

Las diatomeas de los salares del Altiplano boliviano: singularidades florísticas

Diatoms of the Bolivian Altiplano salars: floristic singularities

Irene Álvarez-Blanco^{1*}; Cristina Cejudo-Figueiras¹; Ignacio de Godos¹;
Raúl Muñoz²; Saúl Blanco¹

1 Departamento de Biodiversidad y Gestión Ambiental.

Universidad de León, E-24071 León, España.

2 Departamento de Ingeniería Química y Tecnología Ambiental.

Universidad de Valladolid, E-47005 Valladolid, España.

** ialvb@unileon.es*

PALABRAS CLAVE: Bacillariophyta, Taxonomía, Nueva cita, Ultraestructura, Biogeografía, Región de Lipez.

KEY WORDS: Bacillariophyta, Taxonomy, New record, Ultrastructure, Biogeography Lipez Area.

RESUMEN

Durante una investigación biológica llevada a cabo en 2009, las comunidades de diatomeas epifíticas y fitoplanctónicas de tres lagunas salobres someras situadas en la región de Lipez en el Altiplano boliviano (>4100 m s.n.m.) fueron objeto de estudio. Del total de taxones identificados, *Navicula pseudogracilis*, *Stauraphora vilamae*, *Halamphora atacamana*, *Halamphora carvajaliana*, *Halamphora atacamae*, *Denticula valida* f. *major* y *Surirella chilensis* se investigaron en detalle. Para cada uno de ellos se presenta una breve descripción morfológica y morfométrica, una recopilación de referencias bibliográficas en las que el taxón es citado y/o ilustrado en la literatura científica, y una serie de fotografías de microscopía óptica y electrónica. Se citan por primera vez fuera de la localidad tipo a *S. vilamae* y *D. valida* f. *major*, esta última observada por primera vez a nivel mundial desde 1894. Además, *N. pseudogracilis* se registra por primera vez para Bolivia. Adicionalmente, se presentan las primeras ilustraciones de la ultraestructura de *N. pseudogracilis* y *D. valida* f. *major*.

ABSTRACT

During a biological survey carried out in 2009, epiphytic and phytoplanktonic diatom assemblages of three shallow saline lakes in the South of the Bolivian Altiplano (Lipez Area) (>4100 m asl), were studied. Within the identified taxa, *Navicula pseudogracilis*, *Stauraphora vilamae*, *Halamphora atacamana*, *Halamphora carvajaliana*, *Halamphora atacamae*, *Denticula valida* f. *major* and *Surirella chilensis* were studied in detail. For each of these, a brief morphologic and morphometric description, a collection of bibliographic references where the taxon is cited or illustrated in the scientific literature, and light and scanning electronic microscopy images are presented. *S. vilamae* and *D. valida* f. *major* are cited for the first time out of their type localities, this last taxa observed for the first time in the world since 1894. Besides, *N. pseudogracilis* is cited as a new species for Bolivia and the ultrastructure of this taxon and *D. valida* f. *major* were illustrated for the first time.

1. INTRODUCCIÓN

Los lagos de altura que se desarrollan por encima de los 3500 m s.n.m., representan un desafío para los limnólogos. La dificultad de muestreo, la variedad de características morfológicas e hidrológicas, la complejidad de los patrones geológicos de sus cuerpos de agua y el amplio rango de características químicas y biológicas que presentan dificultan su estudio (MARGALEF, 1984; MOSELLO, 1984; AIZAKI *et al.*, 1987; MÜHLHAUSER *et al.*, 1995). La flora diatomológica de los cuerpos de agua de altura andinos ha sido objeto de estudio en diversos trabajos, la mayoría de los cuales se han llevado a cabo en Bolivia (MORALES *et al.*, 2007;

SERVANT-VILADARY & BLANCO, 1984; SERVANT-VILDARY, 1978, 1984, 1986), Chile (MÜHLHAUSER *et al.*, 1995; CRUCES *et al.*, 2006; RIVERA & CRUCES, 2008, 2009) y Argentina (HERBST & MAIDANA 1988, 1989; MAIDANA & SEELIGMAN, 2006) y en menor grado en Perú (MANGUIN, 1964, THERIOT *et al.*, 1985).

El Altiplano boliviano forma parte de una cuenca endorreica localizada entre la Cordillera este y oeste de los Andes, a una altitud de unos 6000 m s.n.m. Las tres principales cuencas que lo componen son, de norte a sur: el lago de agua dulce Titicaca, las cuencas del lago Poopo y Coipasa-Uyuni, ocupadas en la actualidad por lagos salinos de poca profundidad y la región de Lipez, un área volcánica localizada entre los 4000

y 5000 m de altitud, donde se han desarrollado numerosas lagunas salobres poco profundas denominadas “salares” (SERVANT-VILDARY & ROUX, 1990), en tres de las cuales se ha llevado a cabo este estudio. La intensa actividad volcánica que caracteriza este área (SYLVESTRE *et al.*, 2001) ha favorecido el enriquecimiento en fosfatos y sulfatos de los cuerpos de agua (MÜHLHAUSER *et al.*, 1995), los cuales poseen una flora algal formada en gran parte por diatomeas (ILTIS *et al.*, 1984; SERVANT-VILDARY, 1984). Las comunidades de diatomeas, estudiadas previamente por SERVANT-VILDARY (1983, 1984) y SERVANT-VILDARY & ROUX (1990), presentan numerosos endemismos y particularidades biogeográficas, los cuales representan un claro ejemplo de adaptación a las condiciones ambientales extremas de la zona.

El objetivo de este estudio es realizar una contribución florística al conocimiento de las diatomeas de los lagos salinos de altura del sur del Altiplano boliviano, estudiando tres de ellos, laguna Hedionda, Chiar Khota y Cañapa (Fig. 1). Del total de taxones identificados (Tabla I), siete, han sido seleccionados para su estudio, ya que presentan una distribución restringida, pudiendo ser endemismos en algunos casos, son poco conocidos y se encuentran insuficientemente ilustrados en la literatura científica.

Los taxones, pertenecientes a los géneros *Navicula*, *Staurophora*, *Halamphora*, *Denticula* y *Surirella*, han sido objeto de una investigación morfológica, morfométrica y biogeográfica detallada.

Figura 1.—Localización geográfica de las lagunas estudiadas.

—Geographic location of studied lakes.



Tabla I. — Lista de especies identificadas en las muestras analizadas con abundancia superior al 1%.

— List of identified species in studied samples with abundances over 1%.

Especies

<i>Denticula cf. subtilis</i> Grunow
<i>Diatoma</i> sp. 1
<i>Fragilaria recapitellata</i> Lange-Bertalot & Metzeltin
<i>Halamphora carvajaliana</i> (Patrick) Levkov
<i>Halamphora coffeaeformis</i> (Agardh) Levkov
<i>Halamphora veneta</i> (Kützing) Levkov
<i>Hippodonta</i> sp. 1
<i>Navicula bouillantensis</i> Manguin
<i>Navicula lauca</i> Rumrich & Lange-Bertalot
<i>Navicula pseudogracilis</i> Hustedt
<i>Navicula</i> sp. 1
<i>Navicula</i> sp. 2
<i>Navicula</i> sp. 3
<i>Navicula</i> sp. 4
<i>Navicula</i> sp. 5
<i>Nitzschia</i> aff. <i>aequora</i> Hustedt
<i>Nitzschia</i> aff. <i>liebethruthii</i> Rabenhorst
<i>Nitzschia</i> aff. <i>supralitorea</i> Lange-Bertalot
<i>Nitzschia angustiforaminata</i> Lange-Bertalot
<i>Nitzschia frustulum</i> (Kützing) Grunow
<i>Nitzschia inconspicua</i> Grunow
<i>Nitzschia liebethruthii</i> var. <i>siamensis</i> Hustedt in Schmidt
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W.Smith
<i>Nitzschia</i> sp. 1
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i> (Grunow in Van Heurck) Williams & Round
<i>Pseudostaurosira</i> sp. 1
<i>Staurophora vilamae</i> Maidana, Seeligmann & Morales
<i>Staurosirella pinnata</i> (Ehrenberg) Williams & Round
<i>Staurosirella</i> sp. 1
<i>Tryblionella hungarica</i> (Grunow) D.G. Mann

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

El Altiplano boliviano es una amplia cuenca continental del Plioceno-Cuaternario (BADAUT & RISACHER, 1983) que se extiende entre los 15 y los 23° S y posee una extensión aproximada de 2000 km de longitud y 200 km de ancho, cuya altitud generalmente supera los 3800 m s.n.m. (SYLVESTRE, 2002). El clima de la región es semiárido, caracterizado por una larga estación seca (de marzo a noviembre) y una corta estación de lluvias (de diciembre a febrero), controladas por el movimiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ) (SYLVESTRE, 2002). La temperatura media anual es de 6 °C, y la zona se ve afectada por fuertes vientos y una radiación solar extrema (BALLIVIAN & RISACHER, 1981).

Los salares de la región de Lipez, se componen, en la actualidad, de cortezas de sal cubiertas sólo temporal y parcialmente por una fina lámina de agua de no más de 20 cm de profundidad (ILTIS, 1993). La composición iónica de estas pequeñas cuencas intravolcánicas depende principalmente de la naturaleza de las rocas adyacentes, de la interacción entre el agua y el sedimento y del origen del agua que llega a la laguna (SERVANT-VILDARY & ROUX, 1990). Basándose en estos tres parámetros, BALLIVIAN & RISACHER (1981) realizan una clasificación química de estos lagos, enmarcando las lagunas Hedionda y Chiar Khota en el grupo de lagos con composición iónica de tipo Na-SO₄-Cl y la laguna de Cañapa dentro de aquellos de tipo Na-SO₄. Estos autores exponen además que el afluente que alimenta las lagunas Hedionda y Cañapa por el norte procede esencialmente de manantiales, mientras que por el este, Cañapa se ve alimentada por las aguas del río Tapaquillcha. El afluente que vierte en la laguna de Chiar Khotas se compone de agua fluyente cuya salinidad es ya elevada (TDS: 1,88 g·L⁻¹). Las principales características

limnológicas de estas lagunas se resumen en la Tabla II.

2.2. Metodología

Las muestras fueron recogidas de la zona litoral de cada una de las lagunas estudiadas en octubre de 2009 y fueron preservadas usando formaldehído (5% v/v). Se obtuvieron suspensiones de frústulos limpias mediante la oxidación de la materia orgánica con peróxido de hidrógeno (30% v/v), calentando a 70-90 °C para acelerar la reacción. Se añadieron, además, unas gotas de ácido clorhídrico (3 M) para eliminar las inclusiones de carbonato cálcico. El montaje de las preparaciones microscópicas fue realizado usando una resina sintética de alto índice de refracción óptica (Naphrax®).

La identificación de las especies de diatomeas se realizó a 1000 aumentos, usando un microscopio óptico (MO) Leica DM-RB, equipado con una cámara fotográfica Canon EOS400, con la que fueron realizadas las fotografías de microscopía óptica. Las muestras seleccionadas para ser analizadas con microscopía electrónica de barrido (MEB) fueron filtradas a través de una membrana de policarbonatos (diámetro de poro de 1-3 µm), colocadas sobre una estructura metálica y recubiertas con una capa de oro de 10 nm de grosor a través de un Sistema de Metalización Modular de Alto Vacío (BALZERS SCD 004). El estudio se realizó usando un MEBJEOL JSM-6480 LV operando a 20 kV.

3. OBSERVACIONES

3.1. *Navicula pseudogracilis* Hustedt (Lám. I, figs.2-9)

Protólogo: HUSTEDT (1927).

Descripción: valvas linear-lanceoladas con ápices apuntados y levemente rostrados. Área axial y nódulo central engrosados, extremos proximales del rafe ligeramente curvos. Estrías centrales radiantes y de longitud variable, ligeramente

Tabla II.—Principales características limnológicas de las lagunas estudiadas. Valores medios recopilados de la literatura científica (SERVANT-VILDARY, 1984; BADAUT & RISACHER, 1983; SERVANT-VILDARY & ROUX, 1990; ROUX *et al.*, 1991; SYLVESTRE *et al.*, 2001).

— Main limnological characteristics of the studied lakes. Average values collected from the scientific literature (SERVANT-VILDARY, 1984; BADAUT & RISACHER, 1983; SERVANT-VILDARY & ROUX, 1990; ROUX *et al.*, 1991; SYLVESTRE *et al.*, 2001).

Laguna	Altitud (m s.n.m.)	Latitud S	Longitud W	Profundidad media (cm)	Temperatura del agua (°C)	pH	Alcalinidad (meq·L ⁻¹)	[NaCl] (g·L ⁻¹)	[SO ₄ ²⁻] (g·L ⁻¹)
Cañapa	4146	21° 29' 54"	68° 00' 27"	15	6	9.2	2.2	5.8	5.1
Chiar Khota	4137	21° 35' 03"	68° 03' 15"	20	19	8.2	8.1	59.2	4.1
Hedionda	4132	21° 34' 05"	68° 02' 04"	20	16	8.5	10.0	44.4	18.5

convergentes hacia los ápices valvares. Lineolas apenas visibles en MO. El ancho valvar y la densidad de estrías es menor en los especímenes observados en la descripción original del taxón (HUSTEDT, 1927) que en los estudiados en el presente trabajo (Tabla III). En la descripción realizada por RUMRICH *et al.* (2000) también puede apreciarse un mayor distanciamiento entre estrías, aunque no tan marcado como el ilustrado en HUSTEDT (1927) y SIMONSEN (1987).

Referencias ilustradas: HUSTEDT (1927), pl. 8, fig.4; CLEVE-EULER (1953), p.140, fig.758a; SIMONSEN (1987), pl.166, fig. 13; RUMRICH *et al.* (2000), p.320, figs. 14-20.

Distribución conocida: desierto de Atacama, Chile (HUSTEDT, 1927); salares de la región de los desiertos de la Puna de Atacama (FRENGUELLI, 1928); localidad de Calama y salares de Punta Negra y Atacama, Chile (FRENGUELLI, 1929); Griqualand West (FRITSCH & RICH, 1929); Patagonia argentina (AUER, 1952); salares Suecia y Finlandia (CLEVE-EULER, 1953); cuenca del río Yenisei, Siberia (SKVORTZOV, 1969); Tailandia (KOSUGI, 1988); laguna de Balandra (manglar), Península de la baja California, México (SIQUEIROS & SANCHEZ, 1999); arroyo, localidad de Putre, Altiplano chileno (RUMRICH *et al.*, 2000); canal de descarga de desechos mineros, Tucumán, Argentina (TRACANNA *et al.*, 2001); estero Puchuldiza (SILVA, 2010).

Notas: este estudio representa la primera descripción ultraestructural de esta especie, presentando distintas fotografías de microscopía electrónica de la misma. Es además la primera cita del taxón para las aguas bolivianas. SERVANT-VILDARY & ROUX (1990) la identificaron erróneamente como *Navicula pseudolanceolata* Lange-Bertalot (fig. 34) en los salares de la región de Lipez estudiados; esta especie guarda un cierto parecido morfológico con *N. pseudogracilis* aunque la forma y tamaño de su área central difiere notablemente, además su ecología también es diferente ya que se desarrolla principalmente en lagos oligotróficos y pobres en electrolitos (LANGE-BERTALOT, 2001).

3.2. *Staurophora vilamae* Maidana, Seeligmann & Morales (Lám. II, figs. 10-17)

Protólogo: MAIDANA *et al.* (2009).

Descripción: valvas linear-lanceoladas con ápices redondeados, rostrados o subrostrados. Área axial lineal, área central variable con estrías de distinta longitud y estauro más o menos evidente. Extremos proximales del rafe curvados de forma variable hacia uno de los márgenes valvares. Estrías ligeramente radiales en la mayor parte de la valva y areolas puntiformes. Morfometría (tabla

III) con rangos más amplios que en la descripción original del taxón (MAIDANA *et al.*, 2009).

Referencias ilustradas: MAIDANA *et al.* (2009), p. 261, fig. 3 K, M-P, p.262, fig. 4 D-H.

Distribución conocida: Complejo lagunar Vilama, Argentina (MAIDANA *et al.*, 2009)

Notas: este estudio representa la segunda cita mundial de esta especie y la primera fuera de la localidad tipo. No obstante, es posible que este taxón haya sido identificado erróneamente en otros estudios, en especial puede haber sido confundido con alguna especie del género *Stauroneis*, con las que guarda un gran parecido. Ambos géneros se asemejan en la estructura de su área central (en forma de estauro) pero se diferencian en la morfología del cloroplasto, que es único y en forma de 'H' en *Staurophora* (ROUND *et al.*, 1990), mientras que *Stauroneis* presenta dos estrechamente asociados al cíngulo celular (SPAULDING & EDLUND, 2009). SERVANT-VILDARY & ROUX (1990) identificaron como *Stauroneis legleri* Hustedt (fig. 41) y *Stauroneis bathurstensis* Giffen (fig. 18) lo que posiblemente sea *Staurophora vilamae* morfotipos 1 y 2, respectivamente. *Stauroneis legleri* presenta una morfología distinta a la observada en *S. vilamae*, ya que sus ápices no son prolongados y las estrías centrales son curvas y radiantes. Por su parte, *S. bathurstensis*, descrita en el estuario del río Kowie en Sudáfrica (GIFFEN, 1970), e ilustrada únicamente en dicha publicación mediante dibujos (pl. 5/94-96), presenta pseudoseptos cortos en los ápices valvares, característica de la que carece *S. vilamae*.

El material estudiado presenta gran variabilidad morfológica y morfométrica, al igual que el estudiado en la descripción original de la especie, habiéndose identificado los dos morfotipos descritos dentro del taxón, diferenciables en el número de estrías y en la estructura del área central que presentan. El morfotipo 1 (figs. 10-12, 18, 21) posee un mayor número de estrías (23-35 en 10 μm) y un estauro bien diferenciado, interrumpido por estrías de longitud variable. El morfotipo 2 (figs. 13-17, 19, 20, 22), con menor densidad de estrías (13-18 en 10 μm), presenta un área central con estauro poco evidente e incluso ausente en algunos ejemplares. Similares observaciones fueron realizadas por MAIDANA *et al.* (2009), los cuales observan a microscopía electrónica un frústulo con una valva de cada morfotipo, por lo que proponen una única especie que engloba ambas variantes.

3.3. *Halamphora atacamana* (Patrick) Levkov (Lám. III, figs. 23-26, 30-32)

Protólogo: PATRICK (1961).

Sinónimos: *Amphora atacamana* Patrick, *Amphora atacamana* Frenguelli var. *minor* sensu Servant-Vildary & Roux (1990), fig. 12c., nom. nud.

Descripción: valvas semilanceoladas,

Tabla III.—Principales caracteres morfométricos de las especies estudiadas. * Medidas incluidas en las descripciones originales del taxón. **Valores medidos en nuestro estudio. Lx= largo máximo, μm ; Li= largo mínimo, μm ; Ax= ancho máximo, μm ; Ai= ancho mínimo, μm ; Sc= número de estrías en 10 μm , contadas en el centro de la valva; Sa= número de estrías en 10 μm , contadas en el ápice de la valva; P= número de areolas en 10 μm ; F= número de fibulas en 10 μm ; N= número de valvas medidas; (M1)= *Staurophora vilamae* morfotipo 1; (M2)= *Staurophora vilamae* morfotipo 2; (d)= margen dorsal de la valva; (v)= margen ventral de la valva; - = sin datos.

— Main morphometric features of the studied species. *Dimensions in the original descriptions. ** Dimensions in our study. Lx= maximum length, μm ; Li= minimum length, μm ; Ax= maximum width, μm ; Ai= minimum width, μm ; Sc= striae in 10 μm in valve middle; Sa= striae in 10 μm in valve apex; P= areolae in 10 μm ; F= fibulae in 10 μm ; N= number of valves measured; (M1)= *Staurophora vilamae* morphotype 1; (M2)= *Staurophora vilamae* morphotype 2; (d)= dorsal margin of the valve; (v)= ventral margin of the valve; = no data.

Especies		Lx	Li	Ax	Ai	Sc	Sa	P	F	N
<i>Navicula</i>	*	50,0	35,0	8,0	6,0	8-10	-	-	-	-
<i>pseudogracilis</i>	**	50,1	32,9	9,6	8,4	10-11	11-12	18-20	-	7
	*	48,3	37,1	11,5	9,4	16-31	-	50-55	-	-
<i>Staurophora</i>										
<i>vilamae</i>	**	49,7	20,6	12,5	7,7	/ 23-24 (M1) / 13-14 (M2)	26-35 (M1)/16-18 (M2)	45-65	-	8
<i>Halamphora</i>	*	52,0	31,0	9,0	6,0	26-28	-	-	-	-
<i>atacamana</i>	**	46,4	18,0	7,7	4,3	24-26 (d) / 25-28 (v)	30-32	40-45	-	6
<i>Halamphora</i>	*	28,0	10,0	5,0	4,0	18	-	-	-	-
<i>carvajaliana</i>	**	38,4	11,3	5,6	4,6	22-24 (d) / 25-28 (v)	26-28 (d) / 32-34 (v)	16-20	-	6
<i>Halamphora</i>	*	105	105	-	-	12	-	-	-	-
<i>atacamae</i>	**	87,7	56,6	9,0	7,0	18-20 (d) / 19-20 (v)	19-21(d) / 20-22 (v)	-	-	4
<i>Denticula valida</i>	*	38,9	38,9	7,1	7,1	21	21	16-20	-	1
<i>f. major</i>	**	46,6	30,1	7,9	6,6	17-19	19-21	15-16	4	12
<i>Surirella</i>	*	68,2	68,2	27,3	27,3	-	-	-	5	1
<i>chilensis</i>	**	68,3	36,5	26,4	29,1	16-18	15-17	-	4	3

dorsiventrales, con margen dorsal fuertemente convexo y margen ventral recto o ligeramente cóncavo. Ápices ligeramente prolongados y curvados ventralmente. Área axial estrecha, área central ensanchada hacia el margen ventral de la valva. Ramas del rafe arqueadas, localizadas en las proximidades de la línea media valvar o en la cercanía del margen dorsal. Extremos proximales del rafe curvados dorsalmente. Estrías difícilmente distinguibles a microscopía óptica.

La morfometría del taxón se puede observar en la tabla III, la identificación de un espécimen con tamaño muy reducido (fig. 26) explica los bajos valores de largo y ancho presentados en este estudio con respecto a los mostrados en la descripción original del taxón.

Referencias ilustradas: PATRICK (1961), pl. 1, fig. 8; SERVANT-VILDARY & ROUX (1990), p. 275, figs. 11a, 11b, 12a, 12b, 12c (como *A. atacamae*); LEVKOV (2009), pl. 88, figs. 1-10, pl. 206, figs. 1-5.

Distribución conocida: laguna Colorado, Puna de Atacama, Bolivia y lagunas de Carvajal, Atacama, Chile (PATRICK, 1961); lagos salinos de altura de Chile (HURLBERT *et al.*, 1981); lagunas

salinas de la región de Lipez, Altiplano boliviano (SERVANT-VILDARY & ROUX, 1990; SERVANT-VILDARY *et al.*, 2002); salar de Coipasa, Altiplano boliviano (SYLVESTRE *et al.*, 1998; SYLVESTRE, 2002); lagunas Blanca, Salinas Grandes y Pasto Ventura, Argentina (MAIDANA & SEELIGMANN, 2006); humedal del complejo lagunar de Vilama, Argentina (MAIDANA *et al.*, 2009); salar de Atacama, Chile (LEVKOV, 2009).

Notas: esta especie presenta un espectro de distribución restringido, hasta la fecha solamente ha sido observada en lagos salinos sudamericanos de Bolivia, Chile y Argentina. Esta publicación representa la tercera cita del taxón dentro de la región de Lipez, en el Altiplano boliviano.

3.4. *Halamphora carvajaliana* (Patrick) Levkov (Lám. III, figs. 27-29, 33-35)

Protólogo: PATRICK (1961).

Sinónimos: *Amphora carvajaliana* Patrick.

Descripción: valvas semi-elípticas, dorsiventrales, con margen dorsal fuertemente convexo y margen ventral recto o ligeramente

cóncavo. Ápices subcapitados y curvados ventralmente. Área axial estrecha, área central ausente en la parte dorsal de la valva y semi-elíptica en la parte ventral, extremos proximales del rafe curvados dorsalmente. Estrías compuestas de poroides elongados en sentido transapical, distinguibles a MO en el margen dorsal de la valva. El número de estrías en 10 µm observado en este estudio, es muy superior al presentado en la descripción original del taxón (Tabla III).

Referencias ilustradas: PATRICK (1961), pl. 1, fig. 7; SERVANT-VILDARY & ROUX (1990), p. 275, fig. 9; ILTIS *et al.* (1984), p. 265, fig. 6, 7; LEVKOV (2009), pl. 87, figs. 1-17, pl. 202, figs. 1-5.

Distribución: lagunas de Carvajal, Atacama, Chile (PATRICK, 1961); lagos salinos de altura de Chile (HURLBERT *et al.*, 1981); lagunas salinas de la región de Lipez, Altiplano boliviano (ILTIS *et al.*, 1984; SERVANT-VILDARY & ROUX, 1990; ROUX *et al.*, 1991; SERVANT-VILDARY & SOUSA, 1993; SYLVESTRE *et al.*, 2001; SERVANT-VILDARY *et al.*, 2002); arroyo de la localidad de Sorata, Bolivia (MORALES *et al.*, 2007); ríos Baker y Pascua, Chile (HIDROAYSÉN, 2009); salar de Llamara, Chile (PRAMAR AMBIENTAL CONSULTORES, 2009); salar de Atacama, Chile (LEVKOV, 2009); río Fuy, Chile (ENDESA CHILE, 2010).

Notas: Esta especie presenta una elevada abundancia y una amplia distribución en los lagos salinos chilenos y bolivianos. Numerosos estudios confirman su presencia en la región de Lipez, siendo la especie dominante en varias de las lagunas meso-polihalinas (sodio-sulfatos) de este área, como Chiar Khota, Hedionda (donde ha sido observada como especie dominante también en este estudio), Honda, Pujio o Puripica (SERVANT-VILDARY & ROUX, 1990; SERVANT-VILDARY & SOUSA, 1993; SERVANT-VILDARY *et al.*, 2002).

3.5. *Halamphora atacamae* (Frenguelli) Levkov (Lám. IV, figs. 36-42)

Protólogo: LEVKOV (2009).

Sinónimos: *Amphora atacamae* Frenguelli, *Amphora boliviana* Patrick.

Descripción: valvas semi-lanceoladas con margen dorsal convexo y margen ventral cóncavo. Ápices subcapitados y curvados ventralmente. Área axial estrecha, conopeo expandido en el nódulo central. Área central ausente en la parte dorsal y en forma semi-lanceolada en la parte ventral. Ramas del rafe curvas localizadas cerca del margen ventral de la valva, extremos proximales del rafe ligeramente curvados dorsalmente. Estrías compuestas por areolas uniseriadas, elongadas y de longitud variable. Estrías ventrales débilmente distinguibles a MO, no interrumpidas en la región central nodular. Morfometría (Tabla III).

Referencias ilustradas: FRENGUELLI (1929), pl. 10, fig. 5; PATRICK (1961), pl. 1, fig. 9; SERVANT-VILDARY & ROUX (1990), p. 275, fig. 10; RUMRICH *et al.* (2000), pl. 122, figs. 1, 2; SALA & MAIDANA

(2003), figs. 1-24; LEVKOV (2009), pl. 86, figs. 1-7, pl. 203, fig. 3, pl. 204, figs. 1, 2, 5-7.

Distribución conocida: salar de Atacama, Chile (FRENGUELLI, 1929; LEVKOV, 2009); laguna Colorado, Puna de Atacama, Bolivia (PATRICK, 1961); lagos salinos de altura de Chile (HURLBERT *et al.*, 1981); lagunas salinas de la región de Lipez, Altiplano boliviano (ROUX *et al.*, 1991; SERVANT-VILDARY & ROUX, 1990; SERVANT-VILDARY & SOUSA, 1993; SERVANT-VILDARY *et al.*, 2002); salar de Coipasa (SYLVESTRE *et al.*, 1998; SYLVESTRE, 2002); arroyo del Altiplano chileno y río Grande, Altiplano boliviano (RUMRICH *et al.*, 2000); laguna Brava y lago de las Salinas de Bebedero, Argentina (SALA & MAIDANA, 2003); río Desaguadero, Altiplano boliviano (RIGSBY *et al.*, 2005); arroyo Pingüinera, Punta Cierva en Costa Danco, península Antártica (MATALONI *et al.*, 2005); lagunas Aparoma y Pasto Ventura, Argentina (MAIDANA & SEELIGMANN, 2006); laguna Pastos Grandes, Bolivia (JONES & RENAUT, 2006); estero Puchuldiza, Chile (SILVA, 2010); salar de Llamara, Chile (PRAMAR AMBIENTAL CONSULTORES, 2009).

Notas: *Halamphora atacamae* ha sido reportada para ambientes hipersalinos y áridos de Chile, Bolivia y Argentina. No obstante, existe una cita de la especie en un ambiente muy distinto, en un río antártico alimentado por aguas de deshielo (MATALONI *et al.*, 2005). SALA & MAIDANA (2003) tras examinar el material tipo de *H. atacamae* y *A. boliviana*, concluyen que no existen diferencias morfológicas o morfométricas relevantes que justifiquen la existencia de dos taxones diferentes. Por ello proponen considerar *A. boliviana*, dado que se describió con posterioridad, como un sinónimo taxonómico de *H. atacamae*.

3.6. *Denticula valida* f. *major* Grunow in Van Heurck (Lám. V, figs. 43-55)

Protólogo: VAN HEURCK (1881).

Descripción: valvas lineares o linear-lanceoladas con márgenes ligeramente cóncavos y ápices apuntados. Sistema rafideo con interrupción en el centro valvar y extremos proximales del rafe desarrollados. Costillas transapicales, con engrosamientos en forma de "hueso". Estrías uniseriadas, con gruesas areolas puntiformes, discernibles a MO. Morfometría de la especie en tabla III.

Referencias ilustradas: VAN HEURCK (1881), pl. 49, fig. 4; WOLLE (1894), pl. 68, figs. 9-11.

Distribución: Geiser en Islandia (VAN HEURCK, 1881); Geiser en California (WOLLE, 1894).

Notas: Este estudio representa la primera descripción morfológica, morfométrica y ultraestructural de este taxón. Además, es la tercera cita mundial de la variedad y la primera para las aguas sudamericanas, siendo la primera vez que se observa desde el siglo XIX. Las dos localizaciones en las que *D. valida* f. *major* ha sido

identificada en la literatura científica corresponden a zonas volcánicas de Islandia y California, en concordancia con el hallazgo realizado en la laguna de Cañapa, la cual se encuentra rodeada por tres volcanes riodacíticos: Caquena, Tapaquillcha y Cañapa, con importantes yacimientos de azufre (BALLIVIAN & RISACHER, 1981).

3.7. *Surirella chilensis* Janisch in Schmidt *et al.* (Lám. VI, figs. 56-59)

Protólogo: SCHMIDT (1874-1959).

Descripción: valvas isopolares linear-lanceoladas, lanceoladas o elípticas, con ápices apuntados o subrostrados. Quilla poco pronunciada, alas de la quilla ausentes. Ondulaciones de la superficie valvar concéntricas, área axial estrecha. Estrías uniseriadas que se convierten en multiseriadas hacia los márgenes valvares. Cada dos o tres costillas existe una ligera elevación de una o dos de ellas en correspondencia con las fibulas del interior valvar. Poro apical desarrollado, visible en MEB. La tabla III muestra los principales caracteres morfométricos de la especie.

Referencias ilustradas: SCHMIDT (1874-1959), pl. 21, fig.3; HUSTEDT (1927), pl. 9, figs. 3-4; MARTÍNEZ (1988), p. 64, fig. 1; RUMRICH *et al.* (2000), pl. 184, figs. 1-3, pl. 186, fig. 4; SERVANT-VILDARY & ROUX (1990), fig. 56; CABROL *et al.* (2007), p. 360, figs. 14.5 h, i; SEELIGMANN *et al.* (2008), p. 13, fig. 4 T.

Distribución: Chile (SCHMIDT, 1875); cuenca del Loa, Chile (HUSTEDT, 1927); salares de la región de los desiertos de la Puna de Atacama (FRENGUELLI, 1928); sudoeste de la Dorsal media oceánica Atlántico-Índica (MARTÍNEZ, 1988); lagunas salinas de la región de Lipez, Altiplano boliviano (SERVANT-VILDARY & ROUX, 1990; CABROL *et al.*, 2007); laguna Aparoma, Argentina (MAIDANA & SEELIGMANN, 2006); laguna Pastos Grandes, Bolivia (JONES & RENAUT, 2006); laguna Blanca, Bolivia (CABROL *et al.*, 2007); laguna Vilama y Vega cerca de Pululos, Argentina (SEELIGMANN *et al.*, 2008).

Notas: el presente trabajo representa la tercera cita del taxón para la región de Lipez. El espécimen mostrado en SEELIGMANN *et al.* (2008) presenta una morfología distinta a la del resto de frústulos observados del taxón, dadas las ondulaciones mostradas en sus márgenes valvares y el distinto aspecto de las costillas observadas a MO, por lo que es probable que exista un error en su identificación.

4. CONSIDERACIONES FINALES

Un importante número de taxones no ha podido ser identificado a nivel específico en las muestras analizadas, siete de ellos han sido descritos como nuevos para la Ciencia en un reciente trabajo (BLANCO *et al.* enviado). Este

hecho ilustra la gran cantidad de especies de algas endémicas que habitan los ecosistemas acuáticos andinos y que podrían estar aún por descubrir. La flora diatomológica andina presenta comunidades de especies diferentes a las encontradas en los ecosistemas acuáticos europeos; y aunque existe un grupo de taxones cosmopolitas comunes a ambos continentes, la región de los Andes presenta numerosos endemismos que constituyen una flora característica propia (RUMRICH *et al.*, 2000; METZELTIN & LANGE-BERTALOT, 2007; MORALES *et al.*, 2009). A pesar de ello, gran parte de los estudios ficológicos sudamericanos se han realizado utilizando floras europeas (KRAMMER & LANGE-BERTALOT, 1986-1991; LANGE-BERTALOT, 2000-2009) para la identificación de especies, lo que podría dar lugar a errores de identificación que pasen por alto taxones endémicos o nuevas especies aún no descritas.

Las comunidades de diatomeas desarrolladas en los lagos del Altiplano boliviano han sido objeto de estudio en numerosos trabajos, la mayoría orientados hacia el ámbito de la paleolimnología (SERVANT-VILDARY, 1978; ROUX & SERVANT-VILDARY, 1984; ROUX *et al.*, 1987; ILTIS, 1993; TAPIA *et al.*, 2003). Las condiciones extremas de estos ambientes de elevada altitud, con una intensa radiación solar, fluctuaciones diarias y baja temperatura media de las aguas, parecen ser factores desfavorables para el desarrollo algal (ILTIS *et al.*, 1984). Es por ello que la diversidad diatomológica es baja en estos lagos de altura, presentando comunidades con pocas especies y alta dominancia de algunas de ellas (RAUTIO *et al.*, 2000; ALVIAL *et al.*, 2008). Resultados análogos han sido observados en nuestro estudio, donde *H. carvajaliana* presenta una elevada dominancia en las lagunas Chiar Khota y Hedionda. Sin embargo, no ocurre lo mismo en el salar de Cañapa, donde *S. vilamae*, *N. pseudogracilis* y *Navicula* sp. 2 presentan abundancias similares. La flora diatomológica de la región de Lipez ha sido ampliamente estudiada en los trabajos de SERVANT-VILDARY (1978, 1983, 1984), ILTIS *et al.* (1984), SERVANT-VILDARY & ROUX (1990), ROUX *et al.* (1991), SERVANT-VILDARY & MELLO E SOUSA (1993), SYLVESTRE *et al.* (2001) o SERVANT-VILDARY *et al.* (2002). Este estudio presenta una contribución más al conocimiento de la diversidad diatomológica de los lagos salinos de altura bolivianos. El elevado número de taxones no identificados a nivel específico, posiblemente nuevos para la ciencia, muestran la necesidad de seguir realizando estudios florísticos que nos permitan obtener un conocimiento más extenso de las comunidades diatomológicas en este tipo de ambientes.

AGRADECIMIENTOS

Héctor O. Guzman, Virginia A. Vargas y Roberto Soto colaboraron en la toma de muestras. Los autores de este estudio quieren agradecer

además la ayuda prestada por Z. Levkov en la recolección de material bibliográfico y de A. Sánchez por su asistencia en la realización de fotografías de MEB. Felipe García y Nora I. Maidana revisaron amablemente el manuscrito.

Recibido el día 22 de junio de 2011

Aceptado el día 22 de septiembre de 2011

Publicado en formato electrónico el día 7 de octubre de 2011

BIBLIOGRAFÍA

- ALVIAL, I. E., CRUCES, F. J., ARANEDA, A. E., GROSJEAN, M. & URRUTIA, R. E. 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.
- AUER, V. 1952. *Wissenschaftliche Ergebnisse Der Finnischen Expedition Nach Patagonien 1937-38 Und Der Finnisch-argentinischen Expeditionen 1947-53. Band II*. 226 págs. Suomalainen Tiedeakatemia. Finlandia.
- BADAUT, D. & RISACHER, F. 1983. Authigenic smectite on diatom frustules in Bolivian saline lakes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **47**: 363-375.
- BALLIVIAN, O. & RISACHER, F. 1981. *Los salares del Altiplano boliviano: métodos de estudio y estimación económica*. 249 págs. Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Orstom. Paris.
- BLANCO, S., ÁLVAREZ-BLANCO, I., CEJUDO-FIGUEIRAS, C., DE GODOS, I., BÉCARES, E., MUÑOZ, R., GUZMAN, H. O., VARGAS, V. A. & SOTO, R. 2011. New diatom taxa from high-altitude Andean saline lakes. *Diatom Research*, enviado.
- CABROL, N. A., MCKAY, C. P., GRIN, E. A., KISS, K. T., ÁCS, E., TÓTH, B., GRIGORSZKY, I., SZABÓ, K., FIKE, D. A., HOCK, A. N., DEMERGASSO, C., ESCUDERO, L., GALLEGUILLOS, P., CHONG, G., GRIGSBY, B. H., ROMÁN, J. Z. & TAMBLEY, C. 2007. Signatures of habitats and life in Earth's high-altitude lakes: clues to Noachian aqueous environments on Mars. In: M. G. Chapman. *The Geology of Mars: Evidence from Earth-Based Analogs*. págs. 349-370. Cambridge University Press. New York.
- CLEVE-EULER, A. 1953. Die Diatomeen von Schweden und Finnland. Part II. *Kongliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar*, **4**: 1-158.
- CRUCES, F., URRUTIA, R., PARRA, O., ARANEDA, A., TREUTLER, H., BERTRAN, S., FAGEL, N., TORRES, L., BARRA, R. & CHIRINOS, L. 2006. Changes in diatom assemblages in an Andean lake in response to a recent volcanic event. *Archiv für Hydrobiologie*, **165**(1): 23-35.
- ENDESA CHILE, 2010. *Proyecto Hidroeléctrico Neltume, Anexo G. Estudio de caudal ecológico en el río Fuy*. 51 págs. Endesa Chile. Chile.
- FRENGUELLI, J. 1928. Acerca del origen de los salares de la región de los desiertos de la Puna de Atacama. *GAEA, Anales de la Sociedad Argentina de Estudios Geográficos*, **3**(1): 167-186.
- 1929. Diatomee fossili delle conche saline del deserto cileno-boliviano. *Bolettino della Società Geologica Italiana*, **47**(2):185-236.
- FRITSCH, F. E. & RICH, F. 1929. Contribution to our knowledge of the freshwater algae of Africa. 7. Freshwater algae (exclusive of diatom) from Griqualand West. *Transactions of the Royal Society of South Africa*, **18**: 1-92.
- GIFFEN, M. H. 1970. Contributions to the diatom flora of South Africa. IV. The marine littoral diatoms of the estuary of the Kowie River, Port Alfred, Cape Province. *Nova Hedwigia*, **31**: 259-312.
- HERBST, N. & MAIDANA, N. I. 1988. *Amphora tucumana* sp. nov., a new species from Cumbres Calchaquíes, Tucumán, Argentina. *Diatom Research*, **3**(1): 47-54.
- 1989. Diatoms of Chaco (República Argentina): 1. *Nova Hedwigia*, **49**(1-2): 207-232.
- HIDROAYSÉN, 2009. *Proyecto Hidroeléctrico Aysén, Anexo 1D, Apéndice 7: Antecedentes complementarios flora y fauna acuática, Parte 1*. 614 págs. HidroAysén. Chile.
- HURLBERT, S. H., RODRIGUEZ, G. & SANTOS, N. D. 1981. *Aquatic Biota of Tropical South America*. 323 págs. San Diego State University. San Diego.
- HUSTEDT, F. 1927. Fossile bacillariaceen aus dem Loa-Becken in der Atacama-Wüste, Chile. *Archiv für Hydrobiologie*, **18**(2): 224-251.
- ILTIS, A., RISACHER, F. & SERVANT-VILDARY, S. 1984. Contribution à l'étude hydrobiologique des lacs salés du Sud de l'Altiplano bolivien. *Revue d'Hydrobiologie Tropicale*, **17**: 259-273.
- ILTIS, A. 1993. Recent limnological changes in a saline lake of the Bolivian Altiplano, Lake Poopo. *Internacional Journal of Salt Lake Research*, **2**: 17-28.
- JONES, B. & RENAUT, R. W. 2006. Crystal fabrics and microbiota in large pisoliths from Laguna Pastos Grandes, Bolivia. *Sedimentology*, **41**(6): 1171-1202.
- KRAMMER, K. & LANGE-BERTALOT, H. 1986-1991. *Süßwasserflora von Mitteleuropa Bacillariophyceae Teil 1-4*. 2486 págs. G. Fisher Verlag. Stuttgart.
- KOSUGI, M. 1988. Freshwater diatoms in Thailand. Scientific reports of the Kyoto Prefectural University. *Natural science and living science*, **39**: 7-19.
- LANGE-BERTALOT, H. (ed.) 2000-2009. *Diatoms of Europe. Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats. Vols I-V*. 3259 págs. A.R.G. Gantner Verlag K. G. Ruggell.
- 2001. *Navicula sensu stricto. 10 Genera separated from Navicula sensu lato. Frustulia. Diatoms of Europe. Diatoms of the European inland waters and comparable habitats. Vol. 2*. 526 págs. A.R.G. Gantner Verlag K. G. Ruggell.
- LEVKOV, Z. 2009. *Amphora sensu lato. Diatoms of Europe: Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats. Vol. 5*. 916 págs. A.R.G. Gantner Verlag K. G. Ruggell.
- MAIDANA, N. I. & SEELIGMANN, C. 2006. Diatomeas (Bacillariophyceae) de ambientes acuáticos de altura de la Provincia de Catamarca, Argentina II. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, **41**(1-2): 1-13.
- MAIDANA, N. I., SEELIGMANN, C. & MORALES, M. 2009.

- Bacillariophyceae del complejo lagunas Vilama (Jujuy, Argentina). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, **44**(3-4): 257-271.
- MANGUIN, E. 1964. Contribution a la connaissance des diatomées des Andes du Pérou. *Mémoires du Museum National d'Histoire Naturelle, Série B, Botanique*, **12**(2): 41-98.
- MARTÍNEZ, J. C. 1988. Diatomeas cenozoicas del Sudoeste de la Dorsal Media Oceánica Atlántico-Indica. *Contribución del Instituto Antártico Argentino*, **364**: 1-67.
- MARGALEF, R. 1984. *Limnología*. 1010 págs. Omega. Barcelona.
- MATALONI, G., VINOCUR, A. & DE TEZANOS PINTO, P. 2005. Abiotic characterization and epilithic communities of a naturally enriched stream at Cierva Point, Antarctic Peninsula. *Antarctic Science*, **17**: 163-170.
- METZELTIN, D. & LANGE-BERTALOT, H. 2007. Tropical diatoms of South America II. Special remarks on biogeographic disjunction. *Iconographia Diatomologica*, **18**: 1-877.
- MORALES, E. A., VIS, M. L., FERNÁNDEZ, E. & KOCIOLEK, J. P. 2007. Epilithic diatoms (Bacillariophyta) from cloud forest and alpine streams in Bolivia, South America II: A preliminary report on the diatoms from Sorata, Department of La Paz. *Acta Nova*, **3**(4): 680-696.
- MORALES, E. A., FERNÁNDEZ, E. & KOCIOLEK, P. J. 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 Botanica Croatica*, **68**(2): 263-283.
- MOSELLO, R. 1984. Hydrochemistry of high altitude alpine lakes. *Schweizerische Zentralblatt für Hydrobiologie*, **46**: 86-99.
- AIZAKI, M., TERASHIMA, A., NAKAHARA, H., NISHIO, T. & ISHIDA, Y. 1987. Trophic status of Tilitso, a high altitude himalayan lake. *Hydrobiologia*, **153**: 17-224.
- MÜHLHAUSER, H., HREPIC, N., MLADINIC, P., MONTECINO, V. & CABRERA, S. 1995. Water quality and limnological features of a high altitude Andean lake, Chungará in northern Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, **68**: 341-349.
- PATRICK, R. 1961. Results of research in the Antofagasta ranges of Chile and Bolivia. *Postilla, Yale Peabody Museum of Natural History*, **49**: 48-57.
- PRAMAR AMBIENTAL CONSULTORES, 2009. *Adenda II Estudio de Impacto Ambiental Pampa Hermosa, Anexo XI Biotáctica*. 102 págs. Pramar ambiental consultores. Chile.
- RAUTIO, M., SORVARI, S. & KORHOLA, A. 2000. Diatom and crustacean zooplankton communities, their seasonal variability and representation in the sediments of subarctic Lake Saanajärvi. *Journal of Limnology*, **59**: 81-96.
- RIGSBY, C. A., BRADBURY, J. P., BAKER, P. A., ROLLINS, S. M. & WARREN, M. R. 2005. Late Quaternary palaeolakes, rivers, and wetlands on the Bolivian Altiplano and their palaeoclimatic implications. *Journal of Quaternary Science*, **20**(7-8): 671-691.
- RIVERA, P. & CRUCES, F. 2008. *Fragilaria capucina* desm. var. *mesogongyla* Frenguelli, una diatomea presente en la zona norte de la Cordillera de los Andes (Chile), con comentarios sobre la variabilidad del número de procesos labiados en algunos géneros arafidales. *Gayana Botanica*, **65**(2): 131-138.
- 2009. Diatomeas (Bacillariophyceae) de zonas andinas del Norte de Chile: nueva localidad geográfica para *Haloroundia speciosa* (Hustedt) Diaz et Maidana. *Gayana Botanica*, **66**(2): 280-282.
- ROUND, F. E., CRAWFORD, R. M. & MANN, D. G. 1990. *The diatoms. Biology & morphology of the genera*. 747 págs. Cambridge University Press. Cambridge.
- ROUX, M. & SERVANT-VILDARY, S. 1984. Comparaisons statistiques de peuplements de diatomées fossiles et actuelles provenant des montagnes de Bolivie. *Cahiers ORSTOM, Série Géologie*, **14**: 3-13.
- ROUX, M., SERVANT-VILDARY, S. & MELLO E SOUSA, S. 1987. Diatomées et milieux aquatiques de Bolivie Application des méthodes statistiques à l'évaluation des paléotempératures et des paléosalinités. *Géodynamique*, **2**(2): 97-120.
- ROUX, M., SERVANT-VILDARY, S. & SERVANT, M. 1991. Inferred ionic composition and salinity of a Bolivian Quaternary lake, as estimated from fossil diatoms in the sediments. *Hydrobiologia*, **210**: 3-18.
- RUMRICH, U., LANGE-BERTALOT, H. & RUMRICH, M. 2000. Diatomeen der Anden. Von Venezuela bis Patagonien / Tierra del Fuego. Mit zwei weiteren Beiträgen. *Iconographia Diatomologica*, **9**: 1-673.
- SALA, S. E. & MAIDANA, N. I. 2003. Morphology and Taxonomy of *Amphora atacamae* Frenguelli (Bacillariophyceae). *Diatom Research*, **18**: 69-78.
- SCHMIDT, A. 1874-1959. *Atlas der Diatomaceen-kunde*. 3 Volumes, 480 plates. Koeltz Scientific Book. Koenigstein.
- SEELIGMANN, C. T., MAIDANA, N. I. & MORALES, M. 2008. Diatomeas (Bacillariophyceae) de Humedales de Altura de La Provincia de Jujuy-Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, **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.
- 1983. Les diatomées des sédiments superficiels de quelques lacs salés de Bolivie. *Sciences Géologiques Bulletin*, **36**: 249-253.
- 1984. Les Diatomées des lacs sursalés Boliviens. Sous-classe Pennatohycidées, I-Famille des Nitzschiacées. *Cahiers ORSTOM, Série Géologie*, **1**: 35-52.
- 1986. Les Diatomées actuelles des Andes de Bolivie (Taxonomie, écologie). *Cahiers de Micropaléontologie*, **1**(3-4): 99-124.
- SERVANT-VILDARY, S. & BLANCO, M. 1984. Les diatomées fluvio-lacustres plio-pléistocènes de la formation Charaña (Cordillère occidentale des Andes, Bolivie). *Cahiers ORSTOM, Série Géologie*, **14**(1): 55-102.
- SERVANT-VILDARY, S. & ROUX, M. 1990. Multivariate analysis of diatoms and water chemistry in Bolivian saline lakes. *Hydrobiologia*, **197**: 267-290.
- SERVANT-VILDARY, S. & MELLO E SOUSA, S. H. 1993. Palaeohydrology of the Quaternary saline

- Lake Ballivian (southern Bolivian Altiplano) based on diatom studies. *International Journal for Salt Lake Research*, **2**: 69-85.
- SERVANT-VILDARY, S., RISACHER, F. & ROUX, M. 2002. Diatom based transfer function for estimating the chemical composition of fossil water. Calibration based on salt lakes on the Lipez area in the southwestern Bolivian Altiplano. *Carnets de Géologie / Notebooks on Geology, Memoir 2002/01*. Maintenon.
- SILVA, M. 2010. *Estudio de Impacto Ambiental. GGE- EIA Proyecto Exploración Geotérmica Puchuldiza Sur 2*. 504 págs. Sustentable S. A. Chile.
- SIMONSEN, R. 1987. *Atlas and Catalogue of the Diatom Types of Friedrich Hustedt. Volumen I-III*. 1736 págs. J. Cramer. Berlin.
- SPAULDING, S. & EDLUND, M. 2009. *Stauroneis*. In *Diatoms of the United States*. <<http://westerndiatoms.colorado.edu/taxa/genus/Stauroneis>>. [Consulta: 14-09-2011]
- SIQUEIROS, D. A. & SANCHEZ, E. 1999. Structure of benthic diatom assemblages from a mangrove environment in a Mexican subtropical lagoon. *Biotropica*, **31**(1): 48-70.
- SKVORTZOV, B. V. 1969. Diatoms from Yenisei River and its tributaries, middle part of Siberia, Western Asia. *Philippine Journal of Science*, **98**(1): 57-113.
- SYLVESTRE, F., SERVANT-VILDARY, S. & SERVANT, M. 1998. Le dernier maximum glaciaire (21 000-17 000 ¹⁴C ans B.P.) dans les Andes tropicales de Bolivie d'après l'étude des diatomées. *Earth & Planetary Sciences*, **327**: 611-618.
- SYLVESTRE, F., SERVANT-VILDARY, S. & ROUX, M. 2001. Diatom-based ionic concentration and salinity models from the south Bolivian Altiplano (15-23° S). *Journal of Paleolimnology*, **25**: 279-295.
- SYLVESTRE, F. 2002. A high-resolution diatom reconstruction between 21,000 and 17,000 ¹⁴C yr BP from the southern Bolivian Altiplano (18-23°S). *Journal of Paleolimnology*, **27**: 45-57.
- TAPIA, P. M., FRITZ, S. C., BAKER, P. A., SELTZER, G. O. & DUNBAR, R. B. 2003. A Late Quaternary diatom record of tropical climatic history from Lake Titicaca (Peru and Bolivia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **194**: 139-164.
- THERIOT, E., CARNEY, H. J. & RICHESON, P. J. 1985. Morphology, ecology and systematics of *Cyclotella andina* sp. nov. (Bacillariophyceae) from Lake Titicaca, Peru-Bolivia. *Phycologia*, **24**(4): 381-387.
- TRACANNA, B. C., SEELIGMANN, C. T. & ISASMENDI, S. C. 2001. Flora Diatomológica de un canal de descarga de desechos mineros. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, **37**: 41-50.
- VAN HEURCK, H. 1881. *Synopsis des Diatomées de Belgique. Atlas*. 291 págs. Ducaju & Cie. Anvers.
- WOLLE, F. 1894. *Diatomaceae of North America*. 120 plates. The Comenius Press. Bethlehem.

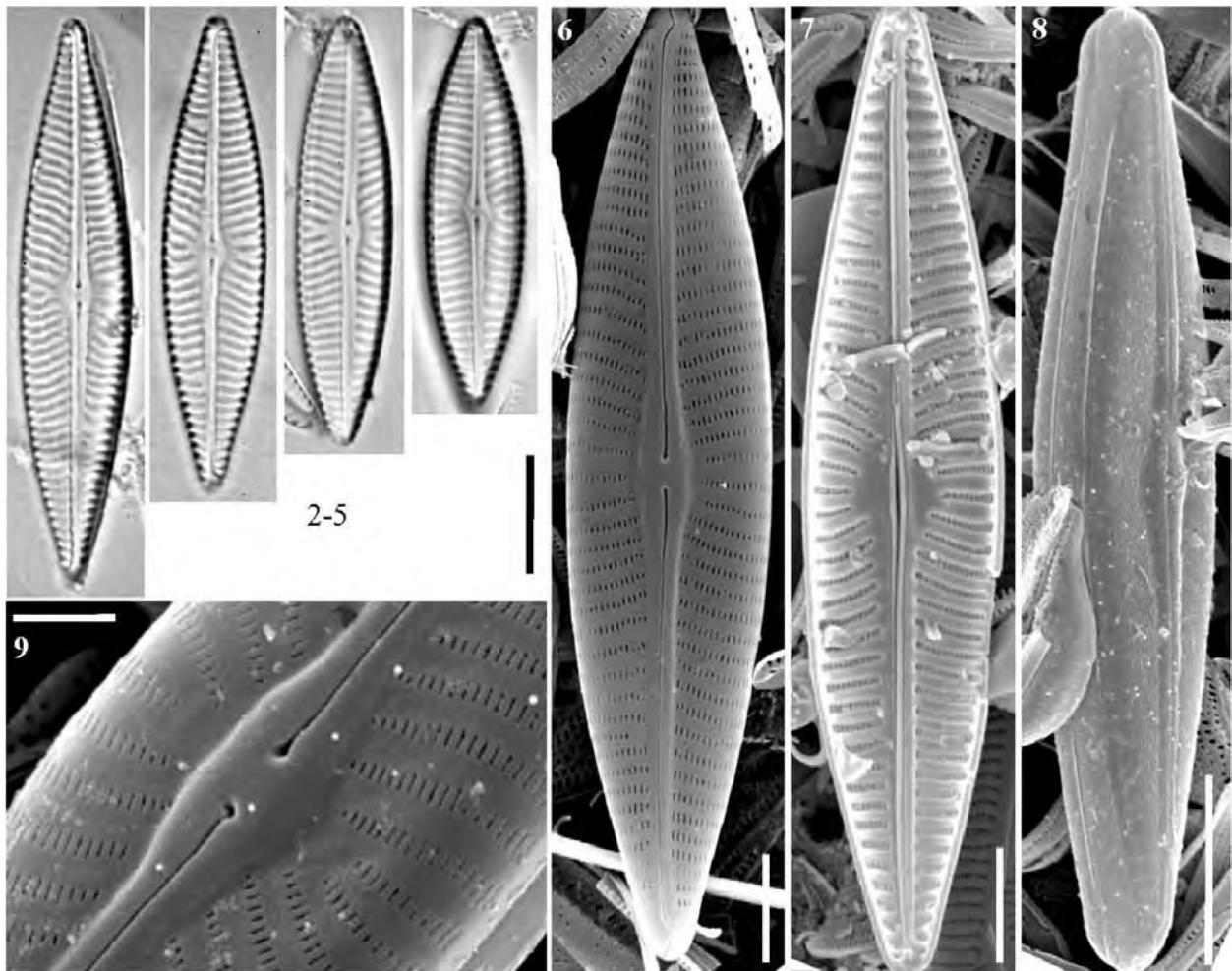


LÁMINA II/ PLATE I

Figuras 2-9. *Navicula pseudogracilis*.

Figuras 2-5. –Fotografías MO.

– LM view.

Figuras 6-9. –Fotografías MEB.

– SEM view.

Figuras 6, 8, 9. –Visión valvar externa.

– External valvar view.

Figura 7. –Visión valvar interna

– Internal valvar view.

Figura 9. –Detalle del área central mostrando las fisuras proximales del rafe y el área axial engrosada.

– Detail of the central area showing the proximal raphe endings and the thickened axial area.

Figuras 2-5. –Población procedente de la laguna de Cañapa.

– Population from Cañapa lake.

Figuras 6, 8, 9. –Población procedente de la laguna Hedionda.

– Population from Hedionda lake.

Figura 7. –Población procedente de la laguna Chiar Khota.

– Population from Chiar Khota lake.

Figuras 2-5, 8. –Barra de escala, 10 μ m.

– Scale bar, 10 μ m.

Figuras 6, 7. –Barra de escala, 5 μ m.

– Scale bar, 5 μ m.

Figura 9. –Barra de escala, 2 μ m.

– Scale bar, 2 μ m.

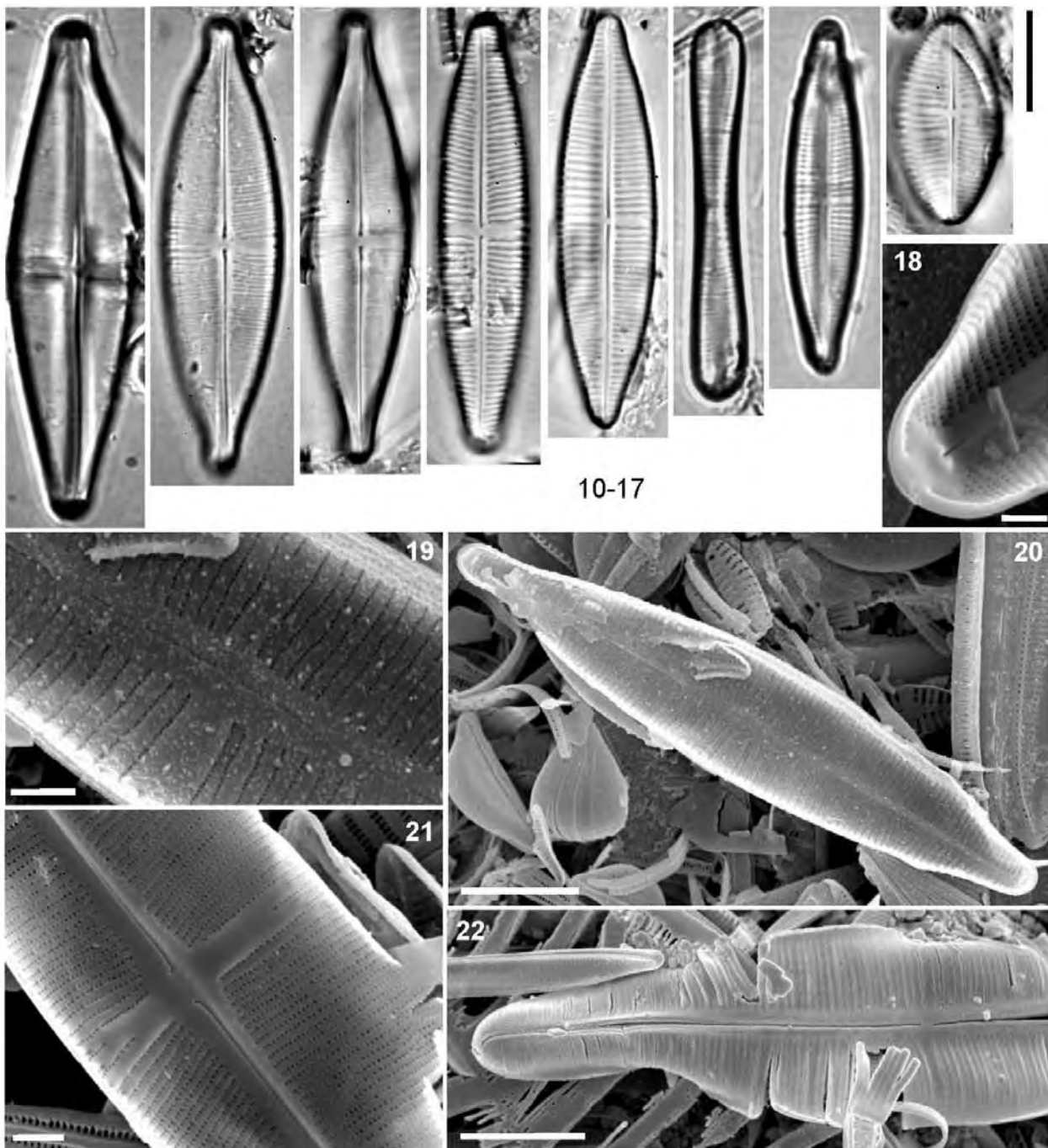


LÁMINA II/ PLATE II

Figuras 10-22. –*Staurophora vilamae*.

Figuras 10-17. –Fotografías MO.

– LM view.

Figuras 18-22. –Fotografías MEB.

– SEM view.

Figuras 21, 22. –Visión valvar externa.

– External valvar view.

Figuras 18-20. –Visión valvar interna.

– Internal valvar view.

Figuras 19, 21. –Detalle del área central mostrando las fisuras proximales del rafe.

– Detail of the central area showing the proximal raphe endings.

Figuras 10, 18-21. – Población procedente de la laguna Hedionda.

– Population of Hedionda lake.

Figuras 12-18, 22. –Población procedente de la laguna de Cañapa.

– Population of Cañapa lake.

Figuras 10-17, 20, 22. –Barra de escala, 10 μ m.

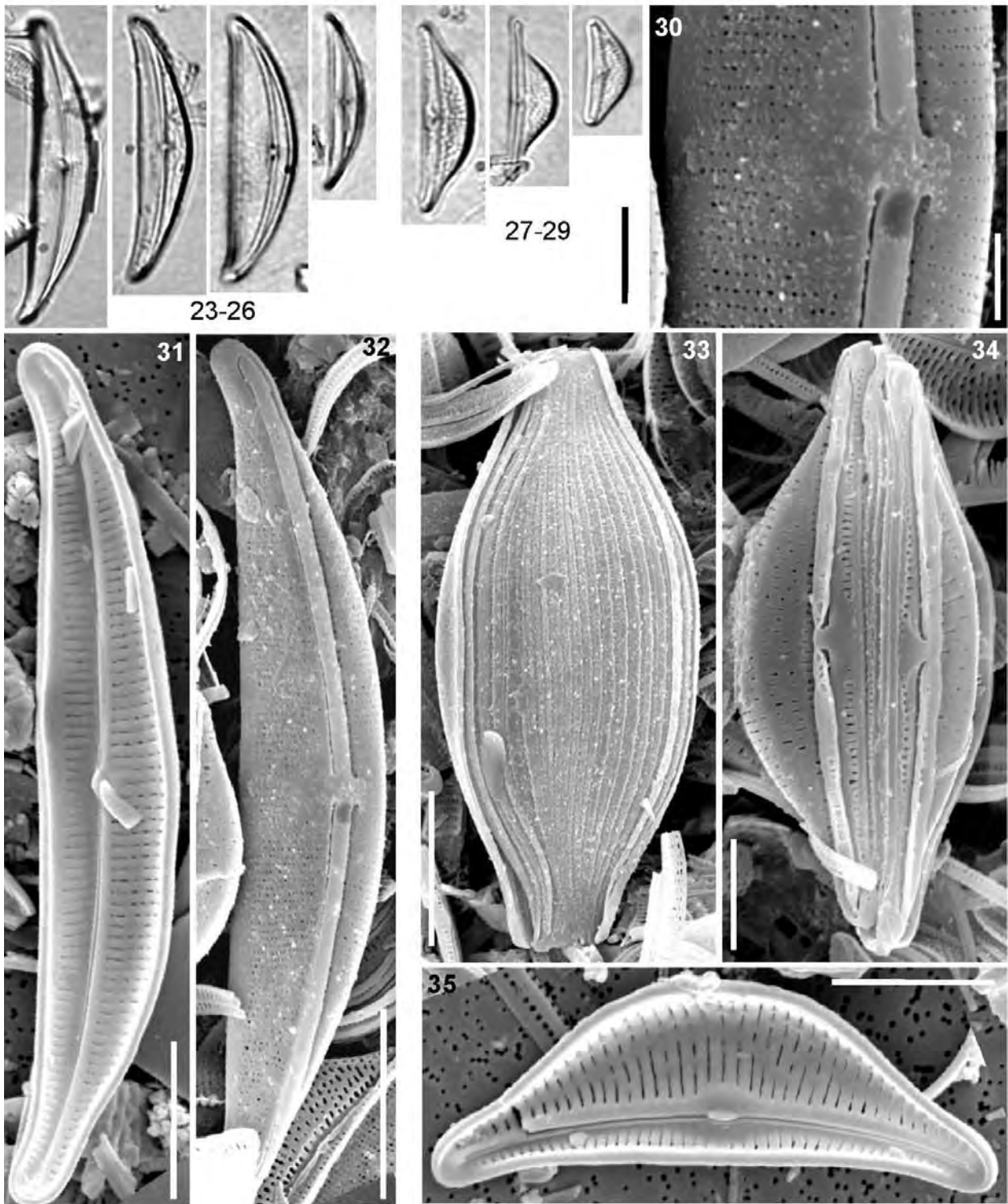
– Scale bar, 10 μ m.

Figura 18. –Barra de escala, 1 μ m.

– Scale bar, 1 μ m.

Figuras 19, 21. –Barra de escala, 2 μ m.

– Scale bar, 2 μ m.



LAMINA III/ PLATE III

Figuras 23-26, 30-32. -*Halamphora atacamana*.

Figuras 27-29, 33-35. -*Halamphora carvajaliana*.

Figuras 23-29. -Fotografías MO.

- LM view.

Figuras 30-35. -Fotografías MEB.

- SEM view.

Figuras 30, 32-34. -Visión valvar externa.

- External valver view.

Figuras 31, 35. -Visión valvar interna.

- External valver view.

Figura 30. -Detalle del área central mostrando las fisuras proximales del rafe.

- Detail of the central area showing the proximal raphe endings.

Figuras 23-25, 31, 35. -Población procedente de la laguna Chiar Khota.

- Population from Chiar Khota lake.

Figuras 27-30, 32-34. -Población procedente de la laguna Hedionda.

- Population from Hedionda lake.

Figuras 23-29, 32, 33. -Barra de escala, 10 µm.

- Scale bar, 10 µm.

Figura 30. -Barra de escala, 2 µm.

- Scale bar, 2 µm.

Figuras 31, 34, 35. -Barra de escala, 5 µm.

- Scale bar, 5 µm.

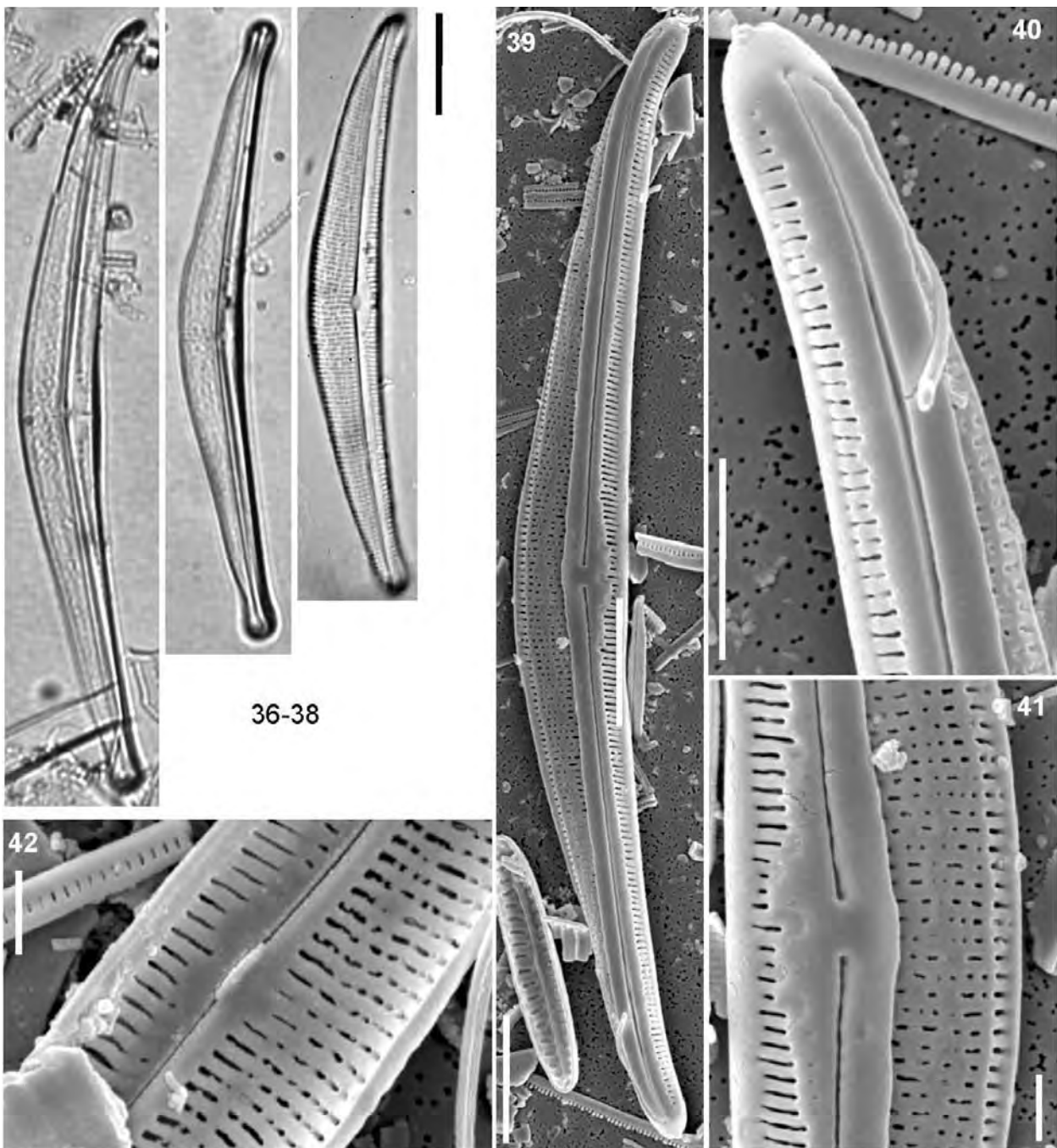


LÁMINA IV/ PLATE IV

Figuras 36-42. -*Halamphora atacamae*.

Figuras 36-38. -Fotografías MO.

- LM view.

Figuras 39-42. -Fotografías MEB.

- SEM view.

Figuras 39-41. -Visión valvar externa.

- External valvar view.

Figura 42. -Visión valvar interna.

- Internal valvar view.

Figura 40. -Detalle del ápice mostrando el extremo

distal del rafe y el conopeo.

- Detail of the apex showing the distal raphe ending and the conopeum.

Figura 41. -Detalle del área central mostrando los

extremos proximales del rafe y el conopeo dorsal.

- Detail of the central area showing the proximal raphe endings and the dorsal conopeum.

Figura 42. -Detalle del área central mostrando los

extremos proximales del rafe cubiertos por una

pestaña silíceo.

- Detail of the central area showing the proximal raphe endings covered by a silica flap.

Figura 36. -Frústulo procedente de la laguna Hedionda.

-Frustule from Hedionda lake.

Figuras 37-42. -Población procedente de la laguna

Chiar Khota.

- Population from Chiar Khota lake.

Figuras 36-39. -Barra de escala, 10 µm.

- Scale bar, 10 µm.

Figura 40. -Barra de escala, 5 µm.

- Scale bar, 5 µm.

Figuras 41, 42. -Barra de escala, 2 µm.

- Scale bar, 2 µm.

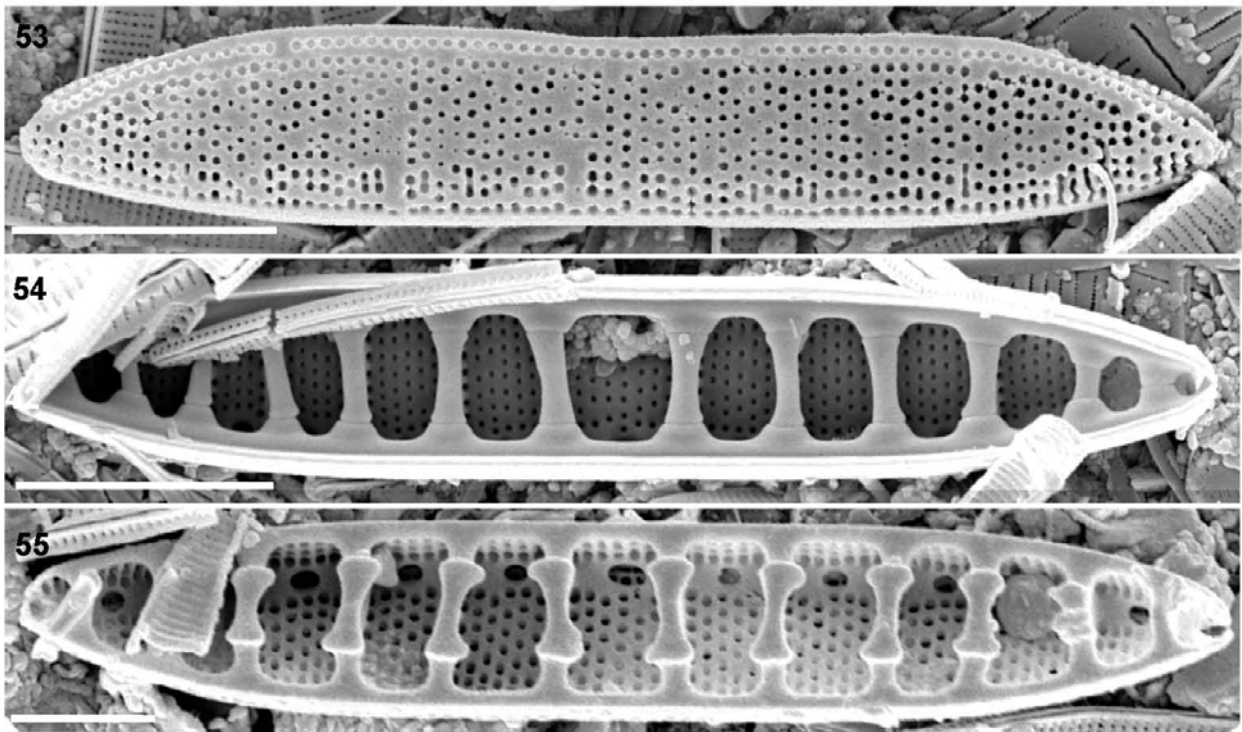
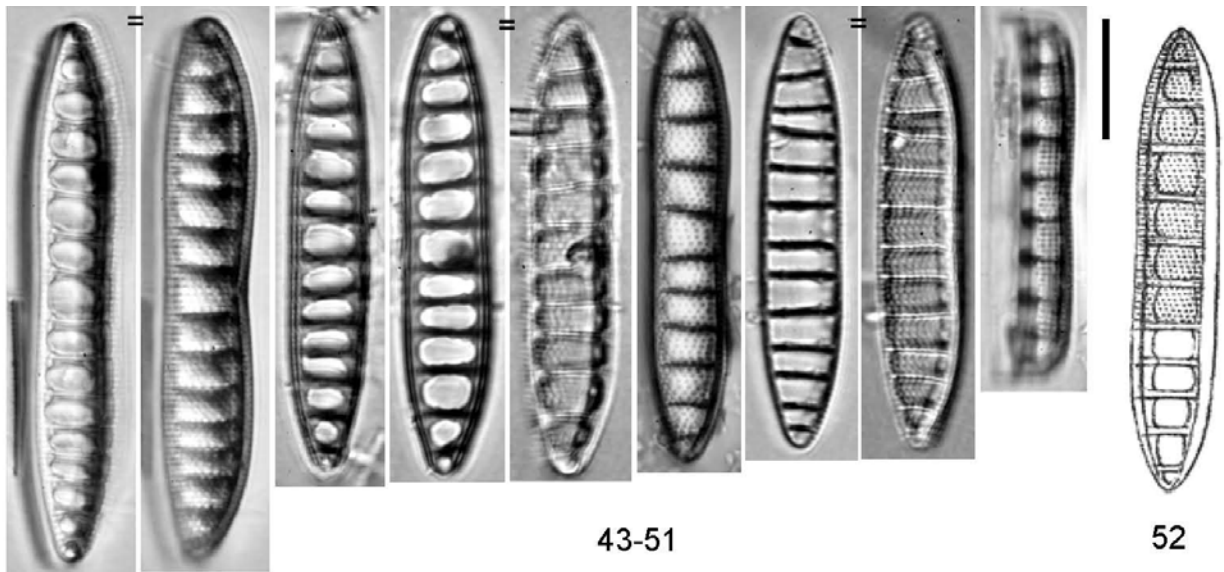


LÁMINA V/ PLATE V

Figuras 43-55. – *Denticula valida* f. *major*.

Figuras 43-51. – Fotografías MO.

– LM view.

Figura 52. – Iconotipo (VAN HEURCK, 1881, pl. 49, fig. 4).

– Iconotype (VAN HEURCK, 1881, pl. 49, fig. 4).

Figuras 53-55. –Fotografías MEB.

– SEM view.

Figuras 43-53. –Visión valvar externa.

– External valvar view.

Figuras 54, 55. – Visión valvar interna mostrando las costillas transapicales.

– Internal valvar view showing the transapical ribs.

Figuras 43-47, 49-55. – Población procedente de la laguna Cañapa.

– Population from Cañapa lake.

Figura 48.–Frústulo procedente de la laguna Chiar Khota.

– Population from Chiar Khota lake.

Figuras 43-54. –Barra de escala, 10 µm.

– Scale bar, 10 µm.

Figura 55. –Barra de escala, 5 µm.

– Scale bar, 5 µm.

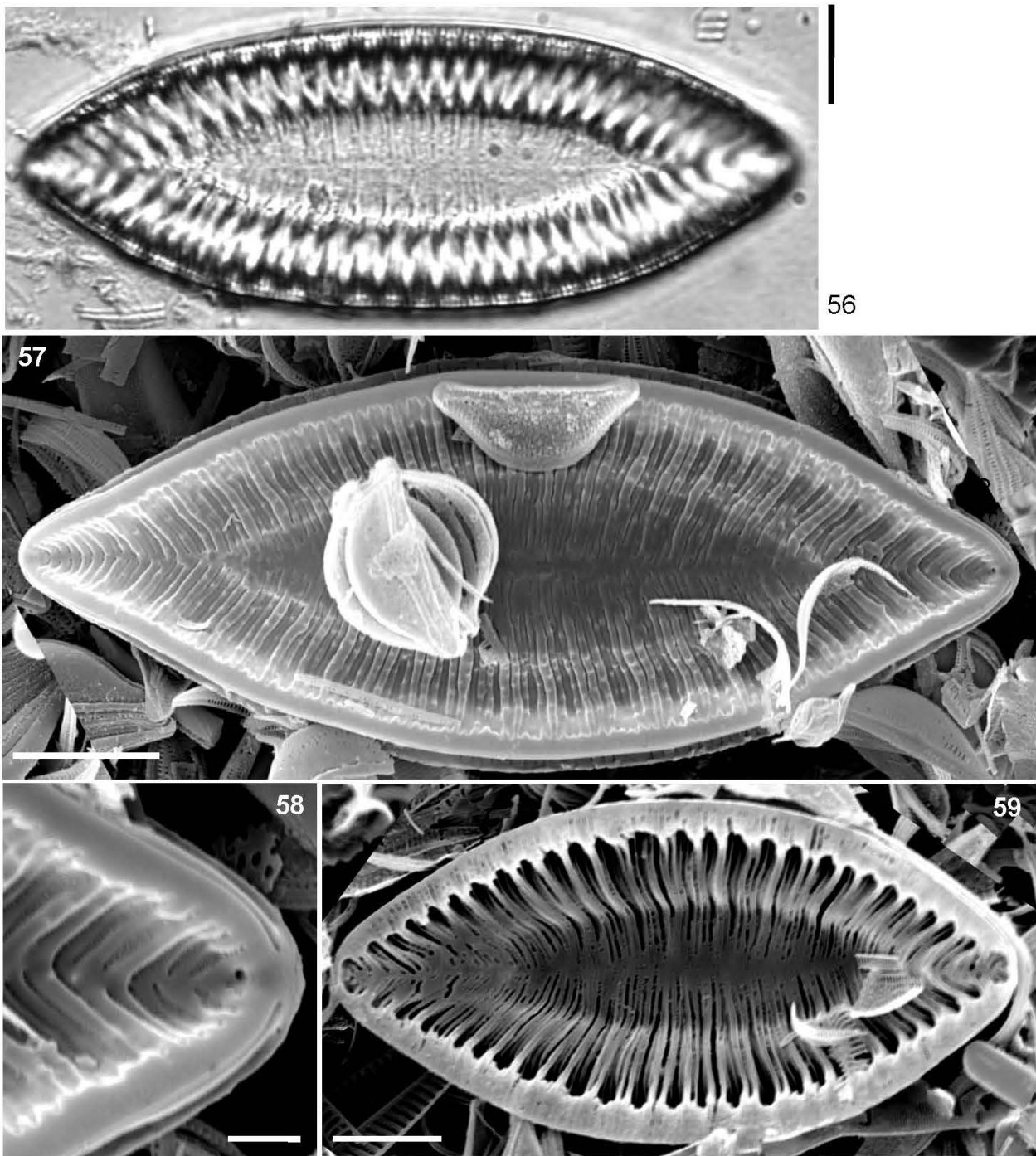


LÁMINA VI / PLATE VI

Figuras 56-59. –*Surirella chilensis*.

Figura 56. –Fotografía MO.

– LM view.

Figuras 57-59. –Fotografías MEB.

– SEM view.

Figura 57. –Visión valvar externa.

– External valvar view.

Figuras 58, 59. –Visión valvar interna.

– Internal valvar view.

Figura 58. –Detalle del ápice valvar.

– Detail of the valvar apex.

Figuras 56-59. –Población procedente de la laguna Hedionda.

– Population from Hedionda lake.

Figuras 56, 57, 59. –Barra de escala, 10 µm.

– Scale bar, 10 µm.

Figura 58. –Barra de escala, 2 µm.

– Scale bar, 2 µm.