

REGISTRO DE PELLETS FECALES Y CISTOS DE *ARTEMIA* SP. EN ASOCIACIÓN CON MINERALES EVAPORÍTICOS DEL HOLOCENO TARDÍO EN LA LAGUNA CHASICÓ (PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA): IMPLICANCIAS COMO INDICADORES PALEOAMBIENTALES

Adriana M. Blasi¹, Aldo R. Prieto², Horacio Frazer²

¹ CIC-División Mineralogía, Petrología y Sedimentología. Museo de La Plata, UNLP. Paseo del Bosque S/N, 1900 La Plata. ablas@fcnym.unlp.edu.ar

² Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, CONICET-Universidad Nacional de Mar del Plata, Laboratorio de Paleocología y Palinología, Funes 3250, 7600 Mar del Plata.

ARTICLE INFO

Article history

Received October 18, 2019

Accepted April 6, 2020

Available online April 7, 2020

Handling Editor

Fernando Gómez

Keywords

Cistos y pellets fecales

Artemia

Minerales evaporíticos

Argentina

RESUMEN

Los pellets fecales y cistos de *Artemia* sp. constituyen uno de los mayores contribuyentes a la sedimentación carbonática biogénica de los cuerpos lacustres salinos. Sin embargo en la Argentina no se han realizado estudios de su presencia en el registro fósil, y esto parece paradójico dada la abundancia de grandes y diversas cuencas endorreicas salinas que existen en el país. En este trabajo se estudiaron las características morfológicas y petrográficas de pellets fecales y cistos de *Artemia* sp., y su asociación con especies minerales evaporíticas de un testigo sedimentario que representa los últimos ca. 1300 años (1220 años cal. AP) de la Laguna Chasicó (38° 37' S; 63° 05' O) con el objetivo de discutir la potencialidad de estos indicadores en estudios paleoambientales. En función de los requerimientos ecológicos de este crustáceo se discute la variabilidad del registro de pellets fecales y cistos y su relación con los cambios físico-químicos ocurridos durante ese intervalo temporal. Se reconoció una sucesión sedimentaria compuesta por fangos silicoclásticos y fangos carbonáticos peloidales micríticos-aragoníticos con presencia de halita y thenardita en diferentes niveles. Entre ca. 730 AD y 1978 AD, las variaciones en las proporciones de los pellets fecales y cistos señalan fluctuaciones en la productividad de la laguna en términos de abundancia de *Artemia* sp. La ausencia de predadores y las condiciones de salinidad y temperatura del agua y el alimento disponible habrían sido propicias para su desarrollo. La asociación de los pellets fecales y cistos con halita y thenardita, como fase estable de la mirabilita, indicaría que la depositación ocurrió bajo condiciones mesohalinas a hipersalinas extremas durante este período. La desaparición de los pellets fecales y cistos con posterioridad a ca. 1978 AD, sugiere condiciones principalmente hipohalinas, y la presencia de predadores ya que estos anostracos son muy sensibles a la predación y desaparecen rápidamente de los cuerpos de agua cuando estos aparecen. La presencia y/o ausencia de pellets fecales y cistos de *Artemia* sp. muestran una correlación positiva con el aumento y/o disminución de la salinidad en la laguna (tomando como referencia el registro de las sales precipitadas), siendo de este modo buenos indicadores de las condiciones salinas del medio. Se utilizó el tamaño de los cistos fósiles para asignarlos a *Artemia persimilis* que es la única especie que se encuentra actualmente en todos los

cuerpos salinos próximos a la Laguna Chasicó y es exclusiva de América del Sur. La presencia de esta especie nativa con anterioridad a ca. 1978 AD y su posterior ausencia sugiere razones ecológicas relacionadas con los efectos del cambio climático ocurrido a finales de la década de 1970.

EXTENDED ABSTRACT

*Late Holocene record of the brine shrimp
Artemia sp. fecal pellets and cysts in association
with evaporitic minerals from Chasicó Lake (Buenos
Aires Province, Argentina): implications
as paleoenvironmental indicators*

Fecal pellets and cysts of the brine shrimp *Artemia* (Crustacea, Branchiopoda, Anostraca) constitute an important component of the biogenic carbonate sedimentation in many saline and hypersaline lakes bodies. However, in Argentina there are not studies of its presence in the fossil record, being this paradoxical given the abundance of large and diverse endorheic salt basins existing in the country. In this study we present the morphological and petrographic characteristics of fecal pellets and cysts of *Artemia* sp. and its association with evaporitic minerals occurring in a sedimentary core covering the last ca.1300 years (1220 years cal. BP) from the Chasicó Lake (38 ° 37 'S; 63 ° 05' W) (Fig. 1) discussing the potential of these indicators in paleoenvironmental studies. Taking into account the ecological requirements of this crustacean, the abundance of fecal pellets and cyst in the studied deposits is discussed in relation to the physical-chemical changes that occurred during that time.

The sedimentary section was carried out considering the changes of texture, structure and color of the layers to select 18 sampling intervals (Fig. 2). The qualitative determination of the total sample was performed by X-ray powder diffraction analysis. The fecal pellets are white to dry light gray and are presented in elongated cylindrical sections (Fig. 3), with one end straight and another in blunt point. They have a maximum average length of 680 μm (Fig. 4; Table 1) with a rounded net edge. They consist of a carbonaceous sludge, with a darker core of organic matter and clay, an edge with an outer shell of authigenic carbonate in very small crystals (Fig. 5). In the impregnated sections, light and dark

sheets were differentiated. In light sheets, pellets with ovoidal and elongated shapes are concentrated. In contrast, in the dark layers, the pellets are presented in a smaller proportion and are distributed in a weave of gray fibers of organic matter that would correspond to a microbial mat. The cysts are reddish with an average size of $232.36 \pm 8.7 \mu\text{m}$ (Table 1, Fig. 3) and are entire, broken (open) and invaginated.

A succession of siliciclastic mud (mostly formed by extrabasinal clastic components) and carbonaceous peloidal micritic-aragonitic mud with evaporites minerals (mostly intrabasinal chemical and biochemical components) was recognized. The sequence was divided into four units (Fig. 2): (1) Unit C: grayish green (5Y 3/1; 5 and 4/2, 5Y 5/4) laminated and disturbed micritic-aragonitic mud with halite and thenardite (76-143 cm); (2) Unit B: gray (10YR 6/1 and 10YR 4/2) disturbed massive micritic-aragonitic mud with thenardite (Na_2SO_4) (57-76 cm); (3) Unit A: gray (10YR 5/1) micritic-aragonitic laminates mud with halite and thenardite subordinate (20-57 cm); (4) Unit H: gray (10YR 5/1) siliciclastic and micritic massive mud with halite (0-20 cm) (Fig. 2). *Artemia* sp. fecal pellets and cysts were registered between ca. 730 AD and 1978 AD and are absent after ca. 1978 AD in the lacustrine deposits of Chasicó Lake.

The sedimentary section (Fig. 2) showed a predominance of biochemical and chemical deposition and very little terrigenous material between ca. 730 AD and 1411 AD (units B and C), suggesting that the accumulation would have occurred far from the coastal margins and at depths equal to or greater than 3 m (Last, 1994). The increase of terrigenous material in some samples and the presence of lamination in unit A (subunit A1) (between ca. 1411 AD and 1978 AD) would also support that the deposition of this unit occurred in the central areas of the lake and would indicate the absence of both bottom currents (Eardley and Gvosdetsky, 1960) and seasonality in the deposition, with intervals with greater extra-basinal contribution.

From ca. 1978 AD (unit H) there is an increase in the extra-basin contribution coinciding with the greater contributions from the Arroyo Chasicó water basin.

The differences in mineralogy of evaporitic species associated with the presence of fecal pellets and cysts of *Artemia* sp. in units A, B and C, and the absence of pellets and cysts in unit H allowed recognizing four different stages that suggest net changes in the chemical environment of the lake during the last 1300 years (Fig. 2). Between ca. 730 AD and 1233 AD (unit C) there was a greater proportion of fecal pellets and cysts associated with halite and thenardite, the later as a stable phase of the mirabilite. This mineralogical association would reflect periods with high salinities (extreme hypersaline environments) that allowed the formation of halite and intervals of lower salinity (hypersaline environments) with deposition of sodium sulfate. Between ca. 1233 AD and 1411 AD (unit B) the presence of free thenardite from other salts suggests the formation of mirabilite as primary sulfate, which occurred during cold periods and salinity below the saturation index of halite. Deposits with thenardite, as the only evaporitic mineral, suggest lower salinities than in unit C that would have occurred during or after its deposition, which prevented the precipitation of chlorides. Coincidentally, a lower representation of *Artemia* sp. cysts was observed. From ca. 1411 AD to 1978 AD (unit A) the sequence presents sectors with lamination and abundant of fecal pellets of *Artemia* sp. and very thin to thin stratification (subunit A1, Fig. 2). The presence of halite suggests a significant increase in salinity over the entire period that allowed the sulfate to be in solution, or that its deposition occurred only in the form of mirabilite in coastal areas by cooling during winters. Between ca. 1978 AD and 2010 AD (unit H) fecal pellets and cysts of *Artemia* sp. are absent and halite is the only evaporitic mineral. This apparent contradiction would be explained by the formation of interstitial brine and an intrasedimentary precipitation of chloride, under current salinity conditions and not the salinity that corresponds to the deposition of muds. The absence of *Artemia* sp. was related to a reduction in salinity and the entry of predators to the lake, such as the pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) that created unfavorable conditions for the reproduction and proliferation of *Artemia* sp. The presence and/or absence of fecal pellets and

cysts of *Artemia* sp. showed a positive correlation with the increase and/or decrease in salinity in the lake with respect to the estimated values from precipitated salts. Inferences for the 20th century are supported by the historical and instrumental data from the Chasicó Lake.

Taking into account that the cyst size is a biometric characteristic of the *Artemia* sp. species, this measure was used to assign the fossil cysts to *A. persimilis*, although specific determinations are necessary to ensure it. The presence of this native species before ca. 1978 AD and its subsequent absence suggests ecological reasons related to the effects of climate change that occurred since the end of 1970s and raises questions about the current biogeographic distribution of *Artemia* sp. in Argentina in relation to these changes.

Keywords: Cysts and fecal pellets, *Artemia*, evaporitic minerals, Argentina.

INTRODUCCIÓN

Artemia sp. (Crustacea, Branchiopoda, Anostraca) es uno de los mayores contribuyentes a la sedimentación carbonática biogénica en lagos con aguas mesohalinas a hipersalinas extremas (Kelts y Shahrabi, 1986; Djamali *et al.*, 2010). El producto fecal de estos crustáceos son granos que presentan morfologías típicas en sus secciones transversales y longitudinales (Martens, 1978). En condiciones ambientales favorables, las hembras de *Artemia* sp. producen nauplios de vida libre (ovoviviparidad) (Cohen, 2012). En condiciones adversas como alta salinidad y temperatura, bajos niveles de oxígeno y disponibilidad de alimentos o fotoperiodos cortos, entre otros, producen quistes o cistos diapáusicos con una cáscara o corion de color castaño-rojizo (oviparidad) (Lenormand *et al.*, 2018 y bibliografía allí citada).

La producción de cistos se vincula a condiciones ambientales que ponen en peligro la supervivencia de la población. Los bancos de cistos aseguran su supervivencia, la dispersión temporal y la variabilidad génica, ya que son capaces de tolerar altos niveles de radiación UV, una anoxia prolongada, temperaturas extremas y ciclos repetidos de hidratación y deshidratación (Lenormand *et al.*, 2018 y bibliografía allí citada). Estos ciclos son parte normal y necesaria del mecanismo de detención

metabólica y la mayoría de los cistos no eclosionan si no soportan al menos un período de desecación total-hidratación (Cohen, 2012). Los principales factores que condicionan la presencia o no de una población de *Artemia* sp. en un hábitat determinado son salinidades entre 70 g/L y aquellas cercanas a la saturación del NaCl (250 g/L) o más altas (Van Steppen, 1996), aunque esto no siempre se cumple (Castro Mejía et al., 2009), y ambientes donde la evaporación excede a la precipitación (Vanhaecke et al., 1987).

En la Argentina se han identificado varias poblaciones actuales de *Artemia* sp. pertenecientes a dos especies bisexuales, principalmente en lagunas y lagos continentales con alta concentración de sales y en unos pocos ambientes costeros, cuyas áreas de distribución se sitúan al norte y al sur de la banda latitudinal entre 35° y 36° S. *A. franciscana* se distribuye al norte de esta banda y *A. persimilis*, al sur de la misma (Amat et al., 2004). En condiciones experimentales *A. persimilis* se adapta mejor a temperaturas más bajas que *A. franciscana*, la cual tiene un rango de tolerancia mayor a temperaturas más altas (Medina et al., 2007; Ruiz, 2008). También, *A. franciscana* tolera un rango más amplio de salinidades que *A. persimilis*. Estas diferencias en la temperatura, que concuerdan con el promedio anual de las isothermas (Cohen, 2012), y la tolerancia a la salinidad, podrían explicar la distribución actual de estas dos especies en el Cono Sur de América del Sur (Medina et al., 2007).

Los estudios de *Artemia* sp. en los ambientes actuales de la Argentina están principalmente relacionados con la identificación específica de poblaciones naturales (biodiversidad y distribución geográfica), para lo cual se han utilizado enfoques multidisciplinarios que incluyen estudios citogenéticos, moleculares, morfométricos, morfológicos, biométricos, entrecruzamientos, entre otros (e.g. Amat et al., 2004; Medina et al., 2007; Ruiz, 2008; Cohen, 2012). También se han realizado estudios genéticos para la identificación específica de una población (e.g. Ruiz et al., 2007, 2008) y relacionados con la acuicultura y comercialización, debido a que los nauplios se utilizan como alimento de alevines de peces y crustáceos (e.g. Portaluppi, 2015; Royan, 2015).

Aun cuando los pellets fecales y cistos de este crustáceo están presentes en los sedimentos de los cuerpos lacustres salinos (Djamali et al., 2010), los

trabajos descriptivos de detalle sobre su presencia en el registro fósil son escasos. Se han identificado pellets fecales y cistos en paleoambientes límnicos salinos a partir de testigos sedimentarios del intervalo Pleistoceno-Holoceno en el Gran Lago Salado (Utah, EE.UU.) (Eardley, 1938; Eardley y Gvosdetsky, 1960) y en el lago Urmia (Irán) (Kelts y Shahrabi, 1986; Djamali, et al. 2010; Van Stappen, 2011). Por otra parte, los restos bien conservados de material orgánico en los cistos de *Artemia* sp. se han utilizado en estudios paleogenéticos de ADN, los que permitieron caracterizar diferentes nichos ecológicos con diversos contenidos salinos en un mismo hábitat (Manaffar et al., 2011). Es interesante notar que en la Argentina no se han realizado hasta el momento ninguno de estos estudios en secuencias sedimentarias, siendo paradójico dada la abundancia de grandes y diversos lagos salinos que existen en el país. Por tal razón se ha planteado en este trabajo estudiar y dar a conocer las características morfológicas y petrográficas de los pellets fecales y cistos fósiles de *Artemia* sp., en asociación con la mineralogía de las especies evaporíticas de un testigo sedimentario del Holoceno Tardío de la Laguna Chasicó para discutir las implicancias de estos indicadores en estudios paleoambientales.

ÁREA DE ESTUDIO

La Laguna Chasicó (38° 37' S; 63° 05' O), uno de los cuerpos de agua más bajo de América del Sur (25 m b.n.m.), es una laguna permanente, al menos en tiempos históricos, ubicada en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Fig. 1). Tiene actualmente un área de 70 km², con una profundidad media y máxima de 8 y 13,2 m, respectivamente (Aliaga et al., 2016; Siniscalchi et al., 2018). Constituye el nivel de base de la cuenca hidrológica endorreica del Arroyo Chasicó (> 5000 ppm de solutos disueltos = 5 g/L), y este arroyo es el único afluente de la laguna (Fig. 2). Es una laguna eutrófica a hipertrófica, de agua clara, ligeramente alcalina (pH: 8.9 ± 0.69) y polimíctica cuya temperatura superficial varía entre 5 °C en invierno y 25 °C a finales del verano (Kopprio et al., 2010, 2015; Volpedo y Fernández Cirelli, 2013).

Aun cuando se han realizado numerosos estudios en esta laguna, hay una notable falta de información sobre datos químicos del agua así como sobre la mineralogía de las especies evaporíticas. Cordini (1950) señaló que la laguna funcionaba por

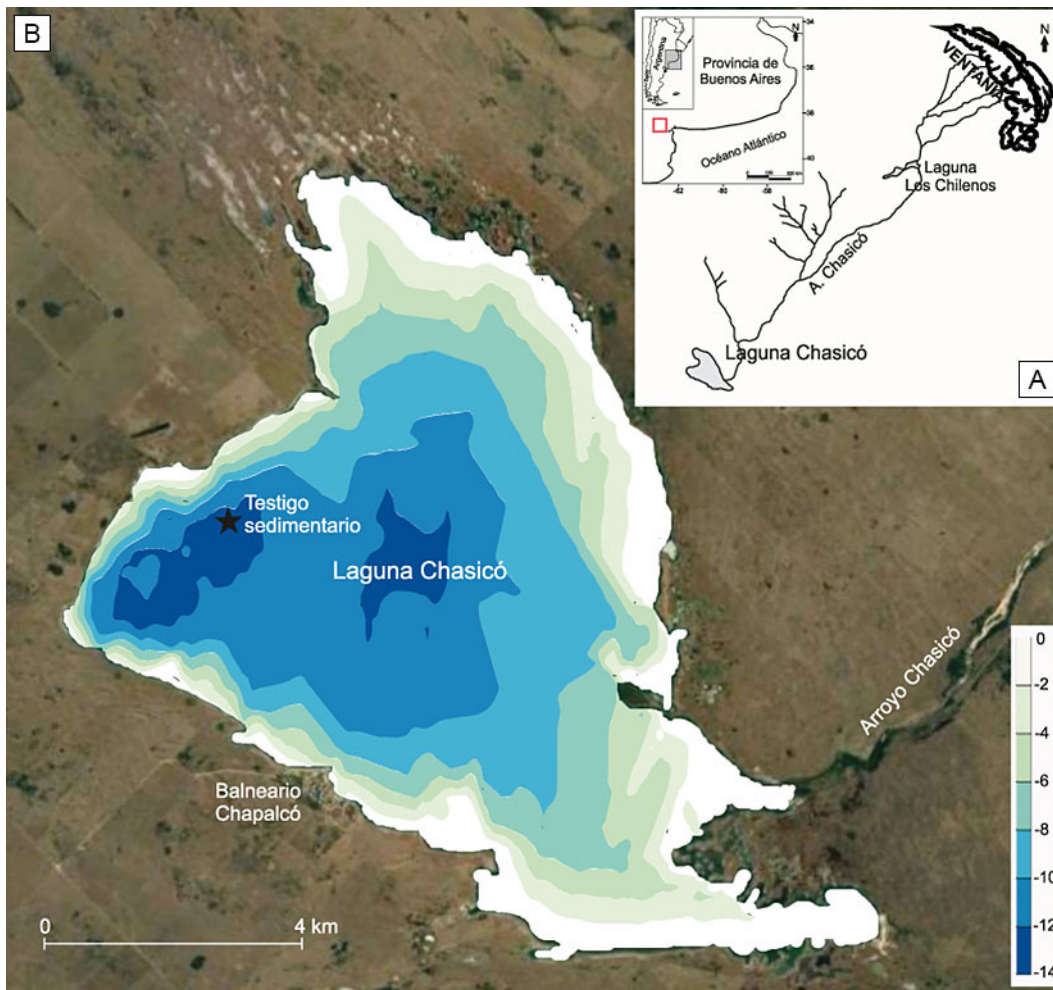


Figura 1. a) Mapa de ubicación de la cuenca del Arroyo Chasicó y de la Laguna Chasicó. **b)** Mapa batimétrico modificado de Frazer *et al.*, 2020 y ubicación del perfil sedimentario estudiado (estrella negra).
Figure 1. a) Location map of the Chasicó River basin and the Chasicó Lake. **b)** Bathymetric map modified from Frazer *et al.*, 2020 and location of the sedimentary profile studied (black star).

evaporación y enfriamiento en la década de 1940. En función del análisis químico del agua determinó que a 155 g/L de salinidad media total, el contenido de Na_2SO_4 variaba entre 43,10 y 54,17 g/L y el de NaCl entre 82,5 y 110,93 g/L, y a partir de esto calculó la reserva potencial de sal común y sulfato de sodio disueltos en el agua (Cordini, 1950).

La recarga de esta cuenca se produce por la contribución directa de las precipitaciones, el proceso de infiltración de los acuíferos y la escorrentía superficial de su cuenca de recepción (Bonorino, 1991). El aporte de aguas subterráneas se realiza por el ascenso de aguas salinizadas profundas ricas en cloruros y sulfatos de sodio a través de fracturas (Angelelli *et al.*, 1972), de acuerdo con los análisis químicos del agua de una perforación de 198 m (Cordini, 1950). Los aportes por escurrimiento superficial se vinculan con la descarga de agua dulce, bicarbonatadas cálcico-magnésicas a bicarbonatadas sódicas, de la cuenca del Arroyo Chasicó (Torres,

2009). Esta cuenca hidrográfica posee un régimen que varía entre ciclos secos y húmedos vinculados con los cambios climáticos. Durante ciclos húmedos y precipitaciones excepcionales, la Laguna Los Chilenos, ubicada en la cuenca alta (Fig. 2) se desborda, aumentando los aportes hacia la Laguna Chasicó. Durante los períodos secos, la laguna solo recibe los aportes de la cuenca media-inferior. Estas variaciones inciden directamente sobre el nivel y las características físico-químicas del agua de la Laguna Chasicó (Torres, 2009). Los datos de salinidad total del agua de la laguna, si bien son escasos, muestran una importante variación desde condiciones hipersalinas extremas (> 100 g/L) en la década de 1940, a hipersalinas (50-100 g/L) en la década de 1960 y mesohalinas (20-50 g/L) a mediados de la década de 1970. Por último se registran condiciones principalmente hipohalinas con posterioridad a 1978 como consecuencia de los grandes caudales de agua dulce aportados a la laguna (Torres, 2009), debido

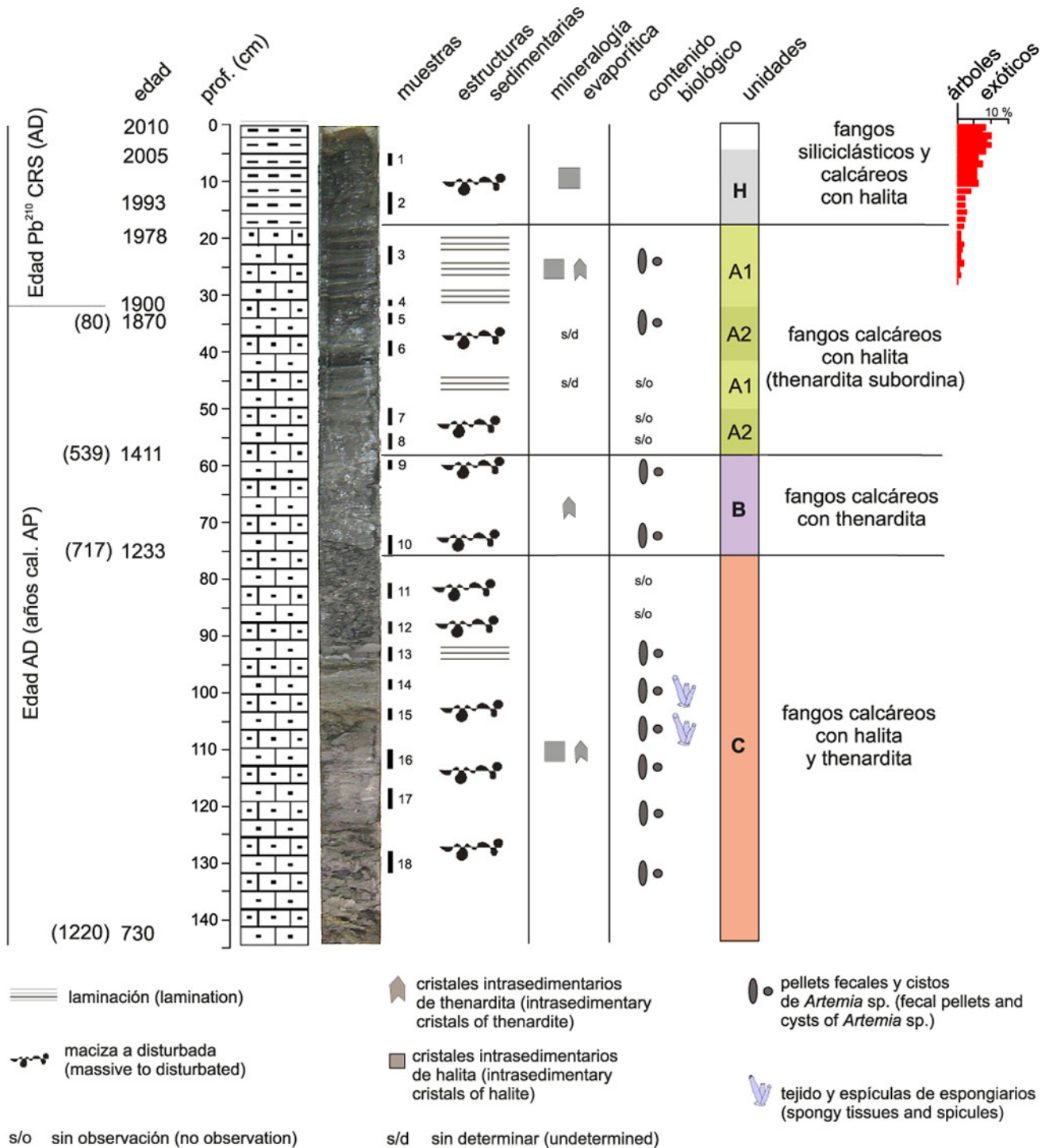


Figura 2. Perfil sedimentario del testigo de la Laguna Chasicó, estructuras sedimentarias, mineralogía evaporítica, contenido biológico y unidades definidas. **Figure 2.** Sedimentary section of the Chasicó Lake core sedimentary profile showing sedimentary structures, evaporitic mineralogy, biological content and defined units.

principalmente al incremento de las precipitaciones y a algunos factores antrópicos que actuaron como desencadenantes de este aporte. El aumento del nivel del agua y los cambios de salinidad en lagunas también se han registrado en otras secuencias

lacustres de la región pampeana asociados al gran cambio hidrológico que ocurrió en el sudeste de América del Sur a finales de la década de 1970 (e.g. Piovano *et al.*, 2009; Córdoba *et al.*, 2014; Guerra *et al.*, 2015, 2017). Esto explicaría la ubicación actual de

la Laguna Chasicó en la zona climática mesotermal subhúmeda-seca (Vich *et al.*, 2010) y no en la zona de transición subhúmeda seca a semiárida (Burgos y Vidal, 1951) como ocurrió entre 1921 y 1950.

METODOLOGÍA

Las muestras analizadas provienen de un testigo sedimentario de 143 cm de longitud, extraído en 2010, del sector más profundo de la Laguna Chasicó (Fig. 1). La sucesión sedimentaria representa los últimos *ca.* 1300 años (1220 años cal. AP) (Fig. 2), y fue acotada utilizando dataciones de ^{210}Pb y ^{14}C AMS y con la primera aparición del polen de árboles exóticos (*e.g.* *Eucalyptus* sp., *Tamarix* sp., *Pinus* sp., *Casuarina* sp.), introducidos en el área desde principios del siglo XX.

El testigo fue sellado en el campo y se mantuvo refrigerado en cámara fría a 4 °C hasta el muestreo en el laboratorio. La descripción se realizó mediante un análisis visual de los sedimentos, teniendo en cuenta los cambios de textura, estructura y color de las capas (*Munsell color chart*) para seleccionar intervalos de muestreo. En total se tomaron 18 muestras (Fig. 2); 16 se secaron en estufa a 60 °C y se muestreó material suelto y en dos casos, debido a la excelente laminación fina, el muestreo se realizó mediante extracción orientada del material con cajas plásticas. Las muestras sueltas se pre trataron con agua oxigenada al 30% y posteriormente se tamizaron en húmedo a través del tamiz 0,062 mm (Serie Tyler 250). El retenido en seco se tamizó posteriormente en columna de tamices a un grado de phi. El retenido en cada fracción se inspeccionó bajo microscopio binocular Nikon con escala ajustada al aumento utilizado, donde se reconocieron, midieron y fotografiaron los pellets y cistos de *Artemia* sp. en diferentes fracciones arenosas. Se realizó una estimación de la abundancia relativa de los pellets y cistos en estas fracciones. Para ello se calculó el área ocupada por campos de observación en porcentaje para igual peso de muestra. Para el estudio al MEB de los pellets fecales y cistos se realizó el *picking* de las fracciones 1-2 y 2-3 phi de diferentes muestras, los que fueron metalizados con baño de Au para su inspección con microscopio electrónico de barrido de Alto y Bajo Vacío JEOL, modelo JSM 6360 LV del Museo de La Plata.

La fracción arena muy fina se analizó por microscopía de polarización a grano suelto con

líquido de inmersión. Las muestras orientadas se impregnaron con resina Epoxi y se prepararon dos cortes delgados. La determinación cualitativa de las fases minerales de muestra total seca (12 muestras) se realizó por análisis por rayos X en Difractómetro de RX- Philips PW1011/00 del Centro de Investigaciones Geológicas y en un equipo Phillips-PW3710 (Ni-filtered CuK α , 35 Kv, 40 Ma, sin monocromador secundario (6 muestras) donde la muestra fue analizada desde los 3° θ hasta los 70° θ , con un ancho de paso de 0,04°, a una velocidad de barrido de 1° θ /min en el CETMIT. La lectura de los difractogramas se realizó hasta 36° de theta.

RESULTADOS

Pellets fecales y cistos de *Artemia* sp.

Los pellets fecales son de color blanco a gris claro en seco y se presentaron en secciones cilíndricas alargadas con un extremo recto y otro en punta roma (Fig. 3). Tienen una longitud máxima media de 680 μm (Fig. 4; Tabla 1). Se identificaron secciones redondeadas u ovaladas cuando los pellets estaban partidos transversalmente (Fig. 3). Los pellets son muy débiles y se rompen fácilmente, si bien adquieren cierta consolidación en la muestra seca. Al microscopio petrográfico se observó que los mismos estaban constituidos por un fango carbonático, con un núcleo más oscuro de materia orgánica y arcilla y un borde con corteza exterior de carbonato autigénico en cristales muy pequeños (Fig. 5). Los pellets fecales al MEB mostraron micrita en cristales principalmente planos anahedrales a subhedrales (Fig. 6 a y b). El tamaño de los cristales varió desde finos (1 μm -2 μm) hasta gruesos (2 μm - 4 μm) y se observó la coalescencia de éstos, pocos contactos puntuales y presencia escasa de poros. Por su microtextura la micrita puede ser clasificada como anahedral compacta (Regnet *et al.*, 2015). En los cortes delgados se diferenciaron láminas claras y oscuras. En los niveles claros los pellets con formas ovoidales y alargadas se presentaron concentrados. Por el contrario, en las láminas oscuras los pellets se presentaron en menor proporción y están distribuidos en una trama de fibras grises de materia orgánica que correspondería a un entramado microbiano. Los pellets fueron comparados con los de algunas poblaciones de *Artemia salina* del hemisferio norte (Tabla 1).

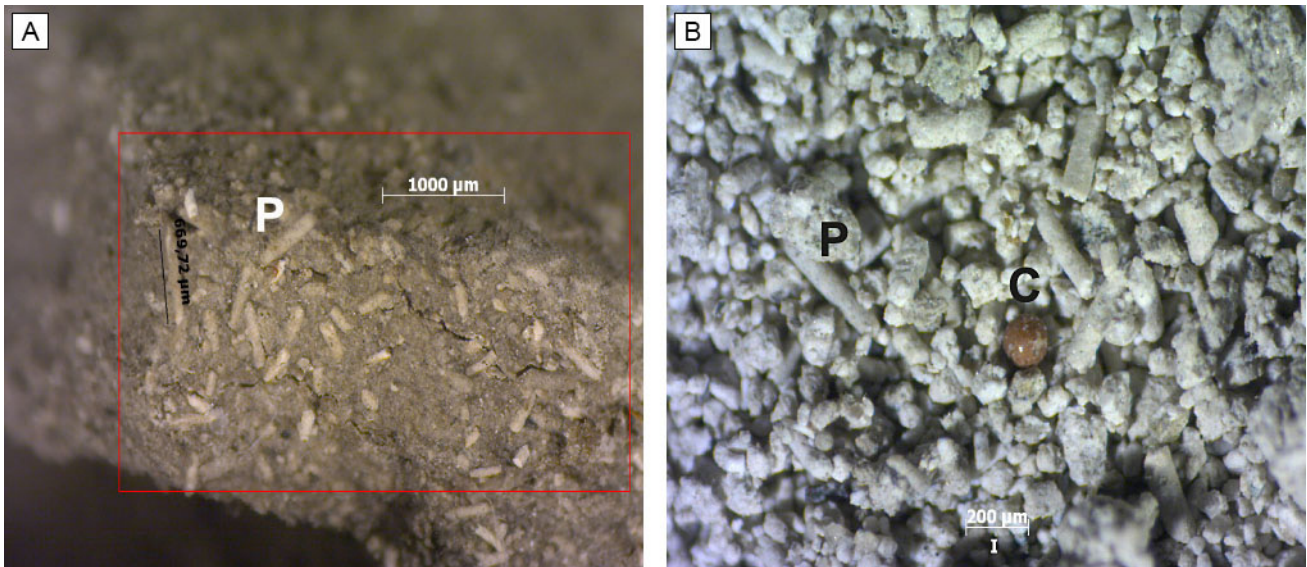


Figura 3. a) Microfotografías de pellets fecales en una lámina clara de la unidad A. **b)** Vista de pellets fecales (P) y cistos (C) en muestras sueltas.
Figure 3. a) Photomicrographs of fecal pellets on a clear sheet of unit A. **b)** View of fecal pellets (P) and cysts (C) in loose samples.

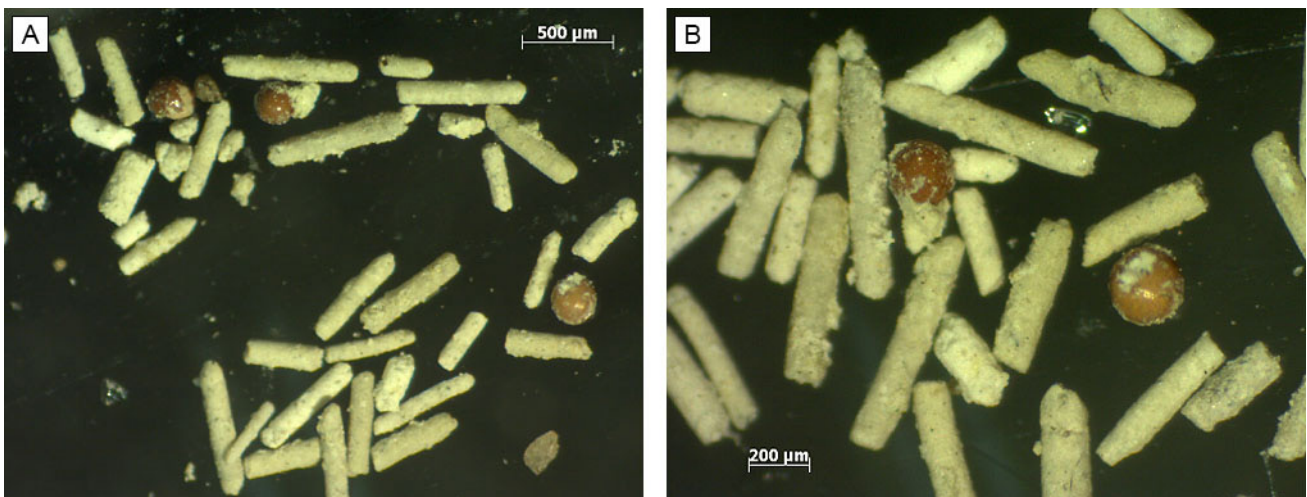


Figura 4. a) Microfotografía de pellets fecales y cistos de *Artemia* sp. concentrados mediante *picking*. **b)** Detalle y dimensiones.
Figure 4. a) Photomicrograph of fecal pellets and cysts of *Artemia* sp. concentrated by picking. **b)** Detail and dimensions.

Los cistos son de color rojizo de un tamaño medio de 232,36 μm (Tabla 1, Fig. 3) y se presentaron enteros, rotos (abiertos) e invaginados. Los tamaños se compararon con los de algunas poblaciones de *A. persimilis* provenientes de la Argentina y de *A. franciscana* provenientes de EE.UU. y México (Tabla 1). El análisis al MEB reveló que la superficie de los cistos presentaron una microtopografía lisa (Fig. 6 c y d), semejante a la denominada tipo VIII por Asem y Sun (2014), mientras que la arquitectura de la pared presentó dos capas superficiales (membrana

cuticular y cortical) y una capa interna alveolar (Fig. 6 c) (Sivagnanam *et al.*, 2013).

Los datos actuales de las dimensiones de los pellets fecales y cistos de *Artemia* sp. utilizados para comparar con los fósiles son los únicos disponibles.

Análisis sedimentológico

Se reconoció una sucesión de sedimentos finos compuesta por fangos silicoclásticos (componentes mayormente clásticos extracuencales), y fangos

Cistos	Localidad	Cohen <i>et al.</i> (1999) (en μm)	Este trabajo (en μm)
<i>A. persimilis</i>	Salinas Grandes de Hidalgo	246,1 \pm 21	232,36 \pm 8,7 (n: 25)
	Colorada Chica	230,5 \pm 12,5	
	Callaqueo	230,3 \pm 11	
	Salinas Chicas	238,9 \pm 10,7	
<i>A. franciscana</i> *	Localidad	Correa Sandoval y Bückle Ramírez (1993) (en μm)	
	L. San José	222,64 (0,076)	
	L. San José	227,04 (0,68)	
	s/d	227,53 (1,20)	
	L. Yavaros	228,41 (0,93)	
	s/d	229,68 (0,96)	
Martens (1978) (en μm)			
Pellets fecales <i>A. salina</i>	Longitud media	1250	680 μm (n: 27) Max. 1080 Min. 260
		1530	
1370			
Relación largo/ ancho	3,2	4,60 (n: 12)	
	3,6		
	3,8		

Tabla 1. Comparación de los cistos fósiles de *Artemia* sp. con los de *A. persimilis* y *A. franciscana* y los pellets fecales con los de *A. salina*. Comparison of fossil cysts of *Artemia* sp. with those of *A. persimilis* and *A. franciscana* and the fecal pellets with those of *A. salina*. * Bahía de San Francisco (EE.UU.) y México.

carbonáticos peloidales micrítico-aragoníticos con evaporitas (componentes mayormente químicos y bioquímicos intracuencales). La sucesión fue dividida en cuatro unidades, cada una constituida por sedimentos cuya clasificación se realizó siguiendo la propuesta de Schnurrenberger *et al.* (2013) para sedimentos lacustres (Fig. 2).

Unidad C: fangos verde grisáceos (5 Y 3/1; 5 Y 4/2, 5Y 5/4) estratificados y disturbados micríticos-aragoníticos con halita y thenardita (76 - 143 cm)

Descripción: se observaron láminas entre 90 y 105 cm y estratos delgados a muy delgados de diferente color en el resto de la unidad. La estratificación está disturbada en varios sectores en coincidencia con la presencia de cristales evaporíticos (Fig. 2). Los estratos se componen de fangos de pellets micríticos-aragoníticos masivos con cristales de halita y thenardita (Fig. 7). Son frecuentes los cristales intrasedimentarios grandes de halita con thenardita subordinada (muestras 13 a 16) (Fig. 2). En los difractogramas, además de la presencia de aragonita y calcita, se destaca el pico de reflexión

máxima muy marcado de dolomita desordenada o de bajo grado de cristalinidad entre 2.90 Å y 2.93 Å, principalmente en las muestras 13 a 18. Como sales se reconocieron halita y thenardita. En las muestras analizadas es importante el desarrollo del pico de reflexión 2.71 Å que fue informado como de aragonita, pero posiblemente esté solapado con el correspondiente a la reflexión de pirita de 2.71 Å (segunda reflexión). Es muy común la presencia de pellets fecales (>10%) y cistos de *Artemia* sp. en las muestras 13, 16, 17 y 18. Hay presencia de espículas de esponjas en las muestras 14, 15 y 18 como así también pupas de insectos, probablemente de dípteros y restos de tejidos vegetales (Fig. 8).

Unidad B: fangos grises (10YR 6/1 y 10YR 4/2) disturbados micríticos-aragoníticos masivos con thenardita (Na₂SO₄) (57 - 76 cm)

Descripción: se observaron dos sectores donde no se reconoció estratificación, posiblemente debido al disturbio que ocasionó el crecimiento de cristales grandes de thenardita. Ambos sectores están constituidos por fangos de pellets micríticos-

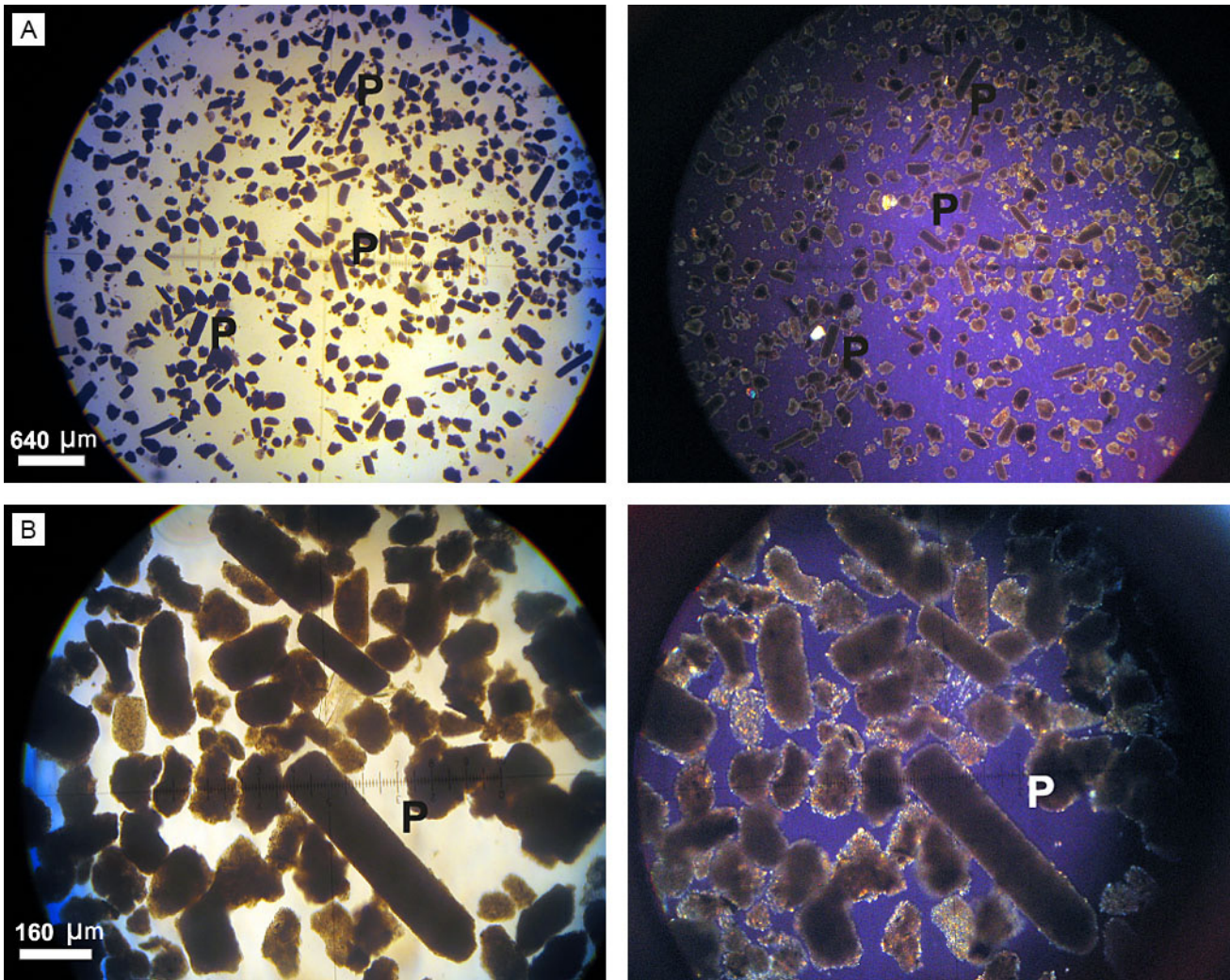


Figura 5. Microfotografía de pellets fecales y cistos de *Artemia* sp. bajo microscopio de polarización sin y con nicoles. **a)** 2,5 x. **b)** 10 x. P: pellets.
Figure 5. Photomicrograph of fecal pellets and cysts of *Artemia* sp. under polarization microscope without and with nicoles. **a)** magnification: 2.5 x. **b)** magnification: 10 x. P: pellets.

aragoníticos masivos. Los difractogramas mostraron la presencia de calcita magnesiana y aragonita. También se observó dolomita desordenada y el pico de reflexión de pirita. La sal es la thenardita (Fig. 7). Es común la presencia de pellets fecales (<10%) y escasos cistos de *Artemia* sp.

Unidad A: fangos grises (10YR 5/1) estratificados micríticos-aragoníticos con halita y thenardita subordinada (20 – 57 cm)

Descripción: alternancia de niveles con estratificación milimétrica (láminas entre 0,3 y 1 mm) con estratos delgados a muy delgados (entre 3 y 15 cm). En toda la unidad se observó la alternancia de sedimentos

de colores claros y oscuros. Las láminas claras están compuestas por fango micrítico con concentración significativa de pellets fecales de *Artemia* sp. (>10%) (Fig. 3). Las láminas oscuras tienen mayor contenido de materia orgánica, escasos pellets fecales (< 1%) y rasgos semejantes al desarrollo de carpetas microbianas bentónicas. En las muestras 3 y 7 los difractogramas mostraron mayor contenido de material silicoclástico de cuarzo y plagioclasas que en las demás, así como también la presencia de trazas de yeso. Se reconoció la presencia de calcita magnesiana y aragonita. Un pico de reflexión muy desarrollado en 2.97 Å, informado como de feldespato, podría corresponder al de dolomita de baja cristalinidad en 2.92 Å (Fig. 7b). La sal presente

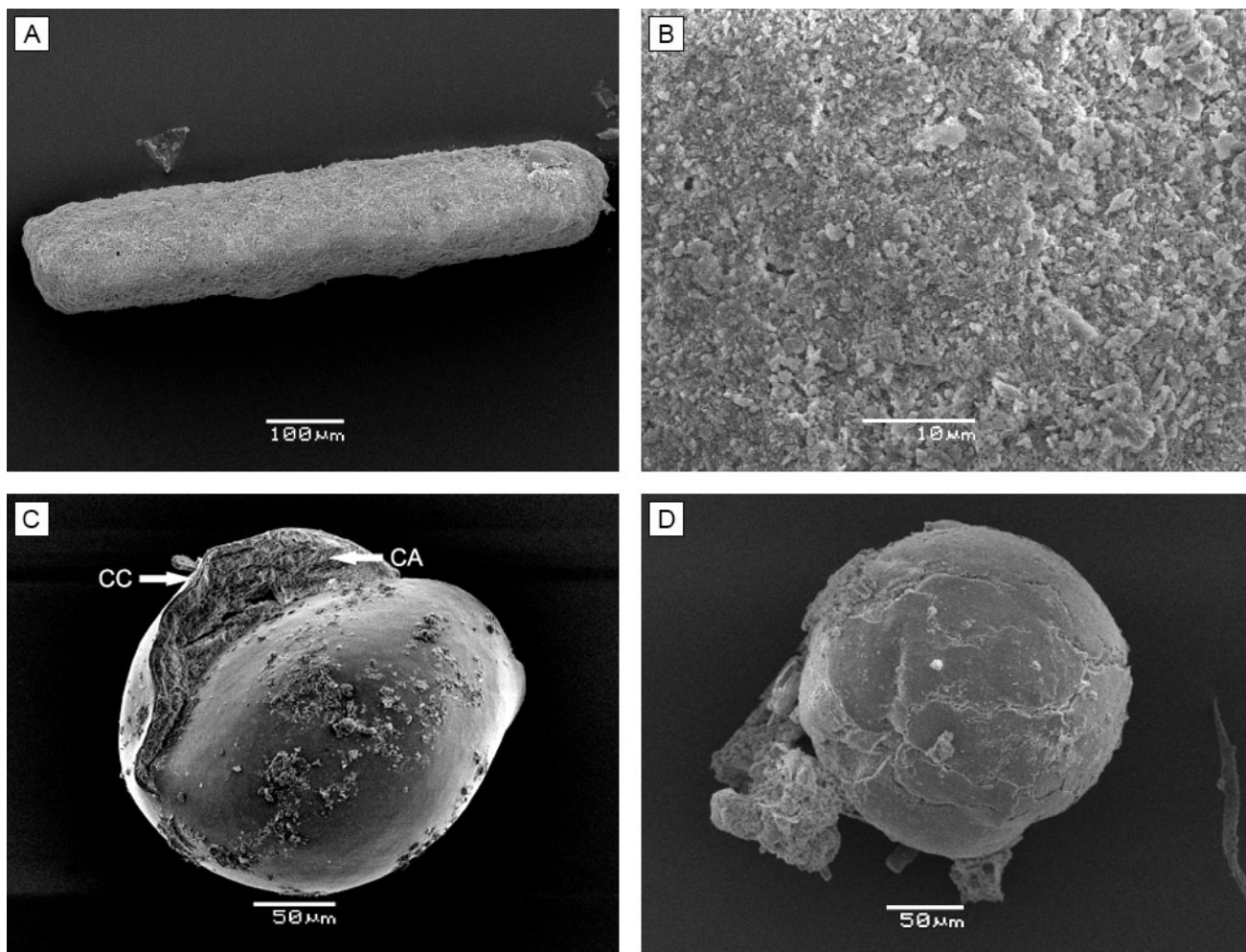


Figura 6. Fotografías al MEB de cistos y pellets fecales de *Artemia*. **a)** Pellet fecal (vista general). **b)** Detalle de la superficie de pellet fecal, mostrando la falta de cohesión de los cristales de micrita superficiales y la microtextura. **c)** Cisto roto: arquitectura de la pared donde se observan las capas exteriores cuticular y cortical (CC) y alveolar (CA), y la topografía lisa de la superficie. **d)** Cisto parcialmente deshidratado.

Figure 6. SEM photographs of fecal pellets and cysts of *Artemia* sp. **a)** Fecal pellet (general view). **b)** Close up of the surface of the fecal pellet showing lack of cohesion of superficial micrite crystals and microtexture. **c)** Broken cyst: wall architecture showing the outer cuticular and cortical layer and the inner alveolar layer (CA) and smooth surface topography. **d)** Partially dehydrated cyst.

es la halita (Fig. 7) y aparece de manera muy subordinada la thenardita.

Unidad H: fangos grises (10YR 5/1) macizos silicoclásticos y micríticos con halita (0 – 20 cm)

Descripción: esta unidad está constituida por fangos con pellets silicoclásticos (arcillas) y, en menor medida, carbonáticos. La estructura interna es maciza. En los difractogramas se reconoció un buen desarrollo de los picos de reflexión de cuarzo y feldespatos, y de los carbonatos como calcita magnesiana, aragonita y dolomita desordenada

con un pico de reflexión en 2.90 Å, esta última en la muestra 2. Como sales se identificó a la halita (Fig. 7). En muestra total se observó el desarrollo del pico de reflexión de la illita. No se registró la presencia de cistos ni de pellets fecales de *Artemia* sp. Son importantes los frústulos de *Hyalodiscus* (Fig. 8c) y *Surirella* (enteros y rotos) y, la presencia de conchillas enteras y rotas de ostrácodos (Fig. 8e). En las diferentes fracciones y especialmente en la de arena muy fina de las muestras de los intervalos disturbados, se reconocieron granos silicoclásticos terrígenos, principalmente de vidrio volcánico (mayormente pumitas), acompañados en abundancia

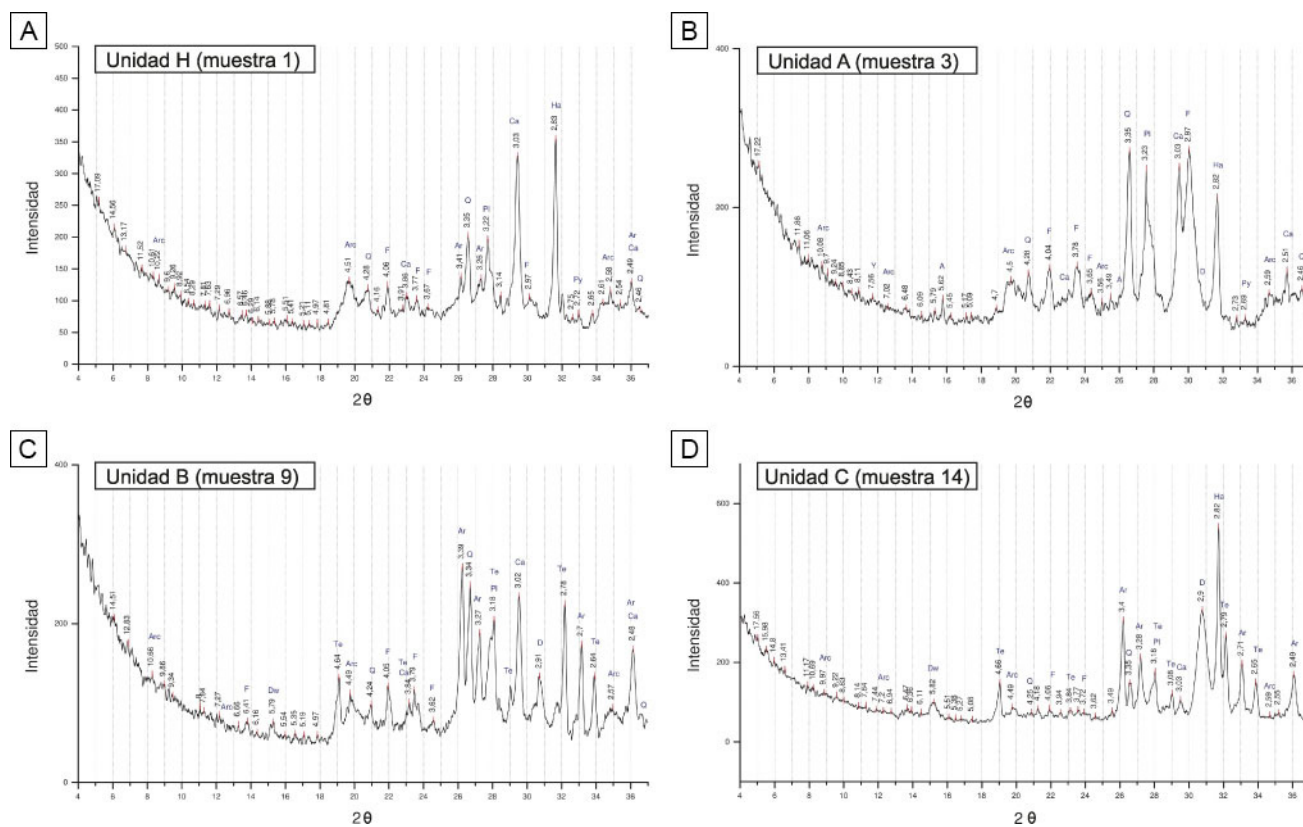


Figura 7. Difractogramas de las diferentes unidades. **a)** Unidad H. **b)** Unidad A. **c)** Unidad B. **d)** Unidad C. (Arc: arcilla; D: dolomita; Ar: aragonita; F: feldespato K; Pl: plagioclasa; Ha: halita, Q: cuarzo; Te: thenardita; Ca: calcita; Py: pirita; Dw: dawsonita).

Figure 7. Diffractograms of the different units. **a)** Unit H. **b)** Unit A. **c)** Unit B. **d)** Unit C. (Arc: clay; D: dolomite; Ar: aragonite; F: K feldespat; Pl: plagioclase; Ha: halite, Q: quartz; Te: thenardite; Ca: calcite; Py: pyrite; Dw: dawsonite).

por clastos de feldespatos calco-sódicos y cuarzo.

DISCUSIÓN

Los pellets fecales y cistos de *Artemia* sp. fueron registrados en los depósitos lacustres de la Laguna Chasicó entre ca. 730 AD y 1978 AD, y están ausentes con posterioridad a ca. 1978 AD. Este crustáceo habría llegado a la laguna a través de la dispersión por viento (anemocoria) y/o principalmente por flamencos (*Phoenicopterus chilensis*) u otros animales palustres (zoocoria). Estos últimos trasladan los cistos rodeados de barro que quedan adheridos en sus picos, plumas o patas, o incluso los que son ingeridos mientras se alimentan en las lagunas (Van Stappen, 2011). Según Cordini (1950) y Zinger *et al.* (1998) en la laguna había *Artemia salina* antes de 1978. Sin embargo, la asignación a esta especie se debió a que era considerada la única válida hasta finales de la década de 1960 y era

utilizada erróneamente para referirse a *Artemia* sp. en general, y sobre todo a *A. franciscana*, que es la especie que se comercializa a nivel mundial (Asem *et al.*, 2010).

Aunque la comparación entre los cistos fósiles con los actuales se realizó utilizando métodos de medición diferentes, fue posible atribuirlos a los de *A. persimilis* de las poblaciones actuales de las Salinas Chicas (Buenos Aires) y Salinas Grandes de Hidalgo, Colorada Chica y Challaqueo (La Pampa) (Tabla 1), que es la única especie que se encuentra actualmente en todos los cuerpos salinos próximos a la Laguna Chasicó y al sur de los 35° S. Asimismo, el tamaño de los pellets fecales es menor que los de *A. salina* (Tabla 1). Teniendo en cuenta que los pellets fecales y cistos de *Artemia* sp. constituyen una parte importante de la fracción arena del sedimento, pasarían inadvertidos si la caracterización granulométrica se realizara con un contador de tamaño de partículas por difracción laser. Por tal

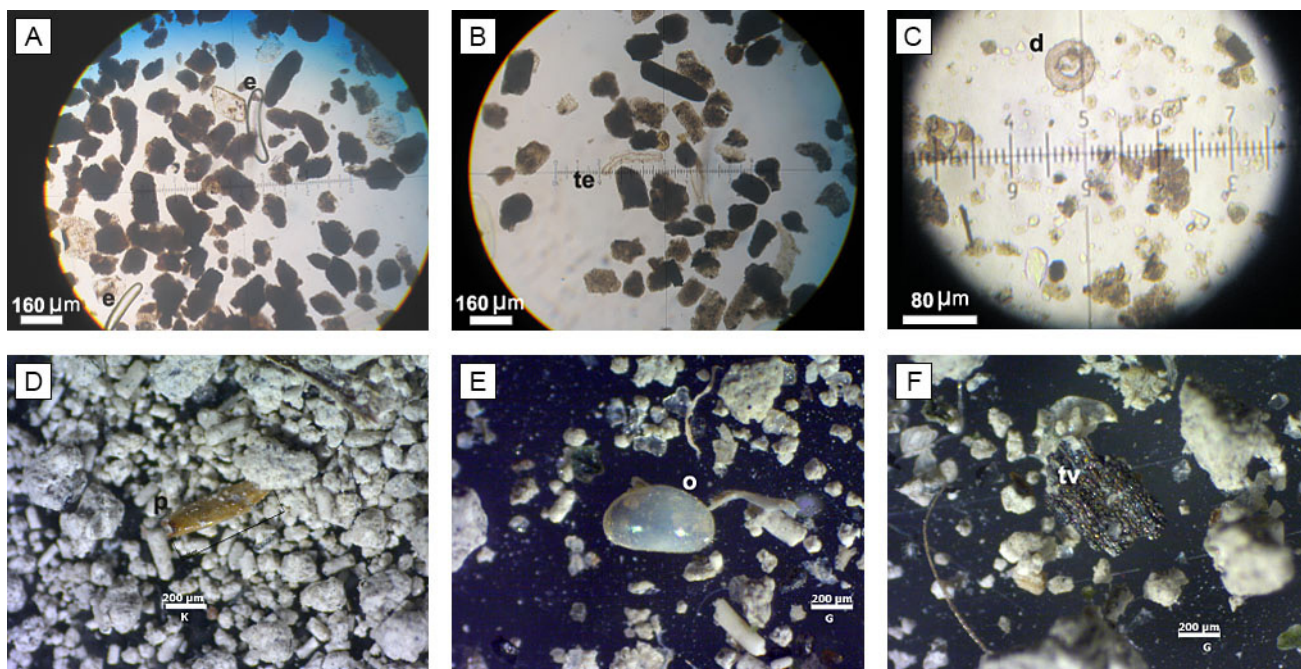


Figura 8. Microfotografía del contenido biológico bajo microscopio petrográfico y binocular. **a)** Espículas de esponjas (e). **b)** Tejido espongiario (te) y cisto deshidratado (c). **c)** Frústulo de diatomea (d). **d)** Resto de pupa de insectos (p) (díptero?). **e)** Ostrácodo (o). **f)** Tejido vegetal (tv).

Figure 8. Microphotograph of biological content under petrographic and binocular microscope. **a)** Siliceous sponge spicules (e). **b)** Spongy tissue (te) and dehydrated cyst (c). **c)** Diatom frustule (d). **d)** ostracode (o). **e)** Remains of pupa (p) of insects (diptera?). **f)** plant tissue (tv).

motivo, se recomienda separar un lote de sedimento de las muestras a analizar para efectuar estudios composicionales-mineralógicos de cada fracción arenosa obtenida previamente por tamizado.

La sucesión sedimentaria (Fig. 2) mostró un predominio de depositación bioquímica y química y muy escaso material terrígeno entre *ca.* 730 AD y 1411 AD (unidades B y C), lo que sugiere que la acumulación se habría producido lejos de las márgenes o zona costera, señalado por la estratificación y el escaso material terrígeno y a profundidades iguales o mayores de 3 m (Last, 1994). El incremento de material terrígeno en algunas muestras y la presencia de láminas en la unidad A (subunidad A1) (entre *ca.* 1411 AD y 1978 AD) también avalarían la depositación de esta unidad en las zonas centrales e indicarían ausencia de corrientes de fondo (Eardley y Gvosdetsky, 1960) y de estacionalidad en la depositación, con intervalos con mayor aporte extracuencial. A partir de *ca.* 1978 AD (unidad H) hay un aumento del aporte extracuencial en coincidencia con los mayores aportes de la cuenca hídrica del Arroyo Chasicó.

La estructura disturbada que predomina en la mayor parte del testigo (Fig. 2) dificultó la interpretación de las condiciones de depositación y en mayor o menor medida las variaciones físico-químicas del cuerpo de agua en diferentes momentos durante la acumulación, debido a la mezcla de los sedimentos. Este disturbio habría alterado la estratificación original debido al crecimiento intrasedimentario de cristales evaporíticos. Sin embargo, la mineralogía de las especies evaporíticas indica la existencia de salmueras ricas en iones cloruros y sulfatos, siendo el catión predominante el sodio, durante la depositación de los sedimentos. En los lagos permanentes, hipersalinos, meromícticos y con profundidades mayores de 3 m, pueden encontrarse cristales de sales poco solubles y solubles (sulfatos y cloruros) en los depósitos de fondo (Last y Slesak, 1986). Estos se originarían a partir de la depositación en el lecho de la laguna de cristales formados en la interface agua-aire o por la formación intrasedimentaria, principalmente a partir de un monimolimnion hipersalino (anóxico) y cuando esta salmuera de fondo alcanza el punto de

saturación de un mineral en particular. Sin embargo, debido a la mezcla mencionada, cuando aparecen conjuntamente halita y thenardita (unidades A y C) no es posible determinar la existencia de co-precipitación o precipitaciones estacionales alternantes y el momento de ocurrencia. Sólo a altas concentraciones salinas de 30-40 g/100 ml y a temperatura mayor de 32°C las sales solubles (halita) y las menos solubles (thenardita) precipitarían juntas (Herrero *et al.*, 2015). Dada las condiciones de temperatura tan extremas necesaria para esta co-precipitación, se propone, como se indica más adelante, que la thenardita está presente como la fase estable de la mirabilita ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10\text{H}_2\text{O}$).

Las diferencias en la mineralogía de las especies evaporíticas asociadas con la presencia de pellets fecales y cistos de *Artemia* sp. en las unidades A, B y C y la ausencia de pellets y cistos en la unidad H permitieron reconocer cuatro estadios diferentes que sugieren cambios netos en el ambiente químico de la laguna para los últimos 1300 años (Fig. 2).

Entre ca. 730 AD y 1233 AD (unidad C) se registró una mayor proporción de pellets fecales y cistos asociados con halita y thenardita. Esta asociación mineralógica reflejaría momentos con salinidades elevadas (hipersalinas extremas) que permitieron la formación de halita e intervalos de menor salinidad (hipersalinas) con depositación de sulfato de sodio. Este último, que aparece bajo la forma de thenardita, estaría presente como fase estable de la mirabilita, que es la especie mineral que precipita antes que los cloruros y a temperaturas inferiores a 20 °C (Warren, 2010) y que, debido a su inestabilidad química, tiene escasa posibilidad de preservación en el registro sedimentario (Herrero *et al.*, 2015).

Entre ca. 1233 AD y 1411 AD (unidad B) la presencia de thenardita libre de otras sales sugiere la formación de mirabilita como sulfato primario, lo que habría ocurrido durante periodos fríos y con una salinidad por debajo del punto de saturación de la halita. La mineralogía de los sulfatos es dependiente de la temperatura durante la concentración de la salmuera, siendo la thenardita el sulfato de aguas cálidas (> 35°C) y la mirabilita de aguas más frías (Herrero *et al.*, 2015). Los depósitos con thenardita, como único mineral evaporítico, evidenciarían que durante o con posterioridad a su depositación, habrían ocurrido condiciones de menor salinidad que en la unidad C, lo que impidió la precipitación de cloruros. Coincidentemente se observa una menor

representación de cistos de *Artemia* sp.

Entre ca. 1411 AD y 1978 AD (unidad A) la secuencia presenta sectores laminados y abundantes pellets de *Artemia* sp. y estratificación muy delgada a delgada (subunidad A1, Fig. 2). La presencia de halita sugiere un incremento importante de la salinidad en todo el lapso, lo que habría permitido que el sulfato se encontrara en solución, o bien que su depositación ocurriera por enfriamiento durante los inviernos, bajo la forma de mirabilita sólo en las áreas costeras, como sucede actualmente en varias lagunas salinas similares a la Laguna Chasicó (Biglia *et al.*, 2013 y bibliografía allí citada). De acuerdo con los datos históricos disponibles, en 1929 AD la laguna carecía de ictiofauna y el agua era lo suficientemente salada y densa para permitir que las personas flotaran verticalmente (Correa Viale, 1983). A mediados de la década de 1940 AD la laguna tenía un área de 34 km² y una salinidad media de 145 gr/L, con la depositación de sulfato casi libre de otras sales (Cordini, 1950; Angelelli *et al.*, 1972). Para 1963 AD la laguna alcanzó un área de 31 km², con una salinidad de 100 g/L (Kopprio *et al.*, 2015). Entre 1968 AD y 1973 AD las aguas se mantuvieron hipersalinas, sin ictiofauna (Gómez *et al.*, 2007), y la laguna continuó siendo utilizada para baños recreativos y terapéuticos (Zinger, 2000).

Entre ca. 1978 AD y 2010 AD (unidad H), los pellets y cistos de *Artemia* sp. están ausentes del registro y la halita es el único mineral evaporítico. Esta aparente contradicción se explicaría por la formación de una salmuera intersticial y una precipitación intrasedimentaria del cloruro, bajo las condiciones actuales de salinidad en lugar de la que correspondería a la depositación de los fangos de esta unidad. La ausencia de *Artemia* sp. podría relacionarse con una reducción de la salinidad a 20 g/L en 1983 AD debido al incremento de las precipitaciones a partir de 1978 AD, explicado por el cambio hidroclimático asociado con la dinámica del Sistema Monzónico de América del Sur (Piovano *et al.*, 2009). Estas causaron un aumento del nivel del agua, el consecuente aumento de la profundidad de la laguna, que alcanzó los 16 m (Kopprio *et al.*, 2014), y mayores aportes del Arroyo Chasicó. La disminución de la salinidad continuó hasta 2004 AD y a partir de allí varió entre 18,9 g/L (2004 AD) y 33 g/L (2011 AD) (Berasain *et al.*, 2014). Esta disminución pudo crear condiciones ambientales desfavorables para la reproducción y proliferación

de *Artemia* sp. ya que *A. persimilis* no tiene una buena supervivencia a salinidades menores de 30 g/L (Medina *et al.* 2007). Además, otra razón para la desaparición de *Artemia* sp. durante este tiempo, estaría relacionada con la aparición de predadores, como el pejerrey (*Odontesthes bonariensis*), que ingresó a la laguna desde la Laguna Los Chilenos vía el Arroyo Chasicó con posterioridad a 1978 AD (Tsuzuki *et al.*, 2000; Kopprio *et al.*, 2010). Ese cambio en la salinidad permitió, además, la posterior siembra de especímenes a principios de la década de 2000 (E. Sagasta, comunicación personal, 2020) para fomentar la pesca comercial y turística. *Artemia* sp. es muy sensible a la depredación y es eliminada rápidamente en presencia de peces (Cohen, 1995).

La notoria presencia de dolomita de baja cristalinidad o dolomita desordenada o proto-dolomita (Qiu *et al.*, 2019 y bibliografía allí citada) reconocida por el significativo cambio en la posición de su máxima reflexión, requiere de una breve discusión, aunque está fuera de los objetivos del trabajo. La ocurrencia de dolomita autigénica en ambientes lacustres está escasamente documentada y se registra mayormente en los lagos salinos a hipersalinos (Last, 1990). Los interrogantes que genera la formación autigénica de este carbonato a bajas temperaturas y en ambientes actuales o muy recientes, continúa siendo motivo de importantes debates científicos y se ha dado en llamar “el problema de la dolomita” (Last, 1990 y bibliografía allí citada). Para que ocurra la nucleación de la dolomita de baja temperatura, según el ambiente sedimentario de precipitación, se ha propuesto la acción de diversos microorganismos mediadores; entre los más destacados se encuentran: (1) bacterias aerófilas y sus polímeros extracelulares (EPS) de matas microbianas en ambientes supratidales (e.g. Dupraz *et al.*, 2009; Sánchez-Román *et al.*, 2009; Cuadrado y Blasi, 2017), (2) bacterias sulfuroductoras (SRB) (e.g. Vasconcelos *et al.* 1995) y (3) bacterias metanógenas y arqueas, aunque sólo para la formación de algunas dolomitas (e.g. Kenward *et al.*, 2009).

La formación de la dolomita desordenada en la Laguna Chasicó se relacionaría con la zona profunda anóxica, en un ambiente alcalino, hipersalino a mesohalino. Bajo estas condiciones es probable que se hayan desarrollado comunidades de microorganismos como hongos, bacterias y arqueas. Diferentes reacciones del metabolismo microbiano (respiración, fermentación, etc.) habrían mediado

en la formación de la dolomita y/o proto-dolomita. Se ha comprobado en un ensayo de laboratorio la precipitación de “dolomita metanógena” a partir de un consorcio de microorganismos (bacterias disimiladoras reductoras del hierro (DIRB), fermentadoras y metanógenas) y donde las arqueas metanogénicas han tenido un rol destacado en su formación (Kenward, *et al.*, 2009). Más recientemente, Qiu *et al.* (2019) comprobaron la formación de proto-dolomita con la intervención de microorganismos tolerantes a elevadas salinidades como haloarqueas (*Natrinema* sp) y frente a diferentes concentraciones de sulfato y salinidades. Es claro que la formación de la dolomita desordenada y/o proto-dolomita en la Laguna Chasicó requiere de estudios específicos para explicar la presencia de este carbonato en los registros sedimentarios de la laguna, que serán contemplados en futuros trabajos.

CONCLUSIONES

Las variaciones en las proporciones de los pellets fecales y cistos de *Artemia* sp. entre ca. 730 AD y 1978 AD señalarían fluctuaciones en la productividad de la laguna en términos de abundancia de este crustáceo. Por otra parte, su presencia sugiere que las condiciones de salinidad y temperatura del agua, así como la disponibilidad de alimento fueron propicios para el desarrollo de esta población en la Laguna Chasicó. La gran abundancia de pellets fecales y cistos de *Artemia* sp. indicarían que los predadores estuvieron ausentes durante ese período. El registro de estos restos asociados con la halita y la thenardita permitieron estimar que la depositación entre ca. 730 AD y 1978 AD ocurrió bajo condiciones que fluctuaron entre mesohalinas a hipersalinas extremas. La correlación con otras secuencias lagunares de la región pampeana, como la Laguna Mar Chiquita para este intervalo temporal (Cuña Rodríguez *et al.*, 2018) solo permitió señalar que ocurrió variabilidad en la salinidad de ambos cuerpos lagunares pero no se puede establecer una sincronía, porque los modelos edad-profundidad no están ajustados y la dinámica interna de cada laguna dificulta las interpretaciones con mayor definición. La desaparición de cistos y pellets fecales con posterioridad a ca. 1978 AD, indicaría la ausencia de *Artemia* sp. en la laguna, debido a la disminución de la salinidad y el ingreso de predadores (especialmente peces) en condiciones hipohalinas. Asimismo, la presencia y/o ausencia

de pellets fecales y cistos de *Artemia* sp. mostró una correlación positiva con el aumento y/o disminución de la salinidad en la laguna, respectivamente y serían buenos indicadores de estas condiciones. Durante los últimos 1300 años la química del agua de la Laguna Chasicó tuvo una dominancia iónica de $\text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-} - \text{Na}^+$ y se registraron cambios netos de la salinidad durante este período. La precipitación de las sales habría ocurrido por evaporación y enfriamiento como fue sugerido por Cordini (1950). Las inferencias para el siglo XX están apoyadas en los datos históricos e instrumentales de la Laguna Chasicó.

Teniendo en cuenta que el tamaño de los cistos es una característica biométrica de las especies de *Artemia* sp., se utilizó esa medida para asignar a los cistos fósiles a *A. persimilis*, aunque son necesarias determinaciones específicas para corroborar esta asignación. La presencia de esta especie nativa con anterioridad a ca. 1978 AD, y su posterior ausencia sugiere razones ecológicas, como disminución de la salinidad y la aparición de predadores, relacionadas con los efectos del cambio climático ocurrido a partir de mediados de la década de 1970. Además, plantea cuestiones sobre la actual distribución biogeográfica de *Artemia* sp. en la Argentina en relación con esos cambios.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el FONCyT (PICT 950/14) y la Universidad Nacional de Mar del Plata (15/E870). Agradecemos a E.A. Gómez por la obtención del testigo sedimentario durante las tareas de campo que realizamos en 2010 financiadas parcialmente por el FONCyT (PICT 2007/Raíces 109) a E.A.G y el CONICET (PIP 1265) a A.R.P. A. E. Sagasta por la información sobre la fecha del inicio del sembrado de pejerreyes en la laguna. A M. del Blanco y J.I. Escavy por sus comentarios. A R.G. Cohen, D. Ariztegui y un revisor anónimo por sus comentarios y sugerencias que mejoraron la primera versión del trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aliaga, V.S., F. Ferrelli, V.Y. Bohn y M.C. Piccolo, 2016. Utilización de imágenes satelitales para comprender la dinámica lagunar en la Región Pampeana. *Revista de teledetección*. Asociación Española de Teledetección 46: 133-146.
- Amat, F., R. G. Cohen, F. Hontoria y J. C. Navarro, 2004. Further evidence and characterization of *Artemia franciscana* (Kellogg, 1906) populations in Argentina. *Journal of Biogeography* 31: 1735-1749.
- Angelelli, V., J. Villa y J.M. Suriano, 1972. Área del polo de desarrollo de Bahía Blanca. Recursos minerales y rocas de aplicación. Anales LEMIT, Serie II (2): 48 pp.
- Asem, A., N. Rastegar-Pouyani y P. De Los Ríos-Escalante, 2010. The genus *Artemia* Leach, 1819 (Crustacea: Branchiopoda). I. True and false taxonomical descriptions. *Latin American Journal of Aquatic Research* 38 (3): 501-506.
- Asem, A. y S. Sun, 2014. SEM Study of diversity in the cyst surface topography of nine parthenogenetic *Artemia* (Crustacea: Anostraca) populations from China. *Microscopy Research and Technique* 77: 1005-1014.
- Berasain, G.E., D.C. Colautti, M. Remes Lenicov, F. Argemi, V.Y. Bohn y L.A. Miranda, 2014. Impact of water salinity on *Odontesthes bonariensis* (Actinopterygii, Atherinopsidae) fisheries in Chasicó Lake (Argentina). *Hydrobiologia* 752 (1): 167-174.
- Biglia, H.O., F. Colombo, E. Piovano y F. Córdoba, 2013. Thenardita y mirabilita en precipitados químicos litorales de la Laguna Mar Chiquita, Córdoba (Argentina). En: A. Conte Grand, B. Castro de Machuca y E. Meissl (compiladoras). *Avances en mineralogía, metalogía y petrología*: 15-18.
- Cuña Rodríguez, C.C., E.L. Piovano, F. Gracia-Rodríguez y D. Ariztegui, 2018. Variabilidad hidroclimática en latitudes medias del sudeste de Sudamérica desde el Último Máximo Glaciar hasta el período cálido actual. *7º Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfológico*, Actas: 84-85. Puerto Madryn.
- Bonorino, A.G., 1991. Evaluación de la recarga de las aguas subterráneas en el área de la vertiente occidental de las Sierras Australes. *Revista Asociación Geológica Argentina* 46 (1-2): 93-102.
- Burgos, J.J. y A.L. Vidal, 1951. Los climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thornwaite. *Meteoros* 1: 1-32.
- Castro Mejía, J., T. Castro Barrera, J.L. Arredondo Figueroa, L.H. Hernández Hernández, G. Castro Mejía, R. De Lara Andrade y M. Dosta Monroy, 2009. La salinidad y su efecto en la reproducción del crustáceo *Artemia* sp. *Contactos* 73: 5-15.
- Cohen, R.G., 1995. Crustacea Anostraca. En E.C. Lopretto y G. Tell (Eds.), *Ecosistemas de aguas continentales. Metodologías de estudio*, T II. Ediciones Sur, La Plata, República Argentina. 871-895 pp.
- Cohen, R.G., 2012. Review of the biogeography of *Artemia* Leach, 1819 (Crustacea: Anostraca) in Argentina. *International Journal of Artemia Biology* 2(1): 9-23.
- Cohen, R., F. Amat, F. Honoria y J.C. Navarro, 1999. Preliminary characterization of some Argentinean *Artemia* sp. populations from La Pampa and Buenos Aires provinces. *International Journal of Salt Lake Research* 8: 329-340.
- Cordini, R., 1950. Contribución a los cuerpos salinos de Argentina: Colorada Grande, Choiqué, cuerpos salinos de la Fosa de Utracán - Acha, salitral y salina de Pocitos, Salinas Chicas y Chasicó. Dirección General de Industria Minera. Anales III, 321 pp.
- Córdoba, F.E., L. Guerra, C. Cuña Rodríguez, F. Sylvestre y E.L. Piovano, 2014. Una visión paleolimnológica de la variabilidad hidroclimática reciente en el centro de Argentina: desde la Pequeña Edad de Hielo al siglo XXI. *Latin American Journal of*

Sedimentology and Basin Analysis, 21 (2): 139-163.

- Correa Sandoval, F.** y **L.F. Bückle Ramírez**, 1993. Morfología y biometría de cinco poblaciones de *Artemia franciscana* (Anostraca: Artemiidae). *Revista Biología Tropical*, 41: 103-110
- Correa Viale, M.C.**, 1983. La cima del médano. Ediciones Centro Cultural Corregidor, Buenos Aires, 271 pp.
- Cuadrado, D.G.** y **A.M. Blasi**, 2017. Reconocimiento de actividad microbiana en ambientes silicoclásticos actuales y en paleoambientes. estudio comparativo para el establecimiento de análogos. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, 24 (2): 39-73.
- Djamali, M., P. Ponei, T. Delille, A. Thiéry, A. Asem, V.A. Ponei, J. de Beaulieu, H. Lahijani, M. Shah-Hosseini, A. Amini y L. Stevens**, 2010. A 200,000-year record of the brine shrimp *Artemia* sp. (Crustacea: Anostraca) remains in Lake Urmia, NW Iran. *International Journal of Aquatic Science* 1(1): 14-18.
- Dupraz, C., R. Pamela Reid, O. Braissant, A. Decho, R. Norman y P. Visscher**, 2009. Processes of carbonate precipitation in modern microbial mats. *Earth-Science Reviews*, 96: 141-162.
- Eardley, A.J.**, 1938. Sediments of Great Salt Lake. *American Association Petroleum Geologists Bulletin* 22: 1305-1411.
- Eardley J.** y **V. Gvodsitsky**, 1960. Analysis of Pleistocene core from Great Salt Lake, Utah. *Geological Society of America Bulletin* 71: 1323-1344.
- Frazer, H., A.R. Prieto y J.C. Carbonella**, 2020. Modern pollen source and spatial distribution from surface lake sediments in the southwestern Pampa grasslands, Argentina: implications to interpret Holocene pollen records. *Review of Palaeobotany and Palynology* 277, doi.org/10.1016/j.revpalbo.2020.104207
- Gómez, S.E., R. C. Menni, J. Gonzalez Naya y L. Ramírez**, 2007. The physical-chemical habitat of the Buenos Aires pejerrey, *Odontesthes bonariensis* (Teleostei, Atherinopsidae), with a proposal of a water quality index. *Environmental Biological Fishing* 78: 161-171.
- Guerra, L., E. Piovano, F. Córdoba, F. Sylvestre y S. Damatto**, 2015. Hydrological and environmental evolution of the shallow Lake Melincué, central Argentinean Pampas along the last millennium. *Advances in Paleohydrology Research and Applications. Journal of Hydrology*. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2015.01.002.
- Guerra, L., E.L. Piovano, F.E. Córdoba, K. Tachikawa, F. Rostek, M. García, E. Bard y F. Sylvestre**, 2017. Climate change evidences from the end of the Little Ice Age to the Current Warm Period registered by Melincue Lake (Northern Pampas, Argentina). *Quaternary International* 438: 160-174.
- Herrero, M.J., J.I. Escavy y B.C. Schreiber**, 2015. Thenardite after mirabilite deposits as a cool climate indicator in the geological record: lower Miocene of central Spain. *Climate of the Past* 11: 1-13.
- Kelts, K.** y **M. Shahrabi**, 1986. Holocene sedimentology of hypersaline Lake Urmia, northwestern Iran. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 54: 105-130.
- Kenward, P.A., Goldstein, R.H., González, L.A. y J.A. Roberts**, 2009. Precipitation of low-temperature dolomite from an anaerobic microbial consortium: The role of methanogenic Archaea. *Geobiology* 7(5): 556-65.
- Kopprio, G.A., R.H. Freije, C.A. Strüssmann, G. Kattner, M.S. Hoffmeyer, C.A. Popovich y R. Lara**, 2010. Vulnerability of pejerrey *Odontesthes bonariensis* populations to climate change in pampean lakes of Argentina. *Journal of Fish Biology* 77: 1856-1866.
- Kopprio, G.A., R.J., Lara, A. Martínez, A. Fricke, M. Graeve y G. Kattner**, 2015. Stable isotope and fatty acid markers in plankton assemblages of a saline lake: seasonal trends and future scenario. *Journal of Plankton Research*, 37: 584-595.
- Last, W.M.**, 1990. Lacustrine dolomite—an overview of modern, Holocene and Pleistocene occurrences. *Earth Science Reviews*, 27: 221-263.
- Last, W.M.**, 1994. Deep-water evaporite mineral formation in lakes of western Canada. En: R.W. Renault, Last W.M. (Eds.), *Sedimentology and Geochemistry of Modern and Ancient saline lakes*. Society for Sedimentary Geology, Tulsa, pp. 51-59.
- Last, W. y L. Slesak**, 1986. Paleohydrology, sedimentology, and geochemistry of two meromictic saline lakes in Southern Saskatchewan. *Géographie physique et Quaternaire* 401: 5-15.
- Lenormand, T., O. Nougé, R. Jabbour-Zahab, F. Arnaud, L. Dezileau, L.M. Chevin y M. I. Sánchez**, 2018. Resurrection ecology in *Artemia*. *Evolutionary Applications* 11 (1): 76-87.
- Manaffar R., S. Zare, N. Agh, A. Siyabgodsí, S. Soltanian, F. Mees, P. Sorgeloos, P. Bossier y G. Van Stappen**, 2011. Sediment cores from Lake Urmia (Iran) suggest the inhabitation by parthenogenetic *Artemia* around 5,000 years ago. *Hydrobiologia* 671(1):65-74
- Martens, P.**, 1978. Faecal pellets. *Fich. Ident. Zooplancton* 162: 1-4.
- Medina, G.R., J. Goenaga, F. Hontoria, G. Cohen y F. Amat**, 2007. Effects of temperature and salinity on pre reproductive life span and reproductive traits of two species of *Artemia* (Branchiopoda, Anostraca) from Argentina: *Artemia franciscana* and *A. persimilis*. *Hydrobiologia* 579:41-53.
- Piovano, E., D. Ariztegui, F. Córdoba, M. Cioccale y F. Sylvestre**, 2009. Hydrological variability in South America below the Tropic of Capricorn (Pampas and eastern Patagonia, Argentina) during the last 13.0 ka. En F. Vimeux, F. Sylvestre y M. Khodri (Eds.). *Past climate variability from the Last Glacial Maximum to the Holocene in South America and Surrounding regions: From the Last Glacial Maximum to the Holocene*. Springer- Developments in Paleoenvironmental Research Series: 323-351.
- Portaluppi, L.**, 2015. *Artemia salina*. Una empresa pendiente en Argentina, 201 pp. Copyright 2016. www.criarpeces.com.ar.
- Qiu, X, Y. Yao, H. Wang, A. Shen y Zhang, J.**, 2019. Halophilic archaea mediate the formation of proto-dolomite in solutions with various sulfate concentrations and salinities. *Frontiers in Microbiology*, 10 (480): 1-10.
- Regnet, J.B., P. Robion, C. David, J. Fortin, B. Brigaud y B. Yven**, 2015. Acoustic and reservoir properties of microporous carbonate rocks: Implication of micrite particle size and morphology. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 120: 790-811.
- Royan, J.**, 2015. Production and preservation of *Artemia* sp. En: P. Santhanam, A.R. Thirunavukkarasu y P. Perumal (eds). Chapter 3 *Advances in Marine and Brackish water Aquaculture*: 25-32.
- Ruiz, O.**, 2008. Caracterización de diversas poblaciones de *Artemia* desde el punto de vista de su composición en ácidos grasos y de sus patrones moleculares. Universitat de Valencia Servei de Publicacions, 232 pp.
- Ruiz, O., G.R. Medina, R.G. Cohen, F. Amat y J.C. Navarro**, 2007. Diversity of the fatty acid composition of *Artemia* sp. cysts from Argentinean populations. *Marine Ecology Progress Series* 335: 155-165.
- Ruiz, O., F. Amat, C. Saavedra, A. Papeschi, R.G. Cohen, A.D. Baxevanis, I. Kappas, T.J. Abatzopoulos y J.C. Navarro**, 2008.

- Genetic characterization of Argentinean *Artemia* species with different fatty acid profiles. *Hydrobiologia* 610 (1): 223-234.
- Sánchez-Román, M., C. Vasconcellos, R. Warthmann, M. Rivadeneyra y J. McKenzie**, 2009. Microbial dolomite precipitation under aerobic conditions: Results from Brejo do Espinho Lagoon (Brazil) and culture experiments. *International Association of Sedimentology*, 41: 167-178.
- Schnurrenberger, D., J. Russell y K. Kelts**, 2013. Classification of lacustrine sediments based on sedimentary components. *Journal of Paleolimnology* 29: 141-154.
- Siniscalchi, A.G., G. Kopprio, L.A. Raniolo, E.A. Gómez, M.S. Diaza y R.J. Lara**, 2018. Mathematical modelling for ecohydrological management of an endangered endorheic salt lake in the semiarid Pampean region, Argentina. *Journal of Hydrology* 563: 778-789.
- Sivagnanam, S., V. Krishnakumar y N. Munuswamy**, 2013. Morphology and ultrastructure of cysts in different species of the brine shrimp, *Artemia* from Southern India. *International Journal of Aquatic Biology* 1: 266-272.
- Torres, N.**, 2009. Evaluación de la calidad del agua de los recursos hídricos superficiales de la cuenca del arroyo Chasicó; Sudoeste bonaerense Seminario de Procesos Fundamentales Físico-Químicos y Microbiológicos. Especialización y Maestría en Medio Ambiente Laboratorio de Química FR. – U.T.N. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional, Bahía Blanca, 18 pp.
- Tsuzuki, M.Y., H. Aikawa, C.A. Strussmann y F. Takashima**, 2000. Comparative survival and growth of embryos, larvae, and juveniles of pejerrey *Odontesthes bonariensis* and *O. hatcheri* at different salinities. *Journal of Applied Ichthyology* 16: 126-130.
- Van Stappen, G.**, 2011. Sediment cores from Lake Urmia (Iran) suggest the inhabitation by parthenogenetic *Artemia* sp. around 5,000 years ago. *Hydrobiologia*: 671: 65-74.
- Van Stappen, G.**, 1996. Manual on the production and use of live food for aquaculture, FAO fish. Tech. Pap., vol. 361, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, pp. 107-136.
- Vanhaecke, P., W Tackaert y P. Sorgeloos**, 1987. The biogeography of *Artemia*: an updated review. En: P.Sorgeloos, D.A. Bengtson, W. Decler y E. Jaspers (Eds.). *Artemia research and its applications*, Universa Press, Wetteren, Bélgica, 1: 129-155.
- Vich, H., M. Antelo y R. Hurtado**, 2010. Clasificación climática de Thornwaite para la región oriental de la República Argentina. *XIII Reunión Argentina y VI Latinoamericana de Agrometeorología* Actas: 563 pp., Bahía Blanca.
- Vasconcelos, J.A., C. McKenzie, S. Bernasconi, D. Grujic y A.J. Tien**, 1995. Microbial mediation as a possible mechanism for natural dolomite formation at low temperatures. *Nature*, 377: 220-222.
- Volpedo, A. y A. Fernández Cirelli**, 2013. El Lago Chasicó: similitudes y diferencias con las lagunas pampásicas. *Aguas AUGMDOMUS*, Número especial 5(1): 1-18.
- Warren, J.K.**, 2010. Evaporites through time: Tectonic, climatic and eustatic controls in marine and nonmarine deposits. *Earth-Science Reviews* 98: 217-268.
- Zinger, S.**, 2000. Relación Sociedad-naturaleza en ecosistemas de clima templado semiárido. Caso: Laguna Chasicó. Provincia de Buenos Aires. Tesis de Magíster en Gestión Ambiental del Desarrollo Urbano, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Universidad Nacional de Mar del Plata, 171 pp. (inédito).
- Zinger, A.S., O.M. Del Pozo y M.M. Campos**, 1998. Reactivación de ecosistemas lagunares alterados a través de la actividad turística. El caso de la laguna Chasicó. Provincia de Buenos Aires. Argentina. En: F. Torrego Serrano (Ed.), Ponencias presentadas al Simposio G8 *Las actividades turísticas y el espacio geográfico*: 99-112.