

Sedimentología, Mineralogía y Paleontología de los sedimentos costeros del Pleistoceno tardío Holoceno, de la Cuenca de la Laguna de Los Pozuelos.

María Camacho¹, María I. Zamar² & Julio J. Kulemeyer¹

(1) *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.*
mcamacho@fi.unju.edu.ar y jjkulemeyer@fi.unju.edu.ar

(2) *Instituto de Biología de la Altura, Universidad Nacional de Jujuy.*
mizamar@inbial.unju.edu.ar

RESUMEN: En un nuevo esfuerzo para contribuir con el conocimiento del Cuaternario de lagunas de altura, en la Puna argentina se realizan reconsideraciones de las edades radiocarbónica de los depósitos costeros los cuales son correlacionados con nuevas dataciones calibradas (cal) ¹⁴C de 4 testigos dentro de la Laguna de Los Pozuelos. En la Cuenca de la Laguna de Los Pozuelos (CP) (22°S 66°O, 3625-4808msnm) se instaló desde el Pleistoceno tardío a la actualidad un sistema lagunar somero a efímero, sometido a frecuentes retracciones y expansiones. Durante el último evento glacial se formaron extensas líneas costeras a 3695, 3680 y 3665 msnm, las dos últimas muy bien preservadas con desarrollo de Biohermas-carbonatos algales y calclititas (sedimentitas con predominio de clastos de rocas calcáreas) en contrastes con las costas actuales (3625msnm) de espesores centimétricos, cuyas condiciones climáticas, físico químicas, biológicas y tectónica no logran formar los depósitos del pasado. La buena preservación de los sedimentos costeros permitió la reconstrucción de la geometría lacustre y una mejor comprensión paleoambiental y paleoclimática del Pleistoceno tardío-Holoceno. En ese trabajo se dan los resultados de los estudios geomórficos, sedimentológicos, paleontológicos y mineralógicos, de los sedimentos aflorantes de las líneas de costas y de 5 testigos lacustres.

1 INTRODUCCIÓN

La Cuenca de la Laguna de Los Pozuelos (CP), se sitúa en el norte de la provincia de Jujuy y una pequeña porción al noreste en territorio boliviano, con una superficie de 3650Km² y drenaje endorreico (Fig. 1). Geomorfológicamente presenta un relieve en Bolsón Los principales controles de la arquitectura depositacional y de la paleogeografía de la cuenca son la tectónica y el clima. La CP es una cuenca alargada de piggyback con capas de corrimiento con vergencia oeste compuestas por rocas volcánica y silicoclásticas del Ordovícico que forman una cuenca de base plana (McGlue et al., 2012 y 2013) y a las fallas normales de edad Mioceno-Cuaternario asociada con la incorporación de la cuenca en el antepaís andino (Gangui, 1998; Gubbels *et al.*, 1993; Cladouhos *et al.*, 1994; McGlue *et al.*, 2012 y 2013). A pesar de las muchas décadas de estudio, existen vacíos importantes en la comprensión de los diversos tipos de lagos tectónicos modernos, en particular aquellos relacionados con sistemas de retroarco de cuencas de antepaís (McGlue *et al.*, 2012 y

2013). El clima en la región es gobernado por la American Summer Monsoon Sur (SASM, Zhou & Lau, 1998). Como con la mayor parte de la Puna, el fenómeno de la Oscilación Sur El Niño (ENSO) y la temperatura superficial marina del Atlántico Norte modulan los patrones de precipitación sobre la CP. Mientras que los sedimentos de los depósitos lacustres del Pleistoceno tardío revelan una estrecha relación entre el clima andino central y los gradientes de temperatura superficial del océano Atlántico Norte, como en los lagos del Altiplano boliviano (McGlue *et al.*, 2013). Un estudio isotópico y químico del lago Titicaca (Cross *et al.*, 2001) indica que el clima del Pleistoceno tardío fue 20% más húmedo y 5 °C más frío que el actual (Argollo Bautista & Iriondo, 2008). La Laguna de Los Pozuelos (LP), fue declarada Monumento Natural por Parques Nacionales en 1981 e incorporada en 1990 a la red de Reservas de la Biosfera del Programa MAB-UNESCO. En efecto, los lagos y los humedales son componentes visibles de las cuencas someras de alta montaña en los Andes centrales, proporcionando un hábitat vital para una gran

variedad de especies endémicas y una base de recursos fundamental para las poblaciones humanas locales (Caziani et al, 2001; Núñez et al., 2002). Su evolución en tiempos pleistocenos y holocenos ha producido innumerables cambios de nivel del agua que han dejado sus huellas en forma de líneas de costas (Camacho, 2009, 2012). El objetivo de este trabajo es el de estudiar la sedimentación de afloramientos costeros (CL costas lacustres), aplicando los criterios de caracterización de facies propuestos por Selley (1978), geometría, litología, estructura sedimentaria y contenido paleontológico y comparar con los testigos lacustres (Fig. 1).



Figura 1. Mapa de la cuenca lacustre moderna de la Laguna de Los Pozuelos, con la ubicación de los perfiles de las líneas costeras y perforaciones.

2 METODOLOGÍA

Para la reconstrucción del ambiente costero de la CP se utilizaron imágenes satelitarias. Se elaboraron mapas preliminares a escala 1:50000 mediante interpretación de fotografías aéreas, con control de campo, levantamientos de 3 perfiles tipos con sus respectivos análisis texturales, estudios mineralógicos, determinaciones de los elementos arquitecturales, de las litofacies, de las estructuras sedimentarias y del contenido fosilífero. Para el estudio mineralógico de la fracción arena-limo se elaboraron cortes delgados de los sedimentos sueltos, realizando preparaciones especiales en probetas y

amalgamados con cemento transparente, para su estudio en el microscopio de polarización. La fracción arcilla <math><2\mu\text{m}</math> fue determinada mediante difracción de rayos X (DRX), en el Instituto de Estratigrafía Global (IESGLO-UNT) y en el Instituto Jaume Almera (Barcelona). Estudios con el microscopio electrónico de barrido (MEB) se hicieron en Barcelona y en la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA-Argentina). En Berna-Suiza se llevaron a cabo los análisis físico-químicos y 6 dataciones radiocarbónica. Camacho & Kunz (2011), a las que se sumaron 2 dataciones ^{14}C de los paleosuelos de la Fase Tauca (12 Ka ^{14}C AP*) (Camacho et al., 2009) y del Holoceno tardío (2Ka ^{14}C AP) en el Laboratorio de Tritio y Radiocarbono (LATYR) de la Universidad Nacional de la Plata, Kulemeyer et al., 2009. *Edad radiocarbónica en miles de años (Ka), antes del presente (AP).

La nomenclatura de los elementos arquitecturales y de las litofacies utilizadas, sigue la propuesta en líneas generales de Miall (1985) con las adaptaciones lacustres propia de la zona estudiada. La Tabla 1 muestra los códigos y las descripciones utilizadas en este trabajo.

Tabla 1. Código de arquitectura y litofacies.

Código	Elementos Arquitecturales
CL	Costa lacustre.
Código	Litofacies
Gms	Grava matriz soportante, maciza, gradada.
Gp	Grava estratificación cruzada planar
Sp	Arenas fina a muy gruesa, estratificación cruzada planar.
Fmoa	Fango carbonático macizo con ostrácodos y algas.
Foa	Fango carbonático con ostrácodos y algas.
Fsco	Limo, fango carbonático macizo con ostrácodos.
B	Biohermas-carbonatos algales.

En el esquema paleoestratigráfico se tuvieron en cuenta los resultados de 1 perforación realizada por el Centre of Competence in Research-Suiza (NCCR Clima), Camacho & Kunz (2011) y la consideración de los resultados radiocarbónicos de 4 perforaciones realizadas dentro de la laguna moderna (McGlue et al., 2013), ver Fig. 1.

2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1 Pleistoceno tardío

2.1.1. Depósitos de líneas de costas lacustres antiguas del Minchin temprano, se sitúan a una cota de 3695 msnm, son los más antiguos y se

encuentran rodeando externamente a todas las demás paleocostas, sus afloramientos son muy escasos y sólo son visibles en fotos aéreas a escala 1:50000 o mayor (Fig. 1). Estas secuencias se disponen con discordancia erosiva en la parte distal de los depósitos aluviales-coluviales - Abanico aluvial-Bajada, según Camacho (2009) y pasan lateralmente a depósitos lacustres y costeros de Edad Minchin. Estas secuencias están relacionadas con la primera inundación lacustre seguida por una segunda etapa de la formación de abanicos deltaicos sublacustres (fandeltas) (base del testigo 2 de Mcglue et al., 2013) (Fig 1). Se describe el único perfil expuesto por una excavación realizada por la familia Maidana, para la construcción de una aguada en la localidad de Carahuasi.

Perfil Carahuasi (PC): de 2,35m de espesor a 3695 msnm, se inicia en la base con intercalaciones de 1,10 m de arena gruesa, arena media con clastos de grava fina y arena media-gruesa de colores pardos rojizos a amarillentos, clasto soportante con estratificación cruzada planar (Sp), le continúa 25 cm de grava fina, clasto soportante, estratificación cruzada planar (Gp) y finaliza en el techo con 1 metro de grava fina arenosa gruesa matriz soportante (Gms). Representan la más antigua costa lacustre (CL), las litofacies y ubicación en Figs. 1, 2 y Tabla 1. Consideraciones petrográficas: Existe un predominio de litoclastos de areniscas, limolitas, arcillas y volcanoclastos del Complejo Magmático - Sedimentario Cochino - Escaya y rocas silicoclásticas y volcanoclásticas del Terciario (60 a 70%). Escasos calcilitos y oolitas muy alterados a óxidos de hierro. Clastos redondeados a angulosos de minerales de: cuarzo, plagioclasas (albita - oligoclasa - andesina), hornblenda, lamprobolita, hiperstena, ceolitas, biotita, augita, circón, sericita, magnetita y óxidos de hierro.

Contenido fosilífero: En la lupa se observó la presencia de restos esparcidos e incompletos de Artrópodos: Colémbolos (Hexapoda: Collembola) y Sínfilos (Myriapoda: Symphyla), Hormigas (Insecta: Hymenoptera), Ácaros (Chelicerata; Arachnida) y restos vegetales, propios de ambientes terrestre. En cuanto a los Ostrácodos (Arthropoda: Crustacea) únicamente fueron observados en el microscopio de polarización con un aumento 100X, como restos de valvas rotas y alteradas.

Ambiente: Lacustre costero que forjó el oleaje de la primera máxima inundación lacustre cubriendo una superficie aproximada de 900 Km² (15km de ancho x 60km de largo) y una profundidad entre ~30 a 20 m, ver Figs. 1, 2 y Tabla 1.

Edad: Estos sedimentos se los correlacionan con el Minchin temprano de acuerdo a su localización paleogeográfica y a la historia climática para el Altiplano boliviano por Servant et al (1978, 1995), Argollo Bautista & Iriondo (2008) y en los estudios realizados en la CP por McGlue et al. (2013) anterior a 43 cal Ka ¹⁴C AP, durante la primera expansión lacustre de la LP (Fig. 1).

2.1.2. Depósitos de líneas de costas lacustres Minchin, grava fina arenosa, arena, desarrollo de Biohermas-carbonatos algales- y Ostrácodos: La presencia de estas líneas costeras pueden ser visibles en las imágenes satelitales. En mapeo de detalle, sobre pares estereoscópicos y a escala 1:50000, se han podido contar 21 paleolíneas, agrupadas en 3 mayores, con un desnivel de 15 metros entre las más alejadas. La altura varía entre los 3680 a 3665 msnm a unos 15 metros sobre la playa del último máximo glacial "late glacial maximum" (LGM) (Camacho & Kunz, 2011). Se ubican debajo y concéntricamente por dentro de las líneas lacustres del Minchin temprano (Figs. 1, 2 y Tabla 1). A continuación se describen 2 perfiles tipo:

Perfil Gutiérrez (PG): de 1,80m de espesor a 3680 msnm está situado al E de La Laguna de Los Pozuelos moderna, a unos 20 m sobre el nivel actual de la laguna, está emplazado entre las líneas costeras de la Fase Minchin temprano y la playa del LGM (Camacho, 2009) (Figs. 1 ,2 y Tabla 1). El perfil se inicia en la base con 25 cm de espesor de arena compacta con algunas gravas finas, de color rojizo con estratificación cruzada planar (Sp). Le continúa 20 cm de calizas de Biohermas algales (arrecifes) (B) y calcilitas, que poseen pequeñas oquedades, las que fueron probablemente formadas por plantas acuáticas (microcarst). El contacto superior es curvado debido a la estructura creada por las algas. Hacia arriba (con un espesor de 55 cm) hay un predominio de arenas y gravas finas con estratificación cruzada planar (Gp). En la base del estrato existen arenas con una fuerte diagénesis. Luego le continúan 15 cm de arcillas y limos calcáreos poco consolidados, con ostrácodos y algas que yacen sobre un contacto horizontal, marcado y definido (Foa), siguen 10 cm de arenas compacta y gravas irregulares las que sobreyacen a un contacto curvado (Gp), luego 25 cm de calizas de Biohermas (B), calcilitas, que contienen diatomeas, ostrácodos y materiales detríticos, con estratificación bandeada y culmina en el techo con un estrato de 30 cm de fango carbonático bioturbado, con ostrácodos y restos orgánicos (FSCO) (Figs.1, 2 y Tabla 1). *Perfil del Arroyo Peñaloza:* de 1,60 m de espesor (3665 msnm), se inicia en la base con 70 cm de grava

fina clasto soportante con estratificación cruzada planar gruesa (Gp), le continúan hacia el techo 10 cm de arena bien seleccionada blanca con estratificación cruzada planar (Sp), 8 cm de grava fina clasto soportante (Gp) con pátinas de óxidos de hierro de color pardo amarillento, 15 cm de limo-arcilla calcáreo (Fmoa) acompañado de calcilitas (sedimentita litificada formada por el

predominio de calcilitos) y calcilitos (clastos de rocas calcáreas) (Folk, 1959, 1980), 45 cm de gravilla matriz soportante (Gp) en contacto neto y recto en la base, de color pardo amarillento y en el techo una capa de espesor variable entre 6 a 13 cm de Biohermas – carbonatos algales (B), en contacto curvado (Figs.1, 2 y Tabla 1). Los análisis químicos en Tablas 2 y 3, Camacho,2009

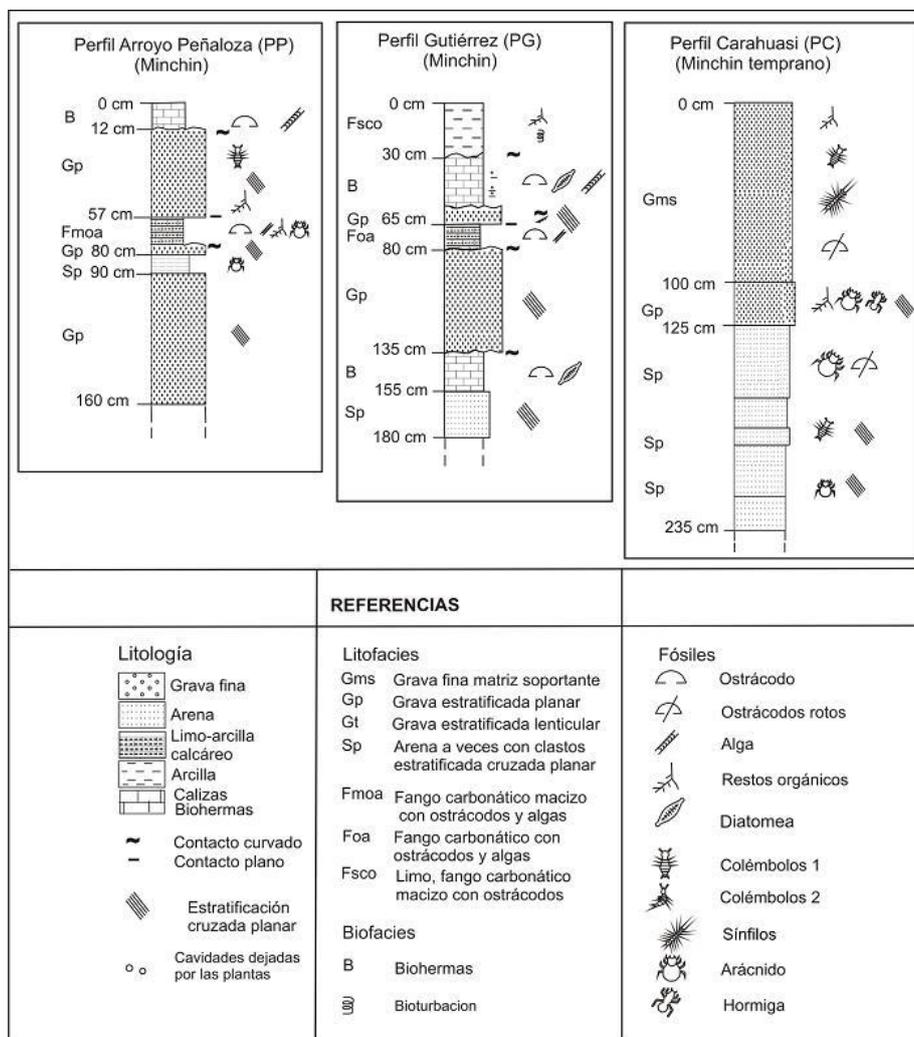


Figura 2: Perfiles de las costas lacustres del Minchin, ver su ubicación en los pentágonos de la Fig. 1.

Consideraciones petrográficas: Se han clasificado en: Calizas biogenéticas (Biohermas), fango y arenas calcáreas y sedimentos silicoclásticos.

Calizas biogenéticas (Biohermas): La construcción de arrecifes de Biohermas (caliza algales), erróneamente llamados estromatolitos por anteriores autores, presenta un color blanco amarillento en el campo. Estudios en microscopio electrónico, revelaron con gran detalle la estructura y la presencia tanto de micrita maciza como la recrystalizada en hermosos cristales romboédricos, esta última siguiendo el techo de

las matas algales. Entre las capas, relleno de oquedades, los cristales euhedrales de calcita, con el eje c de 6 μm de largo (subesparita) crecen en continuidad óptica con los de calcita de la fábrica micrítica anterior, producto de la diagénesis. (Fig. 3A). Al microscopio de polarización se observa una fábrica micrítica formada por pequeños cristales anhedrales a subhedrales de calcita junto a materia orgánica, arcilla, hematita y pirita. La textura es fibrosa–radial perpendicular a la superficie de la capa y formando láminas onduladas, consecuencia de la actividad de algas y bacterias (Fig. 3B). A su vez estos sedimentos

presentan oquedades dejadas por las algas y otras plantas (microcarst) donde se alojaron ostrácodos, fragmentos de minerales, plagioclasas (oligoclasa-andesina), hornblenda, lamprobolita, circón, augita, hipersteno, biotita y cuarzo y litoclastos de pizarras y areniscas de rocas más antiguas.

Fango y arenas calcáreas: Se intercala a las Biohermas, calizas de origen terrígeno, compuesta de fragmentos de calizas (calcilitos) que en algunos casos se encuentran litificados formando calcilitas. Además, litoclastos de pizarras, plagioclasas, hematita y otros. Son fangos y arenas calcáreas constituidas mayoritariamente de calcilitos (90 a 60%) formados principalmente de trozos de biohermas, micritas, subesparita, esparita, oolitas y de areniscas calcáreas. En menor proporción: cuarzo, plagioclasas (oligoclasa-andesina), microclina, hiperstena, lamprobolita, apatito y magnetita. Este tipo de sedimento abunda en la Laguna de Los Pozuelos, son materiales derivados de la erosión de las áreas emergidas, adyacentes a la cuenca de sedimentación y que han sido transportados en estado sólido hasta su lugar de depositación. Se da el nombre de calcilito siguiendo la propuesta de Folk (1959) quien presentó este término en la literatura especializada y definió a las calcilitas como sedimentitas carbonáticas constituida por más de un 50% por fragmentos carbonáticos (calcilitos) de procedencia terrígena. Así definidas, las calcilitas representan, desde el punto de vista genético, un tipo particular de areniscas líticas de origen mixto o híbrido que se caracteriza por el predominio de fragmentos de rocas carbonáticas pre-existentes (calcilitos) ver Fig. 3C y silicoclásticos. Es razonable suponer que las calcilitas están vinculadas estrechamente con un área de procedencia calcárea, de relieve elevado y muy próximo a la cuenca de sedimentación; estos factores hacen posible el predominio de la desintegración mecánica rápida sobre la descomposición química y el corto transporte de los fragmentos resultantes hasta el lugar de depositación.

Sedimentos silicoclásticos: Se trata de gravas finas y arenas compuestas principalmente de litoclastos (60%-70%) de areniscas, lutitas y volcanoclastos del Complejo Magmático-Sedimentario Cochínoca-Escaya y de los afloramientos terciarios, acompañadas por plagioclasas (albita – oligoclasa - andesina), microclino, hornblenda, hipersteno, augita, biotita, lamprobolita y minerales opacos. Los clastos son redondeados a subredondeados. *Contenido fosilífero:* Los sedimentos son muy ricos en fósiles, están presentes, Algas calcáreas (Biohermas-arrecifes), Ostrácodos (Fig.3), en niveles de agua altos de la laguna. Artrópodos

(Arácnidos, Hormigas, Sífilos) y restos orgánicos, testigos de episodios de la retracción lacustre.

Consideraciones paleontológicas

Algas calcáreas - Biohermas: El desarrollo de carbonatos algales fueron muy bien descritos por Rouchy et al, (1996) para la zona costera de los lagos del Altiplano boliviano. Las Biohermas fueron construidas predominantemente por comunidades de plantas, probablemente por algas verdes filamentosas. Las comunidades de cianobacterias prosperan en asociación con estas plantas pero ellas no contribuyen suficientemente a la arquitectura de las Biohermas, ellas participan en el encostramiento de los filamentos y malezas algales o forman estructuras finamente laminares cubriendo al conjunto. Un rasgo prominente de las Biohermas es su estructura compuesta debido a la repetición del crecimiento algal (Figs. 3A y 3B) y de otras plantas durante episodios lacustres sucesivos de expansión lacustre y que luego son separados por exposición subaérea con efectos erosivos moderados, proveyendo un registro de las fluctuaciones lacustres del Pleistoceno tardío. Las condiciones responsables del desarrollo inusual de las algas verdes y la acumulación de carbonato no son claramente entendidas todavía. Es evidente que su crecimiento ha sido controlado por condiciones físico-químicas de la laguna y el clima. La dinámica del nivel del agua puede haber favorecido el desarrollo de las algas verdes durante las expansiones estacionarias y de las comunidades microbianas durante los períodos de contracción lacustre. El contenido de calcio de las aguas de la laguna fue provisto por la erosión de estratos aflorantes, principalmente de rocas volcánicas pero también de los sedimentos carbonáticos de la Fm. Tíomayo del Terciario (Seggiaro & Aniel, 1989). Los carbonatos no precipitaron espontáneamente desde las aguas de la laguna. Esto sugiere que la mayoría del calcio disuelto fue atrapado por el desarrollo exuberante de algas a lo largo de las costas.

Crustáceos (Ostrácodos): Se encuentran asociados con las Biohermas, encontrándose en los huecos de las calizas biogénicas y también dentro de calcilitas y de los calcilitos, preservando sólo sus delgadas valvas que protegen a estos cangrejos, ver Figs.3C y D. *Artrópodos:* Arácnidos, Colémbolos, Hormigas, Sífilos. Los sedimentos de las facies silicoclásticas costeras de los periodos de contracción lacustre y emergencia de las costas fueron poblados por estos invertebrados. En la mayoría de los casos se encontraron únicamente partes sueltas de sus delicados cuerpos debido a su bajo potencial de preservación.

Tabla 2. Resultados de los análisis químicos de cationes del perfil Gutiérrez (Camacho, 2009 y 2012). DLD debajo del límite de detección. * Menos aprox. - contenido del sulfato

Prof. [cm]	[mg/g Sedimento seco]															
	Al	As	B	Ba	Ca	Ca*	Cd	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Sr	Zn
5	0,93	0,007	DLD	0,04	2,03	1,96	0,00011	0,006	0,9	0,57	0,85	0,10	0,14	0,18	0,03	0,006
20	1,87	0,017	0,03	0,13	3,30	3,24	0,00012	0,008	1,9	0,97	1,94	0,10	0,28	0,17	0,07	0,010
30	1,17	0,029	0,05	0,19	45,98	45,92	0,00021	0,007	1,3	0,71	1,97	0,08	3,24	0,22	0,19	0,006
40	1,25	0,031	0,05	0,22	40,96	40,96	0,00018	0,007	1,4	0,75	2,10	0,08	0,34	0,26	0,19	0,007
47	0,79	0,029	0,02	0,12	25,37	25,35	0,00012	0,004	1,1	0,39	1,31	0,06	0,23	0,33	0,13	0,009
60	0,35	0,007	DLD	0,02	1,25	1,25	0,00006	0,024	0,5	0,14	0,37	0,03	0,09	0,22	0,02	0,011
75	0,66	0,018	0,01	0,05	14,22	14,21	0,00009	0,002	0,8	0,27	0,97	0,04	0,17	0,27	0,09	0,006
90	0,35	0,007	DLD	0,02	1,38	1,38	DLD	0,002	0,5	0,13	0,34	0,02	0,10	0,17	0,02	0,009
125	0,92	0,006	0,02	0,04	1,87	1,84	0,00003	0,003	0,9	0,37	1,04	0,04	0,38	0,30	0,04	0,006
145	1,62	0,012	0,06	0,09	41,10	40,97	0,00023	0,008	1,9	1,11	2,97	0,08	1,05	0,63	0,20	0,015
165	0,69	0,011	0,02	0,08	29,55	29,44	0,00020	0,004	1,2	0,42	1,33	0,07	0,72	0,46	0,15	0,006
172	0,88	0,009	0,02	0,04	7,74	7,72	0,00010	0,004	1,4	0,42	1,13	0,06	0,43	0,39	0,07	0,014

Tabla 3. Resultado de la análisis químicos de aniones del perfil Gutiérrez y en las 3 últimas filas las relaciones Mg/Ca*, Sr/Ca*, Ba/Ca*, proxies indicadores de salinidad (Camacho, 2012)

Prof. [cm]	[mg/g Sedimento seco]							
	Fluoruro	Cloruro	Nitrato	Fosfato	Sulfato	Mg/Ca*	Sr/Ca*	Ba/Ca*
5	DLD	0,18	0,26	0,03	0,17	0,44	0,02	0,019
20	en trazas	0,03	0,09	0,02	0,15	0,60	0,02	0,042
30	0,02	en trazas	0,00	0,00	0,15	0,04	0,00	0,004
40	0,04	en trazas	0,00	0,00	0,02	0,05	0,00	0,005
47	0,02	0,02	en trazas	0,01	0,05	0,05	0,01	0,005
60	0,01	en trazas	0,00	0,04	0,01	0,30	0,01	0,015
75	0,02	0,04	0,00	0,02	0,03	0,07	0,01	0,003
90	en trazas	en trazas	0,00	0,01	0,01	0,25	0,01	0,016
125	0,01	0,05	0,05	0,07	0,08	0,56	0,02	0,021
145	0,03	0,05	0,06	0,00	0,30	0,07	0,00	0,002
165	0,01	0,23	0,22	en trazas	0,27	0,05	0,00	0,003
172	en trazas	en trazas	0,00	0,01	0,05	0,15	0,01	0,005

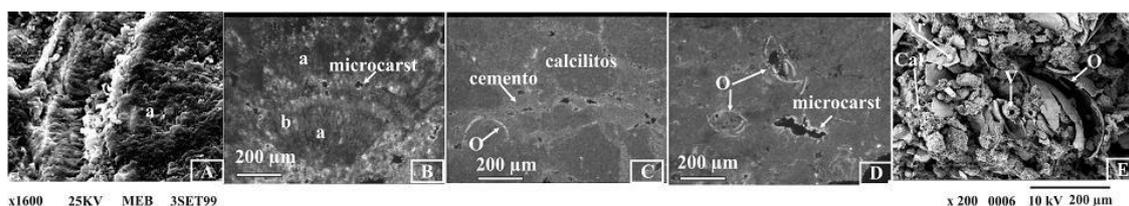


Figura 3. A) Biohermas, microscopio electrónico de barrido (MEB) 1600x, (c) cristales de calcita y (a) algas; B) Biohermas, microscopio de polarización: (a) Algas con estructura en forma de cono invertido (b) incrustaciones; C) Calcilitita, Ostrácodos (o) en calcilitito y microcarst; D) Valvas de Ostrácodos (o) completas en calcilitita y E) Arcillas, (Ar) calcilitos (Cal), Ostrácodos (O) y restos vegetales (V) (MEB).

Ambiente: Representan ambientes litorales costeros que acompañan a tres expansiones y contracciones lacustres de acuerdo a la deducción paleolimnológica realizada por Camacho (2009) basada en las Tablas 2 y 3, con desarrollo de fandeltas (McGlue et al., 2013) al inicio y deltas gilbertianos transversales en una etapa posterior de la evolución lacustre, Camacho, 2009 (Fig.1).

Edad: La primera edad radiocarbónica fue la determinada por Igarzabal (1991) de 27 Ka ^{14}C AP. Estudios de McGlue et al., (2013) sobre 4 testigos extraídos de la laguna moderna (cuadrados 1-2-3-4 de la Fig.1), nos permiten correlacionarlos con una edad aproximada entre 43 y 23 Ka, edad limitada por el inicio de un clima más árido y tal vez más cálido que causó precipitaciones de yeso en rosetas de 5cm de diámetro y pequeños porcentajes de halita, en la laguna efímera del último máximo glacial “late glacial maximum” (LGM) (23 a 15Ka ^{14}C AP) (Camacho & Kunz, 2011), que no ha labrado costas, sólo playas y que ha sufrido los movimientos neotectónicos de hace unos 15 Ka reduciendo el espacio de sedimentación de la CP.

3.2. Holoceno

Las líneas costeras se ubican en la parte central y más baja de la CP (Fig. 1). Se encuentran en continuación lateral y sobreyacen a los sedimentos lacustres efímeros del LGM y del tardío glacial (Fase Húmeda Tauca), Camacho et al., 2009, indicando el inicio del interglacial del Holoceno (10 Ka ^{14}C AP). Las costas casi no tienen expresiones geomorfológicas en el terreno y su geometría está definida por la zona de humedad, impresa en color gris oscuro en las imágenes y fotografías aéreas, mostrando los avances y retrocesos del agua de la laguna sometida a las oscilaciones climáticas. Su máxima inundación fue de 112 Km² (14 km de largo x 8 km de ancho) por 1 m de profundidad, Camacho, 2012 (Fig. 1). La CL de espesores centimétricos, está compuesta de fango macizo (por bioturbación e impacto de las aves de la laguna) calcáreo, con ostrácodos y algas, que sobre yace a fango orgánico, por la presencia de agua y materia orgánica descompuesta, Gytija. En eventos de retracción queda reducida a un área de 70 km² por 0,5 m de profundidad, Camacho, 2012. La presencia de paleosuelos entre 3 y 1,5Ka se correlaciona a un incremento de la humedad regional en el Holoceno tardío, en el Norte de la Puna jujeña (Kulemeyer et al., 2009).

Consideraciones petrográficas: Según las observaciones en el microscopio de la fracción >2 μm se determinó que los sedimentos están constituidos mayoritariamente de calcilitos (60 a

80%), formados de trozos de rocas carbonáticas: micrita, subesparita, esparita, oolita, arenisca calcárea y de Biohermas algales. En menor porcentaje litoclastos de rocas silicoclásticas, volcanoclastos y trizas vítreas. Los minerales están representados por cuarzo, plagioclasas (oligoclasas-andesina), ortoclasa, clorita, zeolita, circón, apatito, hiperstena, augita, lamprobolita, hornblenda, biotita, magnetita, óxidos de hierro, calcita, yeso y halita. La fracción <2 μm la componen illita, clorita, caolinita y montmorillonita.

3 CONCLUSIONES

Durante el Pleistoceno tardío en la CP se instaló una laguna profunda a somera en respuesta a los eventos climáticos del último glacial a nivel global. La expansión lacustre comienza con la “Fase Minchin” (>43 a 23 cal Ka ^{14}C AP). La laguna llegó a poseer una extensión entre ~900 a 572 Km² de superficie y una profundidad máxima de ≥ 20 metros. Se labraron a sus alrededores extensas líneas costeras a 3695, 3680 y 3665 msnm, con desarrollo de Biohermas-carbonatos algales, fandeltas y deltas Tipo Gilbert. Los ajustes climáticos y tectónicos del final del último máximo glacial (LGM) ~23 a 15 cal Ka ^{14}C AP y del tardío glacial (Fase Tauca) (12 Ka ^{14}C AP) la redujeron a una laguna efímera de 264 km² de superficie y 10 metros de profundidad. Las costas del Holoceno temprano a 3625 msnm (10 Ka ^{14}C AP) indican el inicio del interglacial con una mayor retracción lacustre de 112 Km² por 1 m de profundidad, con oscilaciones entre 70 km² x 0,50 m, hasta quedar casi seca como en los años 1958, 1983 y 1992. Sin embargo la CP muestra una recuperación desde los 3 Ka al presente con una tendencia en el incremento de las lluvias.

5 AGRADECIMIENTOS

Al Proyecto SECTER- UNJu N° 08/D116 “Estudio de lagunas y salares de altura, Pleistoceno superior-Holoceno, Puna argentina” y al PICTO-UNJu N° 147 “Catástrofes Ambientales durante el Holoceno en Puna”, por el financiamiento de estas investigaciones.

6 REFERENCIAS

Argollo Bautista, J. & M. H. Iriondo, *El Cuaternario de Bolivia y regiones vecinas*. Museo Ameghino, Corrientes, Argentina, 2008.
Camacho, M., *Sedimentología y mineralogía de los depósitos superficiales aluviales y lacustres del Bolsón de La Laguna de Los Pozuelos (BLLP), Puna jujeña, Argentina*. Tesis

- Doctoral, Biblioteca de la Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina, 2009.
- Camacho, M. & A. Kunz, Sedimentos del testigo de la perforación al NE de La Laguna de Los Pozuelos Actual, Puna jujeña, Argentina. *Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA. Capítulo Ciencias de la Tierra T 1*, 375-382. Editores Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca, Argentina, 2011.
- Camacho M., F. G. Alcalde & J. R. Escalante, Paleosuelos del Pleistoceno Superior en el Bolsón de la Laguna de Los Pozuelos y su significado paleoclimático, Puna jujeña, Argentina. *Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA*, T 1, 77-81. Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Salta, 2009.
- Camacho, M., Evolución de la Laguna de Los Pozuelos durante el Pleistoceno tardío-Holoceno, Puna jujeña, Argentina. Actas V Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, I, 29-40, Córdoba, 2012.
- Caziani, S.M., E.J. Derlindati, A.Talamo, A.L. Suredam, C.E. Trucco & G. Nicolossi, Waterbird richness in Altiplano wetlands of Northwestern Argentina. *Waterbirds*, 24, 103-117, 2001.
- Cladouhos, T.T., R.W. Allmendinger, B. Coira & E. Farrar, Late Cenozoic deformation in the Central Andes: fault kinematics from the northern Puna, northwestern Argentina and southwestern Bolivia. *Journal of South American Earth Science*, 7, 209-228, 1994.
- Cross, S., G. Seltzer, S. Fritz & R. Dunbar, Late Quaternary climate and hydrology of tropical South America inferred from an isotopic and chemical model of Lake Titicaca, Bolivia and Peru. *Quaternary Research*, 56, 1-9, 2001.
- Folk, R. L., Practical petrography classification of Limestone. *American Association Petroleum Geologists, Bulletin digital XLIII*: 1-38. 1959.
- Folk R, L., *Petrology of Sedimentary rocks*, Hemphill, 159 p., Texas, 1980.
- Gani, M.R., From Turbid to Lucid: A Straightforward Approach to Sediment Gravity Flows and Their Deposits. *The Sedimentary Record*, v. 2, no. 3, p. 4-8. (pdf 0.7 MB), 2004.
- Gangui, A., Seismic Stratigraphy of the Pozuelos Basin: Northern Puna, Argentina. X Congreso Latinoamericano de Geología, Actas I, 12-17, Buenos Aires, 1998.
- Gubbels, T.L., Isacks B.L. y Farrar, E. 1993, High level surfaces, plateau uplift, and foreland development, Central Bolivian Andes. *Geology*, 21, 695-698, 1993.
- Igarzábal, A.P., Evaporitas cuaternarias de la Puna Argentina. Parte sexta del libro de *Génesis de formaciones evaporíticas. Modelos Andinos e Ibéricos*. Publicacions Universitat de Barcelona, p. 333-373, Barcelona, 1991.
- Kulemeyer, J. J., M. Camacho & J.R. Escalante. 2009. Paleosuelos del Holoceno Superior en el Norte de la Puna Jujeña, Argentina. Actas IV Congreso Argentino de Cuaternario, 301, La Plata, 2009.
- Mcglue, M. M., G. S. Ellis, A. S. Cohen, & P. W. Swarzenski, Playa-lake sedimentation and organic matter accumulation in an Andean piggyback basin: the recent record from the Cuenca de Pozuelos, North-west Argentina, *Sedimentology*, 59, 1237-1256, 2012.
- McGlue, M. M., A. S. Cohen, G. S. Ellis & A. L. Kowler, Late Quaternary stratigraphy, sedimentology and geochemistry of an underfilled lake basin in the Puna plateau (northwest Argentina), *Basin Research*, 25, 1-21, 2013.
- Miall, A.D., Architectural element analysis a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth Sciences Reviews*, 22, 261-308, 1985.
- Nuñez, L.A., M. Grosjean & I. Cartajena, Human occupations and climate change in the Puna de Atacama. *Science*, 298, 821-824, 2002.
- Seggiaro & Aniel, 1989 Seggiaro, R.E. y B. Aniel, 1989. Los ciclos piroclásticos del área Tiomayo-Coranzulí, Provincia de Jujuy. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 44 (1-4): 394-401.
- Servant, M. & J.C. Fontes, Les lacs quaternaires des hauts-plateaux des Andes Boliviennes. Premières interprétations paléoclimatiques. *Cahiers ORSTOM, Service Géologique*, X, 9-24, Francia, 1978.
- Servant, M., M. Fourier, J. Argollo, S. Servant-Vildary, F. Sylvestre, D. Wirrman & J.P. Ybert, La dernière transition glaciaire/interglaciaire des Andes tropicales sud (Bolivie) d'après L'étude des variations des niveaux lacustres et des fluctuations glaciaires. *Les Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 320, 729-736, Paris, 1995.
- Rouchy, J.M., M. Servant, M. Fournier & C. Causse, Extensive carbonate algal bioherms in upper Pleistocene saline lakes of the central Altiplano of Bolivia, *Sedimentology*, 43, 973-993, 1996.
- Selley, R. C., Concepts and Methods of Subsurface Facies Analysis. *American Association of Petroleum Geologists (AAPG) Special Volumes*, CN 9: 2-16, 1978.
- Zhou, J. & K. M. Lau, Does a monsoon climate exist over South America?, *Journal of Climate*, 11, 1020-1040, 1998.