

# CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOMORFOLÓGICA DE LA CUENCA DE LA LAGUNA CARMEN (ESTEPA FUEGUINA, ARGENTINA) Y SU REGISTRO SEDIMENTARIO DURANTE EL HOLOCENO TARDIO

Andrea M.J. CORONATO<sup>1,2</sup>, Juan F. PONCE<sup>1,2</sup>, Diego R.A. QUIROGA<sup>1,2</sup> y Claudia GOGORZA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centro Austral de Investigaciones Científicas (CADIC-CONICET). Ushuaia. acoronato@cadic-conicet.gob.ar

<sup>2</sup> Instituto de Ciencias Polares y Ambiente (ICPA-UNTDF).

<sup>3</sup> Centro de Investigaciones en Física e Ingeniería del Centro de la Provincia de Buenos Aires (CIFICEN, CONICET-UNCPBA).

## RESUMEN

Se presentan las características geológicas, geomorfológicas y sedimentarias de la laguna Carmen, una de las lagunas someras del norte de Tierra del Fuego de la que no existe información previa. La cuenca lacustre está labrada en sedimentitas del miembro superior de la Formación Carmen Silva y en depósitos gravosos pleistocenos. El análisis geomorfológico indica el desarrollo de formas de génesis eólica, lagunar y aluvial. Se disponen terrazas lacustres hasta 6 m por encima del nivel actual, las de menor cota cierran la cuenca lacustre convirtiéndola en endorreica. Se analiza el registro sedimentario entre 3800 y 1000 años calibrados A.P. en base a los testigos LCTF1 y LCTF2, de 115 cm y 117 cm de longitud respectivamente. Están compuestos principalmente por limo masivo, con delgados niveles de arena limosa que se distribuyen en forma variable a lo largo de ambos testigos. Se atribuye a la cuenca lacustre un origen eólico por deflación de sedimentos aluviales en una zona de confluencia de paleo-líneas de drenaje que formaban la cuenca hídrica previa a la existencia de la laguna. Se discuten probables relaciones entre el registro geomorfológico y sedimentario y períodos climáticos húmedos previamente identificados en la región. Este trabajo brinda información de base para la interpretación de estudios paleoambientales que se están llevando a cabo en la región.

**Palabras clave:** *Emplazamiento geomorfológico, Testigos lacustres, Laguna somera, Tierra del Fuego.*

## ABSTRACT

*Geological and geomorphological characterization of Laguna Carmen basin (fuegian steppe, Argentina) and its sedimentary record during the late Holocene*

The geological, geomorphological and sedimentary characteristics of lake Carmen, one the poorly known shallow lakes of northern Tierra del Fuego are herein presented. This lake is one of those in the region without previous information. The lacustrine basin was carved out in the upper member of the sedimentary Carmen Silva Formation and into pleistocene gravel deposits. Aeolian, alluvial and lacustrine landforms were identified by the geomorphological analysis. Lacustrine terraces are developed up to 6 m above the present water-level closing the basin as an endorheic one. The sedimentary record, constrained between 3800 - 1000 cal. yrs. is analyzed using the cores LCTF-1 y LCTF2, 115 cm and 117 cm long, respectively. They are composed by massive silt with fine silty-sand layers, variably distributed along both cores. The lake basin was originated by deflation on alluvial deposits in a river junction area of palaeo-streams belonging to the former basin network. The geomorphologic and sedimentary record is discussed based on the more humid climatic periods previously identified in the region. This paper offers basic information for the interpretation of palaeoenvironmental research which is being carrying on in the region.

**Keywords:** *Geomorphological emplacement, Lacustrine cores, Shallow lake, Tierra del Fuego.*

## INTRODUCCIÓN

Un rasgo notable del paisaje, en el norte de Tierra del Fuego, entre los ríos Chico y Grande, es la presencia de cuerpos de agua efímeros ubicados entre los sistemas

de serranías, paleobahías marinas y abanicos glaciafluviales. Su carácter efímero les confiere un rol geomorfológico particular como áreas de deflación y fuentes de polvo atmosférico cuando el contenido de agua se pierde por evaporación y desecación por

viento, hacia finales del verano (Iturraspe y Urciuolo 2002). El contenido salino y la turbidez del agua no las hacen aptas para consumo humano o animal, sin embargo, son áreas de preferencia para la avifauna migratoria. Estudios limnológicos llevados a

cabo en una de ellas destacan el alto contenido de fósforo, manganeso, hierro y sodio de sus aguas (Mariuzzi *et al.* 1987). Desde el punto de vista arqueológico, éstas lagunas son de interés por su rol como áreas concentradoras de recursos faunísticos y materiales líticos para la producción de herramientas durante la ocupación humana a lo largo del Holoceno (Oría *et al.* 2014).

Desde el punto de vista paleoambiental, las lagunas son reservorios de información de gran utilidad para indagar acerca de cambios hidrológicos y climáticos a partir de análisis multiproxies o de múltiples indicadores ambientales. Reconstrucciones integrales de ecosistemas lacustres cuaternarios fueron propuestas para diversas lagunas patagónicas a partir de estudios multi-proxy (Laprida *et al.* 2014). En tal sentido, fueron estudiados los cuerpos de agua Ca-

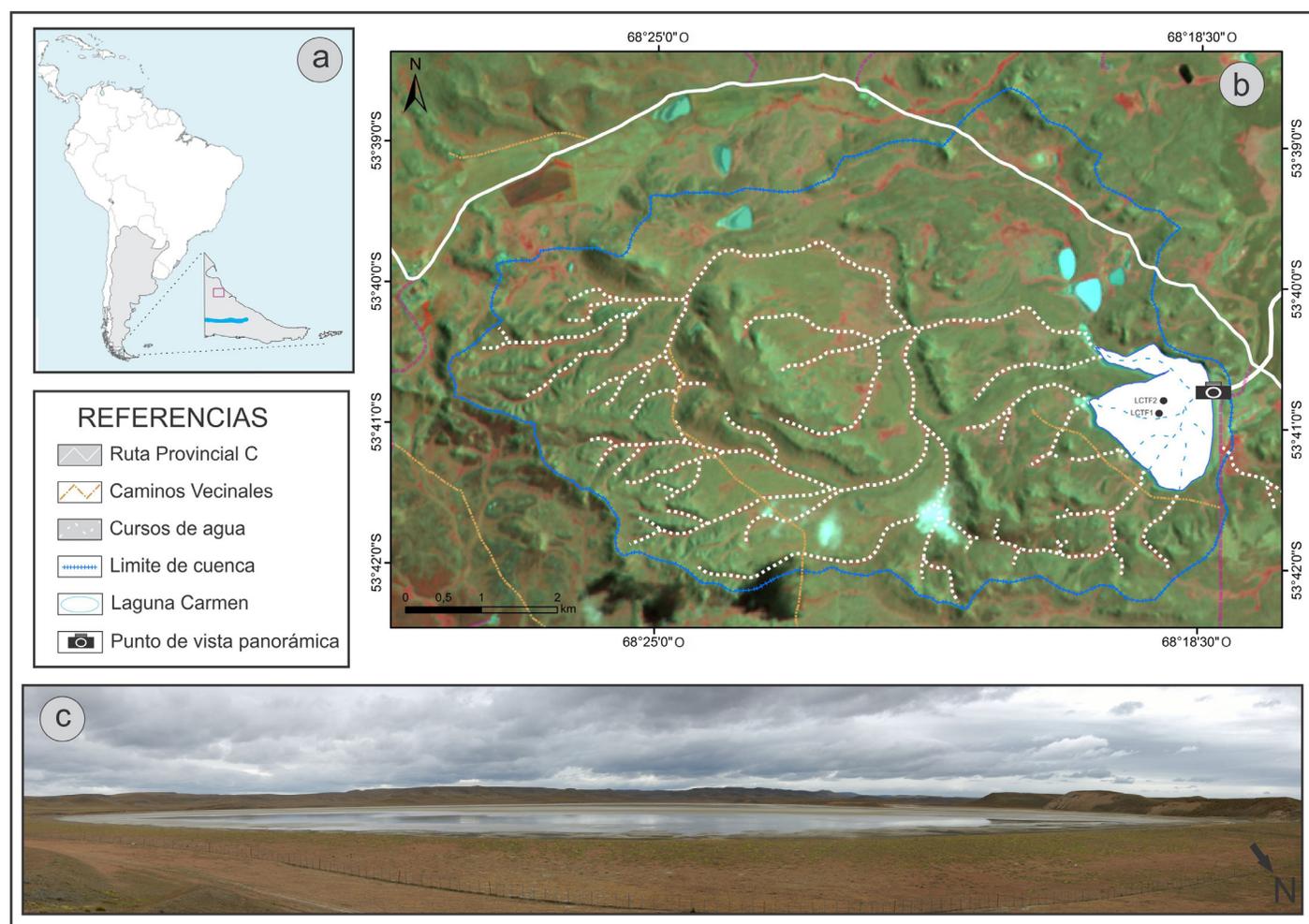
ri-Llaufquen en Río Negro (Cartwright *et al.* 2011), Cardiel (Stine y Stine 1990, Gilli *et al.* 2001) y Potrok Aike (Zolitschka *et al.* 2013 y otros allí mencionados) en Santa Cruz. En los Andes Fueguinos, Moy *et al.* (2011) plantearon cambios climáticos, tectónicos y sedimentarios en la cuenca del lago Fagnano a lo largo de los últimos 8000 años A.P., mientras que Waldmann *et al.* (2011) pusieron en evidencia la recurrencia de deslizamientos subacuáticos desencadenados por paleosismicidad a lo largo de la falla Magallanes-Fagnano mediante estudios sísmicos de alta resolución.

El objetivo de este trabajo es caracterizar el contexto geológico-geomorfológico y el registro sedimentario de la laguna Carmen, un sistema lacustre somero, típico del paisaje serrano del norte de Tierra del Fuego, Argentina. Dado que son escasas las des-

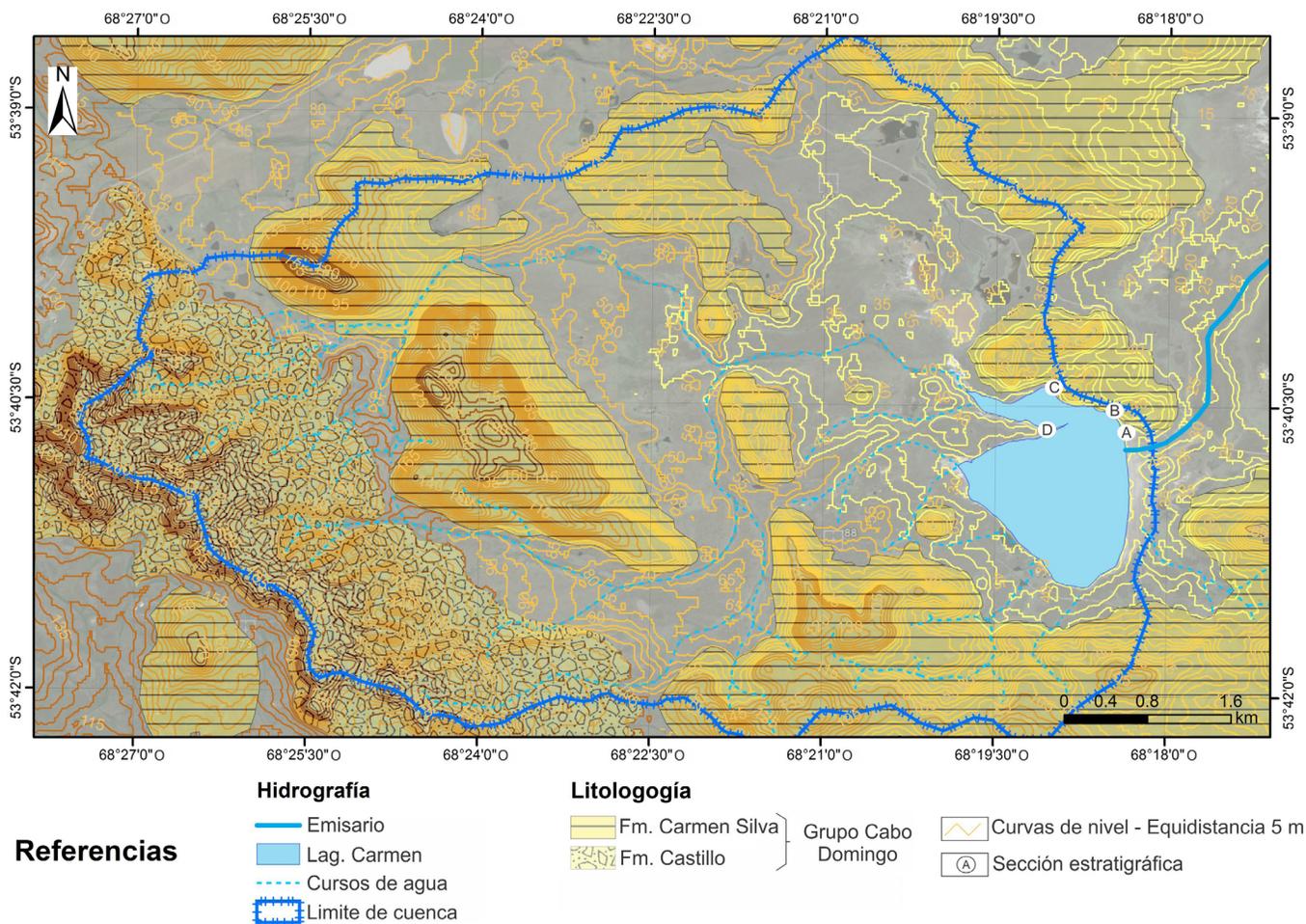
cripciones geológicas de detalle en la región, se brinda nueva información litológica mediante la descripción de perfiles estratigráficos en los acantilados lacustres. Este trabajo se presenta como un marco previo para la futura interpretación de resultados provenientes de diversos estudios proxy que se están llevando a cabo en la región (Gogorza *et al.* 2013, Fernández *et al.* 2015, Borromei *et al.* 2016).

## MARCO GEOLÓGICO Y GEOGRÁFICO

La laguna Carmen es un sistema lacustre somero (~1,5 m de profundidad de agua) y efímero, emplazado en 53° 40' S / 68° 18' O, a una altitud de 29 m s.n.m. en la estepa fueguina y alimentado por cursos de agua temporarios, de régimen pluvio-nival,



**Figura 1:** a) Ubicación de la laguna Carmen en el norte de Tierra del Fuego; b) Posición de la laguna en la cuenca endorreica de pertenencia, sobre imagen SPOT 4 del 20/02/2012. Los puntos negros indican el sector de perforación donde se obtuvieron los testigos LCTF 1 y LCTF 2; c) Vista panorámica de la laguna hacia el sudoeste.



**Figura 2:** Mapa geológico de la cuenca de laguna Carmen, Tierra del Fuego (modificado de Olivero *et al.* 2004). Los círculos con letras indican la ubicación de las secciones estratigráficas presentadas en la figura 3.

cuya longitud promedio varía entre 1 y 5 km. Tiene forma irregular, con una prolongación rectilínea de 1 km en sentido NO. El eje mayor tiene 1,74 km en dirección N-S mientras el eje menor presenta 1,62 km en sentido O-E; tiene un perímetro de 7,13 km y un área de 1,97 km<sup>2</sup>. Es el depocentro de una cuenca cerrada emplazada en un sistema serrano con fuerte disección fluvial y pendiente general hacia el NE (Fig. 1). Esta laguna se encuentra emplazada en un ambiente sedimentario compuesto por limoarcillitas, areniscas y conglomerados fosilíferos de origen deltaico marino (Formación Carmen Silva del Grupo Cabo Domingo, según Olivero *et al.* 2004), de edad Mioceno medio (Codignotto y Malumian 1981). Esta formación consta de dos miembros, uno inferior de arcillitas y limolitas arenosas y otro superior de conglomerados y tobas con abundantes invertebrados fósiles

(Malumian y Olivero 2006). En la zona de estudio, estas rocas componen las serranías, cerros cónicos y terrazas rocosas que rodean a la laguna, cuyas alturas varían entre 40 y 90 m s.n.m. Hacia el oeste de la laguna afloran rocas correspondientes a la Formación Castillo, de edad Mioceno medio (Fig. 2). Se trata de conglomerados y areniscas conglomerádicas con estratificación diagonal de origen fluvial que yacen en transición sobre conglomerados fosilíferos de la parte superior de la Formación Carmen Silva (Malumian y Olivero, 2006). Se diferencia de la Formación Carmen Silva por la ausencia de fósiles marinos. El clima de la región es frío subhúmedo oceánico, con un índice de aridez = 0,75 (Coronato *et al.* 2008). La temperatura media del mes más cálido (enero) es de 10 °C y la del mes más frío (julio) de -1 °C, esta variación térmica anual determina un índi-

ce de continentalidad de los más altos en la Isla Grande de Tierra del Fuego (Tukhanen 1992). Según datos provistos por Wordclim. (versión 1.4), la precipitación anual es de 360 mm, con nevadas y congelamiento de suelos entre abril y septiembre. La característica climática más notable de la región es la intensidad y permanencia del viento, con direcciones predominantes del NO-O-SO. Una cubierta de suelo delgado soporta pastizales de *Festuca gracillima* (coirón), especie dominante en la estepa fueguina, e individuos aislados de arbustos como *Berberis* sp. (calafate). En los sectores degradados, los pastizales son reemplazados por arbustos de bajo porte como *Empetrum rubrum* (murtilla) y vegetación almohadillada *Azorella* sp. El uso del suelo es de tipo ganadero extensivo; no existe actividad antrópica permanente en el lugar, salvo el arreo ocasional de ganado ovino.

### METODOLOGÍA

El mapeo geológico-geomorfológico se realizó usando el *DTM Shuttle Radar Terrain Images* (SRTM) de 45 m de resolución espacial provisto por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Además, se utilizaron imágenes SPOT 4 de fecha 20 de febrero de 2012 y SPOT 5 de fecha 24 de marzo de 2014 y 27 de septiembre de 2013 para la identificación indirecta de geformas. El trabajo de campo consistió en la identificación, descripción y mapeo geológico-geomorfológico de las diferentes unidades presentes en el área y en el levantamiento de secciones estratigráficas de detalle. La información obtenida permitió la elaboración de un mapa a escala 1:12000. En marzo de 2011 se obtuvieron dos tes-

tigos sedimentarios denominados LCTF1 y LCTF2, de 115 cm y 117 cm de longitud respectivamente, utilizando un equipo tipo piston-corer. Los testigos fueron conservados en cámara fría (4 °C) y oscuridad en el SACMa (Sondeos Ambientes Continentales y Marinos, FCEyN) de la Universidad de Buenos Aires, donde se realizó la descripción sedimentológica y posterior sub-muestreo para análisis diversos. El análisis sedimentológico se realizó visualmente en forma descriptiva y por análisis granulométrico con sedígrafo láser Malvern 2000 en laboratorios de CADIC. Las muestras fueron previamente disgregadas mediante la utilización de mortero. La definición de color se basó en la tabla de color Munsell (1973). Las dataciones radiocarbónicas fueron reali-

zadas por AMS sobre muestras de sedimento en el Arizona Laboratory Facility de Universidad de Arizona y en el Beta Analytic Inc. La calibración de las edades se realizó con el software CALIB 7.0 (Stuiver *et al.* 2014) utilizando la curva para el Hemisferio Sur (SHcal13) (Hogg *et al.* 2013). Los modelos de edad profundidad fueron realizados con el programa OxCal 4.2.4 (Bronk Ramsey y Lee 2013).

### RESULTADOS

#### Estratigrafía y sedimentología de los acantilados de la laguna

A fin de obtener una descripción más detallada de las sedimentitas de la Formación Carmen Silva y su relación estratigráfica con los depósitos pleistocénicos que la cubren,

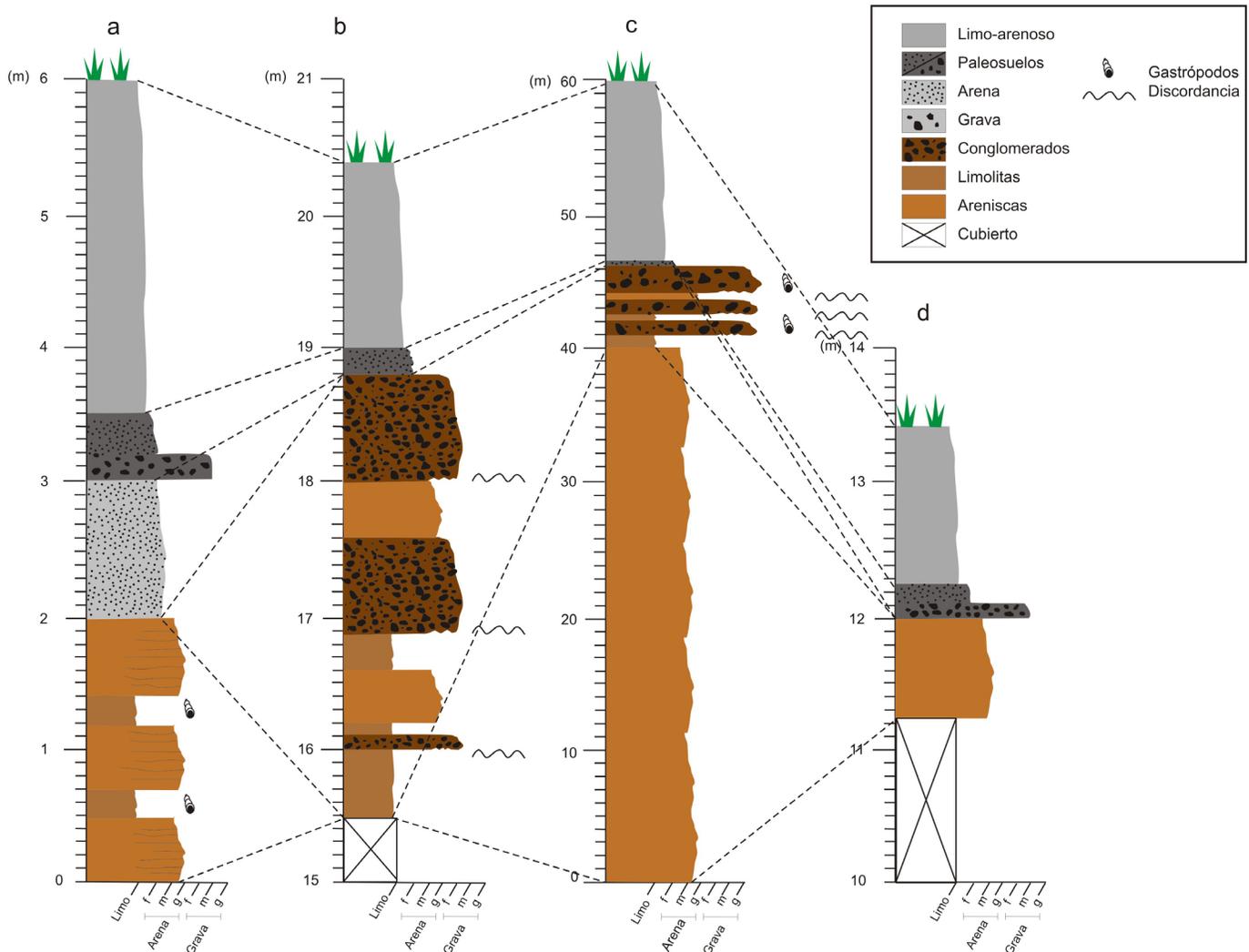
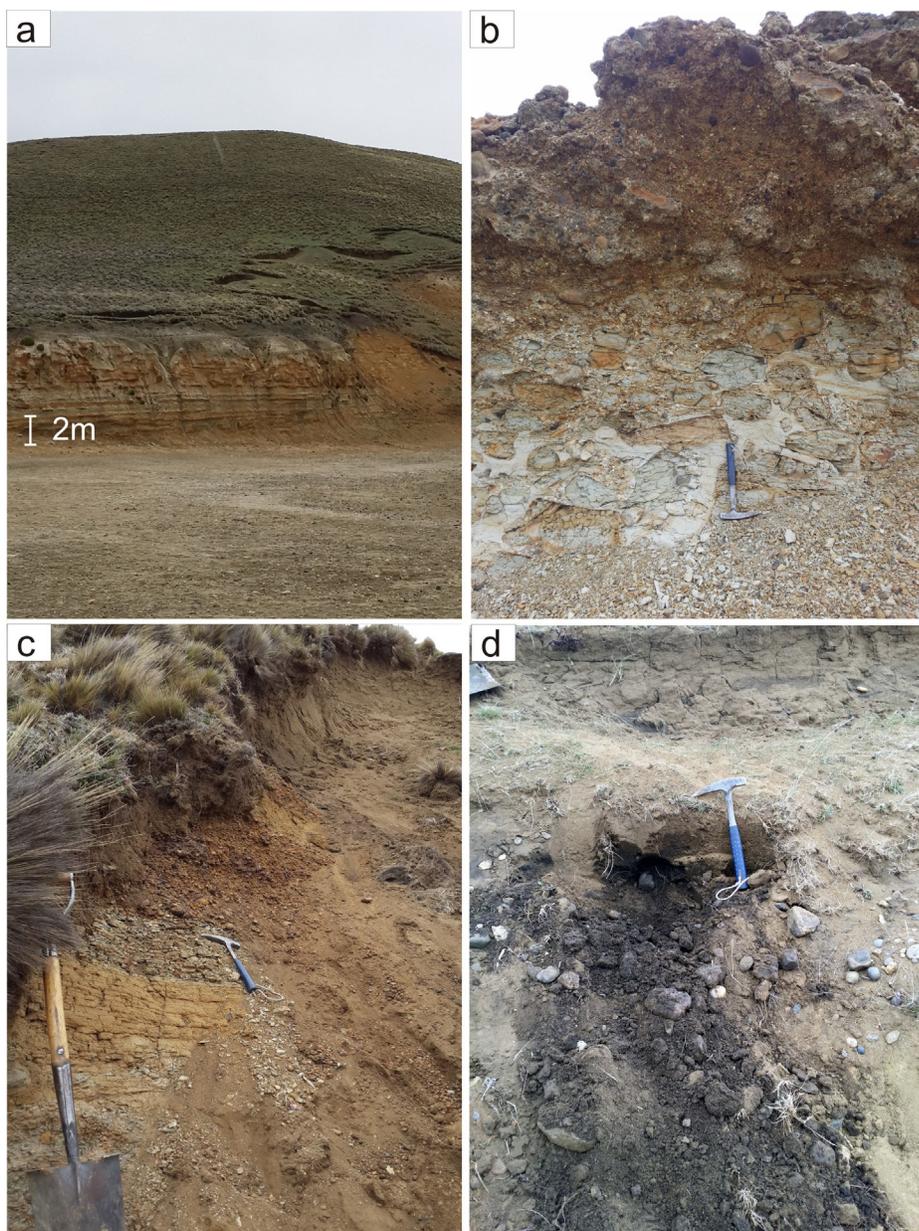


Figura 3: Secciones estratigráficas en afloramientos que circundan a la laguna Carmen. La ubicación de cada afloramiento se presenta en la figura 2.

se realizaron observaciones y descripciones sedimentológicas de los afloramientos que forman los acantilados de las costas norte y sur (Fig. 3). Estos afloramientos incluyen areniscas friables, rojizas y grisáceas con intercalaciones de niveles de limolitas de 30 cm a 40 cm de espesor con abundantes fragmentos de conchillas (Fig. 3 perfil a; Fig. 4a). La secuencia de areniscas y pelitas presenta espesores que varían entre 2 y 40 m. En los acantilados del sector norte de la laguna, niveles de conglomerados matriz-sostén, medios a finos con intercalaciones de lentes de areniscas y limolitas suprayacen a las areniscas y limolitas anteriormente descritas (Fig. 3 perfiles b y c; Fig. 4b, c). Los afloramientos no presentan continuidad lateral y alcanzan los 6 metros de espesor. Los conglomerados están compuestos por clastos redondeados a subredondeados de hasta 20 cm de diámetro. La matriz es escasa y está compuesta principalmente por arena media. El nivel superior de los conglomerados contiene abundantes fósiles de invertebrados. La base de los conglomerados es erosiva e incluye intraclastos de arcilla de niveles infrayacentes.

Por encima de la secuencia de sedimentitas anteriormente descrita se disponen sedimentos limo-arenosos masivos. El contacto entre éstos y las sedimentitas está marcado en algunos sectores por un nivel de grava de unos 20 cm de espesor y en otros por un nivel de arena de tamaño medio, de hasta 1 m de espesor máximo (Fig. 3 perfiles a y d). Los clastos del nivel gravoso alcanzan los 40 cm de diámetro máximo. La matriz es abundante (50% a 60%) y de composición limo-arenosa. El nivel de grava no presenta continuidad lateral en los afloramientos adyacentes a la laguna, ya que, en algunos sectores es reemplazado lateralmente por el nivel de arena de grano medio. Sobre las arenas y gravas se desarrolla un paleosuelo color gris oscuro de 25 a 50 cm de espesor (Fig. 3 perfiles a y d; Fig. 4d). La parte inferior del paleosuelo contiene al nivel de gravas anteriormente descrito y la porción superior se desarrolla sobre arenas finas. En los sectores en donde el nivel de grava está ausente, el paleosuelo se desarrolla sobre el nivel de arena (Fig. 3 perfiles b y c). La secuencia culmina con un nivel limo-arenoso (Fig. 4d) de hasta 5 m de espesor con expresión geomorfológica de dunas montadas en acantilados (dunas “perched”).



**Figura 4:** Geología de superficie de la periferia de la laguna Carmen. a) Sedimentitas y depósitos eólicos en acantilado del sector N de la laguna; b) Detalle del contacto erosivo entre conglomerados y limolitas; c) Alternancia de conglomerados y areniscas de la porción superior de la secuencia de sedimentitas y contacto con los depósitos limo-arenoso superiores; d) Detalle del contacto entre sedimentitas y depósitos limo-arenosos con presencia de gravas.

### Entorno geomorfológico

Laguna Carmen está emplazada en el extremo oriental de una cuenca hídrica labrada entre serranías de baja elevación (Fig.1). El mapa geomorfológico de la cuenca de la laguna (Fig. 5) muestra el desarrollo de geomorfos y depósitos de variado origen:

*Serranías de sedimentitas marinas:* son alineaciones de relieve positivo, con cumbres

sub-horizontales, laderas cóncavas con valor de pendiente que oscila entre 6,58 % y 20,26 % y cerros de cumbre convexa, separados de las anteriores por líneas de drenaje, en algunos casos no funcionales. El desnivel máximo entre las cumbres y la costa de la laguna es de aproximadamente de 100 m. En la ladera de la serranía ubicada en la costa norte se desarrolló un acantilado por acción del oleaje durante períodos de máxima altu-

ra del pelo de agua. Las rocas que componen estas serranías corresponden a la Formación Carmen Silva, de edad Mioceno medio según Codignotto y Malumian (1981).

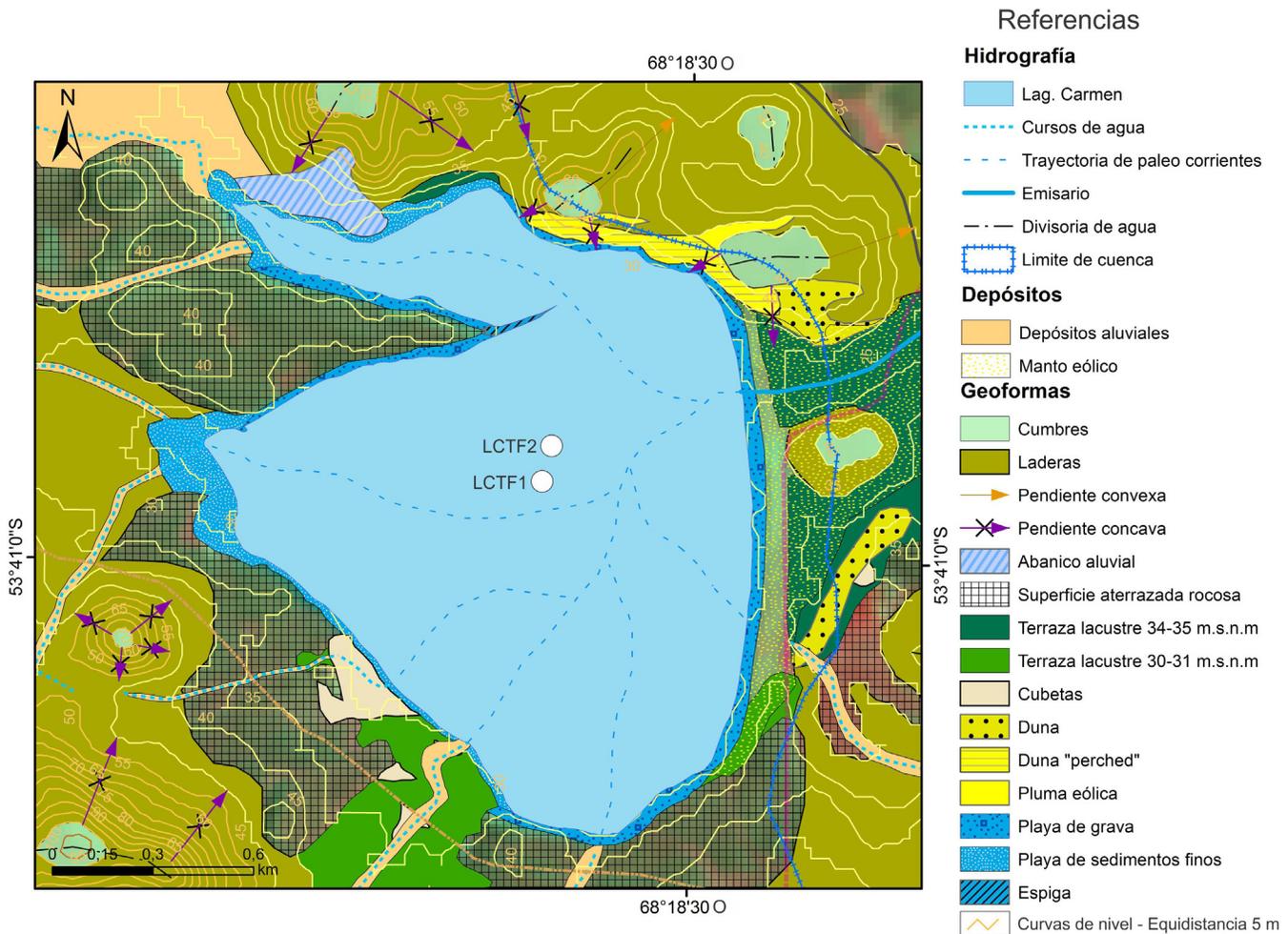
*Terrazas rocosas:* se distribuyen en el oeste, sur y sudeste de la laguna. Se adosan al pie de las laderas de las serranías desarrollando una suave pendiente regional hacia el noreste. Son el resultado de erosión diferencial de estratos de areniscas del miembro superior de la secuencia litológica expuesta en la zona. Sobre esos estratos se depositaron delgadas capas de bloques y grava fina, de origen fluvial o glaciafluvial, coronadas por 0,50 m de arena sobre la que se desarrolla el suelo actual (Figs. 3d y 4d). Las terrazas desarrollan una escarpa de 1 - 2 m de desnivel respecto a la playa. En el acantilado de la terraza rocosa de la costa sur se observa

el desarrollo de un suelo enterrado a 0,80 m por debajo de la superficie. Las escarpas rocosas de estas terrazas están sujetas a erosión por oleaje durante los períodos de mayor altura del pelo de agua. La terraza de la costa occidental desarrolla una prominente entrante que promueve el depósito de materiales gruesos y la formación de una espiga de grava que cierra parcialmente el extremo noroccidental del cuerpo de agua.

*Terrazas lacustres:* se disponen en la costa noroeste, sur y suroeste. Se presentan en dos niveles, elevados por encima de la playa actual, el más extenso es el de mayor altura (34 -35 m s.n.m.). Están conformadas por sedimentos limo-arcillosos de color gris, semejantes en textura y color a los que conforman el actual fondo de lago. En algunos sectores están desprovistas de la cubierta de

suelo y sometidas a erosión por pisoteo de ganado y deflación. La acción eólica genera pequeñas cubetas que contienen agua en primavera y a partir de ellas se activan algunos cursos de agua de carácter estacional. La terraza lacustre más externa adopta una forma irregular al pie de colinas rocosas de baja altura. La terraza del sector oriental conforma la divisoria externa de cuenca ya que la cubeta actual se ubica 2 m por debajo. Los depósitos lacustres aterrazados correspondientes a antiguas posiciones del piso de la laguna producen el bloqueo del drenaje y le confieren el carácter de cuerpo de agua cerrado, sin desagüe permanente.

*Mantos y plumas eólicas, dunas:* el manto eólico se desarrolla hacia el noreste en una extensión de 36,5 Ha, cubriendo parcialmente con material limo-areno-arcilloso a terrazas



**Figura 5:** Mapa geomorfológico de la periferia de laguna Carmen, Tierra del Fuego. Las líneas de drenaje representadas en el cuerpo de agua indican la posible trayectoria de paleo-corrientes existentes a priori de la formación de la depresión, hoy ocupada transitoriamente por un cuerpo de agua. Se indican los puntos de muestreo de los testigos LCTF1 y LCTF2

lacustres, depósitos aluviales y cerros rocosos aislados hasta una distancia de 9 km desde la costa; la dispersión de los sedimentos sobrepasa los límites de la cuenca. Los depósitos de manto no generan formas de relieve en particular, sino que se adaptan a las geoformas sobre las que se depositan. En campo son poco perceptibles, manifestándose sus límites en cambios de vegetación, y/o ausencia de la especie dominante de la estepa fueguina (Villarreal *et al.* 2014). La pluma eólica tiene un desarrollo más localizado; se dispone en el sector sudoriental del área, sobre la terraza lacustre más alta; en ésta el contenido arenoso es mayor que en los mantos. El material que conforma ambos rasgos del paisaje es producto de la erosión eólica sobre el fondo parcial o totalmente seco de la laguna durante los veranos con sequía. Las dunas son de tipo “*lunettes*” y “*perched*”, formadas por material limo-arcilloso y limo-arenoso, respectivamente (Figs. 3a, b y c). La “*lunette*” o duna de arcilla se desarrolla en la costa sudoriental en sentido sudoeste-noreste, sobre una terraza rocosa y parte de la terraza lacustre más alta. El desarrollo vertical no supera el metro. La duna “*perched*” o montada se forma sobre el acantilado rocoso de la costa norte con una potencia media de 6 m sobre su base rocosa. El material que la conforma proviene del propio depósito arenoso que la sustenta. El metro superior de la duna tiene erosión por deslizamiento, carcavamiento y aterrazamiento por pisoteo de ganado ovino con la consecuente formación de terracetas. En éstas se generan cicatrices de ruptura a lo largo de las cuales se separa el material limo-arenoso cuando está saturado en agua remanente de

la fusión nival o del congelamiento de suelo entre los meses de mayo a septiembre provocando movilización en bloque.

*Escorrentía superficial*: cursos de agua temporarios drenan las serranías de sedimentitas marinas durante la época de fusión nival y durante el inicio del verano. De los siete cursos que tributan a la laguna, sólo uno conforma una red hídrica compuesta por varios cauces; los restantes son cursos de corta longitud, entre 1 y 5 km, y sin tributarios de menor orden de jerarquía (Fig. 2). El tributario más importante drena desde el oeste la vertiente nororiental del Cerro Mesa (Fig. 5), conformada por areniscas y conglomerados de la Formación Castillo (Codignotto y Malumian 1981). Esta red hídrica se ajusta a valles labrados por ríos de mayor caudal que debieron existir durante períodos climáticos más húmedos. La inundación de la desembocadura del tributario mayor forma una apófisis hacia el oeste y configura la morfología irregular de la laguna en su sector septentrional. La laguna no tiene cursos de agua que cumplan la función de desagüe, salvo en situaciones de exceso hídrico en las que el pelo de agua alcanza la cota 31 m y se reactiva un arroyo originado en una cubeta secundaria, que drena hacia la laguna De la Suerte, ubicada a 2 km de distancia en la cuenca vecina (53° 39' S / 68° 15' O en el centro de la misma, Fig. 2).

*Cubetas*: la depresión mayor que contiene el cuerpo de agua está circunscripta por afloramientos rocosos y depósitos sedimentarios de origen lacustre y eólico. En la costa septentrional se desarrollan acantilados rocosos

de hasta 10 m de altura, producto de la erosión del oleaje promovido por los vientos del S y SO, mientras que los acantilados ubicados en las demás costas son de 1 a 2 m de altura y corresponden a las escarpas de terrazas rocosas.

La topografía de la cubeta es irregular, con desnivel de hasta 2 m y el desarrollo de dos pequeños promontorios en el sector central. Hacia el borde oriental se presentan dos niveles escalonados que quedan sumergidos cuando el nivel del agua alcanza la cota 29 m s.n.m. El cuerpo de agua está bordeado por playas de grava ubicadas al pie de acantilados y de terrazas lacustres; en su costa NO, se desarrolla una espiga de grava (Fig. 5). Cubetas de deflación pequeñas, en desarrollo, se disponen sobre las terrazas lacustres. Durante la temporada de fusión nival y exceso hídrico se transforman en lagunas sometidas a oleaje intenso por lo cual, desarrollan pequeñas escarpas en su lado oriental, a sotavento.

#### Descripción sedimentológica de los testigos lacustres

Los testigos sedimentarios LCTF 1 y LCTF 2 están compuestos principalmente por limo masivo con delgados niveles de arena limosa (Fig. 6).

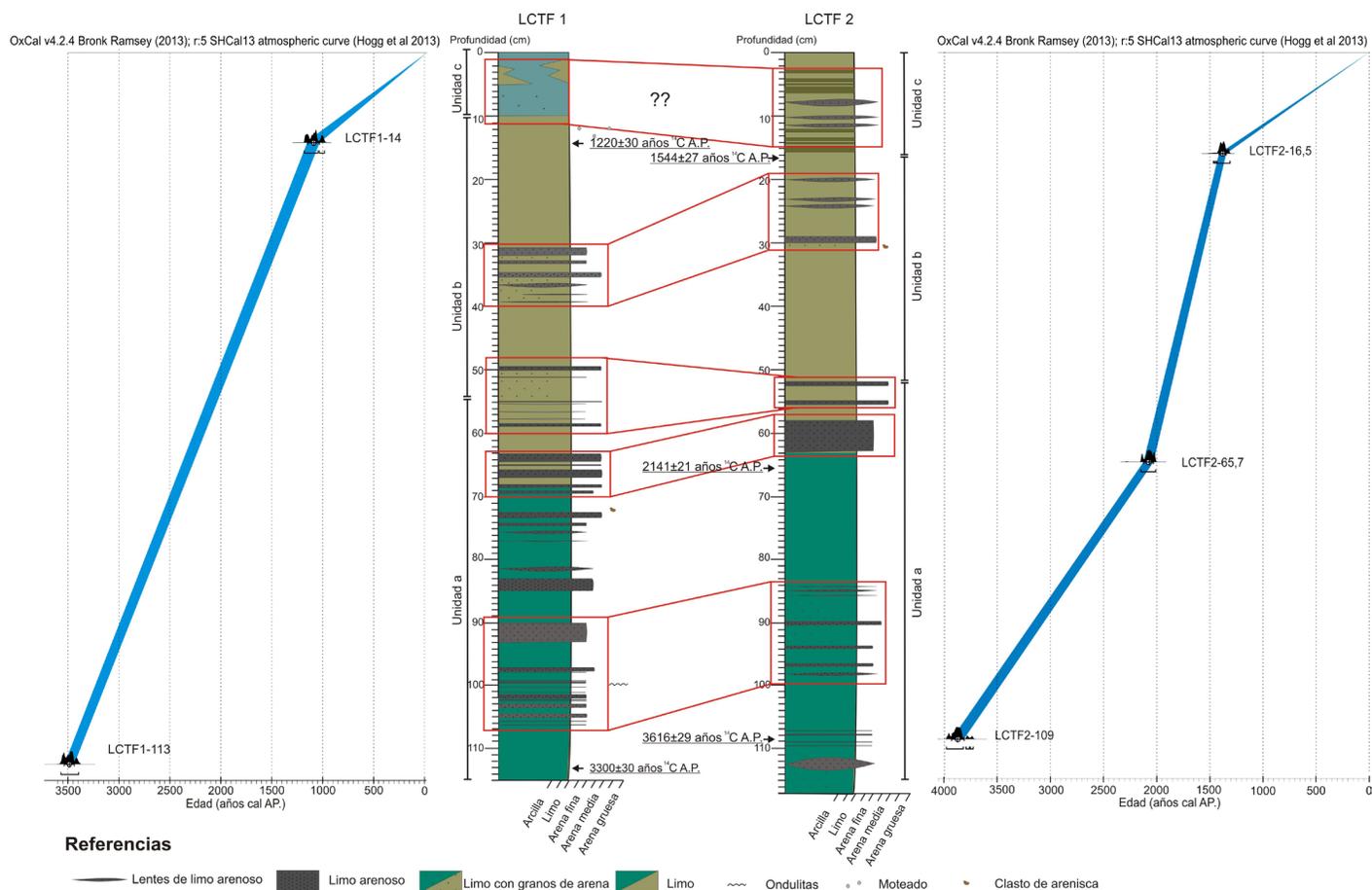
#### Testigo LCTF 1

Presenta color G1/4/5G desde los 115 cm a los 67 cm y color 2,5Y/5/1 entre 67 cm y 0 cm. En base al análisis sedimentológico, se definieron tres unidades.

La unidad c (115 - 55 cm) contiene limo (73 - 82 %) con bajas proporciones de arcilla (10 - 18 %) y arena fina (6 - 7 %). La

**CUADRO 1:** Fechados AMS y edades calibradas sobre muestras seleccionadas de los testigos LCTF 1 y LCTF 2.

Muestra	Profundidad (cm)	Años 14C (AP)	Prob. media (años calibrados AP)	Máximo 2σ AP	Mínimo 2σ AP	Material	Código de laboratorio
LCTF2-16,5	16,5	1544 ± 27	1379	1411	1353	Materia orgánica	AA104695
LCTF2- 65,7	65,7	2141±21	2071	2116	2010	Materia orgánica	AA107270
LCTF2-109	109	3616 ± 29	3875	3923	3832	Materia orgánica	AA104696
LCTF1-14	14	1220 ± 30	1087	1109	1056	Materia orgánica	Beta-343218
LCTF1-113	113	3300 ± 30	3485	3512	3447	Materia orgánica	Beta-343219



**Figura 6:** Perfiles sedimentológicos de los testigos LCTF 1 y LCTF 2 y curvas edad-profundidad de laguna Carmen, Tierra del Fuego. Especificaciones de los fechados radiocarbónicos se presentan en el Cuadro 1.

unidad incluye varias capas de limo arenoso compuesto por limo (56 - 58 %) arena fina (36 - 38 %) con bajas proporciones de arcilla (1 % - 3 %). El espesor de las capas varía entre 0,1 cm y 4 cm. En la parte inferior de la unidad (100 cm) se observa la presencia de ondulitas desarrolladas en una de las finas capas de limo arenoso (Fig. 6). Hacia los 73 cm se observa un clasto de arenisca (Fig. 7a y b). Materia orgánica contenida en la base de esta unidad fue datada en  $3.300 \pm 30$  años A.P. (Cuadro 1, Fig. 6).

La Unidad b (55 - 10 cm) está caracterizada por un incremento en el contenido de arena. Presenta limo arenoso compuesto por limo (71 %) y arena fina a muy fina (22 %) con bajas proporciones de arcilla (6 %). Esta unidad contiene algunos lentes más arenosos, con altas proporciones de arena principalmente fina-media (46 %) y con baja proporción de arena gruesa (2 %). Estos niveles limo arenosos están concentrados entre los 40 cm y 30 cm y desaparecen a lo largo de

los 20 cm superiores de la subunidad. El tramo superior contiene moteado de color gris. A los 13 cm se obtuvo una edad radiocarbónica de  $1220 \pm 30$  años A.P. sobre el contenido de materia orgánica presente en el sedimento (Cuadro 1, Fig. 6).

La Unidad a (10 - 0 cm) se compone principalmente de limo (79 %) y arcilla (14 %), con bajo contenido de arena fina (6 %). Aparece disturbada y presenta un color que varía entre G1/3/5GY y 2,5Y/5/3.

#### Testigo LCTF 2

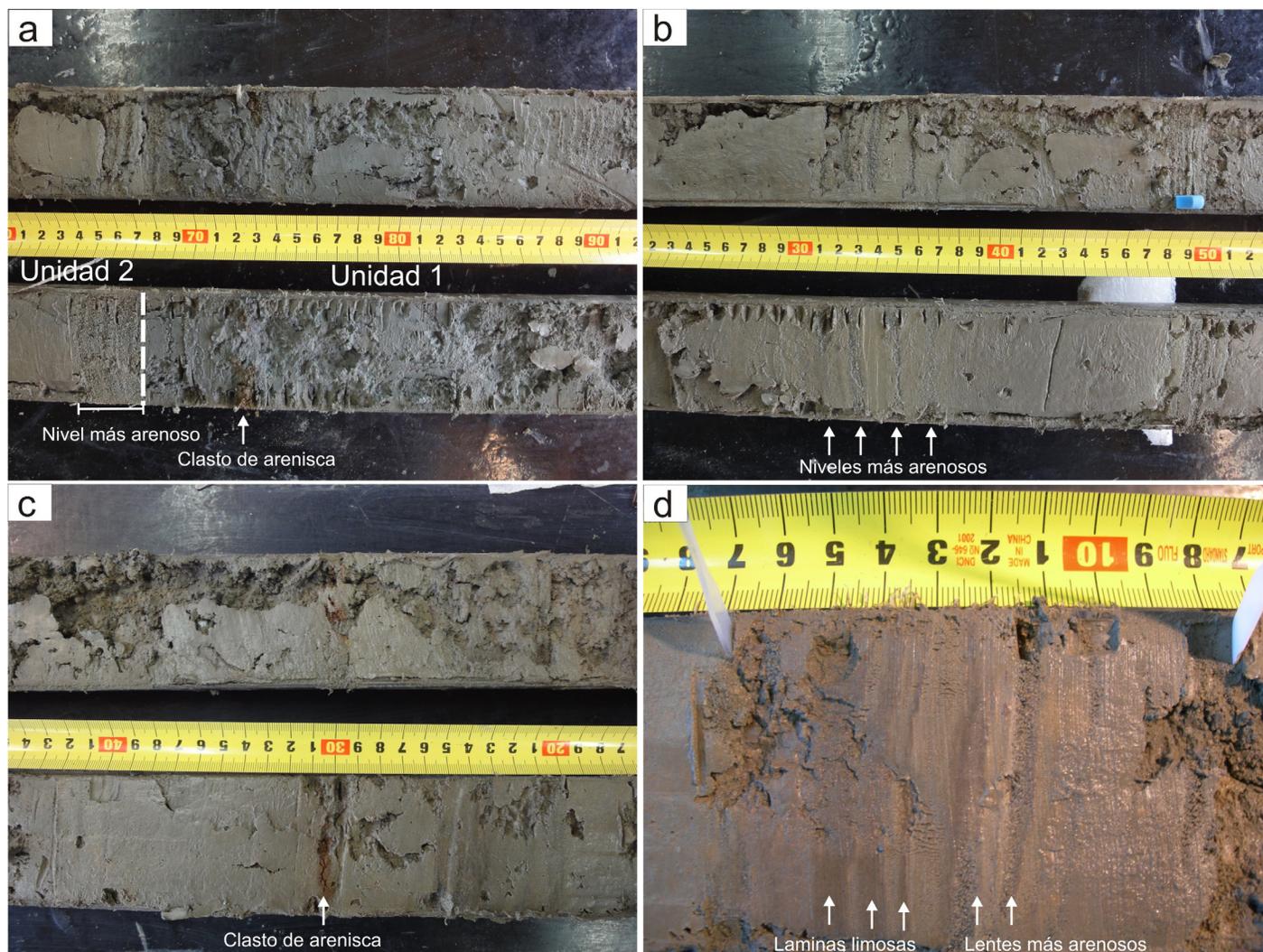
Presenta color G1/4/5G entre 117 cm y 63 cm y color 2,5Y/5/1 entre 63 cm y 0 cm.

En la unidad c (117 cm - 51 cm) contiene principalmente limo con baja proporción de arcilla y arena fina. Incluye capas y lentes limo-arenosos compuestos por limo (53 %) y arena fina (39 %) con valores bajos de arcilla (7 %). En general, el espesor de los niveles limo arenosos varía entre 0,1 cm y 1 cm. Sin embargo, hacia la parte superior

de la unidad se observa una capa arenosa de 5 cm de espesor. La base de esta subunidad arroja una edad radiocarbónica de  $3616 \pm 29$  años A.P., mientras que hacia el techo de la misma se ha obtenido un fechado radiocarbónico de  $2141 \pm 21$  años A.P. (Cuadro 1, Fig. 6); ambos fechados fueron obtenidos sobre materia orgánica contenida en los sedimentos.

La unidad b (51 - 16 cm) está compuesta principalmente por limo arenoso, con mayor contenido de arena que la unidad anterior, con presencia de capas arenosas hacia la parte superior de la subunidad, entre los 30 y 20 cm. Las capas presentan un espesor máximo de 1 cm. Se observa un fragmento de arenisca hacia los 30 cm (Fig. 7c). A los 16,5 cm de profundidad se obtuvo un fechado radiocarbónico de  $1544 \pm 27$  años A.P. sobre materia orgánica.

La unidad a (16 - 0 cm) presenta color 2,5Y/3/2 con láminas limosas de color 2,5y/3/2 (Fig.7d). Está compuesta por limo (63 %) y arena fina (27 %) con bajo



**Figura 7:** a-b) Detalle de la porción media del testigo LCTF 1. (a) Fragmento de arenisca y contacto entre Unidades 1 y 2 con cambio de color, (b) niveles limo-arenosos; c-d) Detalles de la porción superior del testigo LCTF 2. (c) Fragmento de arenisca, (d) bandas limosas color marrón oscuro y lentes arenosos.

contenido de arcilla (5 %). No se observan variaciones granulométricas entre las láminas y el resto de la unidad. La unidad incluye capas arenosas de 0,5 cm de espesor. No es posible correlacionar claramente esta unidad en ambos testigos ya que los 11 cm superficiales de LCTF 1 presentan signos de disturbio.

## DISCUSION Y CONCLUSIONES

La laguna Carmen se encuentra emplazada en un ambiente de rocas sedimentarias de origen marino correspondiente a la Formación Carmen Silva. En la periferia de la laguna, la formación está compuesta por una alternancia de limolitas y areniscas friables, rojizas y grisáceas con presencia de bancos

de conglomerados fosilíferos hacia la parte superior de la secuencia. La presencia de estos bancos conglomerádicos permite ubicar a las rocas que conforman la cuenca lacustre en el miembro superior de la formación. Estas rocas también componen el conjunto de serranías y cerros cónicos que rodean a la laguna, por lo cual es posible afirmar que la fuente principal de aporte de sedimentos a la cuenca proviene de estos tipos litológicos. El emplazamiento de laguna Carmen interrumpe la sección inferior de un conjunto de paleo-drenajes que disectaban el sistema serrano de la región formando parte de una cuenca con desagüe al Atlántico, cuando la línea de costa se encontraba próxima al área de estudio (Bujalesky *et al.* 2001). Este paleosistema hídrico se conformaba por una red de cursos que habrían tenido mayor

caudal que el actual, suficiente para desarrollar erosión en las sedimentitas marinas formando los valles que hoy se observan entre las serranías.

La presencia de gravas formando una espiga en la porción noroccidental del cuerpo de agua y las playas orientales (Fig. 5) es el resultado de la erosión del nivel de gravas que se dispone en el contacto entre las sedimentitas terciarias y los depósitos eólicos cuaternarios (Fig. 4d). El origen de este nivel de gravas se atribuye a la depositación fluvial de clastos incorporados por erosión de los conglomerados de las Formaciones Carmen Silva y Castillo, localizadas en las periferias de la laguna y a unos 5 km al oeste de la laguna respectivamente, o por depositación glaci-fluvial ocurrida durante avances glaciarios en los que el frente de hielo se ubi-

caba al oeste (Quiroga, com.pers.); o bien por ambos procesos, ocurridos en distintos períodos de tiempo a lo largo del Pleistoceno. El nivel de gravas suprayacente a las sedimentitas neógenas ha sido observado en similar posición estratigráfica en costas acantiladas de otras lagunas de la estepa fueguina. Este nivel de gravas es de extensión regional y podría formar parte de los depósitos de fondo de valle correspondientes a los antiguos paleo-drenajes sobre los cuales se desarrolló la laguna.

A partir de la posición de la cuenca lacustre en un piso de valle en el que confluían diversas líneas de drenaje (Fig. 5), se interpreta que ésta pudo formarse por sobre-excavación por deflación eólica de los depósitos aluviales dispuestos sobre las sedimentitas marinas meteorizadas, durante los períodos de déficit hídrico coincidentes con los ciclos de aridez que imperaron en la región repetidas veces durante el Holoceno (Orgeira *et al.* 2012).

La información cronológica disponible para la zona, basada en la secuencia de paleosuelos desarrollada en una duna tipo “*perched*” en la laguna Arturo (Coronato *et al.* 2011), ubicada a 2 km al sur de laguna Carmen, indica la ocurrencia de intervalos húmedos y secos a lo largo del Holoceno (Orgeira *et al.* 2012). El nivel de depósitos eólicos más potente de la duna de referencia tiene 6,49 m y está desarrollado entre paleosuelos con edades radiocarbono de  $5800 \pm 64$  años A.P. y  $4871 \pm 59$  años A.P. Estas edades sugieren un período de intensa actividad eólica para la región durante el Holoceno medio (Coronato *et al.* 2011). Probablemente, este haya sido un momento clave para el inicio de la formación de las cubetas que contienen lagunas en la región, incluyendo a la aquí estudiada. Los depósitos eólicos descritos en la laguna Carmen (Fig. 3), con manifestaciones geomorfológicas de dunas tipo “*lunettes*” y “*perched*”, como así también el paleosuelo que cubre al nivel de gravas y a las sedimentitas terciarias podrían ser el resultado morfológico-sedimentario de la ocurrencia de alguno de estos ciclos de aridez y humedad relativa, una vez formada la laguna y sus acantilados. Evidencias de estas variaciones ambientales podrán surgir de estudios paleoambientales en base a análisis multiproxy de los testigos sedimentarios aquí presentados.

Las terrazas lacustres (Fig. 5) indican que,

en algún momento de su historia geomorfológica, la laguna Carmen alcanzó una posición 6 m más elevada que la actual, producto de intervalos húmedos, con balances hídricos positivos. Si bien no es posible aún ajustar cronológicamente estos momentos, se los podría atribuir a alguno de los períodos climáticos húmedos que se han reconocido para la región a lo largo del Holoceno, saber: entre 11,3 -7,1 ka A.P., 6,5 ka A.P., 5,5 ka A.P. y 2,3 ka A.P., lo cual corresponde al desarrollo de los paleosuelos 2, 4, 5 y 7 en la duna Arturo, respectivamente (Orgeira *et al.* 2012, Borromei *et al.*, com.pers.). En la mayoría de las lagunas de la región se desarrollan terrazas compuestas por sedimentos limo-arcillosos varios metros por encima de la posición actual de los cuerpos de agua; ello indica que las lagunas tuvieron una posición más elevada que la actual (Coronato *et al.* 2012). Por ejemplo, la posición altitudinal de la terraza lacustre inferior de laguna Perro, ubicada 20 km al norte, indica que la laguna se desarrollaba 8 m por encima de su nivel actual hacia  $2984 \pm 37$  años A.P., a juzgar por el fechado radiocarbónico de restos arqueológicos de un *Canidae* (Santiago 2013).

Los testigos obtenidos revelan la deposición de limos interrumpida por delgadas láminas u ocasionalmente, por estratos de limos arenosos. La presencia de ondulitas en la base del testigo LCTF1 permite inferir condiciones de aguas someras con alta dinámica por oleaje. Clastos tamaño grava media son ocasionales en ambos perfiles mientras que el moteado sólo se presenta en el testigo LCTF2. La existencia de numerosos cursos de agua temporarios que tributan la laguna (Figs. 1 y 5) genera múltiples zonas de aporte de sedimento por escorrentía superficial, dificultando la correlación entre los depósitos sedimentarios de ambos testigos.

Las edades basales de los testigos indican que hacia *ca.* 3600 años A.P. la laguna ya existía y que en ella se depositaron sedimentos limo-arcillosos generados por aporte principalmente eólico, con alternancia de niveles con mayor contenido de arena, probablemente, aportada por los cursos tributarios a la laguna durante momentos de mayor frecuencia y/o intensidad de precipitaciones. Otra posibilidad es que las arenas provengan de deposición de carga eólica en el cuerpo de agua, sin embargo, los testigos no reflejan continuidad lateral de estos

depósitos. En el testigo LCTF2 estos niveles más arenosos se concentran principalmente entre los años cal AP 3500 y 2800, hacia los 2000, y finalmente hacia los 1500. Entre los 2100 y 1400 años cal AP se registra un incremento de sedimentos limo arcillosos; éste podría deberse a un aumento en el aporte de sedimentos eólicos a la laguna, posiblemente asociado a un incremento en la intensidad y/o frecuencia de vientos, evidenciado por la mayor proporción de sedimentos limo-arcillosos en este tramo del testigo. Los vientos habrían sido húmedos, ya que la depositación del sedimento fino se tuvo que haber producido con agua en la laguna.

La información presentada en este estudio aporta nuevo conocimiento geológico-geomorfológico sobre el ambiente de emplazamiento y el posible origen de una de las lagunas que caracterizan al paisaje del norte de Tierra del Fuego. Si bien existen numerosos trabajos sobre diferentes aspectos geológicos de las formaciones paleógenas y neógenas de Tierra del Fuego, poco se conoce hasta el momento sobre las características litológicas de las sedimentitas que conforman las cuencas de estas lagunas y sus características geomorfológicas. El marco físico aquí presentado servirá de base para estudios paleoambientales en curso, a partir de los cuales se conocerán aspectos de la evolución ambiental en la estepa fueguina durante el Holoceno tardío.

## AGRADECIMIENTOS

C. Laprida, J. Ramón Mercau (Sondeos Ambientes Continentales y Marinos, FCEyN-UBA), Ramiro López y Mónica Sallemme (CADIC-CONICET) participaron en tareas de extracción, embalaje y transporte de los testigos. C. Laprida se ocupó del resguardo y sub-muestreo en laboratorio. Ignacio Magneres (CADIC-CONICET) realizó las determinaciones texturales mediante sedígrafo láser. Marilén Fernández (CADIC-CONICET) colaboró con la descripción sedimentológica de los testigos. Las imágenes SPOT 4 y 5 fueron provistas por CONAE por convenio específico con CADIC-CONICET. Los propietarios y personal de las estancias Los Flamencos y San Julio facilitaron el acceso a la laguna por sus campos ganaderos. Este trabajo fue realizado en el marco del PICT ANPCYT

2012-0628 otorgado a A. Coronato y del PIP 112-200801-01161 otorgado a C. Gogorza.

#### TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Borromei, A.M., Musotto, L.L., Candel, M.S., Martínez, M.A. y Coronato, A. 2016. Reconstrucción paleoambiental y paleoclimática del Holoceno tardío a partir de un registro multi-proxy en laguna Carmen, norte de la Isla Grande de Tierra del Fuego (Argentina). XV Reunión Argentina de Sedimentología, Libro de Resúmenes: 39, Santa Rosa
- Bujalesky, G., Coronato, A. y Isla, F. 2001. Ambientes glaci-fluviales y litorales Cuaternarios de la región del Río Chico, Tierra del Fuego, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 1:73-90.
- Bronk Ramsey, C. y Lee, S. 2013. Recent and Planned Developments of the Program OxCal. *Radiocarbon* 2-3: 720-730.
- Cartwright, A., Quade, J., Stine, S., Adams, K.D., Broecker, W. y Cheng, H. 2011. Chronostratigraphy and lake-level changes of Laguna Cari-Laufquén, Río Negro, Argentina. *Quaternary Research* 76:430-440.
- Codignotto, J. y Malumnián, N. 1981. Geología de la Región al N del paralelo 54° L.S. de la Isla Grande de Tierra del Fuego. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 1:44-88.
- Coronato, A., Coronato, F., Mazzoni, E. y Vázquez, M. 2008. Physical Geography of Patagonia and Tierra del Fuego. En: Rabassa, J. (ed.), *Late Cenozoic of Patagonia and Tierra del Fuego. Development in Quaternary Sciences* 11, 3:13-56. Elsevier.
- Coronato, A., Fanning, P., Salemme, M., Oría, J., Pickard, J. y Ponce, J. 2011. Aeolian sequence and the archaeological record in the Fuegian steppe, Argentina. *Quaternary International* 245:122-135.
- Coronato, A., Llopiz, S., Ponce, J.F., Villarreal, M.L. y López, R. 2012. Paleorreliques lacustres en la estepa fueguina: expansión-retracción asociada a cambios ambientales durante el Holoceno?. V Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, Actas: 82, Río Cuarto.
- Fernández, M., Maidana, N.I., Salemme, M., Laprida, C., Ponce, J.F., Oría, J. y Coronato, A. 2015. Estudio paleoambiental basado en diatomeas en lagunas de la estepa fueguina. VI Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, Libro de Resúmenes: 153, Ushuaia.
- Gilli, A., Anselmetti, F.S., Ariztegui, D., Bradbury, P., Kelts, K.R., Markgraf, V. y McKenzie, J.A. 2001. Tracking abrupt climate change in the Southern Hemisphere: a seismic stratigraphic study of Lago Cardiel, Argentina (49° S). *Terra Nova* 13: 443-448.
- Gogorza, C., Orgeira, M.J., Ponce, J.F., Fernández, M., Laprida, C. y Coronato, A. 2013. Rock magnetic properties of Laguna Carmen (Tierra del Fuego, Argentina): Implications for paleomagnetic reconstruction. *American Geophysical Reunion, Program-Book*, 50, Cancún.
- Hogg, A.G., Hua, Q., Blackwell, P.G., Buck, C.E., Guilderson, T.P., Heaton, T.J., Niu, M., Palmer, J.G., Reimer, P.J., Reimer, R.W., Turney, C.S.M. y Zimmerman, S.R.H. 2013. SHCal13 Southern Hemisphere calibration, 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon* 4: 1889-1903.
- Iturraspe, R. y Urciuolo, A. 2002. Ciclos deficitarios en el régimen de sistemas lagunares de la Estepa Fueguina. 19 Congreso Nacional del Agua, Actas 1: 1-10, Santa Fe.
- Laprida, C., Massafiero, J., Ramón Mercu, M.J. y Cusminsky, G. 2014. Paleobioindicadores del fin del mundo: ostrácodos y quironómidos del extremo sur de Sudamérica en ambientes lacustres cuaternarios. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 2: 97-117.
- Malumian, N. y Olivero, E. 2006. El Grupo Cabo Domingo, Tierra del Fuego: Bioestratigrafía, Paleoambientes y Acontecimientos del Eoceno-Mioceno marino. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 2: 139-160.
- Mariuzzi, A., Conzonno, V.H., Ulibarrena, J., Paggi, J.C. y Donadelli, J.L. 1987. Limnological investigation in Tierra del Fuego – Argentina. *Biología Acuática* 10: 1-80.
- Moy, Ch., Dunbar, R., Guilderson, T.P., Waldmann, N., Mucciarone, D.A., Recasens, C., Ariztegui, D., Austin Jr., J.A. y Anselmetti, F.S. 2011. A geochemical and sedimentary record of high southern latitude Holocene climate evolution from Lago Fagnano, Tierra del Fuego. *Earth and Planetary Science Letters* 1-2: 1-13.
- Munsell Color 1973. *Munsell Soil Color Charts*. Macbeth-Kollmorgen Corporation, Baltimore.
- Olivero, E.B., Malumian, N. y Martinioni, D.R. 2004. Mapa Geológico de la Isla Grande de Tierra del Fuego e Isla de los Estados; Provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur; República Argentina (escala 1:500.000). SEGEMAR, Buenos Aires.
- Oría, J., Villarreal, M.L., Coronato, A., Salemme, M. y López, R. 2014. Geoarqueología en la estepa fueguina, Argentina. Efectos de los procesos geomorfológicos sobre material arqueológico de superficie. *Revista de la Sociedad Española de Geología* 2: 51-68.
- Orgeira, M.J., Vázquez, C.A., Coronato, A., Ponce, F., Moretto, A., Osterrieth, M., Egli, R., y Onorato, R. 2012. Magnetic properties of Holocene edaphized silty eolian sediments from Tierra del Fuego (Argentina). *Revista de la Sociedad Geológica de España* 1-2: 45-56.
- Santiago, F. 2013. La ocupación humana del norte de Tierra del Fuego durante el Holoceno medio y tardío. Editora Cultural Tierra del Fuego, 460 p., Ushuaia.
- Stine, S. y Stine, M. 1990. A record from Lake Cardiel of climate change in southern South America. *Nature* 345: 705-708.
- Stuiver, M., Reimer, P.J. y Reimer, R.W. 2014. Calib Radiocarbon calibration 7.0. World Wide Web: <http://calib.qub.ac.uk/calib/>
- Tukhanen, S. 1992. The Climate of Tierra del Fuego from a vegetation geographical point of view and its ecoclimatic counterparts elsewhere. *Acta Botanica Fennica* 145: 1-64.
- Villarreal, M.L., Coronato, A., Mazzoni, E. y López, R. 2014. Mantos eólicos y lagunas semipermanentes de la estepa fueguina (53° S), Argentina. *Revista de la Sociedad Española de Geología* 2: 81-96.
- Waldmann, N., Anselmetti, F.S., Ariztegui, D., Austin, Jr, J.A., Pirouz, M., Moy, C.M. y Dunbar, R. 2011. Holocene mass-wasting events in Lago Fagnano, Tierra del Fuego (54° S): implications for paleoseismicity of the Magallanes-Fagnano transform fault. *Basin Research* 23: 171-190.
- World-clim- Global Climate data. 2016. <http://www.worldclim.org/version1>
- Zolitschka, B., Anselmetti, F. S., Ariztegui, D., Corbella, H., Francus, P., Lücke, A., Maidana, N.I., Ohlendorf, C., Schäbitz, F. y Wastegård, S. 2013. Environment and climate of the last 51,000 years - new insights from the Potrok Aike maar lake Sediment Archive Drilling project (PASADO). *Quaternary Science Reviews* 71: 1-12.

Recibido: 12 de julio de 2016

Aceptado: 28 de diciembre de 2016