comunidades de vertebrados e invertebrados, como los microcrustáceos zooplanctónicos.

Debido a su corto ciclo de vida, el zooplancton es capaz de responder rápidamente a los cambios ambientales y, por lo tanto, la composición de especies en la comunidad es un indicador de las características de los ecosistemas de los que proceden (Suárez-Morales & Gasca, 1996). Por otra parte, el zooplancton, como principal eslabón entre el fitoplancton (productores primarios) y los consumidores secundarios, posee una posición e importancia central en las redes tróficas. Sin embargo, aún se desconoce qué especies predominan en las lagunas altoandinas de Bolivia, ya que la mayor parte de los estudios zooplanctónicos en América del Sur, se han realizado principalmente en zonas templadas.

Algunos trabajos locales han sido pioneros en el estudio de la diversidad de zooplancton en Bolivia, específicamente en el lago Titicaca del departamento de La Paz (Rey 1991, Pinto, 1991), bajo gradiente altitudinal y bioclimático (Acosta, Cadima, & Maldonado, 2003), en lagunas del distrito de La Paz (Román & del Castillo, 1999; Segers, Meneses, & del Castillo, 1994) y en lagunas de la Cordillera del Tunari en Cochabamba (Aguilera, Crespo, Declerck, & de Meester, 2006; Aguilera, Declerck, de Meester,

Maldonado, & Ollevier, 2006; Aguilera, Mergeay, Wollebrants, Declerck, & Meester, 2007; Mergeay et al., 2008). Sin embargo, aún tomando en cuenta todos estos trabajos, se puede decir que el conocimiento sobre la diversidad y distribución geográfica de los microcrustáceos zooplanctónicos de la zona Altoandina de Bolivia es incipiente.

En este sentido y tomando en cuenta la relevancia de generar conocimiento sobre estos ecosistemas y el ensamblaje zooplanctónico, el objetivo de este trabajo es proporcionar información sobre la composición, abundancia relativa y riqueza de microcrustáceos zooplanctónicos (cladóceros y copépodos) de 27 lagunas distribuidas en los distritos biogeográficos del Titicaca y Cordillera Real en La Paz (de ahora en adelante denominado distrito de La Paz), Tunari (de ahora en adelante denominado distrito de Cochabamba) y Los Frailes (de ahora en adelante denominado distrito de Potosí) de los altos Andes bolivianos, así como patrones de similitud en el ensamblaje de cada zona.

2. Métodos

Área de estudio

Las lagunas estudiadas se encuentran ubicadas en los Andes de Bolivia a lo largo de la Cordillera Oriental de Bolivia (Fig. 1). Las lagunas de La Paz, corresponden al distrito Biogeográfico del Titicaca y Cordillera Real, cuyas rocas predominantes son del silúrico y devónico (areniscas, cuarcitas, lutitas, limolitas y diamictitas), con algunos importantes afloramientos de plutones graníticos, las altitudes máximas superan los 6.000 m.s.n.m. Por otro lado, las lagunas de Cochabamba corresponden al distrito Biogeográfico del Tunari, cuyos materiales predominantes son del ordovícico (areniscas, cuarcitas y lutitas) y no muestra afloramientos graníticos, las altitudes máximas están alrededor de 5.000 m.s.n.m. Finalmente, las lagunas de Potosí, pertenecen al distrito Biogeográfico de Los Frailes, que corresponde a la faja paleozoica que presenta rocas sedimentarias antiguas más o menos metamorizadas (cuarcita, areniscas, esquistos, filitas y lutitas) y que además está interrumpida por varios importantes afloramientos volcánicos.

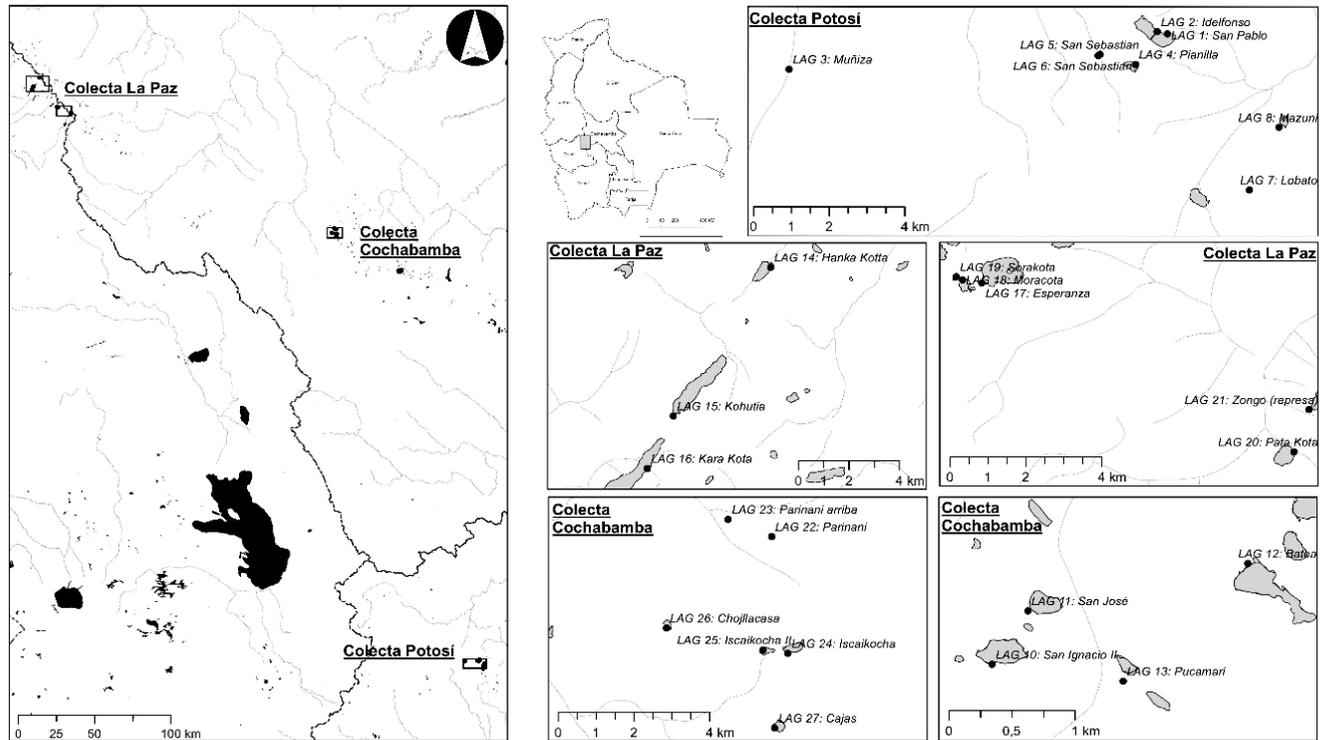


Figura 1. Sitios de muestreo en tres distritos de la cordillera andina de Bolivia.

Muestreo

Realizamos muestreos de 27 lagunas (Fig. 1, Tabla 1) ubicadas sobre los 4.200 m de altitud en los tres distritos biogeográficos anteriormente mencionados, entre febrero y abril del 2010. Se tomaron muestras de zooplancton tanto del litoral (muestra cualitativa) como de la zona pelágica (muestra cuantitativa) de las lagunas. Las muestras cualitativas se tomaron por unidad de esfuerzo (3 lanzamientos) en la zona litoral de cada laguna a través de una red de arrastre de 50 µm de abertura de poro. En la zona pelágica se tomaron muestras cuantitativas por medio de una trampa de Schindler (10 L) a diferentes profundidades con fin de capturar muestras representativas de la diversidad existente. Debido a que el objeto del presente estudio es sólo la descripción de la composición del zooplancton en las diferentes lagunas altoandinas, se integraron las dos muestras durante el análisis de datos para la obtención de abundancias relativas del zooplancton. Las muestras fueron fijadas con formol azucarado (4 %, concentración final) y conservadas para su posterior análisis en laboratorio.

Tabla 1

Ubicación geográfica de las lagunas estudiadas

Distrito	Nombre laguna	Código	Latitud	Longitud
La Paz	Hanka Kotta	LAG 14	16°04'31,7"	68°18'57,3"
	Kohutia	LAG 15	16°07'47"	68°21'02"
	Kara Kota	LAG 16	16°08'56,3"	68°21'35,2"
	Esperanza	LAG 17	16°15'21"	68°12'18,4"
	Moracota	LAG 18	16°15'18,1"	68°12'34,9"
	Sorakota	LAG 19	16°15'15,4"	68°12'40"
	Pata Kota	LAG 20	16°17'49,2"	68°07'51,2"
Cochabamba	Zongo (represa)	LAG 21	16°17'12"	68°07'38,3"
	Parinani	LAG 22	16°59'40,6"	66°33'47,2"
	Parinani arriba	LAG 23	16°59'25,5"	66°34'24,3"
	Iscaikocha	LAG 24	17°01'23"	66°33'33,3"
	Iscaikocha II	LAG 25	17°01'20"	66°35'54,5"
	Chojllacasa	LAG 26	17°01'01"	66°35'17,1"
	Cajas	LAG 27	17°02'28,6"	66°33'44,6"
Potosí	San Ignacio II	LAG 10	17°14'59,6"	66°11'43,6"
	San José	LAG 11	17°14'45,5"	66°11'34,4"
	Batea	LAG 12	17°14'33"	66°10'38"
	Pucamari	LAG 13	17°15'04"	66°11'10"
	San Pablo	LAG 1	19°36'13,4"	65°42'48,3"
	Idelfonso	LAG 2	19°36'11,5"	65°42'57,2"
	Muñiza	LAG 3	19°36'44,6"	65°48'12"
	Pianilla	LAG 4	19°36'40,2"	65°43'15,8"
	San Sebastian	LAG 5	19°36'31,5"	65°43'46"
San Sebastian I	LAG 6	19°36'32,4"	65°43'47,7"	
Cochabamba	Lobato	LAG 7	19°38'30,4"	65°41'38,2"
	Mazuni	LAG 8	19°37'35,4"	65°41'12,9"
	Challviri	LAG 9	19°39'27,2"	65°41'43,1"

Las muestras de zooplancton litoral fueron identificadas y cuantificadas (abundancia relativa). Para la obtención de la abundancia relativa, se consideró un mínimo de 300 organismos de la especie dominante, mientras que las muestras pelágicas fueron contadas en su totalidad. Ambos tipos de muestras se contaron en cámaras de conteo abiertas de 5 ml de capacidad, bajo estereomicroscopio Olympus, a 5X de aumento.

Se realizó un análisis de agrupamiento de los datos de presencia/ausencia de las especies de microcrustáceos en base al porcentaje de similitud de Bray Curtis, con el fin de detectar patrones de relación entre las lagunas relacionadas de los distritos estudiados. El análisis fue realizado en el programa Primer 5.0.

3. Resultados

Frecuencia de aparición de microcrustáceos

Se identificaron un total de 34 de especies de microcrustáceos entre los tres distritos estudiados (Tabla 2); 13 especies de copépodos y 21 de cladóceros. En el grupo de los copépodos 6 especies pertenecieron a la familia Centropagidae, 6 a la familia Cyclopidae y una al orden Harpacticoidea. En cuanto a los cladóceros, 7 especies pertenecieron a la familia Daphnidae, una a la familia Bosminidae, una a la familia Macrothricidae, una a la familia Iliocryptidae y 11 a la familia Chydoridae.

De las 34 especies identificadas, 12 especies (35 %) fueron comunes en los distritos estudiados de La Paz, Cochabamba y Potosí, 5 especies (15 %) solo estuvieron presentes en los distritos de Cochabamba y Potosí, 3 especies (9 %) solo presentes en los distritos de La Paz y Cochabamba y 1 especie (3 %) presente en los distritos de La Paz y Potosí. Adicionalmente, también se observaron especies de

distribución restringida a cada región. En el distrito de Cochabamba se encontraron 5 especies (15 %) de cladóceros en la zona litoral de las lagunas de solo en esta región, estos pertenecieron a la familia Chydoridae (*Paralona piagra*, *Ephemeroporus* sp., *Graptoleberis* af *testudinaria* y *Chydorus* sp.) y a la familia Iliocryptidae (*Iliocryptus* sp.). Por otro lado, en el distrito de Potosí se encontraron 7 especies (20 %) de microcrustáceos restringidos a esta región, tres pertenecientes a la familia Centropagidae (*Boeckella calcaris*, *Boeckella palustris* y *Neoboeckella* cf.

Tabla 2

Frecuencia de aparición (en porcentaje) de las especies en las lagunas de los diferentes distritos estudiados

Familia	Especie	La Paz (%)	Cochabamba (%)	Potosí (%)
COPEPODOS				
Centropagidae	<i>Boeckella titicacae</i>		40	100
	<i>B. gracilis</i>		20	55.5
	<i>B. calcanis</i>			11.1
	<i>B. occidentalis</i>	100	30	
	<i>B. palustris</i>			44.4
	<i>Neoboeckella</i> sp.			33.3
Cyclopidae	<i>Microcyclops</i> sp.			44.4
	<i>Metacyclops leptopus</i>	75	30	66.6
	<i>Mesocyclops meridianus</i>	12.5		
	<i>Eucyclops ensiffer</i>	37.5	10	33.3
	<i>E. cf. leptacanthus</i>		50	22.2
	<i>Tropocyclops prasinus</i>	12.5	100	
	Harpacticoide	62.5	40	33.3
CLADOCEROS				
Daphnidae	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	50	60	88.8
	<i>C. sp.</i>	25	10	
	<i>Daphnia</i> (complejo) <i>pulex-pulicaria</i>	87.5	90	77.7
	<i>D. peruviana</i>		10	33.3
	<i>D. (Ctenodaphnia) sp.</i>			55.5
	<i>D. (Ctenodaphnia) sp. 2</i>			77.7
	<i>Simocephalus cf. vetulus</i>	12.5		44.4
	<i>Bosmina huaronensis</i>	12.5	50	22.2
Bosminidae	<i>Macrothrix</i> sp.	25	10	44.4
Macrothricidae	<i>Iliocryptus</i> sp.		20	
Iliocryptidae	<i>Alona assiani</i>	37.8	40	11.1
Chydoridae	<i>A. davidi</i>	12.5	10	22.2
	<i>A. cambouei</i>			11.1
	<i>Alonella excisa</i>	50	20	33.3
	<i>Chydorus</i> sp.		10	
	<i>C. brevilabris</i>	62.5	60	44.4
	<i>Pleuroxus aduncus</i>			33.3
	<i>Paralona piagra</i>		40	
	<i>Ephemerophorus</i> sp.		20	
	<i>Graptoleberis testudinaria</i>		10	
	<i>Camptocercus</i> sp.	25	60	11.1

loffleri), un Cyclopidae (*Microcyclops* sp.), un Chydoridae (*Pleuroxus aduncus*) y dos dáfnidos del género *Daphnia* (*Ctenodaphnia*) sp., que fueron separados por su diferencia morfológica (presencia o ausencia de yelmo), pero que podría tratarse de una sola especie, lo cual debe ser corroborado por análisis genético. Finalmente, las especies con mayor frecuencia de aparición en las lagunas del distrito de La Paz, fueron *Boeckella occidentalis* (100% de las lagunas) y el complejo *Daphnia pulex* (90% de las lagunas). En Cochabamba, las especies que presentaron mayor frecuencia de aparición en las lagunas de esta región fueron *Tropocyclops prasinus* (100% de las lagunas) y el complejo *Daphnia pulex* (90 % de las lagunas). Por último, las especies que presentaron mayor frecuencia de aparición en la región de Potosí fueron, *Boeckella titicacae* (100 % de las lagunas) y *Ceriodaphnia dubia* (89 % de las lagunas) (Tabla 2).

Características de las lagunas del distrito de La Paz

Las lagunas estudiadas en el distrito de La Paz, se encontraron entre los 4.376 y 4.753 m s.n.m. En total, se identificaron un total de 17 especies de

microcrustáceos. Seis especies pertenecieron al grupo de copépodos, una de ellas correspondió a la familia Centropagidae (*Boeckella occidentalis*), cuatro a la familia Cyclopidae (*Metacyclops leptopus*, *Mesocyclops meridianus*, *Eucyclops ensifer* y *Tropocyclopos prasinus*) y una especie de copépodo del orden Harpacticoidea. Once especies pertenecieron al grupo de los cladóceros, cuatro especies correspondieron a la Familia Daphnidae (*Daphnia* complejo *pulex*, *Ceriodaphnia dubia*, *Ceriodaphnia* sp y *Simocephalus* af. *mixtus*), una a la familia Bosminidae (*Bosmina* sp), una a Macrothricidae (*Macrotrix* sp) y seis a la familia Chydoridae (*Alona ossiani*, *A. davidi*, *Alonella excisa*, *Chydorus brevilabris*, *Camptocercus* sp.).

En todas las lagunas dominó el grupo de los copépodos (Fig. 2), siendo *Boeckella occidentalis* la que presentó mayor abundancia relativa. Algunas lagunas mostraron una alta abundancia relativa de cladóceros, por ejemplo, L16 (Kara Kotta) con el complejo *Daphnia pulex* (70%) y en la laguna L20 (Pata Kota) con la especie *Chydorus brevilabris* (64%), pero sin llegar a sobrepasar la abundancia de copépodos (Tabla 3).

Tabla 3

Características y abundancia relativa de microcrustáceos de las lagunas muestreadas

Parámetros	N	Mediana	Mínimo	25%	75%	Máximo
La Paz n=8						
Altitud (msnm)	8	4608,0	4376,0	4530,5	4693,5	4753,0
Copépodos (%)	8	91,68	100,00	94,88	81,13	78,61
Cladóceros (%)	8	8,32	0,00	5,12	18,87	21,39
Cochabamba n=10						
Altitud (msnm)	10	4348,0	4276,0	4300,0	4367,0	4463,0
Copépodos (%)	10	46,05	0,00	43,40	53,05	71,41
Cladóceros (%)	10	53,95	100,00	56,60	46,95	28,59
Potosí n=9						
Altitud (msnm)	9	4358,0	4287,0	4325,0	4428,0	4581,0
Copépodos (%)	9	89,44	96,23	81,10	84,22	84,12
Cladóceros (%)	9	10,56	3,77	18,90	15,78	15,88

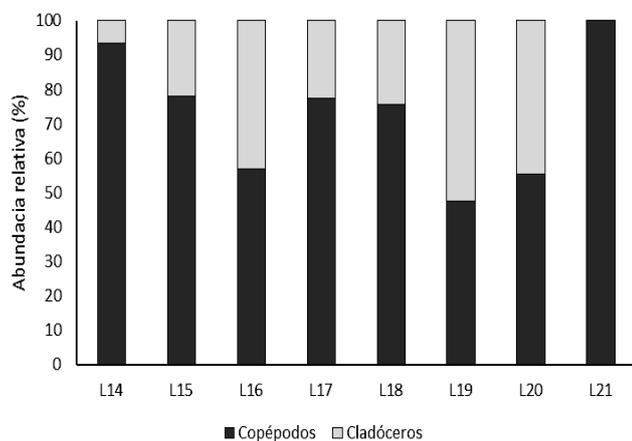


Figura 2. Composición porcentual (abundancia relativa) de microcrustáceos en el distrito de La Paz.

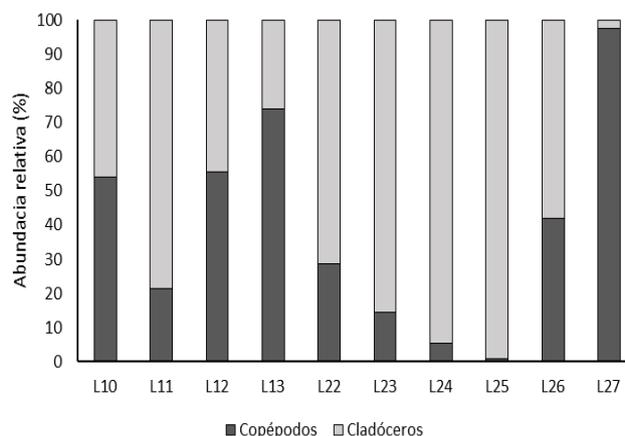


Figura 3. Composición porcentual (abundancia relativa) de microcrustáceos en el distrito de Cochabamba.

Características de las lagunas del distrito de Cochabamba

La altitud de las lagunas estudiadas en el distrito de Cochabamba, estuvieron comprendidas entre los 4.276 y 4.463 m s.n.m (Tabla 3). Se capturó un total de 25 especies de microcrustáceos, de los cuales ocho especies correspondieron al grupo de los copépodos. De estas especies, tres de ellas pertenecían a la familia Centropagidae (*Boeckella titicacae*, *B. gracilis*, *B. occidentalis*), cuatro a la familia Cyclopidae (*Metacyclops leptopus*, *Eucyclops ensifer*, *E. cf. leptacanthus*, *Tropocyclops prasinus*) y una especie perteneció al orden Harpacticoidea. Dieciséis especies correspondieron al grupo de los cladóceros, cuatro pertenecieron a la familia Daphnidae (*Daphnia* complejo *pulex*, *D. peruviana*, *Ceriodaphnia dubia*, *Ceriodaphnia* sp.), una a la familia Bosminidae (*Bosmina* sp.), una a la familia Macrotrichidae (*Macrotrix* sp.), una a la familia Ilyocryptidae (*Ilyocryptus* sp.) y diez a la familia Chydoridae (*Alona ossiani*, *A. davidi*, *A. cambouei*, *Alonella excisa*, *Chydorus* sp., *C. brevilabris*, *Paralona piagra*, *Ephemerophorus* sp., *Graptoleberis testudinaria*, *Camptocercus* sp.).

Gran parte de las lagunas fue dominada por el grupo de los cladóceros (Fig. 3), siendo el complejo *Daphnia pulex* o *Bosmina* sp., las especies que presentaron la mayor abundancia relativa; algunas lagunas de esta región presentaron mayor abundancia relativa de copépodos, como por ejemplo L13 con *Boeckella titicacae* (80 %) y L26 - L27 con *Tropocyclops prasinus* (58 y 89%, respectivamente).

Características de las lagunas del distrito de Potosí

La altitud de las lagunas estudiadas en el distrito de Potosí, se encontraron entre los 4.287 y 4.581 m s.n.m. (Tabla 3). Se identificaron un total de 25 especies de microcrustáceos, tomando en cuenta las zonas pelágica y litoral de cada laguna. Diez especies correspondientes al grupo Copepoda, de los cuales cinco pertenecieron a la familia Centropagidae (*Boeckella titicacae*, *B. gracilis*, *B. calcaris*, *B. palustris*, *Neoboeckella* cf. *loffleri*), cuatro a la familia Cyclopidae (*Microcyclops* sp., *Metacyclops leptopus*, *Eucyclops ensifer*, *Eucyclops* cf. *leptacanthus*), y una especie correspondiente al orden Harpacticoidea. Quince especies correspondieron al grupo de los cladóceros, de los cuales seis pertenecieron a la familia Daphnidae (*Daphnia* complejo *pulex*, *D. peruviana*, *D. (Ctenodaphnia)* sp. yelmo, *Daphnia (Ctenodaphnia)* sp., *Ceriodaphnia dubia*, *Simocephalus mixtus*), una a la familia Bosminidae (*Bosmina* sp.), una a la familia Macrotrichidae (*Macrotrix* sp.) y siete a la familia Chydoridae (*Alona ossiani*, *A. davidi*, *A. cambouei*, *Alonella excisa*, *Chydorus brevilabris*, *Pleuroxus aduncus*, *Camptocercus* sp.).

La mayor parte de las lagunas de esta región estuvo dominada por el grupo de los copépodos (Fig. 4), siendo *Boeckella titicacae* la especie que presentó la mayor abundancia relativa, en algunos casos acompañada con *B. palustris* o *B. gracilis*; algunas lagunas de esta región mostraron dominancia de cladóceros en la zona litoral; por ejemplo L1 (laguna San Pablo) con *Ceriodaphnia dubia* (53%) junto a *Daphnia peruviana* (13%), L4 (laguna Pianilla)

con *Ceriodaphnia dubia* (33%) junto a *Daphnia* (*Ctenodaphnia*) sp (36%), L7 (laguna Lobato) con *Ceriodaphnia dubia* (79%).

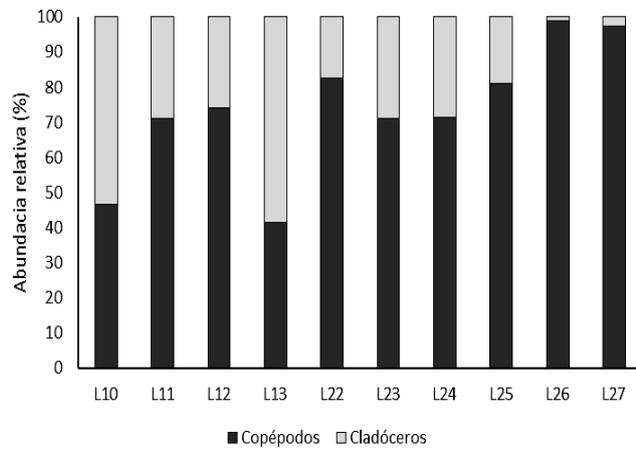


Figura 4. Composición porcentual (abundancia relativa) de microcrustáceos en el distrito de Potosí.

Análisis comparativo de los tres distritos

El análisis realizado en base a una matriz de similitud de Bray Curtis a partir de la densidad de especies de microcrustáceos de todas las lagunas, reconoce 3 conjuntos de lagunas a una similitud del 30 % (Fig. 6). El grupo 1 incluye a todas las lagunas del distrito de Potosí, el grupo 2 al conjunto de lagunas del distrito de La Paz, mientras que el grupo 3 representa a las

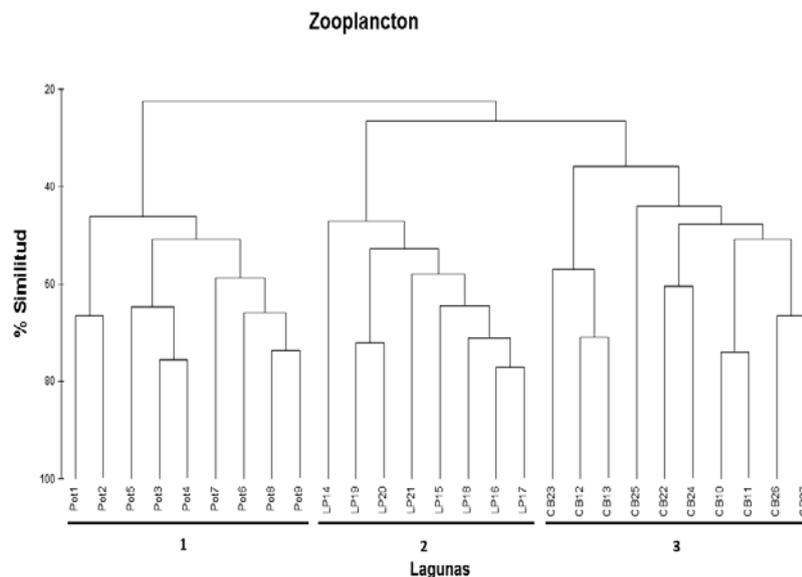


Figura 5. Dendrograma basado en el análisis de similitud de las densidades de las especies de microcrustáceos zooplanctónicos; grupo 1 = distrito Potosí, grupo 2 = distrito La Paz, grupo 3 = distrito Cochabamba.

lagunas del distrito de Cochabamba. Los grupos de lagunas de La Paz y Cochabamba mostraron una mayor similitud (25%) en el ensamblaje de los microcrustáceos zooplanctónicos, respecto a las lagunas del distrito de Potosí.

Pese a que las lagunas de Potosí mostraron una tendencia a una mayor riqueza específica tanto de copépodos como de cladóceros, no se pudo evidenciar diferencias significativas en el número de especies de microcrustáceos registradas en las lagunas de las tres localidades (Fig. 6).

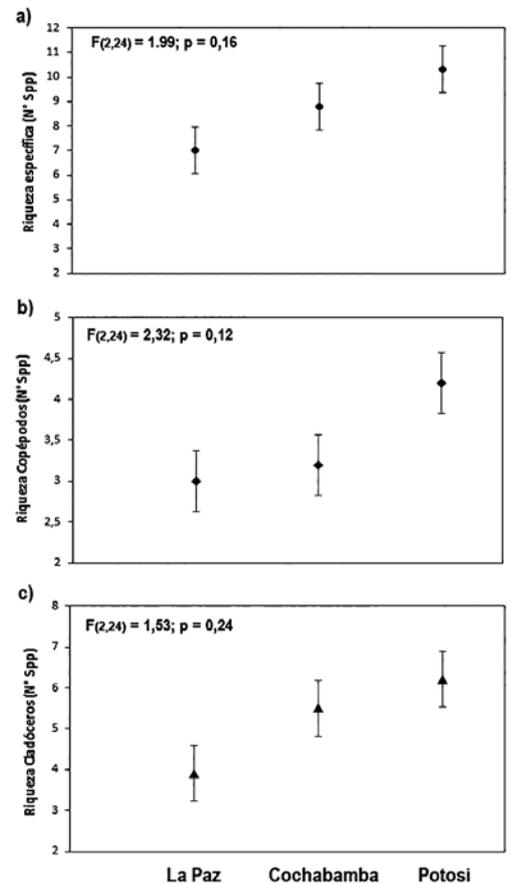


Figura 6. Número total de especies de microcrustáceos zooplanctónicos (a), copépodos (b) y de cladóceros (c) presentes en las lagunas de los tres distritos estudiadas. Las barras indican la desviación estándar.

4. Discusión

Se identificaron un total de 34 especies de microcrustáceos (13 especies de copépodos y 21 especies de cladóceros) entre los distritos biogeográficos estudiados. Las condiciones ambientales en este tipo de lagos (lagos oligotróficos de baja mineralización, elevadas altitudes, baja presión de oxígeno, etc.) hace que los mismos tiendan a presentar baja riqueza y baja biomasa zooplanctónica (De los Ríos & Soto, 2009). Algunas de las especies halladas han sido anteriormente citadas en trabajos puntuales en lagunas de La Paz (Pinto, 1991; Román & del Castillo, 1999) y Cochabamba (Acosta et al., 2003; Aguilera, Crespo, et al., 2006; Coronel et al., 2007), siendo a nuestro conocimiento el primer estudio que reporta una lista de especies de zooplancton para el distrito biogeográfico de Los Frailes de Potosí.

Las lagunas del distrito de La Paz, caracterizadas por su mayor profundidad, mostraron valores más bajos en abundancia y número de especies que los otros dos distritos, sin embargo, las lagunas estudiadas no presentaron diferencias significativas respecto a la abundancia relativa y la riqueza específica de microcrustáceos zooplanctónicos por sectores ($p > 0.05$; Figs. 5 y 7). Pese a ello, se puede observar cierto nivel de agrupamiento (análisis de similitud de Bray Curtis; Fig. 6) que parece coincidir con las características biogeográficas de la región. Las lagunas de los distritos de La Paz y Cochabamba se encuentran en la fracción Central de la cordillera Real; ambos grupos mostraron una similitud de 25% y desde el punto de vista biogeográfico, ambos tramos de la cordillera corresponden a la Puna Mesofítica de bioclima pluviestacional húmedo a subhúmedo (Maldonado et al., 2011). Mientras el conjunto de lagunas del distrito de Potosí, con menor similitud hacia los otros dos tramos, corresponden a la fracción de la cordillera Oriental Meridional (Cordillera de los Frailes) perteneciente a la Puna Xerofítica, con un bioclima xérico por debajo a los 4.000 m s.n.m., y pluviestacional subhúmedo en altitudes superiores.

En relación a las especies de microcrustáceos registrados en el presente trabajo, los boeckellidos (copépodos Centropidae) son sin duda el sello característico de los ambientes altoandinos de Bolivia y se encuentran ampliamente distribuidos en zonas de montaña de Sudamérica (Acosta et al., 2003; Maldonado et al., 2011). Para América del Sur se

reconocen 14 especies del género *Boeckella* (Bayly, 1992), de las cuales 7 han sido registradas en Bolivia y de estas 5 fueron encontradas en el presente trabajo. De las otras dos especies, *B. poopoensis* se presenta en ambientes salinos (Bayly, 1992; Maldonado et al., 2011) y *B. meteoris* sólo ha sido citada para Bolivia por Bayly (1992), hacia el sur de Potosí, área no contemplada en el presente estudio.

Del total de cinco especies que registramos para el género *Boeckella*, sólo *B. occidentalis* fue detectada en las lagunas del distrito de La Paz y algunas lagunas de Cochabamba. Esta especie es típica de lagos de gran altura, con una distribución que abarca desde el norte de Chile, Bolivia, Perú, Ecuador hasta Colombia (Silvina Menu-Marque, Morrone, & Locascio de Mitrovich, 2000). *Boeckella gracilis* se encontró presente tanto en lagunas de los distritos de Cochabamba y Potosí. Esta especie es la que se encuentra más ampliamente distribuida en Sudamérica, se extiende desde el sur de la Patagonia y distrito de los lagos chilenos y avanza hacia el este pampeano donde se encuentra muy bien representada, y hacia el norte central de la Argentina, Bolivia, Perú y Ecuador hasta alcanzar Colombia, la latitud más septentrional para este género (Silvina Menu-Marque et al., 2000). *B. palustris* y *B. calcaris* son dos especies muy relacionadas y comparten similar distribución, estuvieron presentes en las lagunas de Potosí, sin embargo, también reportadas anteriormente en lagunas de Cochabamba (Aguilera, Crespo, et al., 2006), estas dos especies se encuentran distribuidas en lagos y lagunas de alta montaña del norte de la Argentina, oeste de Bolivia y sur del Perú (Silvina Menu-Marque et al., 2000).

Un caso especial lo constituye la especie *B. titicacae*, descrita para el lago Titicaca, que muestra escasos rasgos morfológicos disímiles con *B. gracilipes*, llevando muchas veces a confusiones al momento de la determinación específica. Algunos autores consideran a la especie del lago Titicaca como una subespecie de *B. gracilipes* (*B. gracilipes titicacaensis*; (Thomasson, 1959), mientras que otros investigadores (S Menu-Marque & Locascio de Mitrovich, 1998; Silvina Menu-Marque et al., 2000) han considerado a *B. titicacae* como un sinónimo de *B. gracilipes*. Sin embargo, Scheihing et al. (2010) demostraron a través de análisis multivariado morfológico y a través del enfoque filogenético molecular, que la especie que habita el Altiplano (Plateau) Andino corresponde a *B. titicacae* y no a *B. gracilipes*. La reconstrucción

filogenética de la familia Centropagidae de Sudamérica, indicó que *B. gracilipes* representa un taxón hermano y de posterior aparición a *B. titicacae*. El resultado del estudio de Scheihing et al. (2010), lleva a cuestionar la amplia distribución biogeográfica y altitudinal de *B. gracilipes*. En todo caso, en Bolivia no se han dado reportes de *B. gracilipes*, siendo *B. titicacae* la especie mayormente registrada en sus lagunas altoandinas.

Otra especie de la familia Centropagidae, detectada sólo en 3 lagunas someras (profundidad entre 4 y 6 m) situadas a una altura entre 4.428 y 4.358 m s.n.m. del distrito de Potosí (LAG 1, LAG 2, LAG 3; ver Tabla 1) fue *Neoboeckella* sp. El género *Neoboeckella* al parecer tiene únicamente dos especies, *N. kinzeli* (Löffler) colectada en Perú y *N. loffleri* en Bolivia (Bayly, 1992). En este sentido la especie colectada puede tratarse de *N. loffleri* (por confirmar) descrita por Bayly (1992), quien recolectó el organismo en un cuerpo de agua somero (hacienda Huacaroma; profundidad 20 cm) situado en el Departamento de Oruro, Bolivia (17°40' S, 67°30' W, a 3.720 m s.n.m.).

Entre los cladóceros, el género *Daphnia* es el que ha recibido mayor atención, por las investigaciones realizadas en el área de la ecología y la evolución. En el presente estudio se detectó 3-4 especies diferentes del género *Daphnia*, considerando a una de ellas perteneciente a un linaje que se incluye en el complejo de *D. pulex* muy cercano a grupos de *D. tenebrosa* y *D. pulicaria*, endémica de sudamérica. Los análisis genéticos demuestran que este linaje se considera un ancestro del grupo de *D. pulicaria* de Norte América (Mergey et al., 2008).

Daphnia peruviana, fue reportada en lagunas de Cochabamba y de Potosí, fue descrita por primera vez en el Perú (Harding, 1955), muestra una alta melanización y se confirmó que su linaje diverge de un conjunto de *Daphnia* estudiadas en Argentina, donde no presentó especies hermanas de norte o sudamérica, por lo que es considerada una especie endémica del continente Sudamericano (Adamowicz, Hebert, & Marinone, 2004); *D. peruviana* es una especie restringida a Perú, Bolivia, Chile y Argentina (Coronel et al., 2007). En Bolivia ha sido registrada en lagos y bofedales de los altos Andes tropicales (Coronel et al., 2007) y en el presente estudio).

Los cladóceros en Bolivia necesitan mayor atención, ya que aún existen zonas poco exploradas donde

podrían existir micro-endemismos muy localizados; pero más importante es que aún se tienen vacíos en la identificación específica, debido muchas veces a la confusa taxonomía, pobre descripción y a que las claves taxonómicas en su mayoría son realizadas en base a especies de zonas templadas y no así de ecosistemas tropicales como los de Bolivia.

En la actualidad los análisis genéticos apoyan la existencia de endemismo continental y provincial en algunos grupos del zooplancton, y se sabe que pocas especies son realmente cosmopolitas. Esto refuerza la necesidad de estudios regionales detallados, así como revisiones de algunos grupos de especies descritas por anteriores autores (Adamowicz et al., 2004; Kotov et al., 2010). Por ejemplo, las evidencias aportadas por Adamowicz et al. (2004), sugieren que 14 de las 19 especies de *Daphnia*, conocidas actualmente para Sudamérica, son endémicas para este continente, es más, se espera que el endemismo a nivel de los cladóceros en el Neotrópico puede ser incrementado con el estudio de los cuerpos de agua de alta montaña de los Andes (Kotov et al., 2010), y que éste no se limitaría únicamente al hallazgo de endemismos sino al hallazgo de nuevas especies y probablemente nuevos géneros para la ciencia.

Agradecimientos

Especiales agradecimientos a Jorge Coronel como parte del equipo de muestreo y a Neshmi Salaués por el apoyo en el trabajo de laboratorio. Esta investigación fue financiada por la International Foundation for Science, Suecia (IFS).

5. Referencias bibliográficas

- Acosta, F., Cadima, M., & Maldonado, M. (2003). Patrones espaciales de la comunidad planctónica lacustre en un gradiente geofísico y bioclimático en Bolivia. Spatial patterns of the planktonic community in lakes on a geophysical and bioclimatological gradient in Bolivia. *Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental*, (13), 31–53.
- Adamowicz, S. J., Hebert, P. D. N., & Marinone, M. C. (2004). Species diversity and endemism in the *Daphnia* of Argentina: a genetic investigation. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 140(2), 171–205.

- Aguilera, X., Crespo, G., Declerck, S., & de Meester, L. (2006). Diel vertical migration of zooplankton in tropical high mountain lakes (Andes, Bolivia). *Polish Journal of Ecology*, 54, 453–464.
- Aguilera, X., Declerck, S., de Meester, L., Maldonado, M., & Ollevier, F. (2006). Tropical high Andes lakes: A limnological survey and an assessment of exotic rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters*, 36(4), 258–268.
- Aguilera, X., Mergeay, J., Wollebrants, A., Declerck, S., & Meester, L. de. (2007). Asexuality and polyploidy in *Daphnia* from the tropical Andes. *Limnology and Oceanography*, 52(5), 2079–2088.
- Bayly, I. A. E. (1992). Fusion of the genera *Boeckella* and *Pseudoboeckella* (Copepoda) and revision of their species from South America and sub-Antarctic islands. *Revista Chilena de Historia Natural*, 65(1), 17–63.
- Cabrol, N. A., Feister, U., Häder, D.-P., Piazena, H., Grin, E. A., & Klein, A. (2014). Record solar UV irradiance in the tropical Andes. *Frontiers in Environmental Science*, 2, 1–6. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2014.00019>
- Coronel, J. S., Declerck, S., & Brendonck, L. (2007). High-altitude peatland temporary pools in Bolivia house a high cladoceran diversity. *Wetlands*, 27(4), 1166–1174. [https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2007\)27\[1166:hptpib\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2007)27[1166:hptpib]2.0.co;2)
- de los Ríos, P., & Soto, D. (2009). Estudios limnológicos en lagos y lagunas del Parque Nacional Torres del Paine (51 S, Chile). *Anales Del Instituto de La Patagonia*, 37(1), 63–71. SciELO Chile.
- Green, J. (1995). Altitudinal distribution of tropical planktonic Cladocera. In *Cladocera as Model Organisms in Biology* (pp. 75–84). Springer.
- Harding, J. P. (1955). The Percy Sladen Trust Expedition to Lake Titicaca in 1937. XV. Crustacea: Copepoda. *Transactions of the Linnean Society of London*, 1(3), 219–247.
- Jacobsen, D., & Dangles, O. (2017). *Ecology of high altitude waters*. Oxford University Press.
- Kotov, A. A., Sinev, A. Y., & Berrios, V. L. (2010). The Cladocera (Crustacea: Branchiopoda) of six high altitude water bodies in the North Chilean Andes, with discussion of Andean endemism. *Zootaxa*, 2430(1), 1–66.
- Madsen, P. B., Morabowen, A., Andino, P., Espinosa, R., CAUVY-FRAUNIÉ, S., Dangles, O., & Jacobsen, D. (2015). Altitudinal distribution limits of aquatic macroinvertebrates: an experimental test in a tropical alpine stream. *Ecological Entomology*, 40(5), 629–638.
- Maldonado, M., Maldonado-Ocampo, J. A., Ortega, H., Encalada, A. C., Carvajal-Vallejos, F. M., Rivadeneira, J. F., ... Rivera-Rondón, C. A. (2011). Biodiversity in aquatic systems of the tropical Andes. *Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes*, 276–294.
- Menu-Marque, S., & Locascio de Mitrovich, C. (1998). Distribución geográfica de las especies del género *Boeckella* (Copepoda, Calanoida, Centropagidae) en la República Argentina. *Physis B*, 56, 1–10.
- Menu-Marque, Silvina, Morrone, J. J., & Locascio de Mitrovich, C. (2000). Distributional patterns of the South American species of *Boeckella* (Copepoda: Centropagidae): a track analysis. *Journal of Crustacean Biology*, 20(2), 262–272.
- Mergeay, J., Aguilera, X., Declerck, S., Petrussek, A., Huyse, T., & de Meester, L. (2008). The genetic legacy of polyploid Bolivian *Daphnia*: the tropical Andes as a source for the North and South American *D. pulicaria* complex. *Molecular Ecology*, 17(7), 1789–1800. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2007.03679.x>
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., da Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853–858.
- Navarro, G., & Maldonado, M. (2004). *Geografía ecológica de Bolivia, vegetación y ambientes acuáticos* (2da ed.). Cochabamba, Bolivia.: Centro de Ecología Simón I. Patiño.

- Pinto, J. (1991). Distribución del zooplancton en la parte boliviana del lago. *El Lago Titicaca: Síntesis Del Conocimiento Limnológico Actual. Hisbol-ORSTOM, La Paz*, 277–283.
- Quenta, E., Molina-Rodriguez, J., Gonzales, K., Rebaudo, F., Casas, J., Jacobsen, D., & Dangles, O. (2016). Direct and indirect effects of glaciers on aquatic biodiversity in high Andean peatlands. *Global Change Biology*, 22(9), 3196–3205.
- Román, Y., & del Castillo, M. (1999). Estructura Vertical de la Taxocenosis de microcrustáceos planktónicos en la Laguna Mynas Kkota, La Paz-Bolivia (Vertical structure of the plankton microcrustacean taxocoenocis in the Mynas Kkota Lake, La Paz-Bolivia)—*Rev. Bol. de Ecol*, 6, 145–153.
- Scheihing, R., Cardenas, L., Nespolo, R. F., Krall, P., Walz, K., Kohshima, S., & Labarca, P. (2010). Morphological and molecular analysis of centropagids from the high Andean plateau (Copepoda: Calanoidea). *Hydrobiologia*, 637(1), 45–52.
- Segers, H., Meneses, L., & del Castillo, M. (1994). Rotifera (Monogononta) from Lake Kothia, a high-altitude lake in the Bolivian Andes. *Archiv Für Hydrobiologie*, 227–236.
- Suárez-Morales, E., & Gasca, R. (1996). Planktonic copepods of Bahía de la Ascensión, Caribbean coast of Mexico: a seasonal survey. *Crustaceana*, 69(2), 162–174.
- Thomasson, K. (1959). *Nahuel Huapi: Plankton of some lakes in an Argentine national park, with notes on terrestrial vegetation*. Sv. växtgeografiska sällsk.
- Torres, L. E., & Rylander, K. (2006). Diversity and abundance of littoral cladocerans and copepods in nine Ecuadorian highland lakes. *Revista de Biología Tropical*, 54(1), 131–137.