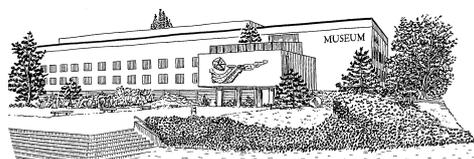


R E V U E D E PALÉOBIOLOGIE

ISSN 1661-5468

VOL. SPÉC - N° 11, 2012



Muséum d'Histoire Naturelle • Ville de Genève • Suisse

Icnitas de aves en depósitos de boratos y su contribución a la reconstrucción paleoambiental

Ricardo N. ALONSO¹

Resumen

Se dan a conocer icnitas de aves presentes en depósitos neógenos de boratos en cuencas sedimentarias lacustres de Argentina y Estados Unidos. Se describe el material depositado por el autor en la sección Paleontología de la Universidad Nacional de Salta (Argentina), proveniente de la Fm. Sijes, cuenca de Pastos Grandes (Puna salteña). En base a la morfología de las icnitas se propone que fueron realizadas por representantes de los órdenes Phoenicopteriformes (Phoenicopteridae), Anseriformes (Anatidae), Ardeiformes y Charadriiformes (Charadriidae y Recurvirostridae). Las icnitas descritas como *Icnoave* isp. 1 a 7 son similares a aquellas de los géneros *Phoenicoparrus*, *Anas*, *Charadrius*, *Pluvialis*, *Vanellus* e *Himantopus*. Los aspectos sedimentológicos y paleontológicos de la Fm. Sijes permiten inferir cuerpos de agua salobre, temporarios, en un clima semiárido, con volcanismo sincrónico regional y aporte de soluciones termales, a partir de las cuales se precipitaban yeso y boratos (colemanita, hidroboracita, inyoita y ulexita). Las evaporitas indican desecamiento de los cuerpos de agua donde se desarrollaba la avifauna que dejó impresas sus huellas, principalmente en las playas y líneas de costa. Las cenizas volcánicas intercaladas con los estratos portadores de las icnitas fueron datadas entre 5 y 7 Ma. Huellas de aves se encontraron también en depósitos de boratos de Estados Unidos. Boron (California), contiene icnitas similares a aquellas de Phoenicopteriformes, Anseriformes y Podicipediformes; mientras que Anniversary, un depósito de colemanita en Nevada contiene representantes afines a Phoenicopteriformes y Anseriformes, asociadas con travertinos de paleofuentes termales. El análisis de las icnitas brinda valiosa información paleobiológica, plaeoclimática, paleoambiental y paleoecológica y ayuda como una herramienta metalogénica útil en la prospección de cuerpos ocultos de boratos.

Palabras clave

Icnitas, aves, Mioceno, boratos, Puna.

Abstract

Bird footprints in borate deposits and their contribution to environment reconstruction.- Bird tracks from Miocene borate deposits of Argentina are studied. Bird footprints from the Sijes Formation in the Pastos Grandes basin, Puna region (Salta, Argentina) were previously mentioned, but not studied. Material in the collections of the School of Geology (University of Salta) was analyzed and the likely producers are proposed, being referred to the orders Phoenicopteriformes (Phoenicopteridae), Anseriformes (Anatidae), Ardeiformes and Charadriiformes (Charadriidae and Recurvirostridae). The fossil footprints, described here as *Icnoave* isp. 1 to 7, are similar to those of the genera *Phoenicoparrus*, *Anas*, *Charadrius*, *Pluvialis*, *Vanellus* and *Himantopus*. According to the paleontological material studied, the environment at the time of deposition of the Sijes Formation involved brackish lagoons in a semiarid climate, with a semi-permanent lake body. The presence of interbedded volcanic ash points to a synchronous volcanism, and layers of gypsum and borate (colemanite, hydroboracite, inyoite and ulexite), among which the fossils bird tracks occur, indicate that the lake had high evaporation rates and solute precipitation. Birds generating the footprints, which are 5 to 7 million years old according to radiometric dates available, inhabited the lake shores in a specific biotope. Bird tracks also occur in borate deposits of the United States: Boron, a borax deposit in California, contains ichnites similar to those of Phoenicopteriformes, Anseriformes and Podicipediformes; and Anniversary, a colemanite deposit in Nevada, contains footprints similar to those of Phoenicopteriformes and Anseriformes, together with travertine from fossil thermal springs. The analysis of bird footprints provides paleobiological, paleoclimatic, paleoenvironmental and paleoecological indications, is also helpful to interpret exploration models of hidden borate bodies, and is a useful metallogenic tool as well.

Keywords

Footprints, bird tracks, Miocene, borate deposits, Puna.

INTRODUCCIÓN

Los fósiles en unos casos, y las trazas fósiles en otros, han sido utilizados circunstancialmente en el estudio de los yacimientos minerales, ya sea en la

determinación de edades o bien en la interpretación de los ambientes sedimentarios. Por ejemplo, la edad del metalotecto de mina Aguilar (Pb-Ag-Zn), en Jujuy (Argentina) fue determinada originalmente en base al hallazgo de graptolitos (ALONSO *et al.*, 1982). Dado

¹ UNSa-CONICET, Escuela de Geología, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta, Avda. Bolivia 5500, 4400-Salta, R. Argentina. E-mail: rnalonso@sinectis.com.ar

que se trataba de secuencias sedimentarias marinas, del Ordovícico inferior, portadoras de mineralización de sulfuros metálicos estratoligados del tipo SEDEX, la determinación taxonómica de los graptolitos fue esencial en la posterior exploración de nuevas mineralizaciones a lo largo de la sierra de Aguilar (ALONSO, 1985a).

Otro ejemplo de interés son las icnitas de dinosaurios maastrichtianos asociadas con yacimientos de uranio (vanadio) en el Valle del Tonco (Salta) (ALONSO, 1986). Las icnitas de dinosaurios fueron plasmadas en playas cercanas a cuerpos de agua estancada y ricos en materia orgánica donde se precipitó el ión uranilo dando lugar a distintas mineralizaciones nucleares. Tanto la mina Don Otto como el yacimiento Los Berthos contienen además una abundante presencia de huellas de dinosaurios carnívoros y herbívoros, así como también icnitas de aves enantiornithes (ALONSO & MARQUILLAS, 1986; ALONSO, 1989).

Huellas de aves han sido descriptas para distintos ambientes cenozoicos (e.g. COVACEVICH & RICH, 1977; ALONSO *et al.*, 1980; SCRIVNER & BOTTJER, 1986; KRAPOVICKAS *et al.*, 2009). La relación existente entre icnitas de aves y depósitos de boratos neógenos ha sido señalada por ALONSO (1985a, b, 1986, 1987) y MUSSI (1997). El interés por las icnitas y las trazas fósiles

como herramientas en la prospección o interpretación de yacimientos minerales llevó a que en 1989, durante las sesiones del XXVIII Congreso Geológico Internacional celebrado en Washington D.C., William A. S. SARJEANT, David MOSSMAN y el suscripto formáramos EGWAIS (Economic Geologists who are Ichnologists Society). La idea que nos motorizaba era precisamente sumar a los paleoicnólogos que, además, trabajaban en distintos campos de la geología económica, para buscar una utilidad aplicada al estudio de las trazas e icnitas fósiles. La organización tuvo una vida corta y efímera ya que se limitó al intercambio de información entre unos pocos autores. En 2002, falleció W.A.S. SARJEANT, quien fuera uno de los grandes geólogos de la segunda mitad del siglo XX. Independientemente de los resultados, la investigación de la relación entre un campo de la paleontología como es el de la paleoicnología y el de la metalogénesis *s.l.* y la génesis de yacimientos, puede ser de interés en su desarrollo futuro. El presente aporte, como homenaje a un gran maestro de la paleontología argentina como es el Dr. Alberto RICCARDI, va en ese sentido.

Antecedentes

La temática de aves fósiles ha sido poco desarrollada en nuestro país, si exceptuamos las valiosas

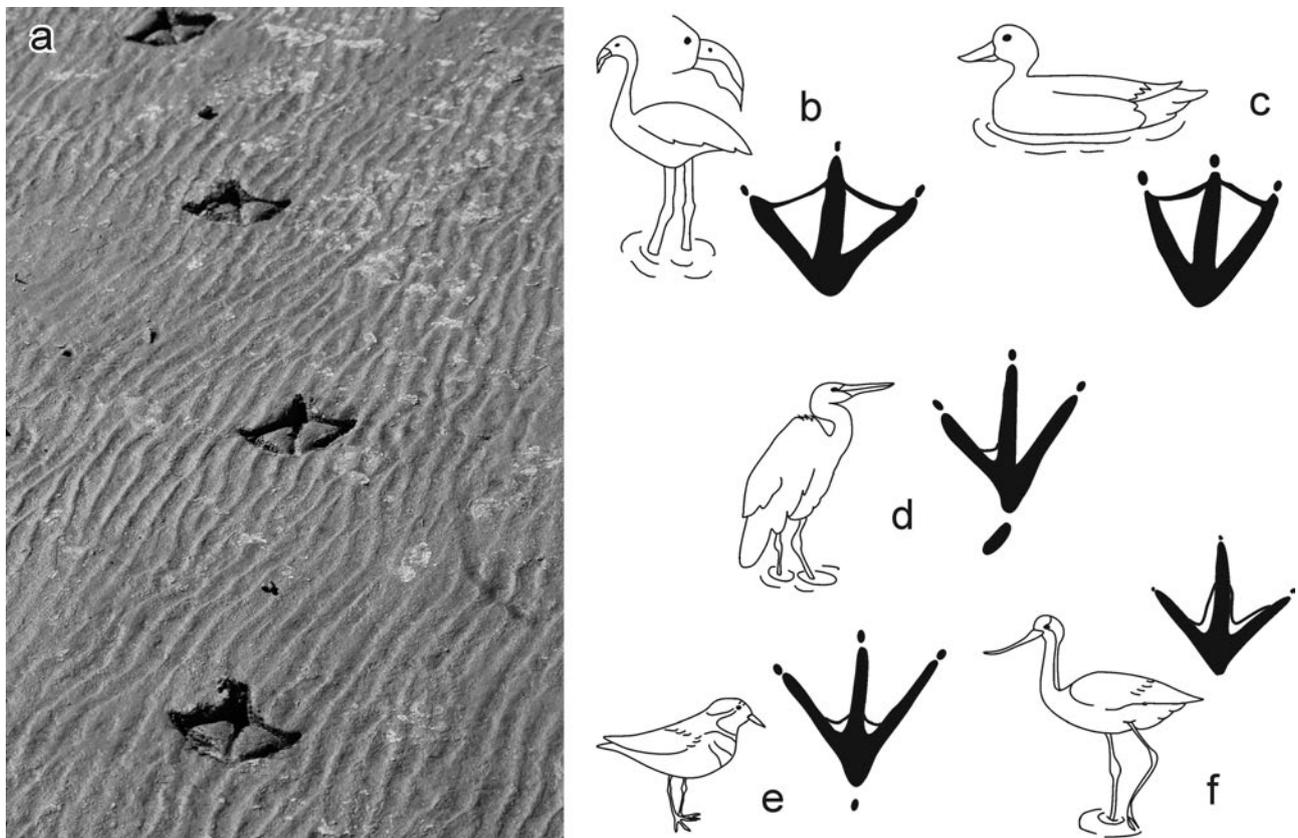


Fig. 1: a, Icnitas de aves en Laguna Toro. b-f, Esquema de las icnitas características de algunas familias de aves discutidas en el texto, b: Phoenicopteridae; c: Anatidae; d: Ardeidae; e: Charadriidae; f: Recurvirostridae.

contribuciones de E. TONNI y C. TAMBUSI. Algunas de las investigaciones previas corresponden a MORENO & MERCERAT (1891), AMEGHINO (1891, 1895, 1905), KRAGLIEVICH (1931), TONNI (1974, 1977a, b, 1980), CAMPBELL y TONNI (1980), WALKER (1981), TAMBUSI & TONNI (1984), TAMBUSI (1985, 1995), TONNI & TAMBUSI (1986). En cuanto a ícnitas fósiles de aves los trabajos son sumamente escasos pudiendo mencionarse a: BONAPARTE (1965), COVACEVICH & LAMPEREIN (1969), COVACEVICH & RICH (1977), ALONSO *et al.* (1980), ALONSO (1985b, 1987, 1989), ALONSO & MARQUILLAS (1986), SCRIVNER & BOTTJER (1986), ARAMAYO & MANERA DE BIANCO (1987, 1993, 1996), LEONARDI (1987, 1994), LOCKLEY *et al.* (1992), MUSSI (1997), ARAMAYO (1999), ARAMAYO *et al.* (2004), TAUBER *et al.* (2007), KAPROVICKAS *et al.* (2009), entre otros. A través de la morfología de las huellas y del estudio de los rastros y asociaciones con otras ícnitas se puede lograr la posible identificación del organismo que las dejó, la forma de locomoción y un eventual comportamiento en el marco de la paleobiología (Fig. 1). Desde el punto de vista paleoambiental es de gran importancia la composición de los sedimentos y cuál fue el contexto que permitió la preservación de las ícnitas hasta la actualidad (Fig. 2); y finalmente por medio del estudio de áreas icnológicas se

puede inferir la diversidad y abundancia faunística, distribución ambiental y evolución de las poblaciones, cuestiones estudiadas por la paleoecología.

Generalidades sobre los depósitos de boratos

Los depósitos de boratos continentales están limitados a unas pocas provincias metalogénicas cenozoicas alrededor del mundo. Estas son las Provincias Boratíferas de Anatolia, del Tibet, Norteamericana y Centroandina. En estas cuatro regiones se dieron condiciones geológicas concurrentes expresadas en un determinado tipo de volcanismo, cuencas cerradas, clima árido y fuentes termales que permitieron la generación de depósitos de boratos. El tiempo mundial de generación de boratos ocurrió entre el Mioceno inferior y la actualidad. Boratos neógenos y cuaternarios ocurren en las provincias boratíferas norteamericana y sudamericana. La provincia boratífera turca de Anatolia tiene boratos miocenos pero no cuaternarios, mientras que la provincia boratífera del Tibet tiene boratos cuaternarios, pero se desconocen yacimientos del Neógeno. Para que se forme un yacimiento de boratos es necesaria la presencia de una cuenca cerrada que pueda albergar un cuerpo de agua somero, sometido a evaporación, en una región árida con actividad volcánica reciente y fuentes termales

AMBIENTE	SUBAMBIENTE	BIOTOPO		TIPO DE PISADA	ICNITA	LITOLOGIA		CONSERVACIÓN DE LAS ICNITAS	BATIMETRÍA
						ORIGINAL	RESULTANTE		
LAGUNAR SOMERO	TERRESTRE	NO ACUÁTICAS	PÁJAROS Y OTRAS AVES DE VIDA TERRESTRE	TETRADÁCTILAS Y CALLOSAS		ARENA	ARENISCA	 METROS 0 0.25 0.50	
	PLAYA DE INUNDACIÓN					LIMO Y ARENA	LIMOLITA ARENOSA		
	SUBLACUSTRE	SEMIACUÁTICAS	PRINCIPALMENTE CARÁDRIDOS (TEROS, CHORLITOS, ETC.) Y PEQUEÑAS PALMÍPEADAS QUE FRECUENTEN BORDES LAGUNARES	TRIDÁCTILAS Y PALMEADAS CHICAS	LIMO Y ARCILLA	LIMOLITA ARCILLOSA			
	LACUSTRE	ACUÁTICAS	PALMÍPEADAS EN GENERAL (PATOS, FLAMENCOS, GUAYATAS, ETC.) QUE HABITAN CUERPOS DE AGUA PERMANENTES DE POCA PROFUNDIDAD	PALMEADAS MEDIANAS	ARCILLA	ARCILITA			
				PALMEADAS GRANDES	BARROS QUÍMICOS	YESO Y BORATOS			

Fig. 2: Relación entre los tipos de ícnitas de aves y los biotopos de ambiente lagunar somero.

portadoras del elemento boro. Las fallas que limitan las cuencas pueden ser a su vez los canales o estructuras de alimentación de las aguas termales boratíferas al interior de las depresiones. Las cuencas tienen un marco de depósitos clásticos externo y un depocentro evaporítico. Los depósitos clásticos, desde el borde de las serranías hasta el borde de los cuerpos evaporíticos, muestran la siguiente zonación: 1) abanicos aluviales (*alluvial fan*), 2) llanura arenosa (*sand flat*) y 3) llanura fangosa (*mud flat*). La precipitación química de las sales se hace en un determinado orden de solubilidad desde el borde (menos soluble) hacia el centro (más soluble) y comprende carbonatos (calcita, aragonita, trona, natrón), sulfatos (yeso, mirabilita), boratos (ulexita, tincal) y cloruros (halita). Los ambientes evaporíticos son de naturaleza alcalina, con cuerpos de agua someros, efímeros, donde viven una microflora (algas, diatomeas) y microfauna (crustáceos) que sirven de alimento a las aves que medran en las playas inundables y los bordes de los cuerpos lacustres o palustres. Entre ellos son característicos los flamencos que se alimentan filtrando los pequeños crustáceos presentes en las aguas salobres alcalinas y que imprimen sus pisadas en el sedimento fresco en las llanuras fangosas y evaporítica. Esas pisadas se han conservado fósiles como icnitas en depósitos Neógenos de Argentina y Estados Unidos.

Los depósitos de boratos de los Andes Centrales

Los boratos son una sustancia exclusiva de la región considerada. Existen dos tipologías mayores que son los boratos interstratificados en sedimentitas miocenas y los boratos de los salares actuales. Los depósitos miocenos ocurren en la Puna Argentina donde se conocen dos yacimientos de tincal (Tincalayu, Salta; y Loma Blanca, Jujuy); un distrito con numerosos depósitos de hidroboraquita y colemanita (Sijes); y tres manifestaciones (Antofalla en Catamarca; y Cauchari, Lina Lari y Morro Blanco en Jujuy). Los salares con boratos en los Andes Centrales alcanzan a un medio centenar de depósitos con mineralización de ulexita y excepcionalmente tincal. En Perú se cuenta con un único yacimiento (Laguna Salinas, Arequipa), donde además de ulexita ocurre inyoita. En Bolivia se tienen depósitos de ulexita en los salares de Coipasa, Empexa, Uyuni, Chiguana, Pastos Grandes, Capina, Mamacoma, Curuto, Chaviri, Luriques y otros. En Chile, numerosos salares andinos poseen reservas de ulexita. Los depósitos más importantes son los de Surire, Ascotan, Quisquiro y Carcote. En Argentina los principales salares boratíferos son Hombre Muerto, Diablillos, Ratones, Centenario, Cauchari, Olaroz y Salinas Grandes. Los boratos son sales solubles fácilmente meteorizables y desaparecen de la superficie. Eventualmente un residuo de ulexita, el más estable y ampliamente distribuido de las especies de boratos, puede denunciar la proximidad de un cuerpo profundo. Los depósitos neógenos aparecen adosados a fallas o bien están soterrados por aluviones

o materiales volcánicos (ignimbritas, coladas, tobas). La extensión de esas rocas en los Andes Centrales y la fácil lixiviación de los boratos en superficie, juegan a favor de la potencialidad de descubrimiento de nuevos cuerpos ocultos neógenos. Entre las pautas a tomar en cuenta en la prospección se tienen el marco espacial de la Provincia Boratífera Centroandina, el “timing” de generación boratífera cuyo clímax se encuentra en (6±1 Ma), facies lacustres, evaporitas asociadas, zonación de evaporitas, calizas y brechamiento de calizas, travertinos, ulexita secundaria y anomalías geoquímicas de arsénico, litio y estroncio. A estos elementos geológicos de prospección se suma en ciertos casos la presencia de huellas de aves muy valiosas en la reconstrucción paleoambiental.

ICNITAS DE AVES EN DEPÓSITOS DE BORATOS ARGENTINOS

Los depósitos de boratos en el país se encuentran restringidos a la Puna Argentina de Catamarca, Salta y Jujuy. Existen depósitos de edad miocena (ej., Tincalayu, Sijes y Loma Blanca), pleistocenos (ej., Formación Blanca Lila) y holocenos representados por los salares, salinas y lagunas actuales.

1- Icnitas de la Formación Sijes (Mioceno)

El distrito boratífero Sijes se ubica en la Puna de Salta, en una serranía del interior del salar de Pastos Grandes. Se trata de un distrito con varios depósitos y manifestaciones, que representa la mayor acumulación de boratos terciarios de América del Sur. Se presentan dos formaciones estratigráficas con numerosos miembros, que cubren un lapso cronológico entre 7 y 5 millones de años. La más antigua es la Formación Pozuelos, formada mayormente por halita y que en su parte superior presenta niveles de ulexita e inyoita (Miembro El Zorro). La Formación Sijes (TURNER, 1960, 1964) es una unidad integrante del Grupo Pastos Grandes (TURNER, 1960, 1964). Se superpone a los estratos de halita y yeso de la Formación Pozuelos (TURNER, 1960, 1964) y está cubierta por los fanglomerados de la Formación Singuel (ALONSO & GUTIÉRREZ, 1986). La mejor expresión de afloramientos y a su vez la que alcanza los mayores espesores, se desarrolla en las laderas de Monte Amarillo - Monte Verde por el oeste y el valle de Esperanza por el este. Los perfiles reconocidos en esas secciones y su contenido de boratos permitieron la diferenciación en miembros de la Formación Sijes, que de base a techo, se definen como: Miembro Ona (colemanita, ulexita, inyoita); Miembro Monte Amarillo (hidroboraquita, inyoita); Miembro Monte Verde (colemanita, inyoita) y Miembro Esperanza (colemanita, hidroboraquita) (ALONSO, 1986; ROJAS & ALONSO, 1998). Los afloramientos constituyen una faja en sentido NNE-SSW que se extiende a lo largo de 30

km (ALONSO, 1986). Se apoya concordantemente sobre la Formación Pozuelos. El pasaje entre ambas se resuelve en corto trecho y está dado por: 1) el banco más inferior de sal de roca; 2) el banco guía de arcilitas rojas entre ambas formaciones y 3) el fuerte cambio de tonos rojos de la Formación Pozuelos a blanquecinos, verdosos, amarillentos y grisáceos de la Formación Sijes. Hacia el techo pasa en concordancia y transicionalmente a las psefitas de la Formación Singuel. En el perfil tipo se midieron 1.476 m de los cuales 317 m corresponden al tramo basal (Miembro Monte Amarillo), 378 m al tramo intermedio (Miembro Monte Verde) y 781 m al tramo cuspidal (Miembro Esperanza) (ALONSO, 1986).

Si bien el contenido fósil no es un indicador cronológico, cabe mencionar el hallazgo de gasterópodos (TURNER, 1960; ALONSO & WAYNE, 1992) y diatomeas (PRATT, 1961; ALONSO & WAYNE, 1992), brizas vegetales (ALONSO, 1986), una huella aislada de mamífero descrita por GUANTAY & ALONSO (1989) y abundantes icnitas de aves en el Miembro Monte Amarillo que corresponden a huellas tetradáctilas, tridáctilas y palmeadas (ALONSO, 1985b). Sin embargo, la datación de dos tobas del Miembro Monte Amarillo permitió ubicar la base de la Formación Sijes en el Mioceno tardío. El ambiente que predominó durante la depositación de la Formación Sijes, fue el de una cuenca continental endorreica, con clima árido y vulcanismo explosivo activo. Las capas rítmicas de arcilitas verdes a pardas y de evaporitas (boratos, yeso), con abundantes pisadas de aves, grietas de desecación y marcas de gotas de lluvia son indicativas de ambientes de playa con salares y lagunas de aguas salobres o saladas, muy similares a las existentes en la actualidad en otros salares de la Puna (ALONSO, 1986).

ORTI CABO & ALONSO (2000) realizaron un estudio evapofacial de la Formación Sijes. A escala ambiental se pudo reconstruir un ciclo que se inicia con: a) capas rojas depositadas en una llanura fangosa seca; b) cenagales yesíferos donde se depositan gipsarenitas masivas de grano fino; c) lagos someros con precipitación de gipsarenitas laminadas; d) playas de exposición subaérea con anhidrita nodular desplazante; e) lagos boratíferos someros con hidroboracita laminada a bandeada y f) playa lake con formación de hidroboracita nodular, globular, intraclástica y brechada. Se observó que la hidroboracita precipita cuando hay un empobrecimiento notable de sulfatos en la salmuera. Entre los cambios de facies que pudieron observarse se encuentra el pasaje desde carbonatos lacustres hacia yeso y finalmente boratos. En una de las capas de carbonatos lacustres que pasan transicionalmente a hidroboracita se encontró una huella de mamífero (GUANTAY & ALONSO, 1989). ALONSO (1986) reportó edades de 6.8 ± 0.2 y 6.3 ± 0.2 Ma para dos tobas en el Miembro Monte Amarillo. ALONSO *et al.* (1991) proveyeron datos de tres tobas en la Formación Sijes. Una toba del Miembro Monte Verde dio una edad de 5.4 ± 0.8 Ma, una toba proveniente de la parte inferior del Miembro Esperanza dio edades de 5.9 ± 0.8 (circón)

y 5.4 ± 1.6 Ma (apatita), y una toba en la parte superior del Miembro Esperanza alcanzó una edad 4.0 ± 1.2 Ma.

1a) Taxonomía

Para la clasificación de las icnitas de aves se siguieron los criterios sugeridos por DABBENE (1910) y por BROWN *et al.* (1993) en MUSSI (1997). En este sentido se acompaña una definición de los principales términos que se usaron en la descripción de las icnitas estudiadas:

- **Icnitas convergiformes:** Son aquellas en donde los tres dedos anteriores se dirigen hacia adelante convergiendo los dedos II y IV hacia la línea media de la pisada representada por el dedo III (BROWN *et al.*, 1993).
- **Icnitas divergiformes:** Son aquellas en donde los tres dedos anteriores se dirigen hacia adelante divergiendo los dedos II y IV desde la línea media de la pisada representada por el dedo III (BROWN *et al.*, 1993).
- **Icnitas acolimbéticas:** Son aquellas que no poseen membrana natatoria en las patas o poseen únicamente una membrana muy corta entre las primeras falanges (DABBENE, 1910).
Coligatiformes: Son aquellas en donde los tres dedos anteriores están unidos por una membrana corta (ej., Ardeiformes: cigueñas).
Semicoligatiformes: Son aquellas que presentan los dos dedos antero exteriores unidos por una membrana corta (ej., Charadriiformes: teros).
- **Icnitas natatorias:** Son aquellas que están provistas de una membrana más o menos completa (DABBENE, 1910).
Palmatiformes: Son aquellas en donde los dedos anteriores están unidos enteramente por una membrana (ej., Anseriformes: patos).
Semipalmatiformes: Son aquellas en donde los tres dedos anteriores están unidos por una membrana natatoria solo hasta la mitad de cada dedo (ej., Recurvirostridae: avocetas, teros reales).

El material se halla depositado en la Cátedra de Paleontología de la Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta, se indican en cada caso los números de catálogo.

Los taxones que se describen a continuación poseen las siguientes afinidades (véase discusión en cada especie):

- Orden Phoenicopteriformes, Familia Phoenicopteridae: Icnave isp. 1.
- Orden Anseriformes, Familia Anatidae: Icnave isp. 2
- Orden Ardeiformes: Icnave isp. 3
- Orden Charadriiformes, Familia Charadriidae: Icnave isp. 4, Icnave isp. 5, Icnave isp. 6
- Familia Recurvirostridae: Icnave isp. 7

Icnave isp. 1 Fig. 3a-d

Material: C.N.S-V.101/10.023(1-6).

Descripción: Icnitas grandes, tridáctilas, presencia de membrana interdígital parcial (puede no marcarse). Natatoria semipalmatiforme, divergiforme.

Discusión: El orden Phoenicopteriformes posee actualmente una sola familia (Phoenicopteridae) donde se incluyen los flamencos y parinas. Son aves acuáticas de gran tamaño; cuello y patas largas, con membrana interdígital parcial y dedo I reducido o ausente (DE LA PEÑA, 1992). Sus miembros son cosmopolitas, existiendo cinco especies de las cuales tres se encuentran en Argentina (OLROG, 1968; CONTINO, 1980; NAROSKY & IZURIETA, 1993): *Phoenicopterus chilensis* MOLINA (flamenco austral; long. 100 cm), *Phoenicoparrus andinus* (PHILIPPI) (parina grande; 115 cm) y *Phoenicoparrus jamesi* (SCLATER) (parina chica; 90 cm). Todas se ubican en lagunas salobres altoandinas del Noroeste Argentino. Este tipo de hábitat restringe la presencia de otras especies no adaptadas a las condiciones climáticas y ecológicas de la zona. Según estudios de MASCITTI & CASTAÑERA (1991) las tres especies coexisten simpátricamente en Laguna de Pozuelos donde la competencia interespecífica por los recursos (en este caso microorganismos planctónicos y bentónicos) se minimiza ya que cada una se especializa filtrando distintos tamaños de partículas.

El registro fósil indica que el género *Phoenicopterus* a nivel mundial ya se encontraba en el Eoceno (53-37 Ma, POWELL & STEELE, 1995). Se descubrieron restos óseos asignados a un flamenco extinto *Phoenicopterus copei* SHUFELDT correspondiente al Pleistoceno de Estados Unidos y México (1,5-1,0 Ma in Florida, EMSLIE, 1995). En Argentina, NASIF (1988) dio a conocer un nuevo registro de flamencos de la familia Phoenicopteridae procedentes de la Formación El Morterito (Terciario superior), Valle del Cajón en Catamarca. El material óseo posee características que lo acercan a especies fósiles y actuales del género *Phoenicopterus*, como así también caracteres semejantes a *Presbyornis* del Eoceno inferior de la Patagonia y a *Palaedus* del Oligoceno superior - Mioceno inferior de Francia.

En base a los datos morfométricos de huellas tanto fósiles como actuales de integrantes de la familia Phoenicopteridae se obtuvieron los siguientes resultados:

Icnitas	Fósiles	Actuales
Índice L/A (largo/ancho de la huella)	0,69	0,91
Ángulos interdigitales		
II/III	52°	50°
III/IV	52°	50°
II/IV	104°	100°

De su interpretación se concluye que según el índice L/A las huellas fósiles son más anchas que largas y de acuerdo a la observación de moldes y fotografías, tienen membrana natatoria menos escotada que las huellas actuales, si bien los ángulos interdigitales son

aproximadamente similares. En la actualidad los géneros pertenecientes a esta familia, se reconocen entre otros parámetros (tamaño, color del plumaje y de las patas, por la presencia del dedo I o hallux (reducido y no se encuentra al nivel del suelo), carácter distintivo de *Phoenicopterus* pero ausente en *Phoenicoparrus* (Fig. 1b). En cuanto a la distribución altitudinal y detalles morfológicos de la membrana interdígital es como sigue: *Phoenicopterus chilensis*: 3600 m s.n.m., huellas anchas y grandes; *Phoenicoparrus andinus*: altura media (3600 m s.n.m.), huellas angostas y medianas. *Phoenicoparrus jamesi*: mayor altura (>3700 m s.n.m.), huellas angostas y pequeñas.

Estas huellas fósiles se asignan a la familia Phoenicopteridae debido a la similitud morfológica (huellas tridáctilas palmeadas parcialmente) y morfométrica (dimensiones, ángulos interdigitales) (Fig. 1a, b), véase también SCOTT *et al.* (2008, figs. 3A, 6A-D). En aquellas en las que no se observa membrana interdígital, se incluyen en esta familia por las dimensiones y particular disposición de los dedos. Se interpreta que la ausencia de este detalle fue consecuencia del bajo grado de humedad del sedimento al momento de ser impresas las huellas. Por lo tanto las patas palmeadas pueden producir huellas sin dejar impresiones de membrana (SCRIVNER & BOTTJER, 1986; SCOTT *et al.*, 2008). Las huellas correspondientes a *Icnoave isp. 1* se asemejan a las dejadas actualmente por el género *Phoenicoparrus* considerando las dimensiones y morfología afin entre ambas y coincidiendo particularmente con *P. jamesi*. Como se mencionó anteriormente las huellas fósiles tienen un índice promedio (largo/ancho) de 0,69 y las actuales de 0,91; evidenciando que las primeras son más anchas que largas y además con membrana menos escotada (según observación comparativa) que las segundas. Al considerar que estas huellas fueron dejadas por flamencos del Mioceno se infiere que los mismos tuvieron suficiente tiempo para la especiación de *Phoenicoparrus*.

Icnoave isp. 2

Fig. 3e-f

Material: C.N.S.-V. 101/10.024(1-2).

Descripción: Icnitas pequeñas, tridáctilas, con membrana interdígital total, con dos surcos que se extienden desde el talón al dedo III. Natatorias palmatiformes. Convergiiformes. Tridáctilas totipalmeadas.

Discusión: Los órdenes representados actualmente en Laguna de Pozuelos (MASCITTI & CASTAÑERA, 1991), con familias cuyos miembros poseen patas palmeadas y tridáctilas, tal como los Anseriformes de la familia Anatidae (dedo I arriba, generalmente no se marca en la huella, Fig. 1c) y Charadriiformes de la familia Laridae, poseen similitud morfológica con las huellas fósiles arriba descritas. En la familia Laridae se encuentran las gaviotas, aves acuáticas cosmopolitas

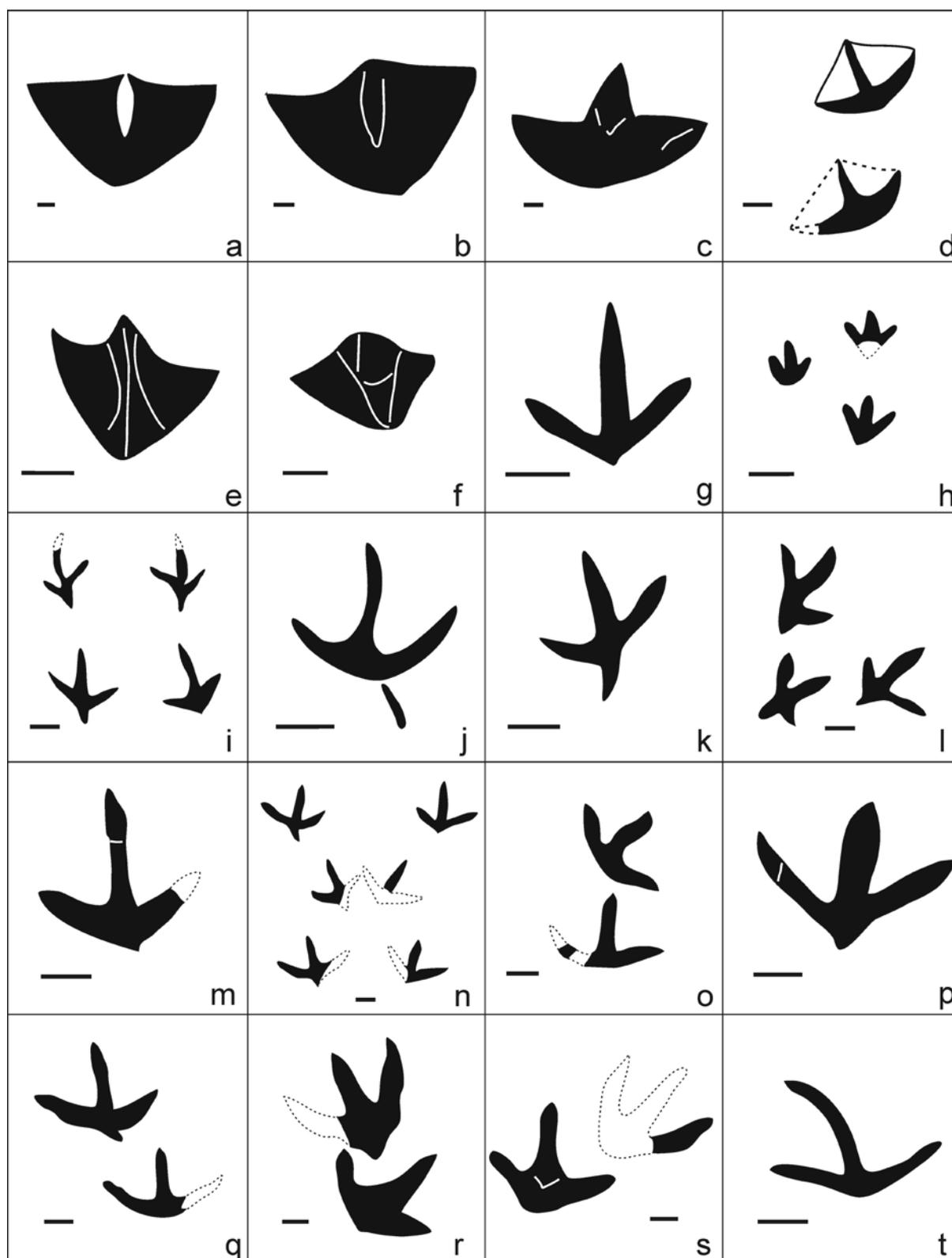


Fig. 3: Esquemas de las icnoespecies descritas, Formación Sijes, Mioceno. **a-d**, Icnosave isp. 1, **a**: CNS-V101/10023-1; **b**: CNS-V101/10023-2; **c**: CNS-V101/10023-3; **d**: CNS-V101/10023-6. **e-f**, Icnosave isp. 2, **e**: CNS-V101/10024-6; **f**: CNS-V101/10024-2. **g-h**, Icnosave isp. 4, **g**: CNS-V101/10026-2; **h**: CNS-V101/10026-1. **i-l**, Icnosave isp. 3, **i**: CNS-V101/10025-3; **j**: CNS-V101/10025-7; **k**: CNS-V101/10025-2; **l**: CNS-V101/10025-1. **m-q**, Icnosave isp. 5, **m**: CNS-V101/10027-2; **n**: CNS-V101/10027-6; **o**: CNS-V101/10027-10; **p**: CNS-V101/10027-12; **q**: CNS-V101/10027-14. **r-s**, Icnosave isp. 6, **r**: CNS-V101/10028-1; **s**: CNS-V101/10028-2. **t**, Icnosave isp. 7, CNS-V101/10029. Escala gráfica: 1 cm.

con 48 especies, 7 de las cuales están representadas en Argentina (NAROSKY & IZURIETA, 1993). *Larus serranus* TSCHUDI (gaviota andina) de 41 cm, se encuentra entre una de las especies más comunes de la avifauna acuática de la Laguna de Pozuelos, laguna de Pastos Grandes y otras. Al considerar la morfología (dedos robustos terminados en uñas gruesas) y datos de huellas actuales (largo: 4,5 cm; ancho: 2,5 cm; índice L/A: 1,8), esta familia se ha descartado. En cuanto a la familia Anatidae, representada actualmente en Laguna Pozuelos por cinco especies [*Anas flavirostris* VIEILLOT, *Anas georgica* GMELIN, *Anas puna* TSCHUDI, *Chloephaga melanoptera* (EYTON) y *Lophonetta specularioides* (KING)] ocupan la zona central del cuerpo de agua y constituyen con las tres especies de flamencos los dos gremios más importantes (MASCITTI & CASTAÑERA, 1991). Se considera gremio a la asociación de especies que utilizan los recursos de un mismo modo (CAZIANI *et al.*, 1995). Estas especies son características de lagunas salobres y vegas (bofedales) donde residen y ocupan el nivel trófico correspondiente a consumidores de hierbas y de vegetación acuática.

El registro fósil de Estados Unidos indica en el Eoceno (53-37 Ma) la presencia de *Presbyornis*, un pato no común con patas largas vadeadoras. Sin embargo en el Oligoceno (37-26 Ma), una época de relativa quietud en la evolución de las aves, hacen su aparición cuatro de los mayores grupos de aves modernas: Culiformes, Passeriformes, Pelecaniformes y Anseriformes (patos, gansos y cisnes) representado este último por el género *Anas* (POWELL & STEELE, 1995). En la Formación Cooper Canyon (Terciario tardío, 10-7 Ma), Estados Unidos, se hallaron icnitas tridáctilas con membrana interdigital y posible presencia de dedo corto posterior (*Avipeda* sp. E) asignadas al orden Anseriformes. En Argentina el registro más antiguo corresponde al Santacrucense para especies atribuidas con dudas al orden Anseriformes; este es el caso de *Teleornis impressus* AMEGHINO y *Loxornis clivus* AMEGHINO (TONNI & TAMBUSI, 1986). También se registró un Anatidae del género *Anas* de edad Ensenadense (Pleistoceno inferior) procedente de Necochea (TAMBUSI, 1995).

De los datos morfométricos de estas huellas fósiles se extrajeron los siguientes resultados: Índice L/A: 0,8; Ángulos interdigitales: II/III: 37°; III/IV: 47°; II/IV: 84°. Al comparar la morfología y datos morfométricos fósiles con actuales especies que habitan la Laguna de Pozuelos, se descartó a *Chloephaga melanoptera* (guayata, 60 cm) porque la impresión de su huella es asimétrica con uñas fuertes y bien marcadas, particularmente se evidencia la del dedo I. El índice L/A: 0,93 y la suma de sus ángulos interdigitales: 87°. Lo mismo se hizo con *Lophonetta specularioides* (pato crestón, 42 cm) que presenta dedos algo lobulados en sus bordes externos y con uñas agudas. El largo de su autopodio es de 6,5 cm, con dedos de aproximadamente 5 cm. Las especies con mayor similitud morfológica y por sus dimensiones son las correspondientes al género *Anas*, donde se encuentran:

Anas georgica (pato maicero, 39 cm) con autopodio de 5,5 cm de largo y dedos con 4 cm de longitud promedio. Poseen uñas fuertes y puntiagudas. *Anas puna* (pato puna, 38 cm) con autopodio de 4,5 cm de largo y dedos con 3 cm de Longitud promedio. Presentan patas alargadas y con uñas fuertes. *Anas flavirostris* (pato barcino, 37 cm) con autopodio de 4 cm de largo y dedos con 3 cm de longitud promedio. Poseen uñas finas y agudas de 0,5 cm. *Anas cyanoptera* VIEILLOT (pato colorado, 36 cm) con autopodio de 4 cm de largo y dedos con 3 cm de longitud promedio. Poseen uñas curvas y aguzadas de 1,0 cm. Los ejemplares mencionados pertenecen a la colección ornitológica del Instituto Miguel Lillo y por el estado de conservación de los autopodios (cerrados) es difícil extraer datos de ancho ni ángulos interdigitales. En conclusión, estas pequeñas huellas fósiles, Icnave isp. 2 que no evidencian el hallux o dedo I, por su morfología y dimensiones son similares a las dejadas por anátidos habitantes de lagos salinos, y en particular con los representantes actuales del género *Anas* (cf. SCOTT *et al.*, 2008, fig. 7C).

Icnave isp. 3

Fig. 31-I

Material: C.N.S. - V. 101/10025(1-7).

Descripción: Icnitas pequeñas/medianas, tetradáctilas, sin membrana interdigital. Acolimbéticas coligatiformes, divergiformes.

Discusión: El orden Ardeiformes actualmente consta de tres familias (NAROSKY & IZURIETA, 1993): Ardeidae (garzas y mirasoles), Ciconiidae (cigüeñas), y Threskiornithidae (bandurrias, cuervillos y espátulas), que se caracterizan por poseer patas largas con 4 dedos no palmeados (Fig. 1d). De estas tres familias sólo dos se encuentran representadas actualmente en Laguna de Pozuelos: a) Ardeidae con *Nycticorax nycticorax* (LINNAEUS) (garza bruja) de 68 cm, gregaria, crepuscular, palustre, cosmopolita; excepto en Australia se la encuentra en todo el mundo, en nuestro país desde Tierra del Fuego hasta el norte incluyendo la Puna a 3600 m s.n.m. (CONTINO, 1980); y b) Threskiornithidae con *Plegadis ridgwayi* (ALLEN) (cuervillo puneño) de 60 cm, algo palustre, gregario, habita Perú, Chile, Bolivia y lagunas altoandinas del Noroeste Argentino (NAROSKY & IZURIETA, 1993). Ambas especies son citadas por MASCITTI & CASTAÑERA (1991) habitando Laguna Pozuelos. Las familias mencionadas registran fósiles a nivel mundial desde el Eoceno (POWELL & STEELE, 1995).

El orden está representado desde el Cretácico tardío en América del Norte. En el Terciario temprano los Ciconiidae son ya cosmopolitas, registrándose tanto en el Hemisferio Norte (Eoceno tardío de Francia) como en el Hemisferio Sur (*Ciconiopsis antarctica* AMEGHINO, 1899, del Deseadense de Argentina). *Protibis cnemialis* AMEGHINO, 1891 del Mioceno temprano de Santa Cruz

representa el registro más antiguo de Threskiornithidae para la Argentina (TONNI & TAMBUSSI, 1986). SCRIVNER & BOTTJER (1986) describen huellas (Avipeda sp. A y Avipeda sp. B) asignadas al orden Ciconiiformes (Ardeiformes) en la Formación Cooper Canyon de Estados Unidos.

De los datos morfométricos se extrajeron los siguientes resultados: Índice L/A: 1,07; ángulos interdigitales: I/II: 122°; II/III: 54°; III / IV: 56°; II / IV: 128°. En base a las dimensiones y la morfología (huellas tetradáctilas, con dedo I hacia atrás, uñas largas y sin membrana interdigital), se hallaron estas huellas fósiles (Icnoave isp. 3) semejantes a las dejadas actualmente por representantes del orden Ardeiformes (cf. SCOTT *et al.*, 2008, fig. 7D), quedando a discusión la pertenencia a alguna de las familias citadas anteriormente, ya que no se cuenta con suficientes elementos para su determinación a nivel de familia.

Icnoave isp. 4
Fig. 3g-h

Material: C.N.S.-V. 101/10026(1-5).

Descripción: Ícnitas tridáctilas pequeñas, sin membrana interdigital. Acolimbéticas semicoligatiformes. Divergiformes.

Discusión: El Orden Charadriiformes se caracteriza por huellas tridáctilas sin membrana interdigital. Incluye 18 familias y más de 300 especies, agrupadas en tres subórdenes: Charadrii, Lari y Alcae. Sólo los miembros del primero se destacan por poseer muy pocas especies con patas palmeadas y un pequeño número de ellas con el dedo posterior bien desarrollado, mientras que en los dos restantes las patas son palmeadas y de hábitat marino (gaviotas, skúas, etc.) (GILL, 1990).

Representantes del género *Charadrius* se hallaron en el Eoceno de Estados Unidos (POWELL & STEELE, 1995). Existe una mención de huellas de aves fósiles en la Fm. Cooper Canyon (Terciario tardío, 10 a 7 Ma) de Estados Unidos, identificadas como Avipeda sp. D, atribuidas al orden Charadriiformes (SCRIVNER & BOTTJER, 1986). Este heterogéneo grupo comprende aves de tamaño pequeño a moderado o grande con morfotipos muy variados. Son comúnmente veadoras que frecuentan costas de cuerpos de agua de diversa magnitud, excelentes voladoras y de hábitos migratorios. Su registro fósil es muy pobre tanto en la provincia de Buenos Aires como el resto de Argentina (TAMBUSSI, 1995). El primer registro fósil argentino atribuido a este orden de aves corresponde a una especie indeterminada del género *Charadrius*, familia Charadriidae procedente de Paso Otero y de antigüedad Chapadmalalense (TAMBUSSI, 1989 *in* TAMBUSSI, 1995). *Charadrius* vuelve a encontrarse en el Pleistoceno tardío de la provincia de Buenos Aires (TAMBUSSI *et al.*, 1993 *in* TAMBUSSI, 1995). LEONARDI (1994) menciona como localidades paleoicnológicas con huellas de aves representadas por el orden

Charadriiformes las siguientes: Sierra de la Candelaria, Salta; Salar del Hombre Muerto, Catamarca límite con Salta; Sijes I, Salta, donde se hallaron las ícnitas aquí estudiadas, y Sijes II, Salta, pertenecientes al Mioceno superior.

En el género *Charadrius* se encuentran los chorlitos (16 cm de longitud) con 1,5 a 2,3 cm en el largo de su autopodio. Los ángulos interdigitales y el ancho no pudieron registrarse debido a que los ejemplares considerados para comparación pertenecen a la colección ornitológica del Instituto Miguel Lillo. Sin embargo al tener en cuenta las dimensiones y morfología de las huellas fósiles reconocidas como Icnoave isp. 4, se observa la semejanza con las del género *Charadrius* (Fig. 1e). Los representantes en Laguna de Pozuelos que mayor afinidad tienen con las huellas fósiles son *Charadrius collaris* VIEILLOT (chorlito de collar) y *Charadrius alticola* (BERLEPSCH & STOLZMANN) (chorlito andino). La distribución actual del primero es desde el norte de Argentina hasta Mendoza, San Luis, Córdoba, Santa Fe y sur de Buenos Aires. También habita en Chile y toda Sudamérica hasta México. Su presencia en nuestro país es temporaria, para criar, desde la primavera hasta marzo (CONTINO, 1980). *Charadrius alticola* (longitud de 17,5 cm) frecuenta playas de lagunas andinas. Su distribución actual es en la alta cordillera de los Andes del sur de Perú, Bolivia, el norte de Argentina y Chile (OLROG, 1968).

El ejemplar C.N.S.-V. 101/10026-1 es el de menor tamaño con respecto a los otros con un índice L/A: 0,91 y ángulos interdigitales de aproximadamente 41°. Por los dedos muy pequeños y delgados con uñas afiladas y largo de la huella aproximadamente de 1,2 cm, estas huellas se acercarían a las dimensiones y morfología del chorlito de collar. Las ícnitas registradas como C.N.S.-V. 101/10026 (2-3-4 y 5) cuyos tamaños son algo mayores al anterior, con un índice L/A: 0,86 y ángulos interdigitales en promedio de 54° se acercarían a la morfología y dimensiones del chorlito andino. Según observación de ejemplares de colección, los chorlitos andinos poseen patas con tres dedos muy delgados, uñas puntiagudas y largo de huella de aproximadamente 2,0 a 2,5 cm.

Icnoave isp. 5
Fig. 3m-q

Material: C.N.S.-V. 101/10027(1-15).

Descripción: Ícnitas tridáctilas medianas, sin membrana interdigital. Acolimbéticas semicoligatiformes. Divergiformes.

Discusión: Las huellas denominadas Icnoave sp. 5 presentan un índice L/A: 0,84, con ángulos interdigitales de 51° a 52°. Al compararse con ejemplares de colección se encontró mayor similitud con huellas de *Pluvialis* (24 cm, migratorio del hemisferio norte). Representantes de este género dejan huellas tridáctilas (el dedo I es pequeño y ubicado arriba) con dedos más gruesos, uñas

fuertes y con un largo de huella de aproximadamente 3,0 cm (MUSSI, 1997).

ICNOAVE ISP. 6
Fig. 3r-s

Material: C.N.S.-V. 101/10028(1-2).

Descripción: Icnitas tridáctilas grandes, sin membrana interdígital. Acolimbéticas semicoligatiformes. Divergiformes.

Discusión: Dentro de la familia Charadriidae, donde se incluyen los chorlos y teros, con patas no muy largas con 3 dedos cortos de disposición anisodáctila y uno rudimentario o ausente (NAROSKY & IZURIETA, 1993), y siguiendo la clasificación de MEYER DE SCHAUSENSEE (1982), el género *Vanellus* (teros) de 35 cm de longitud con dedos y uñas robustas (dedo I arriba, MUSSI, 1997) consta de dos especies *Vanellus resplendens* (TSCHUDI) o tero serrano, muy común en la zona altoandina a 3600 m s.n.m. (Jujuy, Salta, Tucumán y Catamarca) de 32,0 cm de longitud y *Vanellus chilensis* (MOLINA), tero común de 36,0 cm de longitud que se distribuye desde el norte argentino hasta Río Negro. Además Bolivia, Paraguay, Uruguay y Brasil (CONTINO, 1980).

ALONSO *et al.* (1980) describen unas icnitas fósiles provenientes de rocas terciarias en el salar del Hombre Muerto, de edad Mioceno inferior (15 Ma), a las cuales clasifican como *Reyesichnus punensis* y atribuyen a individuos próximos a *Vanellus*.

Los datos morfométricos de Icnave isp. 6 revelan un índice L/A: 0,87 (largo: 4,45 cm; ancho: 5,1 cm) y ángulos interdígital entre 51° y 52°. La longitud promedio del dedo central: 2,7 cm y los laterales: 1,8 cm.

De acuerdo a la posición estratigráfica y edad de la Formación Sijes (Mioceno superior) (ALONSO, 1992), portadora de estas icnitas las mismas no son atribuibles a *Reyesichnus punensis*. En consideración a todo lo anterior, estas huellas fósiles se asemejan a las impresas por el género *Vanellus*.

ICNOAVE ISP. 7
Fig. 3t

Material: C.N.S.-V. 101/10029.

Descripción: Icnita tridáctila pequeña sin membrana interdígital. Acolimbética coligatiforme. Divergiforme.

Discusión: La Familia Recurvirostridae está representada por aves medianas con cierta semejanza a un tero común, algunas con el pico muy curvado hacia arriba (CONTINO, 1980). Con patas y cuello sumamente alargados, frecuentan lagunas de poca profundidad (OLROG, 1968). Son cosmopolitas y de las 7 especies, 2 habitan América del Sur, mientras que una aparece como migratoria (OLROG, 1968). Sus dos géneros son: *Recurvirostra* que se descarta al poseer dedos semipalmados e *Himantopus* con dedos delgados y no palmados (Fig. 1f; MUSSI, 1997). En *Himantopus melanurus* VIEILLOT (tero

real, 38 cm de longitud) el largo de su autopodio es de aproximadamente 4,5 a 5,0 cm. Esta especie frecuenta playas de ríos, lagunas y otros terrenos cubiertos con aguas someras, tanto en llanuras como en la zona andina alrededor de los 3500 m.s.n.m. Habita desde el norte hasta Río Negro. También en Bolivia (DE LA PEÑA, 1992).

Las huellas fósiles de Icnave isp. 7, aunque de menor tamaño y con índice L/A: 0,67, serían similares morfológicamente a las del género *Himantopus*.

1b) Análisis comparativo entre la avifauna actual de la Puna y la icnoavifauna de la Formación Sijes

Una comparación de las icnitas de aves fósiles con las pisadas de aves actuales cuyo hábitat es la Puna, permite deducir algunos de los grupos taxonómicos que se hallan representados. Se realiza una aproximación a nivel de orden o familia:

- a) Tridáctilas semipalmadas. Natatorias semipalmatiformes. Divergiformes, correspondientes a los actuales Phoenicopteriformes;
- b) Tridáctilas totalpalmadas. Natatorias palmiformes. Convergentiformes, como los actuales Anseriformes;
- c) Tetradáctilas sin membrana interdígital. Acolimbéticas coligatiformes. Divergentiformes, como los actuales Ardeiformes;
- d) Tridáctilas sin membrana interdígital; Acolimbéticas semicoligatiformes. Divergentiformes, como los actuales Charadriiformes (Familia Charadriidae) y Acolimbéticas coligatiformes. Divergentiformes (Familia Recurvirostridae) (MUSSI, 1997). La aproximación se realizó en base a moldes, medidas de colecciones ornitológicas, información bibliográfica y fotografías de avifauna cuyo hábitat actual es de lagunas someras salobres de la Puna (MUSSI, 1997). La ausencia de restos óseos relacionados por un lado con la fragilidad de los materiales (huesos neumáticos) y por otro con la química del medio (ambientes fuertemente alcalinos) impiden una definición taxonómica a nivel genérico y específico (ALONSO, 1987).

1c) Rol ecológico de la icnoavifauna de la Formación Sijes

La reconstrucción paleoambiental que se deduce a partir de los órdenes representados fue el de una laguna salobre, somera, con gran extensión de playa y un área de vegetación reducida. Según MASCITTI & CASTAÑERA (1991), en la Laguna de Pozuelos (que se considera en este trabajo como un hábitat análogo a la Fm. Sijes en el Mioceno) hay una disposición espacial diferencial de las especies en el área del espejo de agua. Reconocen tres tipos de ambientes caracterizados por la distancia a la zona de playa y profundidad: a) zona inmediatamente cercana a la orilla, de escasa profundidad; b) zona contigua a la anterior, con profundidad media, y c) zona central de mayor profundidad.

La avifauna fósil ocuparía nichos ecológicos en forma posiblemente similar, según se deduce de los cambios de la fauna en la Formación Sijes estudiados por

ALONSO (1987, 1992). Los representantes del orden Phoenicopteriformes se caracterizan por ser aves grandes, esbeltas, de patas largas, con el dedo I reducido o ausente (diferencia los géneros), y los restantes con membrana interdigital parcial, viven en aguas salobres y cuentan con una especial adaptación para la alimentación como lo es el pico curvo filtrador. Cada especie consume un determinado tamaño de plancton y bentos: *Phoenicoparrus andinus*, diatomeas hasta 300 µm de diámetro; *Phoenicopterus chilensis* con una dieta más variada entre 500 y 1000 µm; *Phoenicoparrus jamesi*, sólo diatomeas entre 10 y 20 µm. Esto minimiza la competencia interespecifica especializando al máximo su sistema de filtrado del alimento. Los flamencos o parinas forman colonias y construyen nidos de barro cónicos donde colocan un solo huevo y las crías al nacer son nidícolas. Estas aves ocuparían áreas cercanas a la orilla para forrajeo y resguardo nocturno (MASCITTI & CASTAÑERA, 1991).

Los Anseriformes constituyen actualmente un grupo muy diversificado pero con un patrón morfológico homogéneo relacionados con cuerpos de agua continentales (muy pocas especies son marinas), además de ser buenos nadadores y de hábitos migratorios (TAMBUSSI, 1995). La familia Anatidae presenta patas tridáctilas y membrana interdigital total. Con un pico plano y laminillas filtradoras se alimentan de vegetación, peces e invertebrados. Los patos ocuparían la zona central de la laguna de mayor profundidad.

Los Charadriiformes están representados por un grupo de aves con morfotipos muy variados que generalmente son vadeadoras, frecuentando las orillas de los cuerpos de agua donde buscan pequeños insectos que constituyen su principal alimento. Son buenos voladores y de hábitos migratorios. Sus miembros posteriores poseen tres o cuatro dedos anisodáctilos (dedo "I" vestigial), algunos con membrana reducida. Son gregarios y nidifican en el suelo.

Los Ardeiformes están representados por aves de gran porte con patas largas adaptadas a los hábitos vadeadores en cuerpos de agua somera, tienen miembros posteriores con cuatro dedos anisodáctilos, con leve membrana entre dos o tres dedos. Se alimentan de pequeños mamíferos, reptiles, peces, insectos y huevos. La organización social los muestra solitarios o en forma gregaria; nidifican en plataformas y las crías son nidícolas.

ALONSO (1987) realiza una relación entre al ambiente donde se imprimen las huellas (lagunar somero) y el tipo de pisadas según el enfoque batimétrico. Así se registran huellas palmeadas grandes a medianas entre 0,50 y 0,25 m de profundidad, tridáctilas y palmeadas chicas entre 0,25 y 0,10 m y finalmente tetradáctilas y callosas entre 0,10 y 0 metros. En referencia a huellas tetradáctilas, en vista a lo estudiado en este trabajo también deben incluirse en el rango de los 0,25 y 0,10 m, ya que los representantes del orden Ardeiformes como se mencionó anteriormente son de hábitos vadeadores.

1d) Diversidad y abundancia: marco comparativo entre la Laguna de Pozuelos y la Formación Sijes

CAZIANI *et al.* (1995) describen la abundancia y diversidad de especies de aves en lagunas altoandinas. Definen a la Laguna de Pozuelos como un cuerpo de agua salobre a muy salobre, alcalino, con un PH entre 7 y 9, sin vegetación acuática sumergida, con una biodiversidad media, sometida a una pérdida de hábitat por colmatación en razón de ser una cuenca de carácter endorreico. Establecen una diferencia en cuanto a lagunas salobres e hipersalobres. A las primeras (ej. Laguna Pozuelos) les asignan una avifauna más rica, con gran abundancia de zooplancton, ello debido a hábitats más heterogéneos. En cuanto a las hipersalobres (ej. Laguna Vilama), donde las aguas son más alcalinas, duras, con mayor contenido de sulfatos y cloruros, no permiten el desarrollo de vegetación acuática sumergida y macrófitas, con lo cual la biodiversidad y abundancia se restringen, predominando los Phoenicopteriformes. En ambos casos, sin embargo, la disminución de los cuerpos de agua durante épocas invernales o durante lapsos de sequía (ciclos de hasta cinco años generalmente relacionados con el fenómeno de El Niño-ENSO), lleva a una reducción en la biodiversidad conservándose las especies más comunes y disminuyendo el número de ejemplares por especie.

MASCITTI & CAZIANI (1995) destacan que las lagunas altoandinas se comportan como parches de hábitat bien definidos que en cierto sentido pueden asimilarse a islas. De este modo, los cambios de la comunidad de aves hacia una menor diversidad obedecen a las condiciones del ambiente que no ofrece alternativas para la diferenciación de hábitats o dietas. En salares altoandinos las especies pueden trasladarse a otras lagunas de su área de distribución. Un balance porcentual de la avifauna presente en la Laguna de Pozuelos (MASCITTI & CAZIANI, 1995) y lo determinado en el registro fósil de la Formación Sijes, permite establecer los siguientes valores:

Orden	Laguna Pozuelos	Formación Sijes
Phoenicopteriformes	12%	16%
Charadriiformes	38%	61%
Anseriformes	21%	5%
Ardeiformes y otros	29%	18%

Porcentajes de órdenes de aves presentes en la Laguna Pozuelos y en la Formación Sijes (Mioceno)

La siguiente comparación analógica de las avifaunas en relación con el ambiente se establece con las reservas del caso, desde el momento que para Laguna Pozuelos, MASCITTI y CAZIANI (1995) trabajan sobre un censo de especies biológicas en sentido estricto, mientras que en el caso de la Formación Sijes se utiliza el registro icnológico fósil que siempre resulta parcial.

Sin embargo, del análisis de la figura se deducen algunas correlaciones de interés. Así, por ejemplo, los Phoenicopteriformes (parinas) se encuentran en proporciones más o menos similares en ambos ambientes, con lo cual las sedimentitas de la Formación Sijes se acercan más a un lago salobre como la laguna de Pozuelos y no a un ambiente hipersalobre como la laguna de Vilama. Los Charadriiformes (teros, chorlitos, avocetas, etc.), en cambio, se encuentran doblemente representados en la Formación Sijes en comparación con la Laguna de Pozuelos. Los Anseriformes (patos, gansos, etc.) están pobremente representados en la Formación Sijes y por último los Ardeiformes (garzas, garcetas, etc.) están mejor representados en la Laguna de Pozuelos.

En base a esto se concluye en líneas generales, que el ambiente en el cual se depositaron las capas arcillosas de la Formación Sijes, que contienen las icnitas de aves fósiles, sería: 1) el de un cuerpo de agua salobre más que hipersalobre en cuanto a la proporción de Phoenicopteriformes, 2) con amplias playas o barreales costeros de acuerdo con la abundancia de Charadriiformes, y 3) un cuerpo de agua no demasiado profundo por la baja representación de los Anseriformes. De acuerdo con lo expuesto, el ambiente de la Formación Sijes sería de «barreales» y cuerpos de agua someros a diferencia de Laguna de Pozuelos con un cuerpo lagunar mejor definido y de mayor profundidad. La desecación periódica del cuerpo de agua de la Formación Sijes, habría aumentado la alcalinidad y dureza de las aguas, disminuyendo la presencia de vegetación acuática sumergida y macrófitas, y habría llevado ciclicamente a una reducción de la avifauna, con posible migración a áreas vecinas y única permanencia probable de los Phoenicopteriformes. En estas condiciones extremas comenzaba la depositación de los boratos, como ocurre actualmente en la Laguna Vilama, rica en depósitos del borato ulexita y con presencia mayoritaria de Phoenicopteriformes. Así, el ambiente de sedimentación de la Formación Sijes, representa una alternancia cíclica de lagos salobres (capas arcillosas de barreales) y de lagos hipersalobres (capas con boratos y otras evaporitas).

1e) Interpretación ambiental de la Formación Sijes a partir de su contenido icnológico

Las variedades de tipos morfológicos de pisadas de aves representativas de grupos bien definidos permite deducir la riqueza de especies que prosperaban en esos hábitats. La diversidad de impresiones de patas de aves y su adaptación morfológica donde desarrollan su actividad vital se considera como un buen indicador ambiental. Sin embargo se necesita la confluencia de otros parámetros, tales como litología, facies, estructuras sedimentarias y otros, para una mejor definición del medio en que se originaron (ALONSO, 1987).

Teniendo en cuenta todo esto se infiere que durante el Mioceno superior la Formación Sijes se caracterizó por ser un ambiente de cuerpos de agua somera, restringida y salobre, en un clima árido a semiárido, sometido a

evaporación intensa, con cambios estacionales del cuerpo de agua que produjo la exposición aérea de distintos sectores. Dicho sistema lacustre estaba alimentado en gran medida por aguas termales portadoras de solutos entre los que destacaban elementos alcalinos (boro, litio, potasio) y alcalinos térreos (magnesio, calcio), además de cloruros y sulfatos. En estos ambientes la presencia de aguas termales parece ser importante para las aves en función de la temperatura y contenido de nutrientes ya que generan una importante riqueza microbológica. En principio sería buen indicador de la conexión entre las aves con las fuentes termales y a su vez de éstas con las capas de boratos. La presencia de las icnitas de aves, permiten identificar con mayor precisión las características ambientales de la Formación Sijes como fue establecido en el punto anterior. Una interpretación ambiental de formaciones terciarias miocenas en base a icnitas fósiles de aves y otros vertebrados, corresponde a SCRIVNER & BOTTJER (1986).

2- Icnitas de la Formación Blanca Lila (Pleistoceno)

La Formación Blanca Lila (ALONSO, 1986; ALONSO & MENEGATTI, 1990) comprende remanentes aterrazados que rodean el salar de Pastos Grandes. Corresponde a los depósitos pleistocenos del paleo salar homónimo. En las orillas pueden apreciarse facies más gruesas aluviales que gradan hacia facies arenosas y luego a las facies de playas fangosas. Hacia el centro del salar se observan facies de evaporitas solubles, principalmente un depocentro de halita. En los bordes del actual salar, principalmente en los alrededores de Sijes, se observa una columna compuesta por gravas finas, arenas, arcilitas verdes, limolitas pardas, yeso, boratos, camadas de cenizas volcánicas, tufitas y rematando una capa de travertinos que protege a los estratos inferiores de la erosión.

La Formación Blanca Lila es la unidad estratigráfica más joven de la cuenca de Pastos Grandes. Una discordancia angular separa la Formación Blanca Lila de las unidades infrayacentes. Basado en datos más jóvenes y datos provenientes de la Formación Singuel, la máxima duración posible para la discordancia angular entre las Formaciones Singuel y Blanca Lila es 2.96 a 0.29 Ma. La edad de los depósitos más jóvenes de la Formación Blanca Lila es incierta debido a la carencia de depósitos suprayacentes. El contenido paleontológico de la Formación Blanca Lila está limitado a briznas vegetales e icnitas de aves mal conservadas. Las icnitas provienen de la sección superior de capas travertínicas o de areniscas calcáreas asociadas con depósitos de boratos (ulexita, inyoita). En principio pudieron identificarse pisadas correspondientes a Anseriformes, Phoenicopteriformes y Charadriiformes, con icnotipos afines a patos, flamencos y teros.

ICNITAS EN AMBIENTES BORATÍFEROS MODERNOS

Los boratos son un ejemplo de sedimentación químico-evaporítica en ambientes continentales áridos a semiáridos con volcanismo activo. Los salares andinos, esto es los ubicados en el Arco Volcánico (CVZ) y el plateau Altiplano-Puna, presentan en su gran mayoría sedimentación boratífera. En general la sedimentación boratífera proviene del aporte de fuentes termales ubicadas a lo largo de las fallas que limitan los salares. Esto es muy notable en los salares de la Puna Argentina. La zonación que se observa desde los bordes hacia el centro es: carbonatos (representados por travertinos termales o termo-lacustres), sulfatos (yeso), boratos (ulexita y/o bórax) y cloruros (halita). En los salares en que aumenta la presencia de sulfatos (mirabilita, yeso) disminuyen los boratos hasta volverse inexistentes como ocurre en los salares de Pocitos y salar de Río Grande, ambos en Salta. Cuando aumentan los contenidos de boratos y de boro en las salmueras aumenta también el contenido de litio y potasio, al punto que los salares con sedimentación boratífera son también aquellos con valores anómalos y hasta económicos de litio y potasio (ej. Hombre Muerto, Pozuelos, Rincón). En función del contenido de agua del sistema (salar, playa lake, etc.) al momento en que las fuentes termales aportaron el boro, serán las presentaciones de los boratos. Se tienen entonces capas macizas (cuando el ambiente fue de salar) a intercalaciones periódicas de ulexita y clásticos finos (en ambientes lacustres). Los salares de la Puna tuvieron etapas lacustres durante el Pleistoceno como lo indican las terrazas y los depósitos de diatomitas (estas últimas se habrían desarrollado con mayor eficacia ante la presencia de boro que tiene efecto positivo en el crecimiento de las diatomeas). Al presente las perforaciones realizadas en los salares no han alumbrado capas profundas de ulexita. Todos los depósitos se encuentran localizados en los primeros uno o dos metros desde la superficie. En algunos salares la facies boratífera ocupa un porcentaje mayor que el resto de las facies clásticas y evaporíticas y pueden considerarse como verdaderos salares de sedimentación boratífera (ej. Salar de Diablillos).

En la Puna se reconocen una serie de ambientes en donde vive una particular avifauna. Estos ambientes y las aves presentes han sido descritos por OLROG (1968), CONTINO (1980), MASCITTI & CASTAÑERA (1991), CAZIANI *et al.* (1995) y RODRÍGUEZ (2011). Los relacionados con cuerpos de agua se clasifican en: lagunas, salares, salinas, salitrales y vegas (estas últimas consideradas por algunos autores como turbales y pantanos). A excepción de ciertas vegas de agua dulce el resto de los cuerpos de agua varían desde ligeramente salobres a hipersalinos. En este contexto hay lagunas ligeramente salobres (ej., Laguna de Pozuelos), lagunas salinas (ej., lagunas de Guayatayoc y Vilama), salares con lagunas (ej., Pastos Grandes) y salares secos (ej., Arizaro, Antofalla).

Una lista de la avifauna citada por los autores arriba mencionados es la siguiente: a) Orden Phoenicopteriformes: *Phoenicopus chilensis* MOLINA, *Phoenicoparrus jamesi* (SCLATER), *Phoenicoparrus andinus* (PHILIPPI); b) Orden Podicipediformes: *Podiceps occipitalis* GARNOT; c) Orden Ardeiformes: *Nycticorax nycticorax* (LINNAEUS), *Plegadis ridgwayi* (ALLEN); d) Orden Gruiformes: *Fulica cornuta* BONAPARTE, *Fulica americana* GMELIN, *Fulica gigantea* EYDOUX & SOULEYET, *Gallinula chloropus* (LINNAEUS); e) Orden Anseriformes: *Chloephaga melanoptera* (EYTON), *Lophonetta specularioides* (KING), *Oxyura ferruginea* (EYTON), *Anas puna* TSCHUDI, *Anas cyanoptera* VIEILLOT, *Anas flavirostris* VIEILLOT; f) Orden Charadriiformes: *Vanellus resplendens* (TSCHUDI), *Pluvialis dominica* (STATIUS MÜLLER), *Charadrius alticola* (BERLEPSCH & STOLZMANN), *Chararius collaris* VIEILLOT, *Phegornis mitchelli* (FRASER), *Larus serranus* TSCHUDI, *Recurvirostra andina* PHILIPPI & LANDBECK, *Himantopus melanurus* VIEILLOT, *Tringa flavipes* (GMELIN), *Phalaropus tricolor* (VIEILLOT), *Calidris bairdii* (COUES). Además, pueden mencionarse los Passeriformes que habitan en campos arenosos xerofíticos que rodean los salares y lagunas, muchos de ellos boratíferos.

La presencia de boratos acompañados por huellas de aves debe ser considerada en los análisis de facies y en los modelos de sedimentación.

ICNITAS DE AVES EN DEPÓSITOS DE BORATOS DE LOS ESTADOS UNIDOS

ALONSO (1987) menciona huellas de aves en depósitos boratíferos de los Estados Unidos que no habían sido descritas anteriormente en la literatura de ese país (ej., GARRET, 1998). El depósito "Anniversary" o "Calville Wash" ubicado a unos 40 km al noreste de Las Vegas consiste en capas de colemanita (borato de calcio) intercaladas en sedimentitas terciarias de la Formación Horse Spring. Asociadas a las capas de borato de calcio ocurren abundantes travertinos depositados por fuentes termales. En una capa de travertino arenoso se descubrieron abundantes icnitas de aves, medianamente conservadas, de hasta 10 cm de longitud. Corresponden a pisadas tridáctilas, una de las cuales es palmeada. Fueron clasificadas como pertenecientes a los órdenes Phoenicopteriformes y Anseriformes (ALONSO, 1987). La presencia de boratos, yeso, travertinos, ondulitas e icnitas de aves, indicaría un ambiente lagunar somero, alimentado por fuentes termales en un clima árido. Este tipo de depósito es similar al inferido para la Formación Sijes en la depresión de Pastos Grandes.

Por otro lado, el yacimiento de Boron o Kramer se encuentra en el desierto de Mojave, California, el lugar de la mayor explotación de bórax del mundo. Los boratos están intercalados en capas lacustres verdes que

se asientan sobre un basalto de 18 Ma, y a su vez está cubierto por sedimentitas clásticas rojizas con faunas del Mioceno medio tardío (Hemigfordiano). Dentro de la sección boratífera principal (ALONSO, 1987) se encontraron icnitas de aves muy bien conservadas. Todas son tridáctilas palmeadas o semipalmeadas, con buena impresión de la membrana interdígital. Una de las icnitas, de dedos lobulados, podría corresponder al orden Podicipediformes. Las demás pertenecerían a Phoenicopteriformes y Anseriformes, estando estas últimas mejor representadas. En general son huellas grandes de aproximadamente unos 10 cm de longitud.

En la misma región, pero en formaciones no boratíferas (Cooper Canyon) se han descrito huellas de aves y mamíferos (SCRIVNER & BOTTJER, 1986). Entre ellas se mencionan las correspondientes a los órdenes Ciconiiformes (Ardeiformes), Ralliformes (Gruiformes), Charadriiformes y Anseriformes. También se encontraron huellas de mamíferos pertenecientes a los órdenes artiodáctilos, perissodáctilos, y carnívoros de la familia Felidae. Es interesante destacar que en la Formación Sijes, en capas laterales a las portadoras de aves del Miembro Monte Amarillo, se descubrió una huella de mamífero perteneciente a un ungulado indeterminado posiblemente del orden Liptopterna o Notoungulata (GUANTAY & ALONSO, 1989).

CONCLUSIONES

- 1) Se destaca la presencia de icnitas de aves en yacimientos de boratos miocenos de Argentina y Estados Unidos. El estudio de los ambientes boratíferos actuales sirve como una excelente guía analógica en la interpretación paleoambiental, paleoecológica y paleobiológica de las formaciones neógenas.
- 2) La interpretación taxonómica de pisadas de aves descubiertas en la Formación Sijes ha resultado de gran valor para la reconstrucción ambiental de una unidad litológica prácticamente desprovista de fósiles. Las huellas son estructuras sedimentarias de origen biológico que representan una gran ayuda ante la ausencia de restos óseos, difíciles de preservar por su naturaleza neumática y en un medio químico alcalino agresivo.
- 3) El escaso contenido paleontológico de la Formación Sijes estaba dado por diatomeas, gasterópodos, huellas de aves, una huella de mamífero y restos de briznas vegetales. El gran número de huellas de aves determinadas y descritas en este trabajo multiplica el contenido fósilífero de la Formación Sijes con una amplia diversidad avifaunística.
- 4) El estudio morfológico permitió distinguir la presencia de pisadas muy diversas entre las que se destacan icnitas palmeadas, semipalmeadas, tridáctilas y tetradáctilas.
- 5) El análisis comparativo con especies actuales que viven en lagunas altoandinas, a través de: a) extracción de los moldes de las pisadas, b) comparación con

material ornitológico conservado en museos del NOA, c) cotejado de referencias de la bibliografía, entre otros parámetros metodológicos, permitió que se reconociera material comparable a los órdenes Phoenicopteriformes, Anseriformes, Ardeiformes y Charadriiformes.

6) Dentro de los órdenes mencionados se reconocieron las siguientes familias: Phoenicopteridae, Anatidae, Charadriidae y Recurvirostridae. Asimismo, las huellas fósiles: Icnave isp. 1, Icnave isp. 2, Icnave isp. 3, Icnave isp. 4, Icnave isp. 5, Icnave isp. 6 e Icnave isp. 7, guardan similitud con las dejadas por los actuales representantes de los géneros *Phoenicoparrus*, *Anas*, *Charadrius*, *Pluvialis*, *Vanellus*, e *Himantopus*.

7) De acuerdo a los órdenes determinados a partir de las huellas fósiles se deduce que el ambiente imperante en esa región en el Mioceno superior era de una laguna somera y salobre, con gran extensión de playas y rodeada por un área de escasa vegetación. El cuerpo de agua estaba sometido a fluctuaciones estacionales y su retracción llevaba a una mayor salinización y formación de capas de evaporitas.

8) Las icnitas de aves ayudan a deducir el ambiente de generación de los boratos, dado que ellas representan un medio lacustre de agua muy somera, que se desecaba periódicamente, con una zonación desde las márgenes del cuerpo de agua hacia las partes más profundas. Dicho cuerpo lacustre, en el sector donde se han conservado icnitas de aves, en ningún caso superaría los 50 cm de profundidad de acuerdo con los morfotipos de huellas presentes y su relación con ambientes similares actuales. Esto es una evidencia directa de la batimetría del paleolago salino de la Formación Sijes.

9) La diversidad y abundancia de la avifauna fósil estudiada, con un alto porcentaje de Charadriiformes (61%), y bajo porcentaje de Anseriformes, es indicativo de cuerpos de agua muy someros rodeados por extensos barreales. La equivalencia porcentual de Phoenicopteriformes indica un ambiente salobre, más que hipersalobre para las capas portadoras de las icnitas. La intercalación de capas de boratos y otras evaporitas, entre las arcillas con pisadas fósiles, indica que el ambiente se alcalinizaba en forma cíclica con una drástica disminución de la biodiversidad y abundancia avifaunística.

10) Las icnitas fósiles representan una herramienta sumamente útil en el análisis cronológico, paleobiológico y paleoambiental de las extensas formaciones de capas rojas de la Puna argentina y pueden constituirse en una guía en el marco de la exploración de cuerpos ocultos de boratos.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar y muy especialmente a la Biól. L.F. MUSSI por el trabajo descriptivo de las huellas de aves de la Formación Sijes. Agradezco también la invitación para escribir el presente artículo

a los doctores S. DAMBORENEA y M. MANCENIDO. Un especial reconocimiento a los árbitros S.A. ARAMAYO y E.P. TONNI por los valiosos aportes realizados. El trabajo se enmarca en las investigaciones sobre yacimientos de boratos que el autor lleva a cabo en el CONICET, Centro de Estudios Geológicos Andinos (CEGA), y en el CIUNSA (Proyecto N° 1677), en colaboración con Dra. T. RUIZ y Geól. A.G. QUIROGA.

REFERENCIAS

- ALONSO, R.N. (1985a) - Elementos paleontológicos para prospección metalífera en la cuenca ordovícica del norte argentino. *Sociedad Científica del Noroeste Argentino*, Salta, 1(4): 43-45.
- ALONSO, R.N. (1985b) - Iconitas de aves como control de niveles boratíferos. *Sociedad Científica del Noroeste Argentino*, Salta, 1(4): 37-42.
- ALONSO, R.N. (1986) - *Ocurrencia, Posición Estratigráfica y Génesis de los Depósitos de Boratos de la Puna Argentina*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Salta, 196 p. (Inédita).
- ALONSO, R.N. (1987) - Valoración icnoavifaunística de ambientes boratíferos. *4° Congreso Latinoamericano de Paleontología*, Santa Cruz de la Sierra, *Actas*, 1: 586-597.
- ALONSO, R.N. (1989) - Late Cretaceous Dinosaur Trackways in Northern Argentina. In: GILLETTE, D. & M. LOCKLEY (Eds.), *Dinosaur Tracks and Traces*, Cambridge University Press, Nueva York. Chapter 6 (23): 223-228.
- ALONSO, R.N. (1992) - Estratigrafía del Cenozoico de la cuenca de Pastos Grandes (Puna Salteña) con énfasis en la Formación Sijes y sus boratos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, Buenos Aires, 4 (2): 189-199.
- ALONSO, R.N. & R. GUTIÉRREZ (1986) - Litoestratigrafía del Neógeno Terminal. Puna Sudoriental Argentina. *Revista del Instituto de Geología y Minería*, Jujuy, 6: 29-47.
- ALONSO, R.N. & R. MARQUILLAS (1986) - Nueva localidad con huellas de dinosaurios y primer hallazgo de huellas de aves en la Formación Yacoraite (Maatrichtiano) del Norte Argentino. *4° Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía*, Mendoza, *Actas*, 2: 33-41.
- ALONSO, R.N. & N. MENEGATTI (1990) - La Formación Blanca Lila (Pleistoceno) y sus depósitos de boratos (Puna Argentina). *11° Congreso Geológico Argentino*, San Juan, *Actas*, 1: 295-298.
- ALONSO, R.N. & W.J. WAYNE (1992) - Hallazgo de gasterópodos en la Formación Sijes (Mioceno superior), Salta, República Argentina. *Estudios Geológicos*, Madrid, 48(3-4): 179-186.
- ALONSO, R.N., E. CARBAJAL & M. RASKOVSKY (1980) - Hallazgo de iconitas (Aves, Charadriiformes) en el Terciario de la Puna Argentina. *2° Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía y 1° Congreso Latinoamericano de Paleontología*, Buenos Aires (1978), *Actas*, 3: 75-83.
- ALONSO, R.N., S.H. MALANCA & R.J. SUREDA (1982) - Consideraciones sobre el Ordovícico de la Sierra de Aguilar, Provincia de Jujuy, República Argentina. *Revista del Instituto de Ciencias Geológicas*, Jujuy, 5: 15-37.
- ALONSO, R.N., T.E. JORDAN, K. TABBUTT & D. VANDERVOORT (1991) - Giant Evaporite Belts of the Neogene Central Andes. *Geology*, 19: 401-404.
- AMEGHINO, F. (1891) - Enumeración de las aves fósiles de la República Argentina. *Revista Argentina de Historia Natural*, Buenos Aires, 1: 441-453.
- AMEGHINO, F. (1895) - Sur les oiseaux fossiles de Patagonie. *Boletín del Instituto Geográfico Argentino*, Buenos Aires, 15(11-12): 104.
- AMEGHINO, F. (1905) - Enumeración de los impennes fósiles de la Patagonia e Isla Seymour. *Anales del Museo Nacional*, Buenos Aires, 6: 97-167.
- ARAMAYO, S.A. (1999) - Nuevo registro de iconitas de la Formación Río Negro (Mioceno Tardío-Plioceno Temprano) provincia de Río Negro, Argentina. *Ameghiniana Suplemento Resúmenes*, Buenos Aires, 36: 5-6.
- ARAMAYO, S.A. & T. MANERA DE BIANCO (1987) - Hallazgo de una icnofauna continental (Pleistoceno Tardío) en la localidad de Pehuén-Có (partido de Coronel Rosales) provincia de Buenos Aires, Argentina. Parte I: Edentata, Litopterna, Proboscidea. Parte II: Carnivora, Artiodactyla y Aves. *4° Congreso Latinoamericano de Paleontología*, Santa Cruz de la Sierra, *Actas*, 1: 532-547.
- ARAMAYO, S.A. & T. MANERA DE BIANCO (1993). Nuevos hallazgos en el yacimiento paleoicnológico de Pehuén-Có (Pleistoceno tardío) Provincia de Buenos Aires. *Primera Reunión Argentina de Icnología*, Santa Rosa, *Resúmenes*: 7.
- ARAMAYO, S.A. & T. MANERA DE BIANCO (1996) - Edad y nuevos hallazgos de iconitas de mamíferos y aves en el yacimiento paleoicnológico de Pehuén-Có (Pleistoceno Tardío), Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Asociación Paleontológica Argentina, Publicación Especial*, Buenos Aires, 4: 47-57.
- ARAMAYO, S.A., M. BARROS, S. CANDEL & L. VECCHI (2004) - Mammal and bird footprints at Río Negro Formation (Late Miocene-Early Pliocene), Río Negro Province Argentina. *First International Congress on Ichnology*, Trelew, Argentina, *Abstracts book*: 14.
- BONAPARTE, J. (1965) - Nuevas iconitas de la Quebrada del Yeso (La Rioja) y reconsideración de la Edad de los afloramientos. *Acta Geológica Lilloana*, Tucumán, 7: 5-16.
- BROWN, R.W., M.J. LAWRENCE & J. POPE (1993) - *Animals Tracks, Trails & Signs*. Hamlyn Guide. Hong Kong, 320 p.
- CAMPBELL, K. & E.P. TONNI (1980) - A new genus of teratorn from the Huayquerian of Argentina (Aves: Teratornithidae). *Contributions to Science, Natural History Museum*, Los Angeles, 330: 59-68.
- CAZIANI, S., V. MASCITTI & E. DERLINDATI (1995) - *Patrones de rareza de las aves acuáticas en las lagunas andinas de Pozuelos, Vilama, Guayatayoc y Lejía*. Informe. Universidad Nacional de Salta. CONICET. (Inédito).
- CONTINO, F.N. (1980) - *Aves del Noroeste Argentino*. Fundación del Banco del Noroeste Coop. Ltda., Salta, 137 p.
- COVACEVICH, V. & C. LAMPEREIN (1969) - Ichnites from Fildes Peninsula King George Island, South Shetland Islands. *Instituto Antártico Chileno*, Santiago de Chile, 1(1): 55-74.
- COVACEVICH, V. & P.V. RICH (1977) - New bird ichnites from Fildes Peninsula, King George Island, west Antarctica. *Antarctic Geoscience, 3rd Symposium on Antarctic Geology and Geophysics*, Madison: 245-254.
- DABBENE, R. (1910) - Catálogo Sistemático y Descriptivo de las Aves de la República Argentina, de las Regiones Limitrofes Inmediatas del Brasil, Paraguay, Bolivia, Chile y de los Archipiélagos, Islas al Sur y Sudeste del Continente Americano hasta el Círculo Polar Antártico. Ornito-

- logía Argentina. Tomo Primero. *Anales del Museo Nacional de Buenos Aires*, 18 (Ser. 3, 11): 1-513.
- DE LA PEÑA, M. (1992) - *Guía de Aves Argentinas*. 2ª Edición. Literature of Latin América (L.O.L.A.). Buenos Aires. 128 p.
- EMSLIE, S.D. (1995) - An early irvingtonian avifauna from Leisey Shell, Florida. *Bulletin Florida Museum Natural History* 37, 1(10): 299-344.
- GILL, F. (1990) - *Ornithology*. W.H. Freeman, New York. 661 p.
- GUANTAY, S. & R.N. ALONSO (1989) - Icnita de mamífero en la Formación Sijes (Mioceno) en la Puna Salteña. *6ª Jornadas Argentinas de Paleontología de Vertebrados*, San Juan, *Actas*: 93-96.
- KRAGLIEVICH, L. (1931) - Contribución al conocimiento de las aves fósiles de la época araucocentrorriana. *Physis*, Buenos Aires, 10: 304-315.
- KRAPOVICKAS, V., P.L. CICCIOLO, G.M. MÁNGANO, C.A. MARICANO & C.O. LIMARINO (2009) - Paleobiology and paleoecology of an arid-semiarid Miocene South American ichnofauna in anastomosed fluvial deposits. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Amsterdam, 284: 129-152.
- LEONARDI, G. (1987) - *Glossary and manual of tetrapod footprint palaeoichnology*. República Federativa do Brasil, Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral, Brasília. 75 p.
- LEONARDI, G. (1994) - *Annotated Atlas of South American Tetrapod Footprints (Denovian to Holocene)*. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Ministerio de Minas e Energia. Brasília. 274 p.
- LOCKLEY, M.G., S. Y. YANG, M. MATSUKAWA, F. FLEMING & S.K. LIM (1992) - The track record of Mesozoic birds: evidence and implications. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, London, B, 336: 113-134.
- MASCITTI, V. & CASTAÑERA, M. (1991) - Avifauna y Mastofauna asociada a la cuenca de la Laguna de los Pozuelos. In: GARCÍA FERNÁNDEZ, J.J. & R. TECCHI (Eds.), *La Reserva de la Biosfera Laguna de Pozuelos: un ecosistema pastoril en los Andes Centrales*. Universidad Nacional de Jujuy. UNESCO, 158 p.
- MASCITTI, V. & S. CAZIANI (1995) - La Retracción de la Laguna de los Pozuelos (Argentina) y los Cambios Asociados en la Comunidad de Aves Acuáticas. *Actas del 2º Simposio Internacional Desarrollo Sostenible de Ecosistema de Montaña: Manejo de Áreas Frágiles de los Andes*. Huairina, Bolivia: 321-330.
- MEYER DE SCHAUENSEE, R. (1982) - *A Guide of the Birds of South America*. Pan American section the International Council of Bird Preservation. Pennsylvania, Monograph, 60: 213-238.
- MORENO, F.P. & A. MERCERAT (1891) - Catálogo de los pájaros fósiles de la República Argentina conservados en el Museo de La Plata. *Anales del Museo de La Plata, Paleontología*, 1: 7-71.
- MUSSI, L.F. (1997) - Estudio taxonómico y paleoambiental sobre la base de icnitas fósiles de aves en la Formación Sijes (Mioceno), Puna de Salta. Escuela de Biología, Universidad Nacional de Salta, 117 pp. (Inédito).
- NAROSKY, T. & D. IZURIETA, D (1993) - *Guía para la Identificación de las Aves en Argentina y Uruguay*. Vázquez-Mazzini Editores. Buenos Aires, 345 p.
- NASIF, L. (1988) - El primer registro de flamencos (Phoenicopteridae) del Terciario Superior, Valle del Cajón (Provincia de Catamarca, Argentina). *Ameghiniana*, Buenos Aires, 25(2): 169-173.
- OLROG, C. (1968) - *Las Aves Sudamericanas, Una Guía de Campo*. Tomo Primero. Fundación Instituto "Miguel Lillo". Tucumán. 493 p.
- ORTÍ CABO, F. & R.N. ALONSO (2000) - Gypsum-Hydroboracite Association in the Sijes Formation (Miocene, NW Argentina): Implications for the Genesis of Mg-Bearing Borates. *Journal of Sedimentary Research*, 70(3): 664-681.
- POWELL, T. & J. STEELE, (1995) - *Ecological Time Series*. Chapman y Hall, New York, 493 p.
- PRATT, W. (1961) - Local evidence of Pleistocene to Recent Orogeny in the Argentine Andes. *Geological Society of America, Bulletin*, Boulder, 72: 1539-1550.
- RODRÍGUEZ, E.D. (2011) - *Aves de la Puna y los Altos Andes del Noroeste de Argentina*. Mundo Gráfico. Salta Editorial, Salta, 192 pp.
- ROJAS, W.R. & R.N. ALONSO (1998) - Estudio geológico económico de la mina Ona (colemanita), sierra de Sijes, Salta. *10º Congreso Latinoamericano de Geología y 6º Congreso Nacional de Geología Económica*, Buenos Aires, *Actas*, 3: 19-24.
- SCOTT, J.J., R.W. RENAUT, R.B. OWEN & W.A.S. SARJEANT (2008) - Biogenic activity, trace formation, and trace taphonomy in the marginal sediments of saline, alkaline Lake Bogoria, Kenya Rift Valley. In: BROMLEY, R., L.A. BUATOIS, M.G. MÁNGANO, J. GENISE & R. MELCHOR (Eds.), *Sediment-organism Interactions: A Multifaceted Ichnology*. *SEPM Special Publication*, 88: 311-332.
- SCRIVNER, P.J. & D.J. BOTTJER (1986) - Neogene avian and mammalian tracks from Death Valley National Monument, California: Their context, classification and preservation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Amsterdam, 57(2-4): 285-331.
- TAMBUSSI, C.P. (1985) - Un Tinamidae (Aves: Tinamiformes) del Mioceno tardío en La Pampa (República Argentina) y comentarios sobre los Tinamidae fósiles argentinos. *Circular Informativa de la Asociación Paleontológica Argentina*, Buenos Aires, 14.
- TAMBUSSI, C.P. (1995) - Las Aves. In: ALBERDI, M., G. LEONE & E. TONNI (Eds.), *Evolución biológica y climática de la región pampeana durante los últimos cinco millones de años*. *Museo Nacional de Ciencias Naturales*, Madrid, *Monografía*, 11: 144-161.
- TAMBUSSI, C.P. & E.P. TONNI (1984) - La distribución del género *Rhea* (Aves: Rheiformes) en el Pleistoceno tardío-Holoceno de la Región Patagónica. *Primeras Jornadas Argentinas de Paleontología de Vertebrados. Resúmenes*: 11.
- TAUBER, A., P. RODRÍGUEZ & J. KRAPOVICKAS (2007) - Icnitas de aves de la Formación Salicas (Neógeno) de la sierra de Velasco, La Rioja, Argentina. *Ameghiniana*, Buenos Aires, 44: 84.
- TONNI, E.P. (1974) - Un nuevo Carámido (Aves: Gruiformes) del Plioceno Superior de la provincia de Buenos Aires. *Ameghiniana*, Buenos Aires, 11(4): 366-372.
- TONNI, E.P. (1977a) - Los Tinámidos fósiles argentinos I. El género *Tinamisornis* Rovereto, 1914. *Ameghiniana*, Buenos Aires, 14(1-4): 224-232.
- TONNI, E.P. (1977b) - El rol ecológico de algunas aves fororricoides. *Ameghiniana*, Buenos Aires, 14(1-4): 316.
- TONNI, E.P. (1980) - The present state of knowledge of the Cenozoic birds of Argentina. *Contributions to Science*,

- Natural History Museum, Los Angeles County*, 330: 105-114.
- TONNI, E. & C. TAMBUSI (1986) - Las aves del Cenozoico de la República Argentina. *4° Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía*, Mendoza, *Actas*, 2: 131-142.
- TURNER, J.C. (1960) - Estratigrafía del Nevado de Cachi y sector al oeste. *Acta Geológica Lilloana*, Tucumán, 3: 191-226.
- TURNER, J.C. (1964) - Descripción de la hoja 7 c, Nevado de Cachi, Salta. *Servicio Geológico Nacional*, Buenos Aires, *Boletín*, 99: 1-78.
- WALKER, C.A. (1981) - New subclass of birds from the Cretaceous of South America. *Nature*, 292: 51-53.

Accepted December 28th, 2011