

Patrones en la composición isotópica del carbono de turbas holocénicas en la Puna argentina: implicaciones paleoambientales y paleoecológicas



Marcelo R. Morales

IBBEA, UBA-Conicet
marcelomoralesarq@gmail.com

Malena Pirola

Instituto de Arqueología, FFyL, UBA-Conicet
malenapirola@gmail.com

Celeste T. Samec

INGEIS, UBA-Conicet
celestesamec@gmail.com

Fecha de recepción: 08/10/2015. Fecha de aceptación: 28/04/2016

Resumen

Este trabajo explora la viabilidad del análisis de la composición isotópica del carbono de turbas para contribuir a la caracterización del cambio climático y ambiental a lo largo del Holoceno en la Puna argentina. Presentamos treinta y un valores de $\delta^{13}\text{C}$ medidos en turbas holocénicas que incluyen datos publicados en bibliografía relevante y valores inéditos, estos últimos obtenidos a partir del trabajo realizado por nuestro equipo de investigación en las provincias de Salta y Jujuy, a fin de evaluar patrones temporales y altitudinales en la composición isotópica del carbono. Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ resultaron más heterogéneos durante el Holoceno Medio. De manera similar, se registran valores de $\delta^{13}\text{C}$ más bajos en los sitios ubicados a mayor altura, lo que podría correlacionarse con las condiciones más húmedas que prevalecen en estas localidades de la Puna. Consideramos que estos resultados contribuyen a una mejor comprensión de la variabilidad espacio-temporal de la composición isotópica de las plantas, como primer paso para construir una ecología isotópica comprensiva en la región que facilite interpretaciones más precisas de datos isotópicos, vinculadas a dieta animal y humana, patrones de movilidad y cambio paleoambiental.

Palabras clave

Paleoambiente
Turberas
Isótopos estables del carbono
Humedales
Puna argentina

Patterns in the isotopic composition of carbon from Holocene peat in the Argentine Puna: paleoenvironmental and paleoecological implications

Abstract

Key words
Paleoenvironment
Peat deposits
Carbon stable isotopes
Wetlands
Argentine Puna

This work explores the suitability of carbon isotope composition analysis of peat deposits for the characterization of climatic and environmental change throughout the Holocene Epoch in the Puna of Argentina. We present thirty-one $\delta^{13}\text{C}$ values, measured in Holocene peat deposits, which were compiled from the relevant published and unpublished bibliography by our research team in the provinces of Jujuy and Salta, in order to explore temporal and altitude-related patterns in carbon isotope composition. The most heterogeneous $\delta^{13}\text{C}$ values were found during the Mid-Holocene Epoch. Similarly, we registered lower $\delta^{13}\text{C}$ values at higher altitude sites, which could be related to the prevalence of more humid conditions at these places in the Puna. We consider these results to contribute to a better understanding of space-time variability in the isotopic composition of plants; a first step towards the construction of a comprehensive isotopic ecology of the region that would facilitate more precise isotopic data linked to animal and human diets, patterns of mobility, and paleoenvironmental change.

Modèles dans la composition isotopique du carbone de tourbières holocéniques à la Puna argentine: les implications paléo-environnementales et paléo-écologiques

Résumé

Mots clés
Paléo-environnement
Tourbières
Isotopes stables du carbone
Zones humides
Puna argentine

Ce travail explore la viabilité de la composition isotopique du carbone de tourbières, contribuant ainsi à la détermination du changement climatique et environnemental au long de l'Holocène dans la Puna argentine. Nous présentons trente-et-une valeurs $\delta^{13}\text{C}$ mesurées dans des dépôts de tourbe holocéniques qui incluent autant des valeurs publiées sélectionnées dans une bibliographie pertinente comme des valeurs inédites, obtenues à partir du travail effectué par notre équipe de recherche dans les provinces de Salta et de Jujuy, de façon à évaluer des modèles temporels et altitudinaux de composition isotopique du carbone. Nous obtenons une tendance vers des valeurs hautes de $\delta^{13}\text{C}$ à travers le temps qui indiquent probablement une réduction de l'humidité au long de l'Holocène. De la même façon, on retrouve des valeurs $\delta^{13}\text{C}$ plus hautes dans les sites situés à plus haute altitude, ce qui pourrait être en rapport avec les conditions plus humides qui prédominent dans ces localités de la Puna. Nous considérons que ces résultats contribuent à une meilleure compréhension de la variabilité spatio-temporelle de la composition isotopique des plantes, étant un premier pas pour construire une écologie isotopique intelligible dans la région qui permette des interprétations plus précises des données isotopiques, liées à la diète animale et humaine, aux circuits de mobilité et au changement paléo-environnemental.

Introducción

La composición isotópica del carbono ($\delta^{13}\text{C}$) de la materia orgánica en suelos, turbas y sedimentos depositados en cuerpos de agua se ha usado ampliamente en las ciencias ambientales (v. gr. Nissenbaum y Schallinger, 1974; Charman *et al.*, 1999; Meyers,

2003; Moschen *et al.*, 2009) para inferir cambios en la composición de las comunidades vegetales (proporción de plantas C₃/C₄) (v. gr. Mora y Pratt, 2002), humedad disponible (v. gr. Street-Perrott *et al.*, 2004), niveles de lagos (v. gr. Pueyo *et al.*, 2011), y bioproductividad acuática (v. gr. Hodell y Schelske, 1998; Meyers, 2003). Es importante considerar que el efecto combinado de estos factores en la conformación de un conjunto de valores de $\delta^{13}\text{C}$ puede dar lugar a interpretaciones ambiguas o, incluso, contradictorias. Entonces, el objetivo principal de este trabajo es explorar el uso de valores de $\delta^{13}\text{C}$ medidos en materia orgánica (MO) en suelos hidromórficos como *proxy* paleoambiental para la Puna, con el fin de alcanzar una mayor comprensión de los cambios ambientales ocurridos en la región durante los últimos doce mil años. Asimismo, se evalúan patrones espaciales presentes en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ de modo de obtener una mayor comprensión de la ecología isotópica de humedales como rasgos clave del ecosistema puneño.

Los depósitos de turba son estructuras comunes en el paisaje andino; son espacialmente discretos y están vinculados al desarrollo de humedales de altura, a menudo denominados “vegas”. A su vez, las vegas se encuentran asociadas a fuentes de agua permanentes o semipermanentes, tales como vertientes alimentadas por aguas subterráneas o de deshielo. Entonces, vale destacar que los humedales son un elemento crítico en un contexto ambiental en el que el agua escasea. Desde el punto de vista de la Arqueología Ambiental, la importancia de comprender la disponibilidad temporal y espacial de los humedales a lo largo del Holoceno radica en la posibilidad de modelar estrategias y mecanismos en la toma de decisión en las sociedades en el paisaje puneño, particularmente aquellos vinculados a patrones de movilidad y explotación de recursos (v. gr. Morales, 2011; Tchilinguirian y Morales, 2013; Tchilinguirian *et al.*, 2014). Desde esta perspectiva, los estudios paleoambientales no son un mero complemento de la evidencia arqueológica, sino una herramienta metodológica útil para modelar movilidad y estrategias de subsistencia de estos grupos y derivar expectativas arqueológicas que luego pueden ser contrastadas con el registro. En este artículo, buscamos contribuir a la construcción de una ecología isotópica de los humedales altoandinos como un primer paso para establecer la disponibilidad y características de los mismos en diferentes momentos del Holoceno, que pueden funcionar como indicadores de la productividad primaria y biomasa vegetal durante este período. En este sentido, disponer de estimaciones confiables de biomasa permitirá aplicar modelos ecológicos y biogeográficos para comprender mejor las características y el ritmo del proceso de ocupación humana en la Puna.

Composición isotópica del carbono en turbas

La composición isotópica del carbono de la MO contenida en sedimentos lacustres y palustres refleja la composición isotópica promedio de la comunidad vegetal que le dio origen (Meyers, 2003). Consideramos que esta afirmación es extensible a la composición isotópica de la MO de las turbas asociadas a las vegas andinas, ya que su génesis está sujeta a procesos y agentes similares. Por lo tanto, resulta necesario explorar los factores que moldean la variabilidad inter e intraespecífica en la composición isotópica del carbono en las plantas para comprender las variables intervinientes en la señal isotópica de la MO de estos suelos.

La vía fotosintética utilizada por una planta para fijar el carbono es el factor principal de variación en la composición isotópica de este elemento en las plantas terrestres. La discriminación isotópica del carbono ($\Delta^{13}\text{C}$) es menor en las plantas que emplean la vía C₄ (o ciclo Hatch-Slack) que en las que la hacen usando la C₃ (o ciclo Calvin-Benson) (Smith y Epstein, 1971; O’Leary, 1981). Esto resulta en valores más altos de

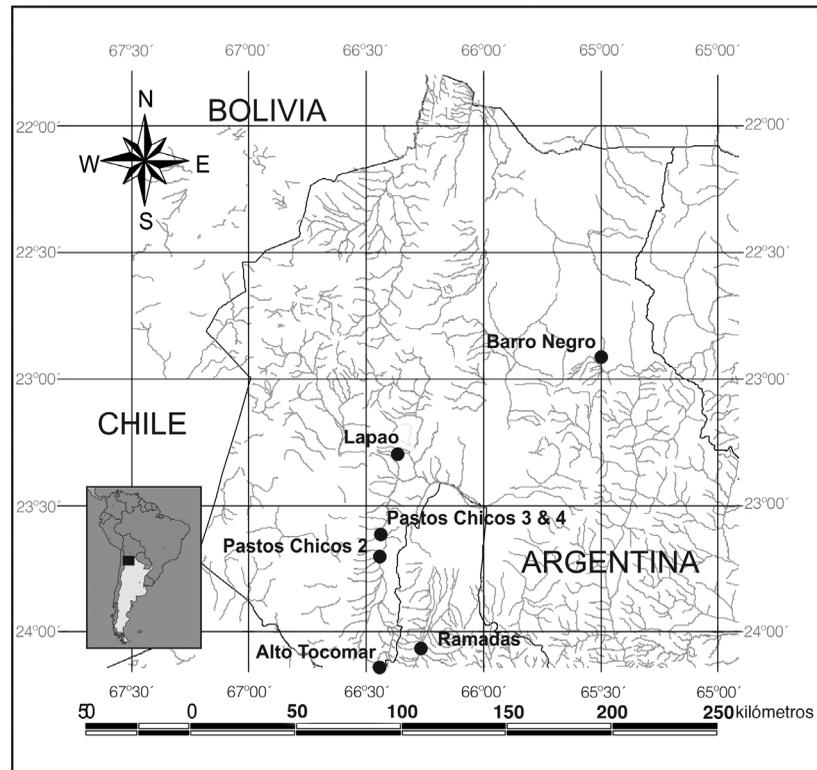


Figura 1. Localidades muestreadas en el área de estudio.

$\delta^{13}\text{C}$ en las plantas C_4 –entre -6 y -19‰– y más bajos en las plantas C_3 –entre -20 y -35‰ (Smith y Epstein, 1971; O’Leary, 1988; Codron *et al.*, 2005). Las plantas suculentas, que crecen mayormente en zonas desérticas, tienen una vía fotosintética particular denominada CAM (Metabolismo Ácido de las Crasuláceas) y exhiben valores de $\delta^{13}\text{C}$ intermedios entre los de los vegetales C_3 y C_4 (O’Leary, 1988).

Asimismo, la discriminación isotópica del carbono en los tejidos vegetales es afectada por factores ambientales (O’Leary, 1981). La misma especie vegetal exhibe valores de $\delta^{13}\text{C}$ significativamente diferentes en respuesta a condiciones variables de humedad atmosférica y del suelo, salinidad, intensidad lumínica, contenido de deuterio en el agua y presión de CO_2 (v. gr. Farquhar *et al.*, 1989).

Por último, en ambientes acuáticos o de humedal intervienen también otros factores que afectan la composición isotópica del carbono en la MO. Estos son la contribución diferencial de fuentes de materia orgánica –terrestre *vs* algas/fitoplancton– y el nivel de productividad de la vegetación acuática, los que también indican las condiciones hidrológicas y térmicas (v. gr. Meyers, 2003).

El ecosistema puneño

La Puna argentina es una gran cuenca endorreica ubicada en la vertiente oriental de los Andes tropicales, extendiéndose entre los 19° y 27° S y los 3.000 y 4.500 msnm (Figura 1). Esta área fue definida como un bioma de desierto de altura, caracterizado por una elevada radiación solar, baja presión atmosférica y una marcada estacionalidad y variabilidad interanual en sus precipitaciones regidas por el Sistema Monzónico Sudamericano (Zhou y Lau, 1998; Vuille y Keimig, 2004). También existe variabilidad en las precipitaciones al interior de la región; estas varían entre 300 mm/año en el sector NO de la Puna a menos de 100 mm/año en el SE, determinando así

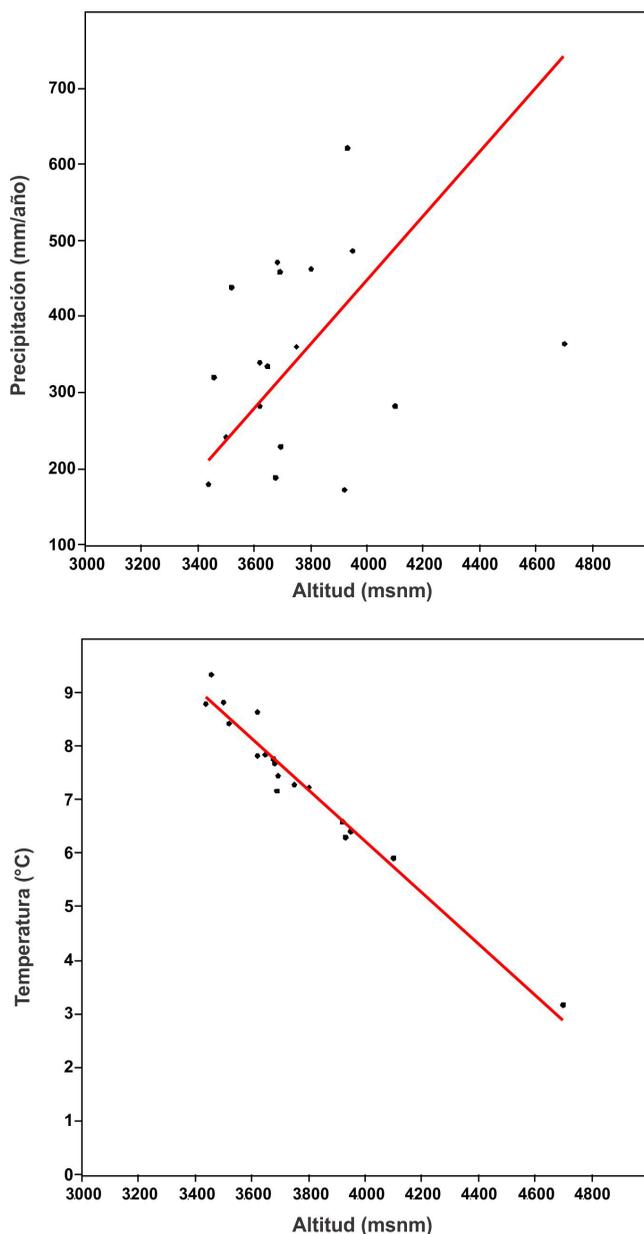


Figura 2. Modelos de regresión lineal entre la altura y los valores de precipitación media anual (arriba) y temperatura media anual (abajo) basados en los datos de dieciocho estaciones meteorológicas de la Puna de Jujuy (datos disponibles en: <http://www.mineria.gov.ar/ambiente/estudios/irn/jujuy>).

dos sectores: la Puna Seca, relativamente más húmeda, y la Puna Salada, en la que es más común la presencia de salares y salinas. Asimismo, existe un gradiente altitudinal en las precipitaciones, ya que el volumen anual de lluvias aumenta con la altura (Figura 2). La red hidrológica del área está dominada por la presencia de salares, salinas, cuencas fluviales estacionales y unas pocas cuencas permanentes que, junto a la vertientes, constituyen las únicas fuentes de agua dulce en la región. En términos generales, la productividad primaria se concentra en este tipo de sistemas hídricos estables (Dollfus, 1991).

Las características ambientales de este bioma generan una distribución discontinua de los recursos animales y vegetales en ambos sectores de la Puna. En términos de la vegetación, es posible distinguir tres comunidades diferentes: a) la estepa arbustiva o Tolar, localizada entre los 3.500 y 3.900 msnm; b) la estepa herbácea o Pajonal ubicada entre los 3.900 y 4.700 msnm y c) las Vegas, presentes en todo el gradiente altitudinal (Cabrera, 1976). El Tolar se caracteriza por la dominancia de plantas de las familias Compositae y Solanaceae y una baja proporción de herbáceas (ca. 5%); la mayor



Figura 3. Vista de vegas típicas ubicadas a ca. 3.600 msnm (arriba) y ca. 4.200 msnm (abajo).

parte de estas comparten la vía fotosintética C_3 , pero también se presentan algunas especies C_4 (Samec *et al.*, 2015). El Pajonal se ubica entre los 4.100 y 4.700 msnm, casi exclusivamente dominada por *Festuca* spp. y otros pastos, predominantemente C_3 (Samec *et al.*, 2015). Estas tendencias altitudinales resultan coherentes con la marcada correlación entre la abundancia relativa de vegetales C_3 - C_4 y la altitud que algunos autores han encontrado en otras regiones (Tieszen *et al.*, 1979; Cavagnaro, 1988; Llano, 2009) y que incluso los ha llevado a proponer que las plantas C_4 desaparecen a partir de cierta altura (Tieszen y Chapman, 1992). Por último, las vegas (Figura 3) son densos pastizales, en muchos casos parcialmente inundados, ubicados en todo el gradiente altitudinal de la Puna que incluyen tanto especies C_3 como C_4 , pero con una gran predominancia de las primeras (Samec *et al.*, 2015).

Las vegas presentan una cobertura vegetal de más del 70% y una alta bioproduktividad (biomasa $> 1.000 \text{ g/m}^2$) y usualmente contienen abundante vegetación riparia en sus vertientes (generalmente ubicadas entre los 4.100 y 4.500 msnm) alimentadas por pequeños reservorios subsuperficiales (Squeo *et al.*, 1993). Estos ambientes juegan un papel fundamental en la Puna ya que constituyen uno de los principales reservorios de agua, permitiendo un desarrollo sostenido y relativamente estable de vegetación (Schitteck *et al.*, 2012). A su vez, estos procesos generan suelos profundos con un alto contenido orgánico, asociados a rasgos hidromórficos y criogénicos, también llamados “turberas” en el área de estudio (Tchilinguirian *et al.*, 2014), por lo que, en

adelante, nos referiremos a “turbas” o “suelos hidromórficos” de manera indistinta a lo largo del trabajo.

Algunos estudios indican que hay unos pocos factores ecológicos que controlan la cobertura vegetal y característica de las vegas: cantidad y disponibilidad estacional de agua, temperatura (incluyendo eventos de helada y la duración de la estación de crecimiento), pH del agua y disponibilidad de nutrientes, principalmente potasio, nitrógeno, calcio, fósforo y magnesio, y elementos bióticos como la dispersión de semillas, el pastoreo y el impacto antrópico (Villagrán *et al.*, 1983; Ruthsatz, 1993). Squeo *et al.* (2006) han clasificado las vegas del norte de Chile y noroeste argentino de acuerdo con su forma, contexto hidrológico y fuente dominante de agua y la composición vegetal representada. Asimismo, Schitteck *et al.* (2012) han establecido que las características de las vegas se encuentran determinadas básicamente por su ubicación en la cuenca, la extensión de su área de captación hídrica y la estabilidad de su fuente de agua, así como por el grado de exposición e inclinación de la pendiente, que determina la intensidad de irradiación solar y afecta el balance hídrico. En vegas de altura, el ciclo diario de congelamiento-descongelamiento del agua del suelo contribuye a su migración vertical manteniendo saturada la superficie de la vega, aun durante períodos áridos (Schitteck *et al.*, 2012).

Historia ambiental de la Puna Seca

En términos generales, los estudios paleoambientales apuntan hacia el predominio de condiciones ambientales más húmedas y estables en los Andes durante el Holoceno Temprano (10.000-8.000 años AP) que en la actualidad (Thompson *et al.*, 2000; Bradbury *et al.*, 2001; Latorre *et al.*, 2003, 2006; Ramírez *et al.*, 2003), con una menor estacionalidad en las precipitaciones y menor variabilidad climática de corto plazo (Morales, 2011). Los niveles de los lagos y salares más importantes de la región habrían sido más elevados, indicando un balance hídrico positivo para el período (Geyh *et al.*, 1999; Bradbury *et al.*, 2001; Abbott *et al.*, 2003). Estas condiciones habrían causado modificaciones ecológicas, como la expansión de la estepa herbácea por debajo de la cota inferior actual de esta comunidad –i.e. 3.800 msnm, desplazando la estepa arbustiva que hoy ocupa esta faja altitudinal (Markgraf, 1985; Oxman, 2010; Tchilinguirian *et al.*, 2014).

Existe un consenso amplio en la comunidad científica respecto a las condiciones más estables, húmedas y frías que caracterizaron al Holoceno Temprano, mientras que el ambiente durante el Holoceno Medio (8000-4000 años AP) en la región de Atacama sigue siendo objeto de discusión, dada la complejidad de las señales paleoambientales registradas (Grosjean, 2001; Grosjean *et al.*, 2003; Latorre *et al.*, 2003, 2006). Recientemente, hemos tomado posición con respecto a este debate, apoyando la hipótesis de una tendencia general hacia la aridización a lo largo del Holoceno Medio que causó procesos de estrés hídrico en los Andes Tropicales y en el noroeste argentino (Tchilinguirian y Morales, 2013). En este período, el clima parece haber sido cálido y árido, con una marcada estacionalidad en las precipitaciones y cambios climáticos de corto plazo intensos y frecuentes. Existe abundante evidencia de desecación de lagos (Geyh *et al.*, 1999; Bradbury *et al.*, 2001), desaparición de numerosos humedales y retracción de la estepa herbácea hacia cotas superiores a 4.000 msnm, sugiriendo un proceso de aridización regional (ver Tchilinguirian y Morales, 2013, para una revisión general). Las causas principales propuestas para explicar estos cambios se vinculan a la intensificación del anticiclón del Atlántico Sur (Villagrán, 1993) y a ciclos orbitales que afectaron los niveles de irradiación solar del área (Rowe *et al.*, 2002). Sin embargo, el Holoceno Medio no fue un período homogéneo, de forma que la evidencia paleoambiental permite distinguir por lo menos dos fases. Entre los 8000 y 6000 AP, el ambiente presenta características transicionales entre las condiciones

más húmedas y frías del Holoceno Temprano y las más secas, inestables y cálidas de la segunda fase del Holoceno Medio. Los altos niveles de la freática alcanzados durante el Holoceno Temprano permitieron la persistencia de humedales en varias localidades hasta ca. 7000 años AP, como demuestran los depósitos aluviales del Altiplano boliviano (Servant y Servant-Vildary, 2003), los depósitos palustres y de turbas de las quebradas Puripica (Grosjean, 2001) y Lapao (Yacobaccio y Morales, 2005; Morales, 2011), y los registros de humedales en Pastos Chicos y Laguna Colorada en el noroeste argentino (Tchilinguirian, 2009; Morales, 2011; Tchilinguirian *et al.*, 2014). Por otra parte, la segunda fase del Holoceno Medio, entre los 6000 y los 4000 años AP, se caracteriza por su extrema aridez a escala regional. Las áreas que se ubican por encima de los 3.000 msnm evidencian la interrupción más o menos sincrónica del *input* de humedad ca. 6200 años AP, y un evento de desecación extrema ca. 5000 años AP. Este patrón es compatible con el establecimiento de los primeros eventos de la Oscilación del Sur El Niño (ENSO), registrados entre 7000 y 6000 años AP (Villagrán, 1993; Riedinger *et al.*, 2002). Para este momento, la evidencia paleoambiental indica un incremento de humedad en las tierras bajas y un descenso de la misma en las tierras altas y la ladera oriental de los Andes (Garreaud y Falvey, 2009).

El Holoceno Tardío, desde 4000 años AP hasta la actualidad, exhibe condiciones más húmedas que las observadas durante el Holoceno Medio (Grosjean, 2001) y coincide con el inicio de las características y periodicidad actuales de los eventos ENSO. En este sentido, los núcleos de hielo de Huascarán y Sajama han aportado evidencia a favor del establecimiento de condiciones más húmedas y frías a partir de ca. 4000 años AP (Thompson *et al.*, 2000). Registros de alta resolución temporal, como los núcleos de hielo de Quelccaya (Thompson *et al.*, 2006), indican que los últimos dos milenios pueden subdividirse en dos fases. La primera se caracteriza por valores altos de $\delta^{18}\text{O}$ entre 300 y 500 años DC y entre 1100 y 1300 años DC. La segunda fase, caracterizada por valores de $\delta^{18}\text{O}$ más bajos, abarca aproximadamente desde 1400 DC hasta 1900 DC, probablemente correspondiente a la Pequeña Edad de Hielo (Thompson *et al.*, 2006). Sin embargo, el registro polínico de Sajama (Liu *et al.*, 2005) y el análisis *multi-proxy* de un núcleo perforado en laguna Pululos (Morales *et al.*, 2009) indican que la Pequeña Edad de Hielo podría subdividirse aún en dos subfases: una húmeda, entre ca. 1500 y 1700 DC, y una seca, entre ca. 1700 y 1880 DC. Por otra parte, el nivel del lago Titicaca, que funciona como un buen indicador de humedad regional, experimentó una elevación considerable ca. 3000 años AP (Abbott *et al.*, 1997). El mismo indicador apunta a una sequía severa que terminó hacia 1350 DC (Abbott *et al.*, 1997) que coincide con el período más seco registrado en laguna Pululos (Morales *et al.*, 2009).

Materiales y métodos

Para cumplir con los objetivos del presente trabajo se analizó un total de treinta y un valores de $\delta^{13}\text{C}$ de turba que incluye tanto datos publicados como otros inéditos, estos últimos obtenidos a partir del trabajo realizado por nuestro equipo de investigación en las provincias de Jujuy y Salta (ver Figura 1). Los datos fueron seleccionados por su origen (materia orgánica total de depósitos de turba en la Puna Seca de la Argentina) y por su asociación con fechados radiocarbónicos de edad holocénica. Se descartaron valores provenientes de salares debido al posible efecto reservorio de carbono (Grosjean *et al.*, 2001). Las muestras consideradas fueron obtenidas de perfiles sedimentarios y núcleos perforados entre los 3.000 y 4.200 msnm (Tabla 1).

Para el análisis de tendencias temporales se aplicó un modelo de regresión polinomial al conjunto total de los datos de $\delta^{13}\text{C}$ en función de las edades radiocarbónicas. Asimismo, se agruparon los valores en tres conjuntos delimitados cronológicamente: Holoceno Temprano (i.e. HTe = 10000-8000 años AP), Holoceno Medio (i.e. HM = 8000-4000 años AP) y Holoceno Tardío (i.e. HTa = < 4000 años AP) y se calcularon

estadísticos descriptivos para cada uno de los conjuntos, comparándolos luego entre sí mediante ANOVA y tests de Diferencia Significativa Honesta (DSH) de Tukey. Para el análisis de tendencias espaciales, se aplicó un modelo de regresión lineal al conjunto de valores de $\delta^{13}\text{C}$ en función de la altitud. Asimismo, para evaluar la independencia de los patrones cronológicos y altitudinales detectados y sopesar la influencia de sitios particulares, los valores fueron agrupados en dos rangos altitudinales (3.000-3.699 msnm y 3.700-4.200 msnm) y se compararon los valores medios de $\delta^{13}\text{C}$ para cada período y rango altitudinal. Se utilizó el software PAST para todos los análisis estadísticos.

Sitio	O	S	msnm	Código de Laboratorio	Años $^{14}\text{C AP}$	+/-	$\delta^{13}\text{C}$ ‰	Fuente
Pastos Chicos 2	66,4333	23, 6667	3,527	AA79818	9016	49	-25,00	Tchilinguirian <i>et al.</i> , 2014
Pastos Chicos 2	66,4333	23, 6667	3,527	AA79825	9479	50	-23,50	Tchilinguirian <i>et al.</i> , 2014
Q. Lapao 2	66,3500	23,3667	3,650	UGA7833	125	40	-20,35	Oxman <i>et al.</i> , 2013
Q. Lapao 2	66,3500	23,3667	3,650	UGA7836	380	40	-25,05	Oxman <i>et al.</i> , 2013
Q. Lapao 2	66,3500	23,3667	3,650	UGA7835	400	40	-24,54	Oxman <i>et al.</i> , 2013
Q. Lapao 13	66,5833	23,3667	3,650	AA79832	472	33	-26,50	Inédito
Q. Lapao 13	66,5833	23,3667	3,650	AA79831	653	49	-24,70	Inédito
Q. Lapao 6	66,3500	23,3667	3,650	UGA8727	7750	40	-27,81	Yacobaccio y Morales, 2005
Q. Lapao 7	66,3500	23,3667	3,650	UGA8728	8230	40	-25,28	Yacobaccio y Morales, 2005
Ramadas PN	66,1928	24,1418	3,680	UGA8726	5210	40	-24,99	Muscio, 2004
Pastos Chicos 762/07	66,4333	23,6167	3,700	AA79833	3065	50	-23,90	Tchilinguirian <i>et al.</i> , 2014
Pastos Chicos 3	66,4333	23,6167	3,754	AA79827	2873	36	-23,20	Tchilinguirian <i>et al.</i> , 2014
Pastos Chicos 3	66,4333	23,6167	3,754	AA79820	2877	36	-21,70	Tchilinguirian <i>et al.</i> , 2014
Pastos Chicos 4	66,4333	23,6167	3,754	AA79835	4203	58	-26,20	Tchilinguirian <i>et al.</i> , 2014
Barro Negro	65,6167	23,0000	3,820	AC0748	510	70	-25,30	Fernández <i>et al.</i> , 1991
Barro Negro	65,6167	23,0000	3,820	AC0740	940	80	-27,60	Fernández <i>et al.</i> , 1991
Barro Negro	65,6167	23,0000	3,820	AC0747	1000	80	-24,00	Fernández <i>et al.</i> , 1991
Barro Negro	65,6167	23,0000	3,820	AC0738	1270	80	-25,40	Fernández <i>et al.</i> , 1991
Barro Negro	65,6167	23,0000	3,820	AC0682	1680	120	-25,00	Fernández <i>et al.</i> , 1991
Barro Negro	65,6167	23,0000	3,820	AC0739	1690	80	-27,60	Fernández <i>et al.</i> , 1991
Barro Negro	65,6167	23,0000	3,820	AC0680	2890	110	-24,30	Fernández <i>et al.</i> , 1991
Barro Negro	65,6167	23,0000	3,820	AC0746	3470	90	-27,50	Fernández <i>et al.</i> , 1991
Barro Negro	65,6167	23,0000	3,820	AC0742	9050	140	-24,80	Fernández <i>et al.</i> , 1991
Barro Negro	65,6167	23,0000	3,820	AC0743	9200	140	-28,80	Fernández <i>et al.</i> , 1991
Alto Tocomar	66,3000	24,1500	4,222	AA79823	1963	35	-25,10	Morales, 2011
Alto Tocomar	66,3000	24,1500	4,222	AA79829	5150	40	-25,60	Morales, 2011
Alto Tocomar	66,3000	24,1500	4,222	AA79834	5643	41	-26,30	Morales, 2011
Alto Tocomar	66,3000	24,1500	4,222	AA79821	5737	41	-29,90	Morales, 2011
Alto Tocomar	66,3000	24,1500	4,222	AA79830	6428	48	-29,30	Morales, 2011
Alto Tocomar	66,3000	24,1500	4,222	AA79824	6706	43	-27,20	Morales, 2011
Alto Tocomar	66,3000	24,1500	4,222	AA79817	7401	58	-34,40	Morales, 2011

Tabla 1. Muestras de turba consideradas para el análisis de tendencias espacio-temporales en la composición isotópica del carbono.

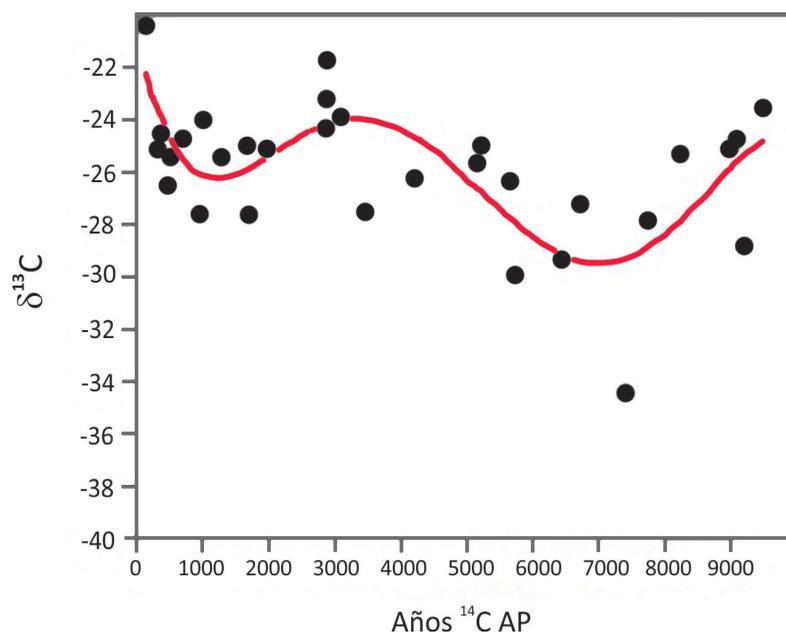


Figura 4. Modelo de regresión polinomial de $\delta^{13}\text{C}$ de turbas en función de la cronología ($r^2 = 0,48$ $p < 0,01$).

Resultados

Las medias de cada conjunto cronológico de valores (HTE ($N = 5$) = $-25,48$ ‰; HM ($N = 9$) = $-27,97$ ‰; HTa ($N = 17$) = $-24,81$ ‰), así como sus medianas (Hte = -25 ‰; HM = $-27,2$ ‰; Hta = -25 ‰) indican diferencias significativas entre los períodos definidos, especialmente entre el Holoceno Medio y el Holoceno Tardío (ANOVA: $F = 5,79$ $p < 0,01$; test de DSH de Tukey para HM vs. Hta = $0,02$). El HM presentó no solo la media y la mediana de $\delta^{13}\text{C}$ más bajas, sino también la mayor variabilidad (DE = $2,91$), comparando tanto al HTE (DE = $1,98$) como al HTa (DE = $1,94$) (Tabla 2).

	Holoceno Temprano (HTE)	Holoceno Medio (HM)	Holoceno Tardío (HTa)
N	5	9	17
Mín.	-28,80	-34,40	-27,60
Máx.	-23,50	-24,99	-20,35
Media	-25,48	-27,97	-24,81
Mediana	-25,00	-27,20	-25,00
DS	1,98	2,91	1,94

Tabla 2. Estadística descriptiva de valores de $\delta^{13}\text{C}$ de turbas del HTE, HM y HTa.

La evaluación de patrones temporales en los valores de composición isotópica del carbono en turbas también fue analizado mediante un modelo de regresión polinomial de quinto orden (Figura 4) que mostró una tendencia significativa ($r^2 = 0,48$ $p < 0,01$) hacia valores más bajos para el lapso 5500-8000 años AP.

En cuanto a las tendencias espaciales, se encontró una correlación lineal inversa entre los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y la altitud ($r^2 = 0,297$ $p < 0,01$) (Figura 5). Sin embargo, este patrón debe considerarse con cuidado ya que se encuentra fuertemente determinado por los datos provenientes del sitio Alto Tocomar, ubicado a 4.222 msnm, y si se excluyen los valores procedentes de esta localidad la correlación no es significativa. Otros factores locales desconocidos podrían explicar los valores bajos de $\delta^{13}\text{C}$ obtenidos en esta localidad, pero no contamos con datos de otros sitios en altitudes comparables.

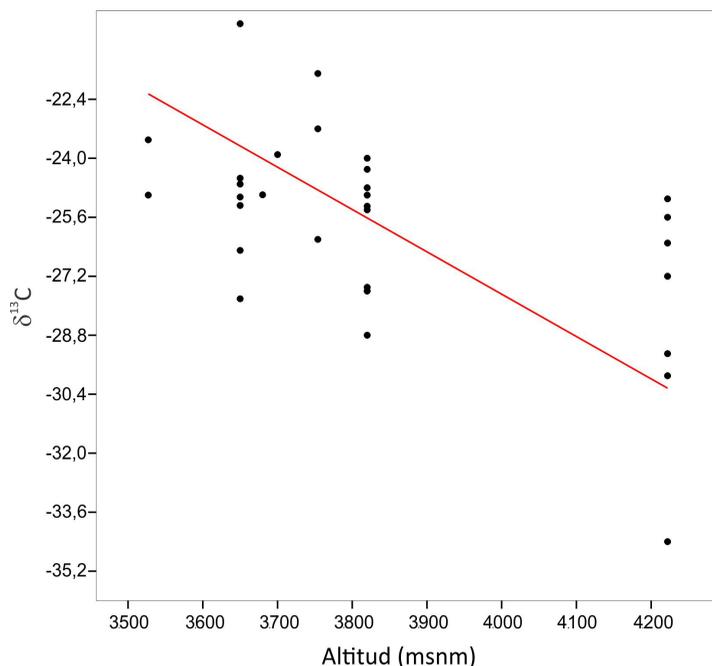


Figura 5. Modelo de Regresión Lineal de $\delta^{13}\text{C}$ de turbas en función de la altitud ($r^2 = 0,297$; $p < 0,01$).

Por último, la comparación de medias entre grupos cronológicos y altitudinales indica que esta correlación espacial se mantiene aun considerando cada período por separado, lo cual apoya la hipótesis de que tiempo y altitud son variables independientes en la conformación de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ estudiados (Figura 6).

Discusión

Las variaciones del $\delta^{13}\text{C}$ en depósitos de turba se suelen explicar como resultado del cambio en las proporciones de plantas C_3/C_4 en las comunidades vegetales. Sin embargo, no esperamos que los componentes extremadamente escasos de C_4 y CAM del paisaje puneño hayan variado considerablemente en el tiempo, particularmente en los humedales y sus alrededores, por lo menos no en la magnitud necesaria para dar cuenta de variaciones significativas en los valores promediados de $\delta^{13}\text{C}$ de las turberas. Por esta razón consideramos más probable que otros factores sean la principal influencia responsable de estas variaciones temporales en el $\delta^{13}\text{C}$ de turbas en el área de estudio, particularmente aquellos que afectan la composición isotópica del carbono en las plantas C_3 .

El Holoceno Medio ha sido descrito como una fase árida en los Andes Tropicales, por lo que es llamativa la composición isotópica empobrecida en ^{13}C que caracteriza las turbas del período, dado que los valores bajos de $\delta^{13}\text{C}$ en vegetales suelen estar asociados a condiciones más húmedas (Farquhar *et al.*, 1989). Estas tendencias se podrían explicar tentativamente como resultado de una reducción en la bioproductividad acuática (Meyers, 2003) o a un incremento en la concentración del CO_2 atmosférico (O'Leary, 1981) durante este período, ya que resultan las variables menos conflictivas con las tendencias ambientales generales del lapso considerado. Sin embargo, la falta de evidencia derivada de muestreos de vegas actuales, su composición vegetal y otros parámetros físico-químicos de los suelos nos impide concluir que dicho patrón no sea el resultado de un muestreo sesgado, evidenciando el reducido potencial que presenta esta línea, por el momento, para estimar las condiciones paleoambientales medias en la región. Lo que sí vale mencionar al respecto es la variabilidad de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ durante el Holoceno Medio en general y en ciertas localidades en particular (i.e. Alto

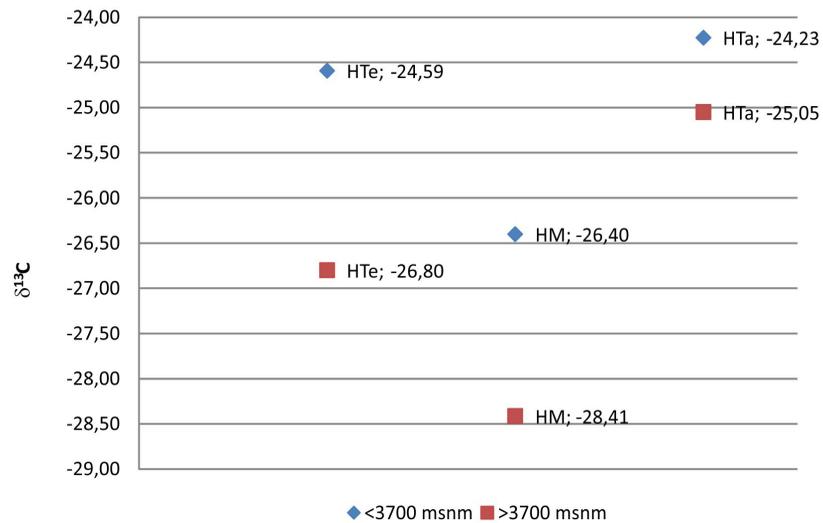


Figura 6. Valores medios de $\delta^{13}\text{C}$ para cada período (HTe, HM y HTa) en los dos rangos altitudinales (< 3,700 y > 3,700 msnm).

Tocomar, en donde varían tanto como 8 ‰) que da testimonio de la heterogeneidad del período, siendo esta una de sus características más sobresalientes, tal como fuera mencionado más arriba.

Por otra parte, la tendencia altitudinal descrita en este trabajo –valores de $\delta^{13}\text{C}$ más bajos a mayor altitud– es muy diferente a lo descrito por otros investigadores. Körner *et al.* (1991), Tieszen y Chapman (1992), Ménot y Burns (2001), y Skrzypek *et al.* (2011) han encontrado que los valores de $\delta^{13}\text{C}$ medidos en plantas C_3 presentan una correlación positiva con la altitud, lo cual se contrapone a la tendencia planteada aquí. De acuerdo con estos autores, tanto la menor presión de CO_2 como la baja de temperatura que ocurre al incrementarse la altitud causan una reducción en la discriminación isotópica del carbono –i.e. valores más altos de $\delta^{13}\text{C}$ en plantas C_3 . Sin embargo, esta tendencia fue observada en transectas altitudinales con poco o ningún estrés hídrico (Körner *et al.*, 1991) o sin ningún gradiente de precipitación (Skrzypek *et al.*, 2011), lo cual no es el caso para la Puna Seca argentina. Dentro del área de estudio, la altitud se correlaciona positivamente con la disponibilidad de agua, tal como se mostró en la Figura 2. En este sentido, Farquhar *et al.* (1989) han encontrado que, dentro del rango de valores de $\delta^{13}\text{C}$ para una misma especie vegetal, los valores más bajos se relacionan a condiciones de mayor humedad atmosférica y del suelo. No obstante, en el norte de Perú, donde las precipitaciones también covarían con la altitud, Szpak *et al.* (2013) han descrito un patrón altitudinal de valores de $\delta^{13}\text{C}$ opuesto al que describimos aquí. Los autores concluyen que los efectos de la altitud pueden ser más fuertes que los de la influencia de la humedad en la composición isotópica del carbono en tejidos vegetales. Al mismo tiempo, Tieszen y Chapman (1992) encontraron que los valores medidos en plantas C_3 aumentan con la altitud en el norte de Chile, pero que las especies halladas en los segmentos más áridos de la transecta presentan valores de $\delta^{13}\text{C}$ más altos que aquellas que crecen en un contexto de menor estrés hídrico. Estos autores concluyen que ambos factores –altitud y humedad– afectan significativamente la composición isotópica de los vegetales.

Nuestros resultados nos permiten formular una hipótesis de trabajo que correlaciona inversamente la altitud y los valores de $\delta^{13}\text{C}$ en plantas y, por lo tanto, en la materia orgánica de las turbas andinas en la Puna Seca argentina; si bien aún es necesario recolectar más datos, contamos ya con evidencia indirecta que apunta en esta dirección. La composición isotópica del carbono de muestras actuales de colágeno óseo en camélidos también exhibe una correlación negativa con la altitud, lo cual puede ser

vinculado directamente a la composición isotópica de las plantas que constituyen la dieta de estos animales (Fernández *et al.*, 1991; Yacobaccio *et al.*, 2009; Samec, 2011). Estos autores han sugerido que dicha correlación puede atribuirse a la variación en la abundancia relativa de plantas C_3 y C_4 en el gradiente altitudinal, dado que esta última vía fotosintética se encuentra prácticamente ausente en las comunidades vegetales de mayor altura. Aunque esto puede ser cierto para la vegetación en general, no esperamos que los componentes C_3/C_4 de las comunidades vegetales de humedal varíen significativamente con la altitud, ya que, como fuera explicado arriba, la composición específica de estas comunidades es relativamente estable en relación a la altitud (con la excepción de *Oxychloe* spp., que solo aparece en vegas por encima de los 4.000 msnm). Asimismo, la influencia del componente C_4 al valor promediado de $\delta^{13}C$ de una muestra de turba es probablemente un factor menor, comparado con la variabilidad intraespecífica observada en la vegetación C_3 , mucho más abundante, lo cual es evidente al observar muestras contemporáneas de vegetación de vega (Samec *et al.*, 2015). Es posible que en nuestra área de estudio, contrariamente a lo señalado por Szpak *et al.* (2013), los efectos de la humedad sean más fuertes que otros factores vinculados a la altitud (v. gr. presión de CO_2) y, por lo tanto, los valores de $\delta^{13}C$ en vegetales C_3 sean más bajos a mayor altitud. Esta discusión resalta la necesidad de continuar relevando comunidades vegetales de vega, especialmente en lo que refiere a su variación altitudinal.

Conclusiones

Nuestros resultados permitieron identificar dos patrones en la composición isotópica del carbono en turbas holocénicas de la Puna Seca argentina: uno de ellos refiere a la heterogeneidad del Holoceno Medio, y el segundo, a la variación de las condiciones ambientales dictada por la variable altitudinal.

En primera instancia, si bien los valores de $\delta^{13}C$ mostraron una tendencia significativa a la baja durante el Holoceno Medio, este resultado sugeriría condiciones diferentes –mayor humedad– a las extensamente documentadas en los Andes. Hemos sugerido que la explicación más parsimoniosa de este patrón se relaciona con una disminución de la bioproductividad o un aumento en la presión de CO_2 atmosférico. No obstante, no podemos descartar, por el momento, que se trate de un artefacto emergente del muestreo. Este hecho pareciera poner de relevancia que el mayor aporte paleoambiental del análisis del $\delta^{13}C$ de turbas de las tierras altas de la Puna norte es la detección de una mayor variabilidad en la composición isotópica de sus vegas durante el Holoceno Medio, característica que sí resulta coherente con las heterogeneidad paleoambiental descrita en trabajos previos para este lapso.

Por otro lado, también encontramos una correlación inversa entre la altitud y los valores de $\delta^{13}C$ medidos sobre turbas. Este patrón no puede ser explicado por factores como la presión atmosférica o la presión de CO_2 . Si bien la tendencia altitudinal en estos valores se corresponde con la observada en la composición isotópica del carbono en colágeno óseo de camélidos, consideramos que la variación en frecuencias relativas de plantas C_3/C_4 no es una explicación satisfactoria para este patrón. Como mencionamos anteriormente, en este caso nos ocupan principalmente las comunidades vegetales de las vegas, ya que son estas las que dan lugar a la formación de las turbas objeto de estudio de este trabajo. Como se revela a partir de estudios contemporáneos de vegas (Samec *et al.*, 2015), aun a bajas altitudes, la abundancia de plantas C_4 es muy baja como para dar cuenta de las diferencias altitudinales observadas en los valores de $\delta^{13}C$ de turbas. Es posible que la mayor disponibilidad de humedad a mayor altura sea un factor relevante para comprender este patrón. En este sentido, el desarrollo de estudios que analicen la composición isotópica de las plantas sigue siendo una

tarea relegada en nuestro campo, a pesar de su importancia. La confiabilidad de las interpretaciones realizadas sobre dieta animal o humana, patrones de movilidad y cambio paleoambiental a partir de datos isotópicos depende fuertemente del desarrollo de modelos de ecología isotópica adecuados, que incluyan una caracterización precisa de la vegetación del área y una comprensión más acabada de las causas de la variación en su composición isotópica.

Agradecimientos

Esta investigación fue posible gracias al financiamiento provisto por los subsidios PICT 2011-2352, UBACyTF-157 y PIP 6322. Agradecemos a Augusto Tessone y a dos evaluadores anónimos cuyos comentarios mejoraron este trabajo. Finalmente agradecemos a Hugo Yacobaccio por invitarnos a participar en esta publicación y a Rodolphe Huguin por la traducción del resumen al francés.

Bibliografía citada

- » Abbott, M. B., Seltzer, G. O., Kelts, K. R. y Southon, J. (1997). "Holocene paleohydrology of the tropical Andes from lake records". En *Quaternary Research* 47(1), 70-80.
- » Abbott, M. B., Wolfe, B. B., Wolfe, A. P., Seltzer, G. O., Aravena, R., Mark, B. G., Polissar, P. J., Rodbell, D. T., Rowe, H. D. y Vuille, M. (2003). "Holocene paleohydrology and glacial history of the central Andes using multiproxy lake sediment studies". En *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 194(1-3), 123-138.
- » Bradbury, J., Grosjean, M., Stine, S. y Sylvestre, F. (2001). "Full and late glacial lake records along the PEP 1 transect: their role in developing interhemispheric paleoclimate interactions". En Markgraf, V. (ed.). *Interhemispheric Climate Linkages*, pp. 265-291. Nueva York, Academic Press.
- » Cabrera, A. L. (1976). "Regiones fitogeográficas argentinas". En *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Ganadería*, tomo 1. Buenos Aires, ACME.
- » Cavagnaro, J. (1988). "Distribution of C₃ and C₄ grasses at different altitudes in a temperate arid region of Argentina". En *Oecologia* 76(2), 273-277.
- » Charman, D. J., Aravena, R., Bryant, C. L. y Harkness, D. D. (1999). "Carbon isotopes in peat, DOC, CO₂, and CH₄ in a Holocene peatland on Dartmoor, southwest England". En *Geology* 27(6), 539-542.
- » Codron, J., Codron, D., Lee-Thorp, J. A., Sponheimer, M., Bond, W. J., De Ruiter, D. y Grant, R. (2005). "Taxonomic, anatomical, and spatio-temporal variations in the stable carbon and nitrogen isotopic compositions of plants from an African savanna". En *Journal of Archaeological Science* 32(12), 1757-1772.
- » Dollfus, O. (1991). *Territorios andinos: reto y memoria*. Lima, Perú, Instituto Francés de Estudios Andinos/Instituto de Estudios Peruanos.
- » Farquhar, G., Hubick, K., Condon, A. y Richards, R. (1989). "Carbon isotope fractionation and plant water-use efficiency". En Rundel, P. W., Elheringer, J. R. y Nagy, K. A. (eds.). *Stable isotopes in ecological research*, pp. 21-40. Nueva York, Springer.
- » Fernández, J., Markgraf, V., Panarello, H. O., Albergo, M., Angiolini, F. E., Valencio, S. y Arriaga, M. (1991). "Late Pleistocene/Early Holocene environments and climates, fauna, and human occupation in the Argentine Altiplano". En *Geoarchaeology* 6(3), 251-272.
- » Garreaud, R. D. y Falvey, M. (2009). "The coastal winds off western subtropical South America in future climate scenarios". En *International Journal of Climatology* 29(4), 543-554.
- » Geyh, M. A., Grosjean, M., Núñez, L. y Schotterer, U. (1999). "Radiocarbon reservoir effect and the timing of the late-Glacial/Early Holocene humid phase in the Atacama desert (northern Chile)". En *Quaternary Research* 52(2), 143-153.
- » Grosjean, M. (2001). "Mid-Holocene climate in the south-central Andes: humid or dry?". En *Science* 292(5526), 2391.
- » Grosjean, M., Cartajena, I., Geyh, M. A. y Núñez, L. (2003). "From proxy data to paleoclimate interpretation: the mid-Holocene paradox of the Atacama Desert, northern Chile". En *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 194(1), 247-258.
- » Grosjean, M., Van Leeuwen, J., Van Der Knaap, W., Geyh, M., Ammann, B., Tanner, W., Messerli, B., Nunez, L., Valero-Garcés, B. y Veit, H. (2001). "A 22,000 ¹⁴C year BP sediment and pollen record of climate change from Laguna Miscanti (23 S), northern Chile". En *Global and Planetary Change* 28(1-4), 35-51.

- » Hodell, D. A. y Schelske, C. L. (1998). "Production, sedimentation, and isotopic composition of organic matter in Lake Ontario". En *Limnology and Oceanography* 43(2), 200-214.
- » Körner, C., Farquhar, G. y Wong, S. (1991). "Carbon isotope discrimination by plants follows latitudinal and altitudinal trends". En *Oecologia* 88(1), 30-40.
- » Latorre, C., Betancourt, J. L., Rylander, K. A., Quade, J. y Matthei, O. (2003). "A vegetation history from the arid prepuna of northern Chile (22-23 S) over the last 13 500 years". En *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 194(1), 223-246.
- » Latorre, C., Betancourt, J. L. y Arroyo, M. T. K. (2006). "Late Quaternary vegetation and climate history of a perennial river canyon in the Río Salado basin (22 S) of Northern Chile". En *Quaternary Research* 65(3), 450-466.
- » Liu, K.-B., Reese, C. A. y Thompson, L. G. (2005). "Ice-core pollen record of climatic changes in the central Andes during the last 400 yr". En *Quaternary Research* 64(2), 272-278.
- » Llano, C. (2009). "Photosynthetic pathways, spatial distribution, isotopic ecology, and implications for pre-Hispanic human diets in central-western Argentina". En *International Journal of Osteoarchaeology* 19(2), 130-143.
- » Markgraf, V. (1985). "Paleoenvironmental history of the last 10,000 years in northwestern Argentina". En *Zentralblatt für Geologie und Palaontologie* 11(12), 1739-1748.
- » Ménot, G. y Burns, S. J. (2001). "Carbon isotopes in ombrogenic peat bog plants as climatic indicators: calibration from an altitudinal transect in Switzerland". En *Organic Geochemistry* 32(2), 233-245.
- » Meyers, P. A. (2003). "Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes". En *Organic Geochemistry* 34(2), 261-289.
- » Mora, G. y Pratt, L. M. (2002). "Carbon isotopic evidence from paleosols for mixed C₃/C₄ vegetation in the Bogota Basin, Colombia". En *Quaternary Science Reviews* 21(8), 985-995.
- » 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*. Oxford, Archaeopress.
- » Morales, M. R., Barberena, R., Belardi, J., Borrero, L., Cortegoso, V., Durán, V., Guerci, A., Goñi, R., Gil, A. y Neme, G. (2009). "Reviewing human-environment interactions in arid regions of southern South America during the past 3000 years". En *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281(3-4), 283-295.
- » Moschen, R., Kühl, N., Rehberger, I. y Lücke, A. (2009). "Stable carbon and oxygen isotopes in sub-fossil Sphagnum: Assessment of their applicability for palaeoclimatology". En *Chemical Geology* 259(3), 262-272.
- » Nissenbaum, A. y Schallinger, K. (1974). "The distribution of the stable carbon isotope (¹³C/¹²C) in fractions of soil organic matter". En *Geoderma* 11(2), 137-145.
- » O'Leary, M. H. (1981). "Carbon isotope fractionation in plants". En *Phytochemistry* 20(4), 553-567.
- » ———. (1988). "Carbon isotopes in photosynthesis". En *Bioscience* 38(5), 328-336.
- » Oxman, B. (2010). "Una perspectiva paleoecológica de las primeras ocupaciones de la Puna Seca Argentina: análisis polínico de perfiles naturales holocénicos ubicados en el Dto. de Susques, Provincia de Jujuy, Argentina". Tesis de Licenciatura. Buenos Aires, Univesidad de Buenos Aires (Ms).
- » Oxman, B. I., Yacobaccio, H. D., Lupo, L. C. y Tchilinguirian, P. (2013). "Primeros estudios paleoambientales en Lapao 2 (Puna Seca) y la señal de la 'Pequeña edad de Hielo'". En *Anuario de Arqueología* 5, 375-390

- » Pueyo, J. J., Sáez, A., Giralt, S., Valero-Garcés, B. L., Moreno, A., Bao, R., Schwalb, A., Herrera, C., Klosowska, B. y Taberner, C. (2011). "Carbonate and organic matter sedimentation and isotopic signatures in Lake Chungará, Chilean Altiplano, during the last 12.3 kyr". En *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 307(1), 339-355.
- » Ramírez, E., Hoffmann, G., Taupin, J.-D., Francou, B., Ribstein, P., Caillon, N., Ferron, F., Landais, A., Petit, J. y Pouyaud, B. (2003). "A new Andean deep ice core from Nevado Illimani (6.350 m), Bolivia". En *Earth and Planetary Science Letters* 212(3), 337-350.
- » Riedinger, M. A., Steinitz-Kannan, M., Last, W. M. y Brenner, M. (2002). "A 6100 ¹⁴C yr record of El Niño activity from the Galápagos Islands". En *Journal of Paleolimnology* 27(1), 1-7.
- » Rowe, H. D., Dunbar, R. B., Mucciarone, D. A., Seltzer, G. O., Baker, P. A. y Fritz, S. (2002). "Insolation, moisture balance and climate change on the South American Altiplano since the Last Glacial Maximum". En *Climatic Change* 52(1-2), 175-199.
- » Ruthsatz, B. (1993). "Flora and ecological conditions of high Andean mires of Chile between 18° 00' (Arica) and 40° 30' (Osorno) S". En *Phytocoenologia* 23, 157-199.
- » Samec, C. T. (2011). "Perspectiva isotópica sobre la alimentación de camélidos domésticos y silvestres de la Puna Jujeña: Construyendo un marco de referencia para estudios arqueológicos". Tesis de Licenciatura. Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires (Ms).
- » Samec, C. T., Yacobaccio, H. D. y Panarello, H. O. (2015). "Carbon and nitrogen isotope composition of natural pastures in the dry Puna of Argentina: a baseline for the study of prehistoric herd management strategies". [First online: 25 July 2015] En *Archaeological and Anthropological Sciences* 1-11.
- » Schitteck, K., Forbriger, M., Schábitz, F. y Eitel, B. (2012). "Cushion peatlands-fragile water resources in the high Andes of southern Peru". En Weingartner, H., Blumenstein, O. y Vavelidis, M. (eds). *Water-Contributions to sustainable supply and use*, pp. 63-84. Salzburg, Universität Salzburg, Fachbereich Geographie und Geologie.
- » Servant, M. y Servant-Vildary, S. (2003). "Holocene precipitation and atmospheric changes inferred from river paleowetlands in the Bolivian Andes". En *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 194(1), 187-206.
- » Skrzypek, G., Engel, Z., Chuman, T. y Šefrna, L. (2011). "Distichia peat-A new stable isotope paleoclimate proxy for the Andes". En *Earth and Planetary Science Letters* 307(3), 298-308.
- » Smith, B. N. y Epstein, S. (1971). "Two categories of ¹³C/¹²C ratios for higher plants". En *Plant physiology* 47(3), 380-384.
- » Squeo, F. A., Veit, H., Arancio, G., Gutiérrez, J. R., Arroyo, M. T. y Olivares, N. (1993). "Spatial heterogeneity of high mountain vegetation in the Andean desert zone of Chile". En *Mountain Research and Development*, 203-209.
- » Squeo, F. A., Warner, B. G., Aravena, R. y Espinoza, D. (2006). "Bofedales: high altitude peatlands of the central Andes". En *Revista Chilena de Historia Natural* 79(2), 245-255.
- » Street-Perrott, F. A., Ficken, K. J., Huang, Y. y Eglinton, G. (2004). "Late Quaternary changes in carbon cycling on Mt. Kenya, East Africa: an overview of the $\delta^{13}\text{C}$ record in lacustrine organic matter". En *Quaternary Science Reviews* 23(7), 861-879.
- » Szpak, P., White, C. D., Longstaffe, F. J., Millaire, J.-F. y Sánchez, V. F. V. (2013). "Carbon and Nitrogen Isotopic Survey of Northern Peruvian Plants: Baselines for Paleodietary and Paleoecological Studies". En *PloS one* 8(1), e53763.
- » Tchilinguirian, P. (2009). "Paleoambientes holocenos en la Puna Austral, Provincia de Catamarca (27° S): implicancias geoarqueológicas". Tesis de Doctorado. Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires (Ms).
- » Tchilinguirian, P. y Morales, M. R. (2013). "Mid-Holocene paleoenvironments in Northwestern Argentina: Main patterns and discrepancies". En *Quaternary International* 307(0), 14-23.

- » Tchilinguirian, P., Morales, M. R., Oxman, B., Lupo, L. C., Olivera, D. E. y Yacobaccio, H. D. (2014). "Early to Middle Holocene transition in the Pastos Chicos record, dry Puna of Argentina". En *Quaternary International* 330(0), 171-182.
- » Thompson, L. G., Mosley-Thompson, E. y Henderson, K. A. (2000). "Ice-core palaeoclimate records in tropical South America since the Last Glacial Maximum". En *Journal of Quaternary Science* 15(4), 377-394.
- » Thompson, L. G., Mosley-Thompson, E., Brecher, H., Davis, M., León, B., Les, D., Lin, P.-N., Mashiotta, T. y Mountain, K. (2006). "Abrupt tropical climate change: Past and present". En *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103(28), 10536-10543.
- » Tieszen, L. y Chapman, M. (1992). "Carbon and nitrogen isotopic status of the major marine and terrestrial resources in the Atacama desert of northern Chile". En *Proceedings of the 1st World Congress on Mummy Studies* 1, 409-426. Tenerife, Museo Arqueológico y Etnográfico de Tenerife.
- » Tieszen, L. L., Senyimba, M. M., Imbamba, S. K. y Troughton, J. H. (1979). "The distribution of C₃ and C₄ grasses and carbon isotope discrimination along an altitudinal and moisture gradient in Kenya". En *Oecologia* 37(3), 337-350.
- » Villagrán, C. (1993). "Una interpretación climática del registro palinológico del último ciclo glacial-posglacial en Sudamérica". En *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines* 22, 243-258.
- » Villagrán, C., Arroyo, M. y Marticorena, C. (1983). "Efectos de la desertización en la distribución de la flora andina de Chile". En *Revista Chilena de Historia Natural* 56(2), 137-157.
- » Vuille, M. y Keimig, F. (2004). "Interannual variability of summertime convective cloudiness and precipitation in the central Andes derived from ISCCP-B₃ data". En *Journal of Climate* 17, 3334-3348.
- » Yacobaccio, H. y Morales, M. R. (2005). "Mid-Holocene environment and human occupation of the Puna (Susques, Argentina)". En *Quaternary International* 132(1), 5-14.
- » Yacobaccio, H., Morales, M. y Samec, C. (2009). "Towards an isotopic ecology of herbivory in the Puna ecosystem: new results and patterns on Lama glama". En *International Journal of Osteoarchaeology* 19(2), 144-155.
- » Zhou, J. y Lau, K. (1998). "Does a monsoon climate exist over South America?". En *Journal of Climate* 11(5), 1020-1040.

Marcelo R. Morales

Licenciado en Ciencias Antropológicas, orientación Arqueología y Doctor de la UBA, especialidad Arqueología. Actualmente se desempeña como Investigador Asistente del Conicet y como docente auxiliar de Teoría Arqueológica Contemporáneas del Departamento de Antropología (FFyL-UBA).

Malena Pirola

Licenciada en Antropología, orientación Arqueología. Actualmente cursa el Doctorado en Arqueología de la FFyL, UBA con una beca de Conicet y lugar de trabajo en el Instituto de Arqueología (FFyL-UBA). Es adscripta a la cátedra de Teoría Arqueológica Contemporáneas del Departamento de Antropología (FFyL-UBA).

Celeste T. Samec

Licenciada en Ciencias Antropológicas, orientación Arqueología y Doctora por la Universidad de Buenos Aires, especialidad Arqueología. Actualmente se desempeña como becaria posdoctoral en Conicet, con sede de trabajo en el Instituto de Geocronología y Geología Isotópica.