

## 3 ► Paleoecología del Cuaternario tardío de la Puna del Noroeste argentino

Lupo, Liliana<sup>1\*</sup>; Julio Kulemeyer<sup>2</sup>; Gonzalo Torres,<sup>1</sup>; Brenda Oxman<sup>3</sup>; Karsten Schitteck<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Palinología, Facultad de Ciencias Agrarias, UNJU. Instituto de Ecorregiones Andinas (INECOA-CONICET). Alberdi 47, (4600) Jujuy. lupolc@yahoo.com.ar

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería/Agrarias, UNJU. Instituto de Ecorregiones Andinas (INECOA-CONICET). M. Palanca 10, (4600) Jujuy.

<sup>3</sup> CONICET – Universidad de Buenos Aires. 25 de Mayo 217, 3 piso, (C1002) CABA.

<sup>4</sup> Instituto de Geografía, Universidad de Heidelberg. Im Neuenheimer Feld 348. D-69120 Heidelberg.

► **Resumen** — Presentamos una síntesis de investigaciones paleoambientales para el Cuaternario tardío en la Puna, basada en 15 archivos de registros polínicos distribuidos entre 22°-27° S y 65°-67° W, en un gradiente ambiental noreste-suroeste, que corresponden a ambientes de sedimentación y preservación de lagos, paleolagos, vegas altoandinas y fluviales en valles intermontanos. Presentan cronologías de <sup>14</sup>C (escalas de milenios y siglos) y <sup>210</sup>Pb (escalas decádicas). La mayoría posee datos multiproxys: Bioindicadores (carbón vegetal, macrorestos vegetales y animales, diatomeas) y Geoindicadores (sedimentológicos, geoquímica, mineralogía, isótopos estables). En los archivos del Pre-LGM (Último Máximo Glacial) y Tardi-glacial (29.000 a 25.000 años cal AP y 18.000 a 11.700 años cal AP, respectivamente), de la Cordillera Oriental, se observan mayores aportes de polen de árboles del bosque montano de Yungas, debido a la intensificación de la circulación atmosférica y brisas de valle. Para el Holoceno temprano (11.700 a 9.000-8.300 años cal AP) se observan tendencias al incremento de la humedad y temperatura, con predominio de pastizales en los ambientes puneños y altoandinos. El Holoceno medio (9.000-2.000 años cal AP) es caracterizado como fase más seca, con incremento de estepas arbustivas, que alternan con episodios de humedad marcada y asociaciones polínicas indicadoras de disturbio antrópico. Durante Holoceno tardío (2.000 años cal AP a la actualidad), los registros evidencian las variaciones ambientales de escala submilenial, como la Anomalía Climática Medieval y la Pequeña Edad de Hielo, y pautas de uso y manejo antrópico del paisaje, especialmente el impacto de sobrepastoreo y el deterioro de los recursos hídricos.

**Palabras clave:** Puna, bioindicadores; geoindicadores; polen.

► **Abstract** — “Late Quaternary paleoecology of the northwest Argentine Puna”. A synthesis concerning the Late Quaternary of the Puna is presented, including 15 palynological archives distributed between 22°-27° S and 65°-67° W, over an environmental northeast-southwest gradient corresponding to sedimentation and preservation of lakes, palaeolakes, high Andean peatlands and inter-mountain valley deposits. All these provide chronologies with <sup>14</sup>C (millennial and century scales) and <sup>210</sup>Pb (decadal scales). Most of them offer multiproxy data: bioindicators (pollen, charcoal, plant and animal macrorest, diatoms) and geoindicators (sediments, geochemistry, mineralogy, stable isotopes). Sequences of the Pre-LGM and the Lateglacial (29.000 -25.000 years cal BP and 18.000-11.700 years cal BP) in the Eastern Cordillera of the Andes are characterized by higher contributions of tree pollen from Yungas Mountain Forest evidencing the enhanced atmospheric circulation (valley breeze), an increase of moisture from easterly winds, with displacements of geoecological belts. For the Early Holocene (from 11.700 to 9.000-8.300 yearscal BP) trends in the increase of moisture and temperature are observed, with the predominance of grassland in Puna and High Andean environments. The Middle Holocene (9.000-2.000 yearscal BP) is characterized by a drier period showing the increase of the Puna shrub steppes alternating with noticeable wet episodes and the presence of pollen assemblages that indicates human disturbance. During the Late Holocene (from 2.000 to present), high-resolution records evidence environmental variations due to climate oscillations (Medieval Warm Period and Little Ice Age) as well as landscape use patterns and management, particularly the impact of overgrazing and the loss of resources as fresh water.

**Keywords:** Puna, Bioindicators, Geoindicators, Pollen.

## INTRODUCCIÓN

La paleoecología, para el Cuaternario tardío, tiene entre sus desafíos dilucidar si los cambios observados en los ecosistemas de alta montaña, son el resultado del impacto humano, de la dinámica propia del ecosistema, de las variaciones en los factores ambientales —destacando fundamentalmente al clima— o de las combinaciones de estas variables en el pasado (Lupo *et al.*, 2006). Por otra parte, surge la necesidad de comprender en qué medida las perturbaciones inducidas por el hombre alcanzan niveles que podrían afectar severamente los ambientes a largo plazo. A esta complejidad se suma la escasez de series de datos y conocimientos sobre la dinámica natural de los ecosistemas puneños.

Este capítulo tiene como objetivo presentar el estado de avance de las investigaciones paleoecológicas del Cuaternario tardío de la Puna y áreas aledañas, basados en datos polínicos y de otros proxis. Se integra la información en una síntesis regional, sobre la base 15 sitios del NOA, ordenados por su cronología y las tendencias en la vegetación (asociaciones polínicas).

## PALEOCLIMAS

El Sistema Monzónico Sudamericano (SAMS: “*South American Monsoon System*”) es el principal responsable del notable incremento de las precipitaciones que ocurren durante el verano austral (Zhou y Lau, 1998; Vera *et al.*, 2006; Garreaud *et al.*, 2009; Vuille *et al.*, 2012). El SAMS no sólo controla la precipitación de las regiones intertropicales del continente (*i.e.*, Amazonia), sino también las extra-tropicales (*i.e.*, NO argentino, Llanura Chacopampeana), afectando amplias regiones localizadas hacia el E-NE de la Diagonal Árida Sudamericana (una franja continua de clima y vegetación árida que atraviesa diagonalmente el continente en sentido SE-NO). En este marco, los desplazamientos de los pisos geoecológicos en la Diagonal Árida, constituyen una evidencia sobre el comportamiento de los sistemas climáticos (Garleff *et al.*, 1991; Messerli *et*

*al.*, 1998; Schäbitz y Liebricht, 1998; Veit, 1995).

Los registros paleoclimáticos del Pleistoceno Superior de las zonas tropicales y subtropicales de los Andes (*e.g.* Clark *et al.*, 2009; Zech *et al.*, 2009), están restringidos a unos pocos sitios y las interpretaciones son controversiales. Por ejemplo, en el Altiplano boliviano, diversas investigaciones sugieren que el periodo de transición al Último Máximo Glacial (LGM, 26.000-22.000 años cal AP/22.000-18.000 años cal AP), se trató de una fase climática fría y húmeda con variaciones regionales de la disponibilidad de humedad que se asociaron a la circulación atmosférica, mayor insolación y forzantes precesionales vinculados a la rotación del eje de la tierra (Garreaud *et al.*, 2003; Fritz *et al.*, 2004; Placzek *et al.*, 2006; Gosling *et al.*, 2008). Los registros del lago Titicaca señalan un aumento del nivel de agua y descenso de la “Puna Brava”, caracterizada por muy escasa vegetación, con dominancia de gramíneas en mata a los ca. 21.500 años cal AP (Baker *et al.*, 2001, Paduano *et al.*, 2003, Tapia *et al.*, 2003). En el salar de Uyuni, se destacan diferentes ciclos lacustres, siendo el ciclo Sajsi (entre 24.000 y 20.500 años cal AP) contemporáneo al LGM (Placzek *et al.*, 2006; Blard *et al.*, 2011).

En la región del salar de Atacama se formó un lago perenne entre 26.700 y 16.500 años cal AP, bajo condiciones de mayor humedad que las actuales (Bobst *et al.*, 2001), posiblemente por aumento de precipitaciones convectivas durante el verano austral (Ammann *et al.*, 2001). Por otra parte, en la misma región, los registros de macrorrestos vegetales y sedimentarios señalan aumento de aridez (Betancourt *et al.*, 2000) y condiciones secas alrededor de 22.000 años cal AP (Grosjean *et al.*, 2001). Estas discrepancias podrían vincularse a distintas causas, como la resolución temporal de los registros o la omisión de discontinuidades estratigráficas.

En el NOA se produce un descenso de temperatura similar al registrado en el Altiplano boliviano, sin evidencias glaciares para este momento en la sierra de Santa Victoria, pero con expansión del piso periglacial

hasta unos 700 m por debajo de su límite actual (Zipprich *et al.*, 2000).

Durante los periodos fríos del Pre-LGM (29.000 a 25.000 años cal AP) y Tardiglacial (18.000 a 11.700 años cal AP), hay aumentos significativos de polen de especies arbóreas del Bosque Montano de Yungas en la Cordillera Oriental. A partir del Tardiglacial continuaron episodios de humedad y se registra la presencia de fauna extinta, el caballo americano (*Hippidion* sp.) en las cabeceras del río Grande de Jujuy; comienza a predominar la estabilidad geomorfológica en la región, que convierte a los ríos y arroyos en “oasis”, aprovechados por las culturas de cazadores y recolectores (Fernández, 1984, 1984-1985; Fernández *et al.*, 1991).

Para el Holoceno, Tchilinguirian *et al.* (2014) reconocen que el volumen de la información disponible para la región tropical andina ha aumentado, lo que permite trazar tendencias paleoambientales generales a macroescala. Sin embargo, las discrepancias entre los registros y situaciones particulares en respuesta a los grandes cambios climáticos, se observan en varias localidades de las dos vertientes de los Andes (Grosjean, 2001; Latorre *et al.*, 2002, 2003, 2006; Rech *et al.*, 2002, 2003; Servant y Servant-Vildary, 2003; Quade *et al.*, 2001). Los datos disponibles en la Puna argentina (Markgraf, 1985; Lupo, 1998; Valero-Garcés *et al.*, 2000; Grana y Morales, 2005; Yacobaccio y Morales, 2005; Tchilinguirian, 2009; Morales, 2011; Oxman, 2015), parecen compartir rasgos climáticos a escala regional, con el Holoceno temprano y tardío más húmedo y el Holoceno medio, más seco (Thompson *et al.*, 1995, 1998, 2000; Bradbury *et al.*, 2001; Ramírez *et al.*, 2003).

Durante el Holoceno tardío, y particularmente para el último milenio, es escaso el conocimiento del comportamiento del SAMS durante eventos climáticos globales como la Anomalía Climática Medieval, que comprende entre 1000 y a 650 años cal AP y la Pequeña Edad de Hielo, entre 600 y 100 años cal AP (Villalba, 1994; Piovano *et al.*, 2009; Bird *et al.*, 2011; Vuille *et al.*, 2012). En contraste con otras regiones de Sudamérica (por ej., Altiplano, Llanura Chacopampea-

na, Patagonia), hay pocas reconstrucciones climáticas y ambientales de alta resolución en el NO argentino (Valero-Garcés *et al.*, 2000, 2003; Lupo *et al.*, 2006; Morales *et al.*, 2015; Schittek *et al.*, 2016, Flantua *et al.*, 2016, Morales *et al.*, en este volumen).

También es poco conocida la dinámica de los ecosistemas naturales en zonas con una larga historia de uso de la tierra. En este sentido, desde la arqueología, en las últimas décadas se enriqueció la visión de la relación hombre/ambiente. Esta apunta a definir los procesos del ambiente físico, en términos ecológicos, como una matriz de interacción con el sistema socioeconómico, que se observa en las actividades de subsistencia y patrones de asentamiento de las sociedades humanas (Butzer, 1971, 1982). El periodo de cazadores recolectores y comienzos de la domesticación en la Puna jujeña, está altamente documentado (Kulemeyer *et al.*, 1999; Yacobaccio, 2012, 2013), así como la evolución de los sistemas agropastoriles pre-hispánicos (Albeck, 2001, 2010).

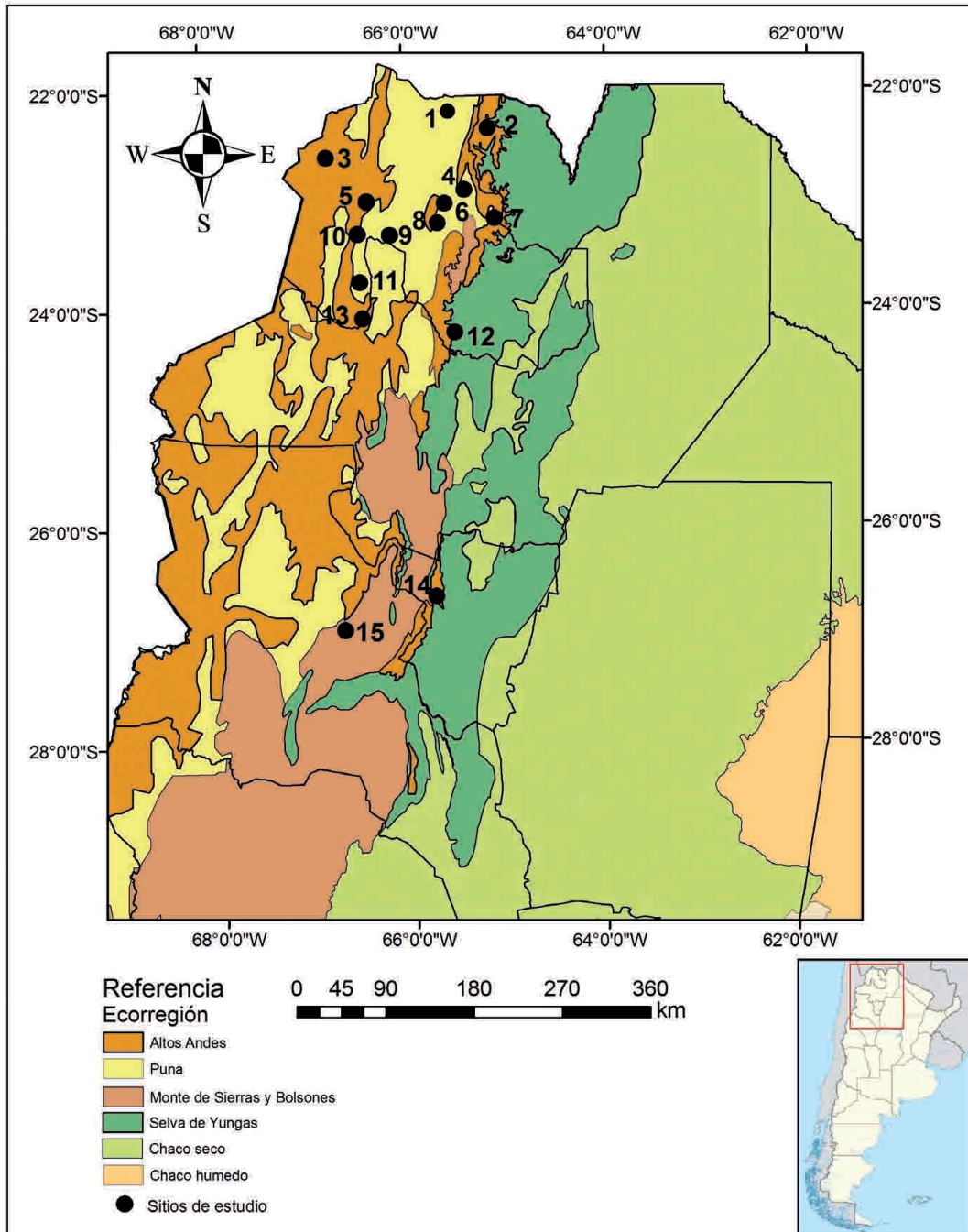
Este trabajo presenta una síntesis de registros paleoambientales documentados, de fuente palinológica, con datos multiproxys para el Cuaternario tardío de la Puna del NOA y sectores limitantes (Figura 1, Tabla 1). Se discuten casos de estudios, mostrando el estado del conocimiento de estas investigaciones en la región.

#### AMBIENTES DE SEDIMENTACIÓN Y PRESERVACIÓN

Los ambientes del Cuaternario tardío de la Puna, recibieron inicialmente aportes de distintas líneas de investigación, tales como la geomorfología, sedimentología y la palinología (Gerold, 1983; Fernández, 1984; Igarzabal, 1984; Markgraf, 1985; Brunotte *et al.*, 1988; Fernández *et al.*, 1991; Garleff *et al.*, 1991; 2005; Kulemeyer y Lupo 1998; Lupo, 1998; Kulemeyer *et al.*, 1999; Schäbitz, 2000, entre otros). Los mismos se concentraron en las depresiones endorreicas, turberas y valles andinos como principales medios sedimentarios. La dinámica de actividad y estabilidad geomorfológica, se vincula a la

circulación atmosférica a escala regional, en un sector de los Andes con topografía compleja y geológicamente muy activo. En ese contexto, las variaciones del clima durante el Cuaternario, constituyeron, en general, el

factor más relevante para explicar los cambios en el paisaje, sin dejar de considerar la incidencia limitada espacial y/o temporalmente, de la neotectónica y recientemente, de la influencia antrópica.



**Figura 1.** Mapa de ubicación de los sitios con archivos palinológicos del Cuaternario tardío en el noroeste argentino. Fuente: Brown *et al.*, 2006. Los números corresponden a la Tabla 1.

**Tabla 1.** Sitios seleccionados por sus cronologías para el Cuaternario tardío del NOA. Todos poseen reconstrucciones polínicas (P) de las comunidades vegetales y diferentes proxis según el caso de estudio: C = Carbón vegetal, V = Macrorrestos vegetales, Z = Macrorrestos animales, P = Paleovertebrados, S = Sedimento, I = Isótopos estables, M = Mineralogía, G = Geoquímica, A = Arqueología.

Sitio / Localización (paleoambiente)	Edad ka cal (proxis)	Fuentes
1. Yavi / 22°07'S; 65°28'W. 3300 msnm (Fluvial y vega)	9,5-2,5 y 0,5-0 (P, S, M, A)	Lupo, 1998; Schäbitz <i>et al.</i> , 2001; Kulemeyer, 2005
2. Tres Lagunas / 22°12'S; 65°07'W. 4400 msnm (Laguna)	18,2-11,9 (P, S)	Schäbitz, 2000; Schäbitz <i>et al.</i> , 2001
3. Laguna Pululos / 22°34'S; 66°47'W. 4500 msnm (Laguna)	1,4-0 (P, S, D)	Lupo <i>et al.</i> , 2007; Morales <i>et al.</i> , 2015
4. Abra de la Cruz / 22°40'S; 65°20'W. 4430 msnm (Laguna)	17,3-9,5 (P, S)	Schäbitz, 2000; Schäbitz <i>et al.</i> , 2001
5. Coranzuli / 22° 58' S; 66°21'W. 4000 msnm (Vega)	2,5-0 (P, S, V, Z)	Stinnesbeck, 2014
6. Barro Negro / 23°S; 65°37'W. 3820 msnm (Fluvial y vega)	14,5-10,2 (P, S, I, V, A)	Fernández <i>et al.</i> , 1991
7. Laguna Blanca 23°09'S; 65°12'W. 4260 (Laguna)	29-25,5 (P, S)	Torres <i>et al.</i> , 2016
8. El Aguilar / 23°10'S; 65°40'W. 4000 (Vega)	10-0 (P, S)	Markgraf, 1985
9. Barrancas / 23°18'S; 66°05'W. 3660 msnm (Fluvial, vega)	6,5-4 (P, S, D)	Oxman, 2015
10. Lapao 2 y 5 / 23°23'S; 66°21'W. 3670 (Fluvial, vega)	9,4-7,3 y 0,5-0 (P, S, D)	Oxman <i>et al.</i> , 2013, 2016; Tchilinguirian <i>et al.</i> , 2014; Oxman, 2015
11. Pastos Chicos / 23°40'S; 66°25'W. 3780 msnm (Fluvial, vega)	9,5-7 (P, S, D)	Oxman y Yacobaccio, 2014; Oxman, 2015
12. Yala / 24°06'S; 65°30'W. 2100 msnm (Laguna)	1,8-0 (P, S, G, C, M)	Lupo <i>et al.</i> , 2006
13. Vega Tuzgle / 24°09'S; 66°24'W. 4350 msnm (Vega)	2,1-0 (P, S, C, V, Z, I, G)	Schittek <i>et al.</i> , 2016
14. El Infiernillo / 26°45'S; 65°45'W. 3000 msnm (Fluvial, Vega)	2,1-0,6 (P, S)	Garralla, 2003
15. Laguna Cotagua / 27°03'S; 66°48'W. 2350 msnm (Laguna)	6,5-0 (P, S)	Kulemeyer <i>et al.</i> , 2013

Los archivos presentados corresponden a secuencias polínicas de humedales (Izquierdo *et al.*, en este volumen) como lagunas, vegas y valles fluviales en diferentes contextos naturales y antrópicos, ubicados en los pisos geoecológicos del NOA. Por sobre 4000 msnm, predominan los estudios sobre lagunas (Tres Lagunas, laguna Pululos, Abra de la Cruz y laguna Blanca), cuyo origen y evolución se vincula a procesos glaciares, periglaciares y eólicos (Figura 1A). Las lagunas de Yala y Cotagua, de pisos inferiores a los 3000 msnm y origen discutido como tectónico y/o remoción en masa, aportaron a la historia del impacto antrópico.

Las turberas de altura, como la Vega Tuzgle (Figura 1B), se ubican en las cabeceras de valles, donde se alimentan principalmente de la fusión del hielo del ambiente periglacial. Su desarrollo requiere de una reducción de la actividad geomorfológica, lo que le permite acumular importantes espesor de

depósitos orgánicos, con aportes clásticos subordinados.

Aguas abajo, en los valles predominan los depósitos de materiales finos fluviales, con interstratificaciones de paquetes de turba (Figura 1C, Yavi, Barro Negro, El Aguilar, Barrancas, Lapao 2 y 5, Pastos Chicos, El Infiernillo). Estos materiales, especialmente los palustres, presentan abundantes microfósiles y son portadores frecuentes de restos arqueológicos y numerosos estratos orgánicos, susceptibles de ser fechados por radio-carbono.

#### INDICADORES DE ACCIÓN ANTRÓPICA EN LOS REGISTROS

La historia de ocupación en la región se remonta a la transición Pleistoceno-Holoceno, con la presencia de grupos cazadores-recolectores. Desde 9.000 hasta 6.800 años cal AP hay una baja representación de restos arqueológicos.



lógicos que coincide con un período de sequía extrema (Martínez, en este volumen).

Se han encontrado evidencias arqueológicas de cambios en las estrategias económicas ca. 4000/3000 años cal AP, que indican la existencia de manejo de camélidos temprana, como se puede observar en el sitio Inca Cueva 7 y Huachichocana III capa E2 (Aschero y Yacobaccio 1998, Yacobaccio y Madero, 1992). Posteriormente, para el período tradicionalmente denominado “Formativo” (2500-1100 años AP, Olivera, 1988, 2001) los antecedentes arqueológicos permiten inferir la presencia de prácticas agropastoriles y/o pastoriles, complementadas con estrategias de caza desde 2000 años cal AP (Escola, 2000; López, 2008; Muscio, 2004).

En los registros polínicos existen dificultades para diferenciar los indicadores de impacto antrópico debido a que muchas de estas familias, géneros y especies, se encuentran también en la vegetación natural (Chenopodiaceae-Amaranthaceae, Urtica, Malvaceae, Asteraceae). Por ello, se busca reconocer la asociación de plantas indicadoras, que permite interpretar confiablemente las actividades antrópicas. Estas asociaciones están documentadas desde aproximadamente 4.500 años cal AP, con ganadería y agricultura incipiente en la Puna (Lupo, 1998). El pastoreo de la altiplanicie puneña condujo a una reducción de la densidad del pastizal y trajo como consecuencia un proceso de erosión generalizada y la profundización de los cauces en los valles a partir de ca. 2.000 / 1.500 años cal AP (Kulemeyer y Lupo, 1996; Kulemeyer, 2005). En el Aguilar (sitio 8) se observa que en los últimos 2.000 años se reduce la cobertura herbácea, atribuida al pastoreo, como primer registro de fuente palinológica sobre intervención humana en el paisaje del noroeste argentino.

Los análisis geoquímicos adquirieron relevancia para complementar la información de los proxies biológicos; en la Laguna de Yala, los análisis de carbono orgánico, carbono inorgánico, carbonatos y fosfatos, permitieron ampliar la información sobre la erosión de suelos vinculada a la agricultura y ganadería desde épocas prehispanicas, así como

también sobre la fundición de metales en el siglo XX en San Salvador de Jujuy (Lupo *et al.*, 2006). En la Vega Tuzgle (sitio 13), los datos muestran que el impacto del pastoreo en ecosistemas altoandinos fue significativo a partir de 1.050 años cal AP, con pérdida de biomasa y fragmentación de la vegetación y la asociada reducción en la frecuencia de incendios.

## MÉTODOS

Se presentan los datos de 15 sitios con archivos paleoambientales (Figura 1, Tabla 1), los cuales comparten datos polínicos e inferencias sobre cambios ambientales y paleoclimáticos. Se analizaron siguiendo su ubicación latitudinal de norte-sur, en un gradiente climático y ambiental desde la Puna Húmeda (>400 mm/año de precipitación) a la Puna Seca (100-400 mm/año de precipitación) y sitios colindantes. Los registros cuentan con cronologías basadas principalmente en fechados radiocarbónicos calibrados y, en algunos sitios, también por <sup>210</sup>Pb. Las resoluciones temporales implican milenio, siglos e incluso décadas, para el caso de los últimos 100 años, en la Laguna de Yala.

En la mayoría de los casos se cuenta con estudios actualistas (comunidades vegetales y análogos polínicos modernos), que constituyen la base para interpretar el pasado reciente (Lupo, 1998; Torres *et al.*, 2011; Cruz, 2012; Oxman, 2015).

Se agruparon los tipos polínicos mencionados por los autores en los diagramas, en asociaciones polínicas siguiendo un criterio ecológico (Cabrera, 1976 y Burkart *et al.*, 1999). Estas representan:

1) Vegetación regional de la Puna (asociaciones de estepas arbustivas y herbáceas puneñas), del piso Altoandino (asociaciones de pastizal y estepas herbáceas altoandinas), Monte y Yungas-Chaco (asociación de Bosque).

2) Vegetación local, como los indicadores de humedad local y de disturbio antrópico. Cabe aclarar que estas asociaciones varían en diversidad polínica según el sitio de estudio (Tabla 2).

**Tabla 2.** Principales tipos depolínicos de las asociaciones de polen de los sitios.

Asociaciones polínicas	Tipos polínicos
Monte	<i>Larrea divaricata</i> , <i>Cercidium praecox</i> .
Bosques	<i>Alnus</i> , <i>Juglans australis</i> , <i>Myrica</i> , Myrtaceae, <i>Podocarpus</i> , <i>Polylepis</i> , <i>Salix</i> , <i>Sambucus</i> , Anacardiaceae, <i>Cassia</i> , <i>Celtis</i> , <i>Prosopis</i> .
Pastizales de altura	Poaceae, <i>Anemia tomentosa</i> , Esporas Monoletes y Triletes.
Estepas arbustivas	<i>Acacia</i> , <i>Adesmia</i> , <i>Chuiriraga</i> , <i>Proustia</i> , Asteraceae, <i>Cereus</i> , <i>Trichocereus</i> , <i>Opuntia</i> , Cactaceae, <i>Cercidium</i> , <i>Ephedra</i> , Fabaceae, Mimosoideae, <i>Krameria</i> , <i>Satureja</i> , Lamiaceae, <i>Salvia</i> , <i>Prosopis</i> , <i>Schinus</i> , Solanaceae, <i>Fabiana</i> , <i>Tetraglochin</i> , Verbenaceae.
Estepas herbáceas puneñas	Poaceae, <i>Pennisetum</i> , <i>Ephedra</i> .
Estepas herbáceas altoandinas	Apiaceae, <i>Azorella</i> , <i>Bowlesia</i> , <i>Perezia</i> , <i>Hypochoeris</i> , Brassicaceae, <i>Calandrinia</i> , Caryophyllaceae, <i>Gentiana</i> , <i>Phacelia</i> , <i>Plantago</i> , Rosaceae, Scrophulariaceae.
Pastizales altoandinos	Poaceae.
Indicadores de humedad local	<i>Carex</i> , <i>Myriophyllum</i> , Juncaceae, Cyperaceae, Urticaceae, <i>Anemia tomentosa</i> , <i>Polypodium</i> , <i>Pteris</i> , Espora Monolete, Espora Trilete.
Indicadores de disturbio	Malvaceae, <i>Gomphrena</i> , Tipo <i>Alternanthera</i> , <i>Bidens</i> , Fabaceae, Papilionaceae, <i>Astragalus</i> , Chenopodiaceae-Amaranthaceae, Geraniaceae, <i>Plantago</i> , <i>Rumex</i> , Esporas de Hongos.

La distribución de la vegetación regional está determinada principalmente por factores climáticos (humedad, temperatura y balance hídrico), que son la base de las interpretaciones paleoecológicas y paleoclimáticas a macroescala. En este marco, las estepas arbustivas y herbáceas puneñas corresponden a condiciones más secas que los pastizales y estepas herbáceas altoandinas.

Otros proxys utilizados en los sitios son diferentes geo y bioindicadores, que complementan sustancialmente las interpretaciones. Los estudios de los depósitos sedimentarios en las secuencias estudiadas, se enfocaron desde la estratigrafía y el establecimiento de cronologías confiables, incluyendo la comprensión de las implicancias para la interpretación de la historia del ambiente de discordancias erosivas y facies sedimentarias (Lupo, 1998; Schäbitz *et al.*, 2001; Kulemeyer, 2005; Lupo *et al.*, 2007; Tchilinguirian *et al.*, 2014). Los estudios de minerales pesados, brindaron información precisa sobre cambios de las áreas fuentes de sedimentos y de las condiciones ambientales del Holoceno en la cuenca del río Yavi (Kulemeyer, 2005).

En la Vega Tuzgle, la aplicación de análisis de FRX, mostró las fluctuaciones pasadas en condiciones redox de turberas, con alta resolución temporal; en particular, la relación Mn/Fe se consideró un indicador de los cambios de nivel freático. Los valores de los

isótopos estables de carbono orgánico y de nitrógeno, así como el contenido de carbono y nitrógeno orgánico, aportan más información para la reconstrucción de las relaciones entre la humedad de la superficie de turberas y el clima (Schitteck *et al.*, 2016).

Entre los bioindicadores implementados, además del contenido palinológico para la reconstrucción de los cambios en las comunidades vegetales (Moore y Webb, 1983), están los estudios del carbón vegetal en las Lagunas de Yala y la Vega Tuzgle, para analizarla frecuencia de fuegos (Lupo *et al.*, 2006; Schitteck, 2014; Schitteck *et al.*, 2016). Las variaciones de los ensamblajes de comunidades de algas diatomeas en los humedales, son también excelentes indicadores de cambios y registro de eventos extraordinarios, con antecedentes en Lapao, Pastos Chicos, Barrancas y Pululos (Yacobaccio y Morales 2005; Morales 2011; Morales *et al.*, 2015).

#### CRONOLOGÍA E INTERPRETACIONES DE LOS PRINCIPALES REGISTROS PALEOECOLÓGICOS DEL NOA

PLEISTOCENO: PRE- MÁXIMO GLACIAL (~29.000 – ~25.000 AÑOS CAL AP) Y TARDIGLACIAL (~18.000 – ~11.700 AÑOS CAL AP)

El conocimiento paleoambiental del Pleistoceno Superior (NOA), se basa en es-



**Figura 2.** **A.** Laguna Blanca [Tabla 1, N° 7], en la Serranía de Aparzo, ca. 4000 msnm. Su evolución refleja el balance hídrico en el límite de los pisos Altoandino y Puna. **B.** Vega Tuzgle [Tabla 1, N° 13], Puna de Salta. **C.** Depósitos sedimentarios en el valle del Río Yavi, Jujuy [Tabla 1, N° 1].



tudios de distinto tipo (geomorfológicos, sedimentológicos, entre otros), que muestran importantes cambios ambientales para este período; en este trabajo se presentan cuatro archivos paleoambientales (Figura 3).

En las Serranías de Aparzo, el archivo de Laguna Blanca (sitio 7) brinda información sobre el comportamiento de los pisos geocológicos del noroeste argentino durante los milenios previos al último máximo glacial (Pre-LGM). Se observa (Figura 4) que el piso Altoandino habría ocupado posiciones más bajas que las actuales ca. 29.000 años cal AP, y luego de 26.300 años cal AP alcanza una posición comparable a la actual. La presencia

en altos porcentajes de tipos polínicos de especies arbóreas de Yungas (*Alnus*, *Podocarpus* y *Celtis*) ca 29.000 años cal AP, se consideran una respuesta a la intensificación de la circulación atmosférica de mesoescala. Es decir, que los vientos anabáticos que ascienden por el faldeo de las Sierras Subandinas hacia la Cordillera Oriental, favorecen el transporte polínico de estos elementos del bosque montano. El estudio de los sedimentos permite constatar el desarrollo de una paleolaguna, con su máximo nivel de agua entre 28.600 y 26.300 años cal AP.

En la Cordillera Oriental (sitios 2 y 4) a partir de 15.000 años cal AP, se evidencia la

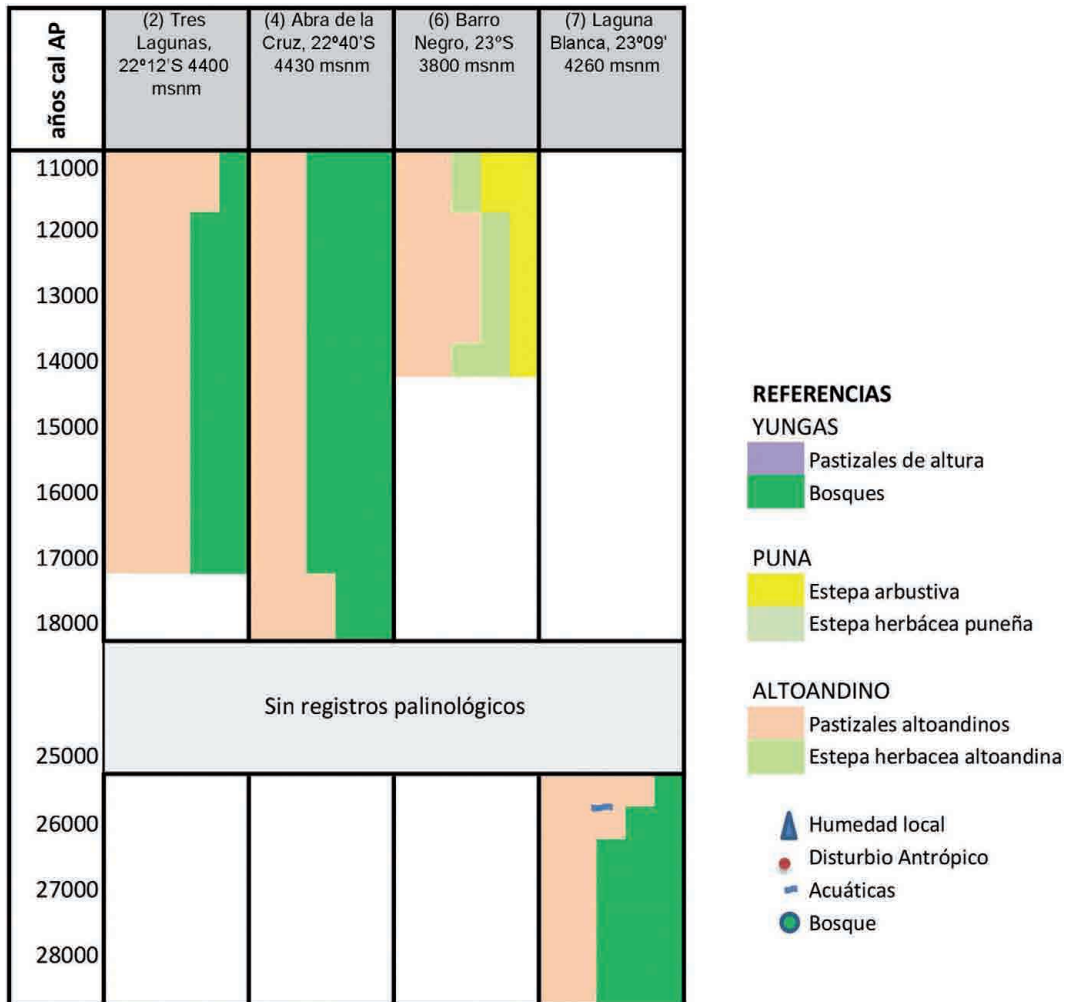
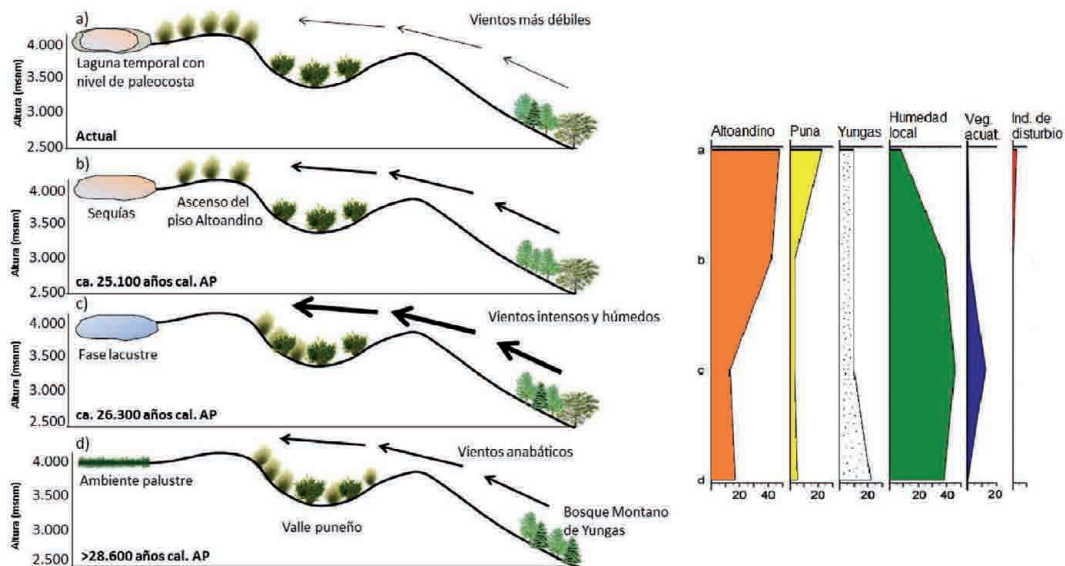


Figura 3. Síntesis de las tendencias de la vegetación (asociaciones polínicas) para el Pleistoceno tardío del Noroeste argentino.



**Figura 4.** Esquema de la evolución de la vegetación durante el Pre LGM en Laguna Blanca [izquierda]. El diagrama polínico resumido [derecha] muestra en el eje de abscisas las frecuencias relativas [%] de las asociaciones de polen que pertenecen a cada tipo de vegetación, y en el eje de ordenadas las letras correspondiente a cada escenario paleoambiental.

expansión del Bosque Montano Superior de las Yungas por las laderas del flanco oriental de los Andes, favorecido por la mayor influencia de vientos del este y aumento de precipitaciones.

Los estudios de testigos y columnas sedimentarias en Barro Negro (sitio 6) con resultados de los análisis polínicos e isotópicos (oxígeno y carbono), describen un ambiente más húmedo que el actual al final del Pleistoceno (12.500 – 10.200 años cal AP), reflejando en el descenso de la estepa herbácea por debajo de 4100 msnm, en tanto los valores de isótopos señalan condiciones más frías para este momento.

#### HOLOCENO

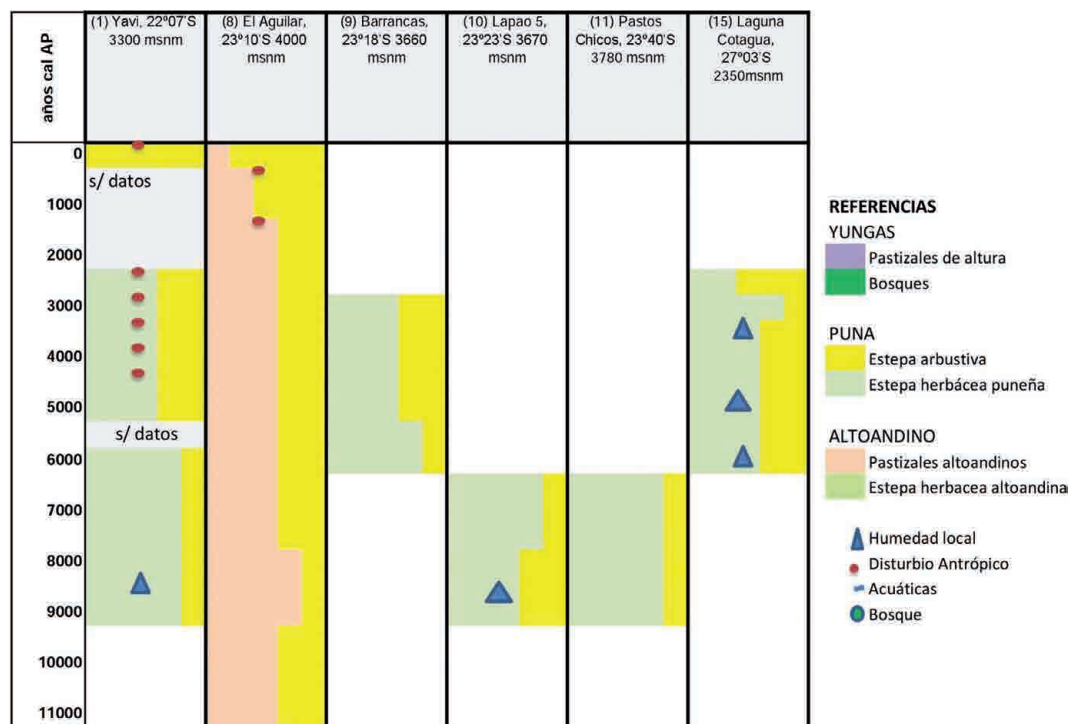
(~11.700 AÑOS CAL AP – PRESENTE)

La mayor cantidad de archivos corresponden a este período, donde se observan las tendencias generales de la vegetación (Figura 5). Hacia el interior de la altiplanicie puneña los cambios ambientales no se reflejan tanto en variaciones en los niveles altitudinales de los pisos ecológicos, como en cambios en la dominancia relativa de las estepas arbustivas

y herbáceas y en unidades locales de vegetación. Los registros del Holoceno tardío se analizaron en forma diferenciada, atendiendo a una mayor resolución y la problemática de las relaciones hombre/ambiente (Figura 6).

Para el Holoceno temprano, los límites varían según criterios de los autores, entre 11.700 a 9.000- 8.200 años cal AP. Se observa (sitios 1, 8, 9, 10, 11) que predominan las estepas herbáceas sobre las arbustivas, que representan un momento más frío y húmedo para la Puna Húmeda, lo que se manifiesta en los valles puneños con la formación de turba (Kulemeyer, 2005).

En la Puna Seca (sitio 10), en Lapao 5, entre 9.280-8.380 años cal AP, se encuentran altos valores de indicadores de humedad local (*Myriophyllum* sp. y cyperáceas) y menores de poáceas y asteráceas. Esto se interpreta como el desarrollo de una vega en el marco de una estepa puneña. Entre 8.240 -7.020 años AP, aumentan los elementos de la estepa herbácea-arbustiva, con escasos o nulos valores de los indicadores de humedad local. Para este periodo, los sedimentos



**Figura 5.** Síntesis de las tendencias de la vegetación (asociaciones polínicas) para el Holoceno de la región puneña y áreas vecinas del NOA, expresadas como valores porcentuales medios.

muestran un primer momento con presencia de paleosuelos, macrorrestos vegetales y laminación de diatomitas en un ambiente de vega, en gradual retracción.

Para el Holoceno medio, de 9.000-2.000 años cal AP, en Pastos Chicos (sitio 11), predomina la estepa herbácea seguida de la estepa arbustiva entre 9.300-6.700 años cal AP. Estos resultados se complementan con datos sobre diatomeas, geomorfología y arqueológicos. En el borde oriental de la Puna, en Yavi (sitio 1), se registra una vegetación compuesta por estepas arbustivas y herbáceas puneñas con importante presencia local de *Pennisetum chilense* y *Chenopodeaceae*. Es un momento con desarrollo de dunas en la altiplanicie y acumulación de sedimentos arenosos en los valles. A partir de 4.500 años cal AP, aumentan las estepas arbustivas/disturbio antrópico, con incremento de la humedad efectiva y reducción en las tasas de sedimentación.

En El Aguilar (sitio 8), se evidencia una fase más seca entre 8.200-4.500 años cal AP a través del aumento de los arbustos de la Puna (*Asteraceae*, *Chenopodaceae*, *Ephedra*, entre otros), con una tendencia al retroceso del piso altoandino desde 2.000 años cal AP.

En el espectro polínico del perfil Cruces 2 de Barrancas (sitio 9), entre 4.500 y 2.800 años cal AP, domina la estepa herbácea y posteriormente la estepa arbustiva y la humedad local. En el testigo Cruces 1, entre ca. 5.700-4.100 años cal AP, se evidencian mayores porcentajes de la estepa arbustiva puneña y se instalan los elementos de humedad local. Se describe un ambiente léntico, con sedimentos más finos y laminación de materia orgánica. La presencia permanente de la estepa arbustiva permite inferir que el clima regional fue seco durante todo el periodo, con breves fases alternantes de humedad.

En Pastos Chicos (sitio 11), entre ca. 7.000 – post 4.200 años cal AP disminuye la estepa herbácea, aumentan los porcentajes y diversidad de la estepa arbustiva e incrementan levemente los indicadores de humedad local. Los resultados obtenidos son coherentes con los de los sedimentos, que muestran inicialmente mayor presencia de paleosuelos orgánicos y laminación de diatomitas (Morales, 2011; Pirola, 2014; Tchilinguirian *et al.*, 2014).

En el sur de la Puna, en El Bolsón, el testigo de laguna Cotagua (sitio 15) registra desde ca. 6.400 años cal AP a 2.700 años cal AP una estepa herbácea predominando sobre la arbustiva con indicadores de humedad local. Es el momento de mayor hume-

dad relativa a lo largo de la secuencia, con un progresivo reemplazo de los materiales de laderas por depósitos eólicos con retransporte fluvial.

El Holoceno tardío, últimos 2.000 años (Figura 6), está signado por la presencia del disturbio antrópico (indicadores de pastoreo y cultivos), como los cambios de pautas culturales prehispánicas-hispánicas que, en algunos sectores con intensificación de la ocupación humana, puede dificultar las reconstrucciones paleoclimáticas.

En Coranzuli (sitio 5), en los últimos 2.300 años cal AP predomina la estepa herbácea altoandina sobre la estepa arbustiva puneña y la presencia de palinomorfos como indicadores de disturbio por pastoreo.

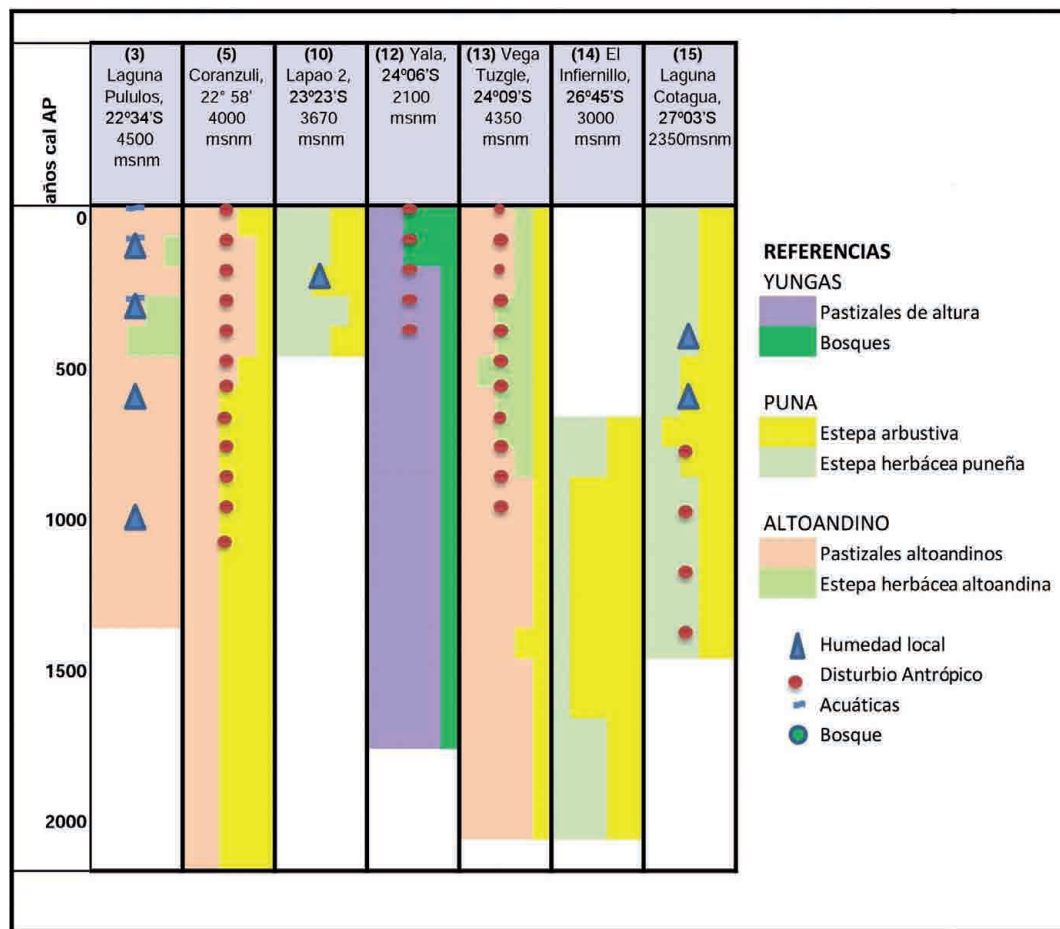


Figura 6. Síntesis de las tendencias de la vegetación (asociaciones polínicas) para el Holoceno tardío del Noroeste argentino, expresadas como valores porcentuales medios.



La Vega Tuzgle (sitio 13) tiene un registro polínico de los últimos 2.100 años, en el que predomina el pastizal altoandino hasta 800 años cal AP y luego incrementan las estepas herbáceas altoandinas entre 750 y 200 años cal AP. Los datos de carbón vegetal, isótopos y XRF permiten inferir cambios de las condiciones de humedad, que se relacionan a las migraciones de la Zona de Convergencia Intertropical, con fase secas entre 2.100 y 1.800, 1.300 y 1.150 y 950 a 850 años cal AP. Condiciones más húmedas prevalecieron desde 1.750 hasta 1.400 años cal AP.

En Yavi (sitio 1) se evidencia en épocas coloniales el predominio de impacto antrópico y la disminución de las estepas puneñas, en el marco de la alteración de la red de drenaje, con tendencia a la incisión de los valles puneños, a partir de 2.000/1.500 años cal AP.

En el Infiernillo (sitio 14) se registra desde 1.760 a 875 años cal AP, el predominio la estepa herbácea, con humedad local, caracterizando una fase húmeda y desde 875 años cal AP al presente, una fase seca con reducción de estepas herbáceas de Poaceae y elementos extralocales, que se interpreta como correlacionable con la Anomalía Climática Medieval.

Lagunas de Yala (sitio 12), en el límite de los bosque montano de Yungas, posee información para los últimos 2.000 años, que integran polen, carbón vegetal, datos de cicatrices de fuego, sedimentos y registra el cambio de la vegetación natural y el impacto de la colonización en los sedimentos desde el siglo XVII. El polen muestra un pastizal de altura y bosques de Yungas. El incremento en los indicadores de humedad local (helechos) a partir de 1.960, se corresponde con aumentos de las tasas de acumulación de sedimentos y de las precipitaciones.

En Laguna Cotagua (sitio 15) a partir de 2.700 años cal AP, los registros palinológicos muestran tendencias de humedad decreciente hacia las actuales condiciones de aridez e incremento del disturbio antrópico. Desde 675 años cal AP al presente, se presenta una estepa puneña, elementos del monte y disturbio antrópico, con aridez creciente.

La reciente invasión de dunas provenientes de la Puna en el sector norte del valle, solo puede ser explicada por una combinación de factores (climáticos, eventos volcánicos con producción de abundante material piroclástico y/o antrópicos). Los procesos de incisión documentados en el valle a partir de ca. 800 años cal AP, afectaron negativamente los humedales, aumentando la erosión y torrencialidad del cauce y disminuyen su capacidad de reserva de agua.

En Pululos (sitio 3), predominan los pastizales y estepas altoandinas, con especies acuáticas e indicadores de humedad local. El análisis integrado de polen y diatomeas permitió obtener información de fases secas (1.350 a 450 años cal AP, con una sequía extrema ca. 550 años cal AP) y húmedas (390 años cal AP a la actualidad, especialmente entre 390 y 250 años cal AP, con un lapso de déficit hídrico entre 250 y 70 años cal AP; posteriormente y hasta el presente, retornan condiciones de mayor humedad); que registra los primeros antecedentes paleoambientes de la Pequeña Edad de Hielo en la Puna argentina.

En Lapao 2 (sitio 10), entre 450 y 250 años cal AP, se observa una estepa herbácea dominada por Poaceae, Asteraceae e indicadores de humedad local, que indican la presencia de una vega moderadamente vegetada. Luego, entre 250-150 años cal AP, aumenta la humedad local y disminuye la estepa herbácea, marcando la expansión de la vega y entre 150-0 años cal AP, se evidencia la recuperación de la estepa puneña.

#### CONSIDERACIONES FINALES

La síntesis presentada constituye un aporte a la reconstrucción paleoambiental del Cuaternario tardío de la Puna argentina. Las tendencias generales en la dinámica de la vegetación, condiciones climáticas y registro del disturbio antrópico sobre el paisaje permiten realizar las siguientes consideraciones:

– Para el Pleistoceno tardío (Pre-Máximo Glacial, 29.000-26.000 años cal AP y Tardiglacial, 18.000-13.400 años cal AP) en el

borde oriental de la Puna, los archivos de paleolagunas aportan evidencias sobre condiciones más húmedas y frías en relación al Holoceno, con presencia significativa del polen de los bosques montanos de Yungas en el actual piso Altoandino, en respuesta a la intensificación de los vientos húmedos del Este, con desplazamientos de los pisos altitudinales y/o incrementos de los gradientes térmicos y brisas de valle, en concordancia con interpretaciones similares en el Altiplano boliviano y el salar de Atacama (Thompson *et al.*, 1998; Argollo y Mourguiart, 2000; Bobst *et al.*, 2001; Fritz *et al.*, 2004; Placzek *et al.*, 2006; Gosling *et al.*, 2008).

– El Holoceno presenta la codominancia de estepas arbustivas y herbáceas (mixtas) en la Puna Seca y en la Puna Húmeda, desde 5.000 a 2.000 años cal AP; dominan las estepas arbustivas y herbáceas puneñas y se incrementa la humedad; aparecen también los primeros registros de disturbio antrópico por pastoreo. En el límite con la Puna Salada se documentan predominios de las estepas herbáceas sobre las arbustivas puneñas desde 6.400 a 2.750 años cal AP. Estas tendencias al déficit hídrico regional, con particularidades locales vinculadas a microclimas, caracterizan a la región tropical andina (Ledru *et al.*, 2013; Tchilinguirian *et al.*, 2014).

– En el Holoceno tardío se evidenció la expansión de las ocupaciones humanas, la intensificación del uso de la tierra y oscilaciones climáticas recientes (Anomalía Climática Medieval en el Infiernillo y Pequeña Edad de Hielo en Pululos y Lapao 2). En regiones vecinas de los Andes Centrales se observa también que los cambios de vegetación están en relación a variaciones de las precipitaciones/temperatura globales y a microclimas locales (Liu *et al.*, 2005; Schittek *et al.*, 2015, Flantua *et al.*, 2016).

– El impacto antrópico sobre la vegetación de los pastizales y valles intermontanos se documenta por pastoreo, incendios, presencia de cultivos y malezas de cultivos. En este sentido, la vegetación/polen demuestran ser sensibles a los cambios ambientales, reflejando el prolongado proceso de deterioro ambiental de la Puna y Andes tropicales

(Flantua *et al.*, 2016). En este contexto, la preservación de los humedales como excelentes archivos paleoambientales naturales y fuentes de agua para las sociedades andinas, amerita la implementación de políticas de conservación (Schittek *et al.*, 2016; Izquierdo *et al.*, en este volumen; Morales *et al.*, en este volumen).

#### AGRADECIMIENTOS

A las instituciones financiadoras: CONICET, AGENCIA-PICTO-UNJu 147, German Science Foundation (SCHA 14-1/2), German Federal Ministry for Education and Research (ARG 06/009). Fundación Proyungas. UBACyT – Universidad de Buenos Aires. SECTER/Universidad Nacional de Jujuy. DFG.A los Profesores Karsten Garleff, Helmut Stingl, Jorge Kulemeyer, Hugo Yacobaccio, Alejandra Korstanje, Frank Schäbitz, Martin Grosjean. A Gabriel Cortes, Joaquín Julián y Natalia Batallanos por el apoyo en el campo y laboratorio.

#### LITERATURA CITADA

- Albeck M. 2001. La Puna argentina en los Períodos Medio y Tardío. En: E. Berberrián y A. Nielsen (eds.), Historia argentina prehispánica. Editorial Brujas, Córdoba, pp. 347-388.
- Albeck M. 2010. Poblados arqueológicos de la Puna de Jujuy como topónimos en los siglos XVI y XVII. Cuadernos del INAPL 22: 7-16.
- Ammann C., Jenny B., Kramer K., Messerli B. 2001. Late Quaternary Glacier responds to humidity changes in the arid Andes of Chile. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 172: 313-326.
- Argollo J., Mourguiart P. 2000. Late Quaternary climate history of the Bolivian Altiplano. *Quaternary International*, 72: 37-51.
- Aschero C., Yacobaccio H. D. 1998. 20 Años Después: Inca Cueva 7 Reinterpretado. Cuadernos, 18: 7-18.
- Baker P., Seltzer G., Fritz S., Dunbar R., Grove M., Tapia P., Cross S., Rowe H., Broda, J. 2001. The History of South American tropical precipitation for the past 25.000 years. *Science*, 241: 640-643.
- Betancourt J., Latorre C., Rech J., Quade J., Rylander K. 2000. A 22.000-year record of monsoonal precipitation from

- northern Chile's Atacama Desert. *Science*, 289: 1542-1546.
- Bird B., Abbott M., Vuille M., Rodbell D., Stansell N., Rosenmeier M. 2011. A 2300-year-long annually resolved record of the South American summer monsoon from the Peruvian Andes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 21: 8583-8588.
- Blard P., Sylvestre F., Tripathi A., Claude C., Causse C., Coudrain A., Condom T., Seidel F., Vimeux J., Moreau C., Dumoulin J., Lavé J. 2011. Lake highstands on the Altiplano (Tropical Andes) contemporaneous with Heinrich 1 and the Younger Dryas: new insights from  $^{14}\text{C}$ , U-Th dating and  $^{18}\text{O}$  of carbonates. *Quaternary Science Reviews*, 30: 3973-3989.
- Bobst A., Lowenstein T., Jordan T., Godfrey L., Ku T., Luo S. 2001. A 106 ka paleoclimate record from drill core of the salar de Atacama, northern Chile. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 173: 21-42.
- Bradbury P., Grosjean M., Stine S., Sylvestre F. 2001. Full and Late Glacial Lake Records along the PEP 1 Transect: Their Role in Developing Interhemispheric Paleoclimate Interactions. V. Markgraf (ed.), *Interhemispheric Climate Linkages*, Academic Press, 265-29.
- Brown A., Martínez Ortiz U., Acerbi M., Corcuera J. (eds.), 2006. *La Situación Ambiental Argentina 2005*. Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, 587 pp.
- Brunotte E., Garleff K., Stingl H. 1988. Anthropogene Beeinflussung der Morphodynamik im Bolsón von Fiambalá / Northwest argentinien. *Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften. Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse. Kl., III/41*: 307-327.
- Burkart R., Bárbaro N., Sánchez R., Gómez D. 1999. *Ecorregiones de la Argentina*, Buenos Aires, Administración de Parques Nacionales, 43.
- Butzer K. 1971. *Recent History of an Ethiopian Delta*. University of Chicago, Dept. of Geography Research Paper, 136: 1-184.
- Butzer K. 1982. *Archaeology as Human Ecology: Method and theory for a contextual approach*. Cambridge University Press, Cambridge, 380 pp.
- Cabrera A. 1976. *Provincias fitogeográficas de Argentina*. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Editorial Acme, Buenos Aires, 85 pp.
- Clark P., Dyke A., Shakun J., Carlson A., Clark J., Wohlfarth B., Mitrovica J., Hostetler S., McCabe A. 2009. The Last Glacial Maximum. *Science*, 325: 710-714.
- Cruz A. 2012. *Los cambios del paisaje a través de la vegetación en el Valle del Bolsón (Belén, Provincia de Catamarca). Estudio paleopalinológico*. Tesis de Grado, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuy, 60 pp.
- Escola P. 2000. *Tecnología lítica y contextos agropastoriles tempranos*. Tesis Doctoral inédita. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires.
- Fernández J. 1984. *Variaciones climáticas en la Prepuna jujeña. Intervalo 5000-2000 años AP de interés para la arqueología*. IANIGLA, *Anales* 6: 73-82, Mendoza.
- Fernández J. 1984-1985. *Reemplazo del caballo americano por camélidos en el límite Pleistocénico-Holocénico de Barro Negro, Puna de Jujuy*. *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología*, 16: 137-152.
- Fernández J., Markgraf V., Panarello H., Albero M., Angiolini F., Valencio S., Arriaga M. 1991. *Late Pleistocene/Early Holocene environments and climates, fauna, and human occupation in the Argentine Altiplano*. *Geoarchaeology*, 6: 251-272.
- Flantua S. G. A., Hooghiemstra H., Vuille M., Behling H., Carson J. F., Gosling W. D., Hoyos I., Ledru M. P., Montoya E., Mayle F., Maldonado A., Rull V., Tonello M. S., Whitney B. S., González-Arango C. 2016. *Climate variability and human impact in South America during the last 2000 years: synthesis and perspectives from pollen records*. *Climate of Past*, 12, 483-523, doi: 10.5194/cp-12-483.
- Fritz S., Baker P., Lowenstein T., Seltzer G., Rigsby C., Dwyer G., Tapia P., Arnold K., Ku T., Lou S. 2004. *Hydrologic variation during the last 170.000 years in the southern hemisphere tropics of South America*. *Quaternary Research*, 61: 95-104.
- Garleff K., Schäbitz F., Stingl H., Veit H. 1991. *Jungquartäre Landschaftsentwicklung und Klimageschichte beiderseits der Ariden Diagonale Südamerikas*. *Bamberger Geographische Schriften*, 11: 359-394, Bamberg.
- Garralla S. 2003. *Análisis polínico de una secuencia sedimentaria del Holoceno tardío en el Abra del Infiernillo, Tucumán, Argentina*. *Polen*, 12: 53-63.
- Garreaud R., Vuille M., Clement A. 2003. *The climate of Altiplano: Observed cur-*

- rent conditions and mechanism of past change. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 194: 5-22.
- Garreaud R., Vuille M. Compagnucci R., Marengo J. 2009. Present-day South American climate. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 281, 180-195.
- Gerold G. 1983. Vegetations degradation und fluviale Bodenerosion in Südbolivien. *Z. Geomorph. N. F. Suppl.* 48: 1-16. Berlin. Stuttgart.
- Gosling W., Bush M., Hanselman J., Chestow Lusty A. 2008. Glacial-interglacial changes in moisture balance and the impact on vegetation in the Southern hemisphere tropical Andes (Bolivia/Perú). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 259: 35-50
- Grana L., Morales M. 2005. Primeros resultados paleoambientales del análisis de diatomeas fósiles del Holoceno medio y tardío de la cuenca del río Miriguaca, Antofagasta de la Sierra, Puna Catamarqueña. Entre Pasados y Presentes. VI Jornadas de Jóvenes Investigadores en Ciencias Antropológicas. Actas: 392-409.
- Grosjean M., 2001. Mid-Holocene climate in the south-central Andes: humid or dry? *Science* 292: 2391.
- Grosjean M., Van Leeuwen J., Van Der Knaap W., Geyh M., Ammann B., Tanner W., Messerli B., Nuñez L., Valero-Garcés B., Veit H. 2001. A 22.000 <sup>14</sup>C year BP sedimente and pollen record of climate change from Laguna Miscanti (23° S), northern Chile. *Global and Planetary Change*, 28: 35-51.
- Igarzabal A. 1984. Comportamiento hidrológico de las turberas de montaña como estructuras criogénicas en las regiones de Puna y Cordillera Oriental. II Segunda Reunión Grupo Periglacial Argentino. Actas: 106-115.
- Izquierdo A. E., Aragón R., Navarro C. J., Casagrande E. 2018. Humedales de la Puna: principales proveedores de servicios ecosistémicos de la región. En: H. R Grau, M. J. Babot, A. Izquierdo y A. Grau (eds.), *La Puna argentina: naturaleza y cultura. Serie de Conservación de la Naturaleza*, 24: 96-111.
- Kulemeyer J. 2005. *Holozäne Landschaftsentwicklung im Einzugsgebiet des Río Yavi (Jujuy/Argentina)*. Dissertation zur Erlangung des Doktor grades (Fakultät für Biologie, Chemie und geowissenschaften der Universität Bayreuth. 155 pp.
- Kulemeyer J. 2013. Los cambios ambientales durante el Holoceno Superior en el Norte Argentino y su relevancia en la arqueología. *Anuario de Arqueología*, 5: 51-64.
- Kulemeyer J., Lupo L. 1998. Evolución del paisaje bajo influencia antrópica durante el Holoceno Superior. Borde oriental de la Puna, Jujuy, Argentina. *Bamberger Geographische Schriften* 15: 263-276.
- Kulemeyer J. A., Lupo L., Kulemeyer J. J., Laguna L. 1999. Desarrollo paleoecológico durante las ocupaciones humanas del precerámico del norte de la Puna, Argentina. *Bamberger Geographische Schriften* 19: 233-255.
- Latorre C., Betancourt J., Arroyo T. 2006. Late Quaternary vegetation and climate history of a perennial river canyon in the Río Salado basin (22° S) of Northern Chile. *Quaternary Research*, 65: 450-466.
- Latorre C., Betancourt J., Rylander K., Quade J. 2002. Vegetation invasion into absolute desert: a 45 ky Rodent midden record from the Calama-Salar de Atacama Basins, northern Chile (lat 22-24° S). *Geological Society of America Bulletin*, 114: 349-366.
- Latorre C., Betancourt J., Rylander K., Quade J., Matthei O. 2003. A vegetation history from the arid prepuna of northern Chile (22-23° S) over the last 13,500 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 194: 223-246.
- Ledru M.-P., Jomelli V., Bremond L., Ortuño T., Cruz, P., Bentaleb I., Sylvestre F., Kuentz A.; Beck S., Martin C., Paillès C., Subitani S. 2013. Evidence of moist niches in the Bolivian Andes during the mid-Holocene arid period. *The Holocene*, 23 (11): 1547-1559.
- Liu K. B., Reese C. A., Thompson L. G. 2005: Ice-core pollen record of climatic changes in the central Andes during the last 400 yr, *Quaternary Research*, 64: 272-278, doi: 10.1016/j.yqres.2005.06.001.
- López G. 2008. Arqueología de Cazadores y Pastores en Tierras Altas: Ocupaciones humanas a lo largo del Holoceno en Pastos Grandes, Puna de Salta, Argentina. En: A. D. Izeta (ed.), *South American Archaeology Series 4*. Oxford, BAR S1854.
- Lupo L. 1990. Palinología de una secuencia del Holoceno en el Valle de Tafí, provincia de Tucumán, Argentina. *Facena* 8: 87-98.



- Lupo L. 1998. Estudio sobre la lluvia polínica actual y la evolución del paisaje a través de la vegetación durante el Holoceno en la cuenca del río Yavi. Borde Oriental de la Puna, Noroeste argentino. Tesis Doctoral. Universidad de Bamberg.
- Lupo L., Bianchi M., Aráoz E., Grau R., Lucas C., Kern R., Camacho M., Tanner W., Grosjean M., 2006. Climate and human impact during the past 2000 years as recorded in the Lagunas de Yala, Jujuy, northwestern Argentina. *Quaternary International*, 158: 30-43.
- Lupo L., Kulemeyer J., Sánchez A., Pereira E., Cortés R. 2016. Los archivos paleoambientales en el Borde Oriental de la Puna y sus respuestas a los cambios naturales y antrópicos durante el Holoceno. *Noroeste argentino. Dossier de Estudios Sociales del NOA*, 16: 39-68.
- Lupo L., Maldonado A., Morales M., Grosjean M. 2006. A high-resolution pollen and diatom record from Laguna Los Polulos (22°36'S/66°44'W/4500 masl), NW Argentinean Puna, since ca. 800 AD. *Reconstructing Past Regional Climate Variations in South America over the late Holocene: A new PAGES initiative. Abstracts*: 24. Malargüe, Mendoza.
- Lupo L., Morales M., Yacobaccio H., Maldonado A., Grosjean M. 2007. Cambios Ambientales en la Puna jujeña durante los últimos 1200 años: Explorando su impacto en la economía pastoril. XVI Congreso Nacional de Arqueología Argentina. III: 151-156. Ediciones UNJu.
- Markgraf V. 1985. Paleoenvironmental history of the last 10.000 years in Northwestern Argentina. *ZentralblattfürGeologie und Palaontologie*, 1 (11/12): 1739-1748, Stuttgart.
- Messerli B., Ammann C., Geyh M., Grosjean M., Jenny B., Kammer K., Vuille M. 1998. The problem of the "Andean Dry Diagonal": Current precipitation, Late Pleistocene snow line, and lake level changes in the Atacama Altiplano (18° S - 28/29° S). *Landschaftsentwicklung, Paläoökologie und Klimageschichte der Ariden Diagonale Südamerikas im Jungquartär*. Karsten Garleff und Helmut Stingl [HG.]: 17-34.
- Moore P., Webb J. 1983. *An Illustrated Guide to Pollen Analysis*. Hodder Stoughton Ed. Londres. 133 pp.
- Morales M. 2011. Arqueología ambiental del Holoceno temprano y medio en la Puna Seca Argentina: modelos paleoambientales multi-escalas y sus implicancias para la arqueología de cazadores-recolectores, *BAR International Series 2295, South American Archaeology. Series 15, Archaeopress, Oxford*.
- Morales M. S., Carilla J., Grau H. R., Villalba R. 2015. Multi-century lake area changes in the Andean high-elevation ecosystems of the Southern Altiplano. *Climate of the Past*, 11: 1139-1152.
- Morales M. S., Christie D., Neukom R., Villalba R., Gonnert J., Rojas F. 2018. Variabilidad hidroclimática en el sur del Altiplano: pasado, presente y futuro. En: H. R. Grau, M. J. Babot, A. E. Izquierdo y A. Grau (eds.), *La Puna argentina: naturaleza y cultura. Serie de Conservación de la Naturaleza*, 24: 75-91.
- Muscio H. 2004. Dinámica poblacional y evolución durante el período agroalfarero temprano en el Valle de San Antonio de los Cobres, puna de Salta, Argentina. Tesis Doctoral inédita, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires.
- Olivera D. 1988. La opción productiva: apuntes para el análisis de sistemas adaptativos del período Formativo del noroeste argentino. IX Congreso Nacional de Arqueología Argentina. Actas: 87-110, Buenos Aires.
- Olivera D. 2001. Sociedades agropastoriles tempranas: el formativo inferior del noroeste argentino. En: E. Berberian y A. Nielsen (eds.), *Historia argentina prehispánica*. Editorial Brujas, Córdoba, pp. 1: 83-126.
- Oxman B. 2010. Una perspectiva paleoecológica de las primeras ocupaciones humanas de la Puna Seca: análisis polínico de perfiles naturales holocénicos, Dpto. de Susques, Pcia. de Jujuy, Argentina. Tesis de licenciatura inédita. Facultad de F. y Letras, Universidad de Buenos Aires.
- Oxman B. 2015. Paleoaambiente y sociedad durante el Holoceno en la Puna Seca Argentina: un abordaje arqueopalinológico. Tesis doctoral inédita, Universidad de Buenos Aires.
- Oxman B., Tchilinguirian P., Yacobaccio H., Lupo L. 2013. Primeros estudios paleoambientales en Lapao 2 (Puna Seca) y la señal de la Pequeña Edad de Hielo? *Anuario de Arqueología*, 5: 375-390.
- Oxman B., Tchilinguirian P., Yacobaccio H., Lupo L. 2016. Nuevos análisis paleoambientales y sus implicancias arqueológicas durante la Pequeña Edad de Hielo en la Puna. *Dossier Estudios Sociales del NOA*, 16: 13-37.

- Oxman B., Yacobaccio H. 2014. Pollen analysis of Pastos Chicos: Paleoenvironmental and archeological implications during the Holocene in the Dry Puna of Argentina. En: D. Kligmann y M. Morales (eds.), *Physical, Chemical and Biological Markers in Argentine Archaeology: Theory, Methods and Applications*: 105-116. Oxford, BAR International Series, 2678.
- Paduano G., Bush M., Baker P., Fritz S., Seltzer G. 2003. A vegetation and fire history of Lake Titicaca since the Last Glacial Maximum. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 194: 259-279.
- Piovano E., Ariztegui D., Córdoba F., Cioccale M., Sylvestre F. 2009. Hydrological variability in South America below the Tropic of Capricorn (Pampas and eastern Patagonia, Argentina) during the last 13.0 ka. En: F. Vimeux, F. Sylvestre y M. Khodri (eds.). *Past climate variability from the Last Glacial Maximum to the Holocene in South America and Surrounding regions: From the Last Glacial Maximum to the Holocene*. Springer-Development in Paleoenvironmental Research Series: 323-351.
- Pirola M. 2014. ¿Dónde va la gente cuando no llueve? Heterogeneidad ambiental multi-escala en la Puna de Jujuy durante el Holoceno Medio: contenido de materia orgánica y carbonatos en sedimentos de paleohumedales. Tesis de Licenciatura. F. Fil. y Letras, UBA, Buenos Aires. Ms.
- Placzek C., Quade J., Patchett P. 2006. Geochronology and stratigraphy of late Pleistocene lake cycles on the southern Bolivian Altiplano: Implications for causes of tropical climate change. *Geological Society of America Bulletin*, 118: 515-532.
- Quade J., Rech J., Betancourt J., Latorre C. 2001. Response to Grosjeans Mid-Holocene Climate in the South-Central Andes: Humid or Dry? *Science*, 292: 2391-2392.
- Ramírez E., Hoffmann G., Taupin J.-D., Francou B., Ribstein P., Caillon N., Ferron F., Landais A., Petit J., Pouyaud B. 2003. A new Andean deep ice core from Nevado Illimani (6350 m), Bolivia. *Earth and Planetary Science Letters* 212 (3): 337-350.
- Rech J., Pigati J., Quade J., Betancourt J. 2003. Reevaluation of mid-Holocene deposits at Quebrada Puripica, northern Chile. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Paleoecology*, 194: 207-222.
- Rech J., Quade J., Betancourt J. 2002. Late Quaternary paleohydrology of the Central Andes (22-24° S), Chile. *Geological Society of America Bulletin*, 114: 334-348.
- Schäbitz F., Lupo L., Kulemeyer J. J., Kulemeyer J. A. 2001. Variaciones de la vegetación, el clima y la presencia humana en los últimos 15.000 años en el Borde Oriental de la Puna, provincias de Jujuy y Salta, Noroeste Argentino. *Ameghiniana. Publicación Especial*, 8: 125-130.
- Schäbitz F. 2000. Vegetation and climate history of the eastern flank of the Sierra de Santa Victoria, Jujuy Province, NW-Argentina (first results). *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie*, 7-8: 969-984.
- Schäbitz F., Liebricht H. 1998. Landscape and climate development in the south-eastern part of the "Arid Diagonal" during the last 13,000 years. *Landschaftsentwicklung, Paläoökologie und Klimageschichte der Ariden Diagonale Südamerika im Jungquartär*. Karsten Garleff und Helmut Stingl [HG.]: 371-388.
- Schitteck K. 2014. Cushion peatlands in the high Andes of northwest Argentina as archives for palaeoenvironmental research. *Dissertationes Botanicae*, 412.
- Schitteck K., Forbriger M., Mächtle B., Schäbitz F., Wennrich V., Reindel M., Eitel B. 2015. Holocene environmental changes in the highlands of the southern Peruvian Andes (14° S) and their impact on pre-Columbian cultures, 2015. *Clim. Past*, 11, 27-44, doi: 10.5194/cp-11-27-2015.
- Schitteck K., Kock S., Lücke A., Hense J., Ohlendorf Ch., Kulemeyer J., Lupo L., Schäbitz F. 2016. A high-altitude peatland record of environmental changes in the NW Argentine Andes (24° S) over the last 2100 years. *Climate of the Past*, 12: 1165-1180.
- Servant M., Servant-Vildary S. 2003. Holocene precipitation and atmospheric changes inferred from river paleowetlands in the Bolivian Andes. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 194: 187-206.
- Stinnesbeck S. 2014. Holozäner Klimawandel und Mensch-Umwelt-Interaktionen in den Hochanden von Nordwest-Argentinien, MSc Thesis, Universität zu Köln.
- Tapia M., Fritz S., Baker P., Seltzer G., Dunbar R. 2003. A Late Quaternary diatom record of tropical climatic history from Lake Titicaca (Perú and Bolivia). *Paleoge-*

- ography, Paleoclimatology, Paleoecology, 194: 139-164.
- Tchilinguirian P. 2009. Paleoambientes holocenos en la Puna Austral, Provincia de Catamarca (27° S): implicancias geoarqueológicas. Tesis de Doctoral. Fac. Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
- Tchilinguirian P., Morales, M., Oxman, B., Lupo, L., Olivera, D., Yacobaccio, H. 2014. Early to Middle Holocene transition in the Pastos Chicos record, dry Puna of Argentina. *Quaternary International*. Pergamon-Elsevier Science. 330: 171-182.
- Thompson L., Davis M., Mosley-Thompson E., Sowers T., Henderson K., Zagorodnov V., Lin P., Mikhaleenko V., Campen R., Bolzan J., Cole-Dai J., Francou B. 1998. A 25,000-year tropical climate history from Bolivian ice cores. *Science* 282: 1858-1864.
- Thompson L., Mosley-Thompson E., Henderson K. 2000. Ice-core palaeoclimate records in tropical South America since the Last Glacial Maximum. *Journal of Quaternary Science*, 15(4): 377-394.
- Thompson L., Mosley-Thompson E., Davis M., Lin P., Henderson K., Cole-Dai J., Bolzan, J., Liu K. 1995. Late Glacial Stage and Holocene Tropical Ice Core Records from Huascarán, Peru. *Science*, 269: 46-50.
- Torres, G., Lupo L., Pérez C. 2011. Transporte y depósito polínico arbóreo entre las Sierras Subandinas y la Cordillera Oriental de Jujuy. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 46 (Suplemento): 265.
- Torres G., Lupo L., Kulemeyer J., Pérez, C. 2016. Palynological evidence of the geocological belts dynamics from Eastern Cordillera of NW Argentina (23° S) during the Pre-Last Glacial Maximum. *Andean Geology*, 43 (2): 151-165.
- Valero-Garcés B., Delgado-Huertas A., Ratto N., Navas A., Edwards, L., 2000. Paleohydrology of Andean saline lakes from sedimentological and isotopic records, NW Argentina. *Journal of Paleolimnology*, 24: 343-359.
- Valero-Garcés B., Delgado-Huertas A., Navas A., Edwards L., Schwalb A., Ratto N. 2003. Patterns of regional hydrological variability in central-southern Altiplano (18-26° S) lakes during the last 500 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 194: 319-338.
- Veit H. 1995. Jungquartäre Landschafts- und Klimaentwicklung der zentralen Anden und ihres westlichen Vorlandes: Kenntnisstand und Probleme. *Geomethodica* 20: 163-194.
- Vera C., Higgins W., Amador J., Ambrizzi T., Garreaud R., Gochis D., Gutzler D., Lettenmaier D., Marengo J., Mechoso C., Nogués-Paegle J., Silva Diaz P., Zhang, C. 2006. Towards a unified view of the American Monsoon System. *Journal of Climate*, 19: 4977-5000.
- Villalba R. 1994. Tree ring and glacial evidence for the Medieval Warm Epoch and the Little Ice Age in southern South America. *Climatic Change*, 26: 183-197.
- Vuille M., Burns S., Taylor B., Cruz F., Bird B., Abbott M., Novello V. 2012. A review of the South American monsoon history as recorded in stable isotopic proxies over the past two millennia. *Climate of the Past*, 8 (4): 1309-1321.
- Yacobaccio H. 2012. Intercambio y caravanas de llamas en el sur andino (3000-1000 AP). *Comechingonia*, 16: 9-29.
- Yacobaccio H. 2013. Towards a Human Ecology for the Middle Holocene in the Southern Puna. *Quaternary International*, 307: 24-30.
- Yacobaccio H. D., Madero C. 1992. Zooarqueología de Huachichocana III (Jujuy, Argentina). *Arqueología*, 2: 149-188.
- Yacobaccio H., Morales M. 2005. Mid-Holocene environment and human occupation of the Puna (Susques, Argentina). *Quaternary International*, 132: 5-14.
- Zech J., Zech R., Kubik P., Veit H. 2009. Glacier and climate reconstruction at Tres Lagunas, NW Argentina, based on <sup>10</sup>Be surface exposure dating and lake sediment analyses. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 284: 180-190.
- Zhou J., Lau K. 1998. Does a monsoon climate exist over South America? *Journal of Climate*, 11: 1020-1040.
- Zipprich M., Reizner B., Zech W., Stingl H., Veit H. 2000. Upper Quaternary landscape and climate evolution in the Sierra de Santa Victoria (north-western Argentina) deduced from geomorphologic and pedologic evidence. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie I*, 7/8: 997-1011, Stuttgart.