

Comunidades de diatomeas bentónicas (Algas, Bacillariophyta) en el Parque Nacional Sajama, Oruro, Bolivia

Benthic diatoms communities (algae, Bacillariophyta) in the Sajama National Park Oruro, Bolivia

Gabriela Chávez^{1,2}, Magda Evelyn Zeballos¹ y Erika Fernández^{1,2}

¹Carrera de Biología, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Mayor de San Simón, Casilla No. 992, Cochabamba, Bolivia, teléf. 77978187- 4732887, email: gabita.112terre@gmail.com.

²Unidad de Limnología y Recursos Acuáticos, Departamento de Biología, Universidad Mayor de San Simón, Casilla No. 992, Cochabamba, Bolivia, Cel. 72277532, email. erika_fer2003@yahoo.es

Resumen: El Parque Nacional Sajama presenta numerosos ecosistemas acuáticos, que a pesar de ser considerados como componentes de un paisaje con alto valor biológico, han recibido muy poca atención científica. Las diatomeas son utilizadas a nivel mundial para estudios de calidad del agua y monitoreo de ecosistemas contaminados y eutrofizados, convirtiéndose de esta manera en valiosas herramientas para la conservación y recuperación ambiental. El objetivo general del presente estudio fue determinar la estructura y composición de las diatomeas bentónicas, como paso previo a la caracterización de las comunidades bentónicas algales, su aplicación en estudios de calidad y conservación de ecosistemas andinos. Se colectaron diatomeas bentónicas en nueve puntos: cuatro ríos (Desaguadero, Sajama, Lauca, Curahuara de Carangas), dos lagunas (Macaya, Sequewa), dos arroyos (Huma Pusa, Curahuara de Carangas) y una vertiente (Gruta de la Virgen),

donde se seleccionó al azar sedimentos superficiales ribereños, los cuales fueron fijados con 10 gotas de formol al 40%. Las muestras posteriormente fueron procesadas en el laboratorio, en el cual después de una digestión con ácido nítrico y repetidos enjuagues con agua destilada, se montaron en placas permanentes. La diversidad taxonómica fue representada por tres clases, pertenecientes a 14 órdenes, 30 familias, 52 géneros y 293 especies. Los géneros con mayor riqueza específica fueron: *Nitzschia* (15% del total de especies) y *Navicula* (11%). De estos taxa 87 (30%) son nuevos a Sud América. Mediante la relación de los parámetros físico-químicos y la composición de las diatomeas se determinaron dos comunidades: La comunidad de *Nitzschia inconspicua*, *Surirella minuta*, *Nitzschia intermedia*, *Cyclotella meneghiniana*, *Achnanthes lanceolata* y *Synedra tabulata* var. *gracillima*, propia de aguas meso-hipermineralizadas-alcaliófilas y la comunidad de *Nitzschia pseudofonticola*, *Navicula secreta* var. *apiculata*, *Nitzschia angusteforaminata* y *Achnanthes lanceolata*, característica de aguas hipomineralizadas y acidófilas.

Palabras clave: Bacillariophyta, Bentónicas, Comunidades, Diatomeas.

Abstract: The Sajama National Park has many aquatic ecosystems, which, despite being considered as components of a landscape with high biological value, has received very little scientific attention. The diatoms have been used with success at the global level for studies of water quality and monitoring of ecosystems related to water contamination and eutrophic ecosystems, thus valuable tools for conservation and environmental recovery. The present study aims to contribute to the knowledge of the diatoms, their diversity and composition, as a preliminary step to the characterization of communities, their application in studies of quality and conservation of Andean ecosystems. Benthic diatoms were collected from nine locations: four rivers (Desaguadero, Sajama, Lauca, Curahuara de Carangas), two lakes (Macaya, Sequewa), two streams (HumaPusa, Curahuara de Carangas) and a spring (Gruta de la Virgen). Random samples were taken at surface along water source and fixed with 10 drops of 40% formalin. Samples were then taken to the laboratory and after digestion with nitric acid and repeated rinses with distilled water they were mounted on permanent slides. The taxonomic diversity was represented by three classes, belonging to 14 orders, 30 families, 52 genera, and 293 species. The most species diverse genera were: *Nitzschia* (15% of the total number of species) and *Navicula* (11%). Of these taxa 87 (30%) are new to South America. Through the relationship of the physical-chemical parameters and composition of the diatoms two communities were identified: the community of *Nitzschia inconspicua*, *Surirella minuta*, *Nitzschia intermedia*, *Cyclotella meneghiniana*, *Achnanthes lanceolata* and *Synedra tabulata* var. *gracillima* characterized by meso hyper mineralized-alkaliphilic and the community of *Nitzschia pseudofonticola*, *Navicula secreta* var. *apiculata*, *Nitzschia angusteforaminata* y *Achnanthes lanceolata* characterized by water that is hyper mineralized and acidophilic..

Key words: Bacillariophyta, benthic, diatoms, communities,

INTRODUCCIÓN

La gran diversidad topográfica sudamericana determina la existencia de una gran variedad de ecosistemas acuáticos lénticos y lóticos continentales. En algunos casos, como ocurre en la zona andina, estos ecosistemas han tenido distintos orígenes a lo largo de la historia geológica del continente Sudamericano. Como resultado, los procesos que condujeron

a la consolidación de la biodiversidad actual (inmigración desde zonas aledañas u otros continentes, especiación *in situ*, hibridación, etc.) son difíciles de determinar. En este sentido, estudios recientes en algunas zonas del país en general y en el Parque Nacional Sajama (Servant-Vildary 1978, 1983, 1984, 1986, Servant-Viladary & Blanco 1984), acerca de la flora diatomológica de los cuerpos de agua andinos, demuestran que dentro de las

algas, las diatomeas tienen un gran potencial de contribuir con cientos de especies a las listas de organismos fotosintéticos hallados en Bolivia (Morales *et al.* 2009).

Las diatomeas son algas microscópicas unicelulares eucariotas, fotosintéticas que poseen clorofila *a* y *c*. Su material de reserva es la crisolaminarina y poseen paredes celulares de dióxido de silicio (Cadima & Fernández 2015). Habitan en los ecosistemas acuáticos, en los cuales existen diferentes comunidades biológicas asentadas en los distintos nichos ecológicos. Tanto en ecosistemas lénticos como en lóticos, los organismos con mayor representación son los bentónicos, estos incluyen bacterias, algas (diatomeas), plantas superiores, micro y macro fauna (Goitia 2004).

Las diatomeas bentónicas presentan una alta especificidad y sensibilidad a cambios fisicoquímicos y disturbios bióticos que ocurren en el medio en el que se desenvuelven, por lo que han sido utilizadas con éxito, a nivel mundial, para estudios de calidad del agua, monitoreo de ecosistemas contaminados y eutrofizados (Morales & Trainor 2001).

La microflora actual de la región Andina Tropical presenta una gran diversidad de ambientes acuáticos, fauna y flora que se desarrollan en las depresiones topográficas del terreno donde se acumula el agua, comprenden un variado conjunto de ambientes y comunidades biológicas que los distinguen del resto de los ecosistemas acuáticos en el país, esta región que a pesar de ser considerada como un componente del paisaje con alto valor biológico, ha recibido muy poca atención científica; existiendo pocas publicaciones las cuales son insuficientes para caracterizar los diversos ambientes (Morales & Trainor 2001, Maldonado *et al.* 2012).

El presente estudio aportará al conocimiento de las comunidades de diatomeas del Parque Nacional Sajama y alrededores, así como su composición, diversidad y la utilización de especies indicadoras para su aplicación en estudios de calidad y conservación de ecosistemas andinos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El Parque Nacional Sajama se encuentra en el departamento de Oruro con un rango altitudinal que oscila entre los 4.000 y 6.542 msnm. Ocupa la región de la Cordillera Occidental o volcánica, por sus cumbres hace de frontera natural con Chile (Figura 1), se caracteriza por sus extensas altiplanicies, lagunas altoandinas e imponentes altos volcánicos como los Payachatas y el nevado Sajama que constituye el punto más elevado de Bolivia (Espinoza-Terán 2001).

Biogeográficamente la zona de estudio pertenece a la región Andina Tropical, provincia Puneña Xerofítica y sector Sajama-Desaguadero (Navarro 2011). El clima es semiárido, caracterizado por una larga estación seca (de marzo a noviembre) y una corta estación de lluvias (de diciembre a febrero). La temperatura media anual es de 6°C, y la zona se ve afectada por fuertes vientos y una radiación solar extrema, con niveles de precipitación anual que fluctúan entre los 270 y 400 mm (Ballivian & Risacher 1981). Hidrológicamente forma parte de la hidroecoregión Altoandina, circunscrita a la cuenca del Altiplano, subcuenca Desaguadero con su principal ecosistema acuático el río Mauri. Los ríos que definen su hidrología son el Sajama y Tomarapi, este último pertenece a la subcuenca del río Lauca que desemboca en el Salar de Coipasa (Navarro & Maldonado 2001).

La vegetación de la región está representada por bofedales, pastizales, arbustadas y los bosques de queñua (*Polylepis tarapacana*); especie arbórea que llega a 5.200 msnm presentando el mayor límite de distribución altitudinal. Los bofedales en comparación con las otras formaciones vegetales se destacan por su alta riqueza específica. La fauna está representada por el ñandú (*Rhea pennata*), vicuña (*Vicugna vicugna*), vizcacha (*Lagidium viscacia*), etc. (Villarroel *et al.* 2014).

Toma de datos

La colecta de muestras en el Parque Nacional Sajama se realizó con una sola toma en época seca del año 2010. Las muestras corresponden a 9 puntos, de los cuales cuatro son ríos (Desaguadero, Sajama, Lauca, Curahuara de Carangas), dos lagunas (Macaya, Sequewa), dos arroyos (Huma Pusa, Curahuara de Carangas) y una vertiente (Gruta de la Virgen). La altitud de los puntos varió de 3700 a 4200 msnm (Tabla 1). Se colectaron diatomeas bentónicas, seleccionándose al azar sedimentos superficiales ribereños, las cuales fueron fijadas y preservadas con 10 gotas de formol al 40% (para detener la actividad celular de las diatomeas) y conservadas a 4°C en laboratorio, donde después de una digestión con ácido nítrico y repetidos enjuagues con agua destilada, se montaron en placas permanentes con la resina sintética Naphrax. La determinación del material biológico se llevó a cabo utilizando un microscopio óptico con un aumento de 1000 X. Para la identificación taxonómica de las diatomeas se emplearon diferentes claves ilustradas, principalmente las de Lange-Bertalot (2000, 2007), Morales *et al.* (2009), entre otras. Las especies se identificaron hasta el nivel taxonómico más inclusivo posible, especie, variedad o forma.

La construcción de las láminas de imágenes digitales de microscopía óptica fue realizada con el programa Adobe Photoshop CS6.

Análisis de datos

En cada punto se midieron los siguientes parámetros: altitud en metros sobre el nivel del mar, la temperatura en grados centígrados (°C), la conductividad en microSiemens sobre centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y el pH (Tabla 1). Todos estos datos fueron registrados *in situ* mediante un conductivímetro y pHmetro.

Para el análisis cuantitativo se siguió el protocolo estándar de Charles *et al.* (2002). Se contaron 600 valvas (300 células) para cada uno de los puntos de muestreo. Una vez realizado el conteo se procedió al cálculo de las abundancias relativas. Con los datos obtenidos se realizaron análisis multivariados de componentes principales (ACP) y análisis de correspondencia canónica (ACC) para determinar las tendencias o patrones de comportamiento de las diatomeas en función a los gradientes ambientales mediante el software CANOCO 4.5. Para la determinación de los tipos de aguas se utilizaron de forma complementaria los criterios hidroquímicos de mineralización y el pH del agua, siguiendo la clasificación de Navarro & Maldonado (2001).

Tabla 1. Variables ambientales que se tomaron en cada uno de los puntos de muestreo

Lugar	Altitud (msnm)	pH	Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (OD)
Río Desaguadero	3701	10,44	730	7,7	0
Río Sajama	6522	6,51	364	0,7	0
Río Lauca	3876	7,51	821	3,81	0
Río Curahuara de Carangas	3897	13,3	89,2	14,5	0
Laguna Macaya	3843	11,9	200,2	8,2	0
Laguna Sequewa	3870	8,35	134,3	17,0	5,69
Huma Pusa-Arroyo	3856	7	89,2	13,4	0
Curahuara de Carangas-Arroyo	3885	6	89,2	14,3	0
Gruta de la Virgen-Vertiente	2500	7	89,2	14,0	0

RESULTADOS

La identificación taxonómica se basó en el sistema de Round *et al.* (1990), indentificándose tres clases: Coscinodiscophyceae, Fragilariophyceae y Bacillariophyceae, pertenecientes a 14 órdenes, 30 familias, 52 géneros y 293 especies. Del total de especies, el 70% (206) fueron determinadas a nivel de especie, variedad o forma; el restante 30% (87) correspondiente a las indeterminadas que se diferenciaron a nivel de morfoespecies.

Los géneros con mayor riqueza específica son *Nitzschia* con 45 especies (15%), *Navicula* 33 especies (11%), *Gomphonema*, *Amphora* y *Pinnularia* con 16 especies cada una (5%), *Encyonema* y *Fragilaria* con 11 especies respectivamente (4%), el resto de los géneros presentaron menores niveles de riqueza (Figura 2).

Para los análisis estadísticos se seleccionaron 24 especies de las 293, siguiendo el criterio adoptado por Lobo *et al.* (1996), Potapova & Charles (2005) y Doung *et al.* (2007); en el que cada especie se tiene que presentar mínimo en dos muestras y con abundancia relativa mayor o igual al 5%.

En el análisis de componentes principales (ACP) las especies más abundantes y dominantes explican una variabilidad del 35,5% en los dos primeros ejes (Figura 3). En el eje 1 positivo se encuentran los muestreos del Río Desaguadero (RD) y Río Lauca (RL). Las especies que se relacionaron positivamente a este eje son *Nitzschia alpina* (Nitzalpi) ($r=0,82$), *Cyclotella meneghiniana* (Cyclomen) ($r=0,72$), *Synedra tabulata* var. *gracillima* (Syntabvu) ($r=0,67$), *Navicula symmetrica* (Navsymme) ($r=0,63$), *Nitzschia inconspicua* (Nitzinco) ($r=0,63$), *Surirella minuta* (Surimin) ($r=0,60$) y por último *Achnanthes lanceolata* (Alanceol), *Nitzschia incognita* (Nitzincog) y *Nitzschia intermedia* (Nitzinte), todas con valores de $r=0,5$. En el eje 1 negativo los puntos de muestreo están representados por Río Sajama (RS) y Laguna Macaya (LM). Las especies negativamente relacionadas a este eje son *Synedra ulna* (Syneulna) ($r=-0,77$), *Rhoicosphenia abbreviata* (Rhoicabb) ($r=-$

$0,59$), *Pseudostaurosira decipiens* (Pseuddec) ($r=-0,59$), *Pseudostaurosira sajamaensis* (Pseudsj) ($r=-0,58$) y *Cocconeis placentula* var. *euglypta* (Coplacve), con ($r=-0,52$).

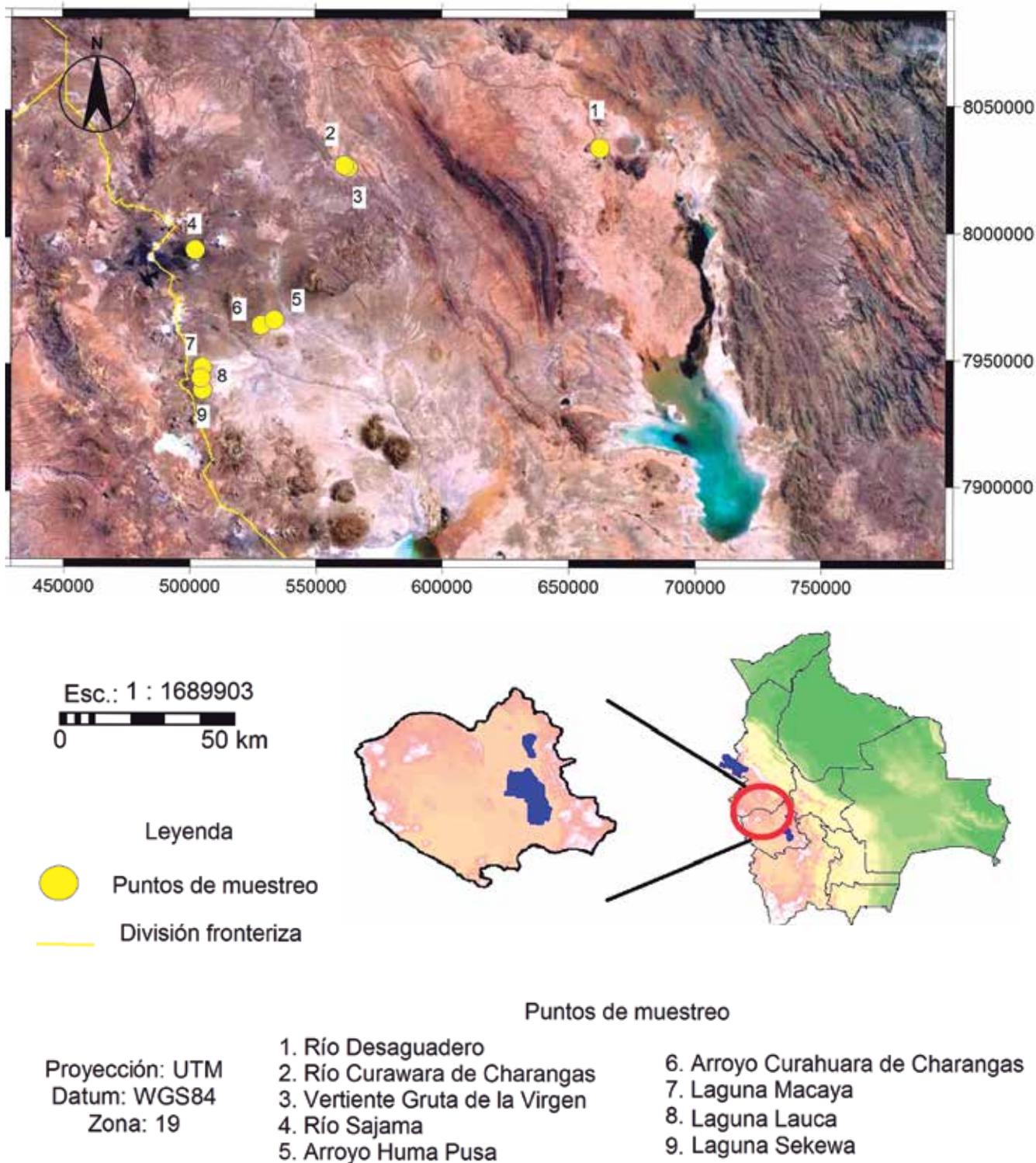
Con el eje 2 se relacionaron los puntos de muestreo correspondientes a Río Curahuara de Carangas (RCc) y Huma Pusa (HP). Las especies asociadas a este eje son *Cyclotella bodanica* var. *lemanica* (Cybovale) ($r=0,70$), *Synedra goulardii* (Syngoula) ($r=0,68$), *Nitzschia amphibia* (Nitzamph) ($r=0,56$) y *Navicula secreta* var. *apiculata* (Navsevaa) con valores de $r=0,52$.

En el ACC las 24 especies que cumplían con el criterio anteriormente mencionado fueron correlacionadas con los factores físico-químicos de conductividad y pH (Figura 4). En el que la varianza acumulada de las especies en los dos ejes fue del 19%, los autovalores para los ejes 1 ($\lambda=0,31$) y 2 ($\lambda=0,22$); estadísticamente significativos ($p=0,04$) según el test de Monte Carlo. Por otra parte la varianza acumulada de la relación especie-medio ambiente fue de 65%. La correlación especie:ambiente fue significativa para los dos ejes ($p=0,03$), por lo tanto existe asociación entre las variables ambientales y las especies de diatomeas en los ejes (eje 1= $0,983$ y 2= $0,981$) según la correlación de Pearson.

En el análisis con los parámetros físico-químicos y según las correlaciones intraset para el eje 1 la variable más importante fue la conductividad (con un valor de $-0,60$) y el pH para el eje 2 (con $-0,96$).

Los resultados de los análisis multivariados complementados con los criterios hidroquímicos como la mineralización y el pH, fueron la base para definir los dos tipos de aguas que se encuentran en la zona de estudio.

El primer tipo de aguas corresponde a meso-hipermineralizadas y alcaliófilas, ubicado en el cuadrante derecho-izquierdo inferior, siendo los parámetros físico-químicos más relevantes la conductividad con valores 195,8-821 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y el pH con 7,51-13,3. Todos los muestreos de este punto corresponden a Río



Elaborado por: Lic. Daniela Delgado Acebey

Figura 1. Localización geográfica de los puntos de muestreo.

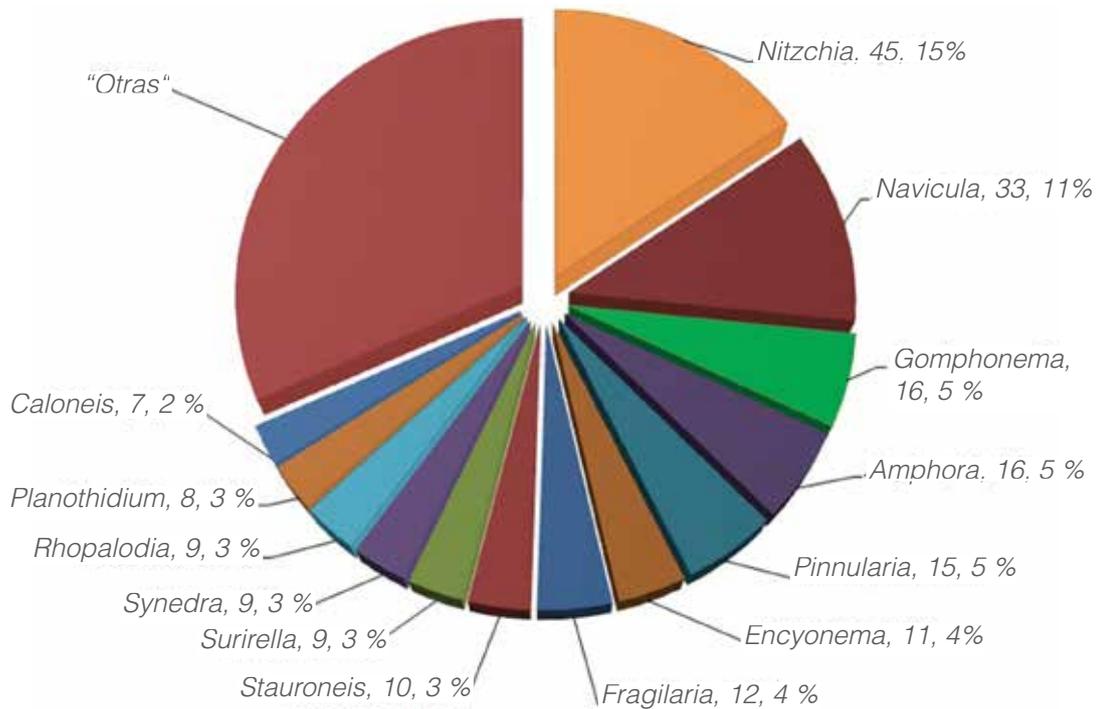


Figura 2. Riqueza de especies de diatomeas en el Parque Nacional Sajama y alrededores.

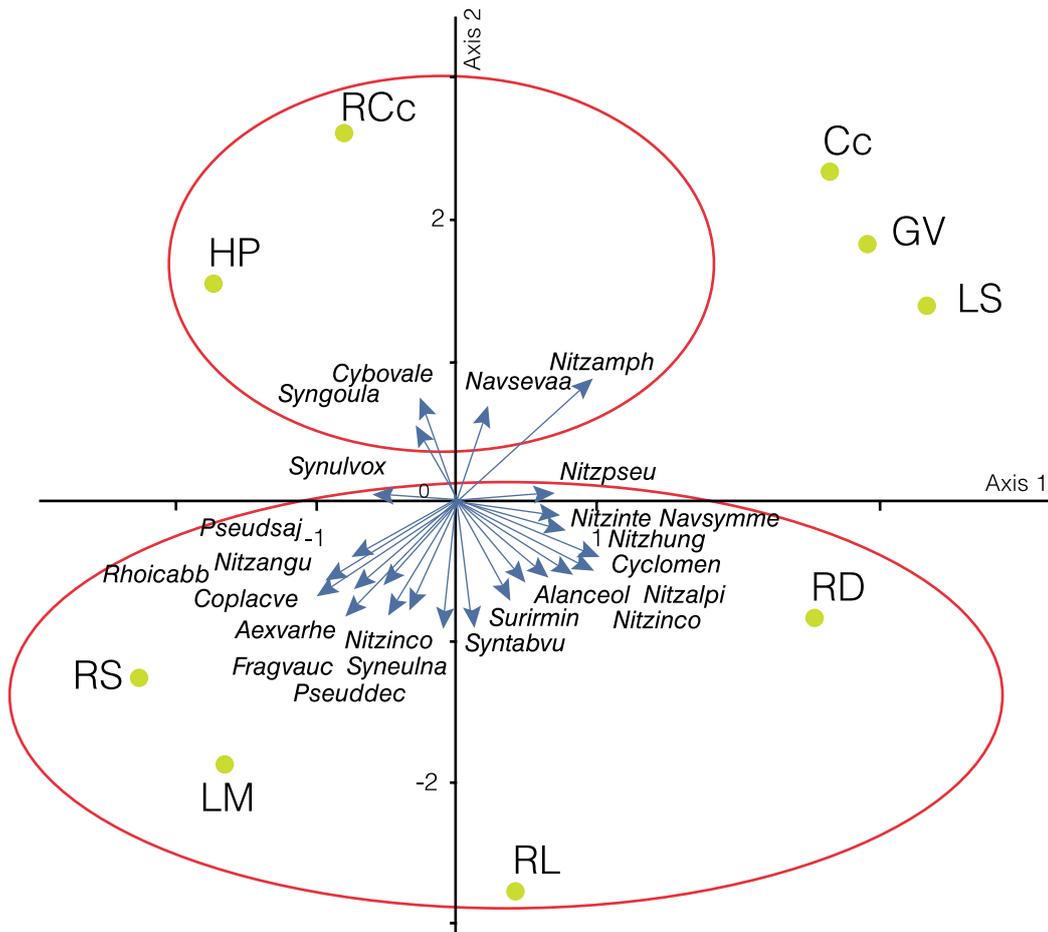
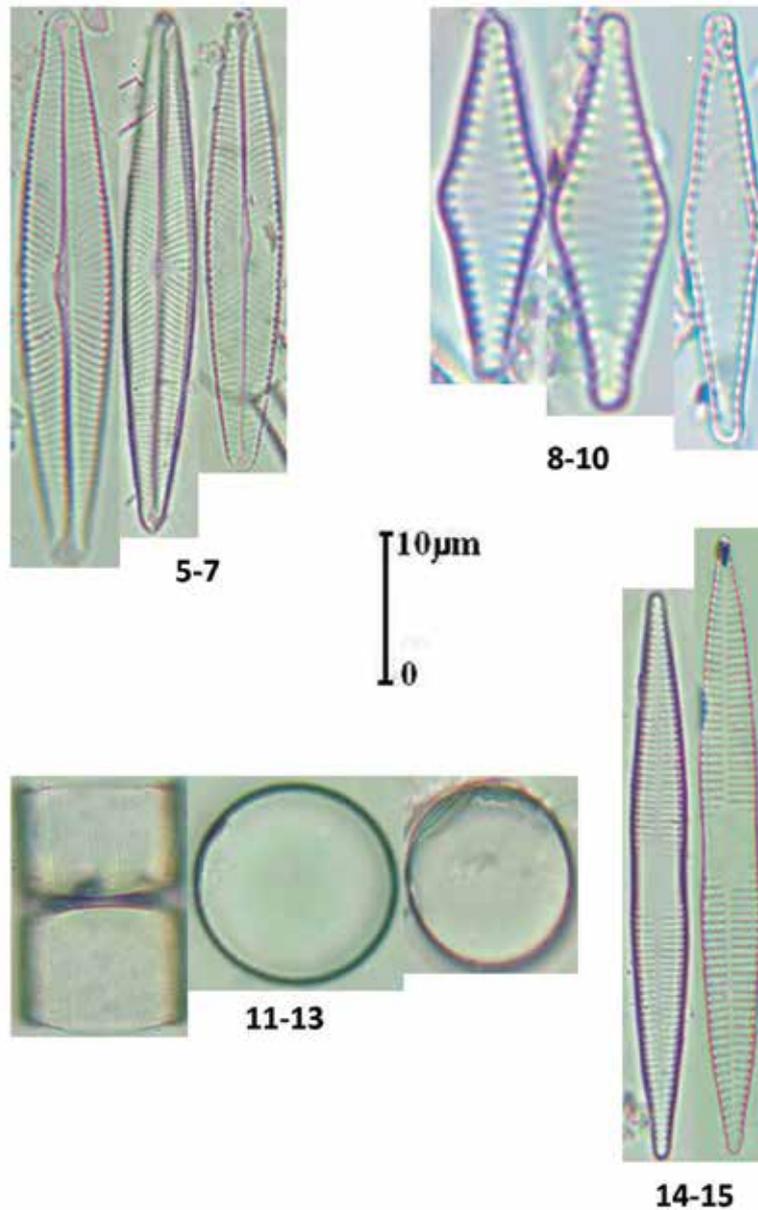


Figura 3. ACP de 24 especies en 9 puntos de muestreo del Parque Nacional Sajama. Dónde: RL=Río Lauca, RD= Río Desaguadero, RS= Río Sajama, LM= Laguna Macaya, HP= Huma Pusa, RCc= Río Curahuara de Carangas, Cc= Curahuara de Carangas, GV= Gruta de la Virgen y LS= Laguna Sequewa.



Figuras 5 -15. Microscopia óptica de especies de diatomeas dos tipos de aguas en el Parque Nacional Sajama y alrededores. Especies de aguas tipo I. meso-hipermineralizadas y alcaliófilas: 5-7. *Navicula symmetrica* Patrick. 8-10. *Pseudostaurosira decipiens* Morales, Chavez et Ector. Especies de aguas tipo II. hipomineralizadas y acidófilas: 11-13. *Cyclotella bodanica* var. *lemanica* (Müller ex Schroter) Bachmann. 14-15. *Synedra goulardii* Brébisson ex Cleve et Grunow.

(Margalef 1983, Martínez & Donato 2003, Díaz-Quirós & Rivera-Rondón 2004), muestran variación respecto a la riqueza específica con valores muy bajos; esto debido a que se emplearon diferentes técnicas de muestreo, tratamiento y épocas de colecta.

Aunque hay una gran variabilidad de ecosistemas acuáticos en Bolivia, las

diatomeas han sido más estudiadas en el altiplano y los valles, destacándose la región del lago Titicaca, el que ha recibido bastante atención por parte de los científicos extranjeros (Servant-Viladary & Blanco 1984, Servant-Vildary 1978, 1983, 1984, 1986). Al contrario son pocos los estudios diatomológicos en las regiones tropicales, subtropicales y el Chaco (Navarro &

Maldonado 2001). En el presente estudio los géneros *Nitzschia*, *Navicula* y *Gomphonema* se caracterizan por presentar altos niveles de riqueza específica; registrándose resultados similares en los Yungas de Bolivia (Morales *et al.* 2009); en el Río Rocha en Cochabamba (Fernández *et al.* 2015) y en el sud del altiplano boliviano (Iltis *et al.* 1984). De igual manera, en estudios de países vecinos en la provincia de Catamarca-Argentina (Maidana & Seeligmann 2006); en el Río Bogotá de Colombia (Díaz-Quirós & Rivera-Rondón 2004); en los salares de Atacama y Punta Negra de Chile (Díaz & Maidana 2005); reportan a estos géneros como los mejor representados.

A pesar de los numerosos estudios reportados en la zona de estudio (Servant-Vildary & Blanco 1984, Servant-Vildary 1978, 1983, 1984, 1986, Theriot *et al.* 1985, Herbst & Maidana 1988, 1989, Cruces *et al.* 2006, Maidana & Seeligman 2006, Álvarez-Blanco *et al.* 2011), se encontró un porcentaje interesante de especies indeterminadas correspondiente al 30%; las cuales no pudieron ser identificadas con la bibliografía especializada. Esta situación coincide con varios reportes (Morales *et al.* 2009, Morales *et al.* 2010, Morales *et al.* 2012), pudiendo tratarse de nuevos taxa para la ciencia, por lo que deberían ser analizados en detalle para sus futuras descripciones (Van de Vijver & Cocquyt 2009).

De acuerdo con Morales *et al.* (2009) es posible que una fracción de los taxones indeterminados correspondan a especies endémicas para Bolivia y la región de los Andes. En el Altiplano compartido por Perú, Bolivia y Chile, se encuentran diferentes comunidades que presentan una flora diatomológica propia, en la que también se incluyen taxones cosmopolitas.

Según Round *et al.* (1990) y Díaz-Quirós & Rivera-Rondón (2004), la estructura de las comunidades de diatomeas está determinada principalmente por las variables físicas (32,3%), químicas (56,4%) e hidrológicas (11,3%). Generalmente las variables fisicoquímicas que se toman in situ son

conductividad, pH, temperatura y oxígeno disuelto. En el presente estudio se excluyó el oxígeno disuelto debido a que en algunos puntos de muestreo no fue detectable y también la temperatura porque es un factor muy variable durante el día. En ecosistemas acuáticos con baja tasa de renovación de aguas o en periodos de calma continua, el contenido de oxígeno tiende a disminuir o ser nulo porque varía de forma continua durante el día y la noche (Van Donk & Van de Bund 2002). Este aspecto fisicoquímico es de gran importancia en investigaciones regionales debido a que el estudio de las relaciones entre comunidades de diatomeas y su medio está direccionado a la búsqueda de indicadores biológicos.

En el presente estudio se encontró que la conductividad y el pH influyen significativamente sobre la composición de las diatomeas. Varios autores señalan la importancia que tiene el pH de las aguas en determinar la distribución y composición de las especies de diatomeas en los sistemas naturales (Van Dam *et al.* 1981, De Nicola 2000, Díaz-Quirós & Rivera-Rondón 2004). Los puntos de muestreo Río Desaguadero, Lauca, Sajama y Laguna Macaya presentaron valores de pH y conductividad bajos. En esta área no existen estudios geológicos, por lo que no es posible explicar los valores de pH observados. Sin embargo, al momento de la extracción y análisis de las muestras fue posible observar una gran cantidad de materiales arcillosos en los sedimentos de este ecosistema. Lo anterior podría ser resultado de la oxidación que presentan algunos materiales arcillosos como la pirita que puede dar lugar a la formación de ácido sulfúrico aportando bajos valores de pH al sistema (Alvial *et al.* 2008).

La composición de las especies de diatomeas varía a lo largo de los diversos gradientes; los cambios en la distribución de las especies es influenciado por la conductividad y el pH por lo que en presencia de altos valores existe mayor abundancia de especies (Díaz-Quirós & Rivera-Rondón 2004, Seeligman *et al.* 2008, Mejia 2011). Las especies *Nitzschia inconspicua*, *N. intermedia*, *Surirella minuta*,

Cyclotella meneghiniana, *Achnanthes lanceolata* y *Synedra tabulata* var. *gracillima*, fueron más abundantes en sitios donde los valores de pH y la conductividad fue alta.

CONCLUSIONES

La gran diversidad topográfica del Parque Nacional Sajama y alrededores determina la existencia de varios ecosistemas, afectando la diversidad de diatomeas, que incluyen 14 órdenes, 30 familias, 52 géneros, 293 especies y variedades. Así, este trabajo contribuye significativamente al conocimiento de las diatomeas del Parque y al desarrollo científico de la flora diatomológica boliviana. Finalmente, los análisis multivariados mostraron la importancia de la relación entre los parámetros físico-químicos y la abundancia relativa de las especies dominantes, lográndose además determinar dos tipos de aguas, cada una con sus propias características y especies.

AGRADECIMIENTOS

A la Lic. Mirtha Cadima Fuentes y Dra. Melina Campero, por su asesoramiento continuo y sus acertadas observaciones. A la Licenciada Daniela Delgado Acebey, quién elaboró el mapa del presente documento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez-Blanco, I., C. Cejudo-Figueiras, I. De Codos, R. Muñoz & S. Blanco. 2011. Las diatomeas de los salares del Altiplano Boliviano: singularidades florísticas. Sociedad de España Historia Natural. Sección Biológica 105:1-4.

Alvial, I. E., F. J. Cruces, A. E. Araneda, M. Crosjean & R. E. Urrutia. 2008. Estructura comunitaria de diatomeas presentes en los sedimentos superficiales de ocho lagos andinos de Chile central. Revista Chilena de Historia Natural 81: 83-94.

Ballivian, O. & F. Risacher. 1981. Los salares del Altiplano Boliviano: métodos de

estudio y estimación económica. Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer. Orstom. Paris. 249 p.

Cadima, M. & E. Fernández. 2015. Algas de aguas continentales: Taxonomía y Ecología (Con énfasis en algas de Bolivia). Dirección de Investigación Científica y Tecnológica. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia. 116 p.

Charles, D. F., C. Knowles & R. S. Davis. 2002. Protocols for the analysis of algal samples collected as part of the U.S. Geological Survey National Water-Quality Assessment Program. Patrick Center for Environmental Research-Phycology Section, The Academy of Natural Sciences of Philadelphia, Report No. 02-06. 124 p.

Cruces, F., R. Urrutia, O. Parra, A. Araneda, H. Treutler, S. Bertran, N. Fagel, L. Torres, R. Barra & L. Chirinos. 2006. Changes in diatom assemblages in an Andean lake in response to a recent volcanic event. Archiv für Hydrobiologie 165 (1): 23-35.

De Nicola, D. M. 2000. A review of diatoms found in highly acidic environments. Hydrobiologia 433: 111-122.

Díaz-Quirós, C. & C. A. Rivera-Rondón. 2004. Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadoras de condiciones ambientales. Caldasia 26(2): 381-394.

Díaz, C. & N. Maidana. 2005. Diatomeas de los salares de atacama y punta negra, II Región – Chile. Centro de ecología aplicada Ltda. & Minera escondida Ltda. 148 p.

Doung, T. T., A. Feurtet-Mazal, M. Coste, D. K. Dang & A. Boudou. 2007. Dynamics of diatom colonization processes in some rivers influenced by urban pollution (Hanoi, Vietnam). Ecological

Indicators 7(4): 839-851.

- Espinoza-Terán, C. W. 2001. Caracterización del Parque Nacional Sajama y sus zonas de amortiguación. Servicio Nacional de Áreas Protegidas (SERNAP) y Manejo de Áreas Protegidas y Zonas de Influencia (MAPZA-GTZ), La Paz. 119 p.
- Fernández, E., M. Campero & M. Cadima. 2015. Algas Diatomeas indicadoras del río Rocha (Cochabamba, Bolivia). Pp. 158 -161. En: G. Navarro, L. Aguirre & M. Maldonado (Eds). Biodiversidad, ecología y conservación del Valle Central de Cochabamba. Centro de Biodiversidad y Genética (CBG). Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba.
- Goitia, E. 2004. Texto base del curso: Contaminación de ecosistemas acuáticos. Cochabamba, Bolivia.
- Herbst, N. & N. Maidana. 1988. *Amphora tucumana* sp. nov., a new species from Cumbres Calchaquíes, Tucumán, Argentina. *Diatom Research*, 3(1): 47-54.
- Herbst, N. & N. Maidana. 1989. Diatoms of Chaco (República Argentina): 1. *Nova Hedwigia* 49(1-2): 207-232.
- Iltis, A., F. Risacher & S. Servant-Vildary. 1984. Contribucion a l'atude hydrobiologique des lacs sales du sud de l'Altiplano Bolivien. *Rev. Hydrobiology* 17 (3): 259-273.
- Lange-Bertalot, H. 2000. Neue Taxa und über 100 weitere neu definierte Taxa ergänzend zur Süßwasserflora von Mitteleuropa Vol. 2/1-4. – *Bibliotheca Diatomologica* 27: 1-454.
- Lange-Bertalot, H. 2007. *Navicula* sensu stricto, 10 genera separated from *Navicula* sensu lato, *Frustulia*. 2: 1-256, A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell.
- Lobo, E. A., V. L. M Callegaro, M. A. Oliveira, S. E. Salomoni, S. Shuler & K. Asai. 1996. Pollution tolerant diatoms from lotic systems in the Jacui Basin, Rio Grande do Sul, Brazil. *Iheringia Série Botânica*, Porto Alegre, 47: 45-72.
- Maidana, N. I. & C. Seeligmann. 2006. Diatomeas (Bacillariophyceae) de ambientes acuáticos de altura de la provincia de Catamarca, Argentina II. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 41 (1-2): 1-13.
- Maldonado, M., G. Navarro, F. Acosta, X. Aguilera, N. De La Barra, M. Cadima, J. Coronel, E. Fernández, W. Ferreira & E. Goitia. 2012. Humedales y cambio climático en los Altos Andes de Bolivia. ULRA-UMSS, Cochabamba, Bolivia. 30 p.
- Margalef, M. R. (ed.). 1983. *Limnología*. Ed. Ediciones Omega, S. A. Barcelona. 1050 p.
- Martínez, L. & J. Donato. 2003. Efectos del caudal sobre la colonización de algas en un río de alta montaña tropical (Boyacá, Colombia). *Caldasia* 25 (2): 337-354.
- Mejia, D. M. 2011. Diatomeas perifíticas y algunas características limnológicas de un humedal urbano en la sabana de Bogotá. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología. Bogotá, Colombia 126 p.
- Morales, E. A., E. Fernández & P. J. Kocielek. 2009. Epilithic diatoms (Bacillariophyta) from cloud forest and alpine streams in Bolivia, South America 3: diatoms from Sehuencas, Carrasco National Park, Department of Cochabamba. *Acta Botánica Croatica* 68 (2): 263-283.
- Morales, E. A., E. Fernández & V. Chávez. 2010. Diatomeas (Bacillariophyta): ¿Por qué debemos incorporarlas en estudios de la biodiversidad boliviana? Pp. 31-54. En: Beck, S.G., N. Nagashiro, R.

- López & N. Paniagua-Zambrana (Eds). Biodiversidad y Ecología en Bolivia. Simposio XXX Aniversario Instituto de Ecología Universidad Mayor de San Andrés. Plural Editores, La Paz, Bolivia.
- Morales, E. A., M. E. Novais, G. Chavez, L. Hoffmann & L. Ector. 2012. Diatoms (Bacillariophyceae) from the Bolivian Altiplano: three new araphid species from the Desaguadero River draining Lake Titicaca. *Fottea* 12 (1): 41-58.
- Navarro, G. 2011. Clasificación de la vegetación de Bolivia. Ed. Centro de Ecología Difusión Simón I. Patiño. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 713 p.
- Navarro, G. & M. Maldonado. 2001. Geografía ecológica de Bolivia: vegetación y ambientes acuáticos. Editorial Centro de Ecología Difusión Simón I. Patiño. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 719 p.
- Potapova, M. & D. F. Charles. 2005. Choice of substrate in algae-based water quality assessment. *Journal of North American Benthological Society* 24(2): 415-427.
- Round, F. E., R. M. Crawford & D. G. Mann. 1990. The diatoms. Cambridge University Press. Cambridge. 747 p.
- Seeligmann, C., N. I. Maidana & M. Morales. 2008. Diatomeas (Bacillariophyceae) de humedales de altura de la provincia de Jujuy-Argentina. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 43 (1-2): 1 -17.
- Servant-Vildary, S. 1978. Les diatomées des dépôts lacustres quaternaires de l'Altiplano bolivien. *Cahiers Orstom, Série Géologie* 10: 25-35.
- Servant-Vildary, S. 1983. Les diatomées des sédiments superficiels de quelques lacs salées de Bolivie. *Sciences Géologiques Bulletin* 36: 249-253.
- Servant-Vildary, S. 1984. Les Diatomées des lacs sursalés Boliviens. Sous-classe Pennatohycidées, I- Famille des Nitzschiacées. *Cahiers Orstom, Série Géologie* 1: 35-52.
- Servant-Vildary, S. 1986. Les Diatomées actuelles des Andes de Bolivie (Taxonomie, écologie). *Cahiers de Micropaléontologie* 1 (3-4): 99-124.
- Servant-Vildary, S. & E. Blanco. 1984. Les diatomées des sédiment superficiels de quelques lacs salés de Bolivie. – *Sciences Géologiques Bulletin* 36: 249–253.
- Theriot, E., H. J. Carney & P. J. Richerson. 1985. Morphology, ecology and systematics of *Cyclotella andina* sp. Nov. (Bacillariophyceae) from Lake Titicaca, Peru-Bolivia. *Phycologia* 24 (4): 381-387.
- Van Dam, H., G. Suurmond & J. F. Cajo. 1981. Impact of acidification on diatoms and chemistry of Dutch moorland pools. Junk Publishers, The Hague. Printed in the Netherlands. *Hydrobiologia* 83: 425-459.
- Van de Vijver, B. & C. Cocquyt. 2009. Four new diatom species from la Calera hot spring in the Peruvian Andes (Colca Canyon). – *Diatom Research* 24: 209–223.
- Van Donk, E. & W. J. Van de Bund. 2002. Impact of submerged macrophytes including Charophytes on phyto- and zooplankton communities: allelopathy versus other mechanisms. *Aquat. Bot.* 72: 261-274.
- Villarroel, E., P. Pacheco, A. Domic, J. Capriles & C. Espinoza. 2014. Local Management of Andean Wetlands in Sajama National Park, Bolivia. *BioOne Mountain Research and Development* 34 (4): 356-368.