

# ¿Dónde va la gente cuando no

## Heterogeneidad ambiental multi-escala en la Puna de Jujuy durante el holoceno medio: contenido de materia orgánica y carbonatos en sedimentos de

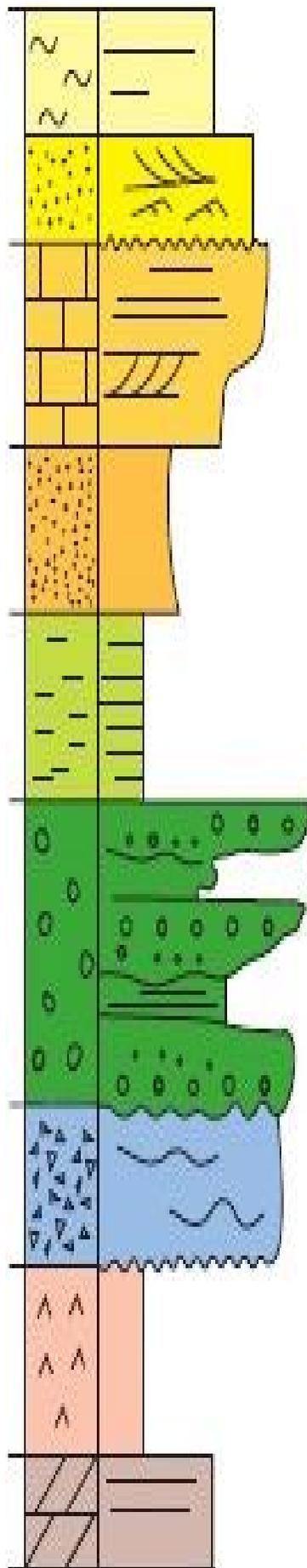
Autor:  
Pirola, Malena

Tutor:  
Morales, Marcelo

2014

Tesis presentada con el fin de cumplimentar con los requisitos finales para la obtención del título Licenciatura de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Buenos Aires en Ciencias Antropológicas

Grado



Universidad de Buenos Aires  
Facultad de Filosofía y Letras  
Departamento de Ciencias  
Antropológicas

Tesis de Licenciatura – 2014

Malena Pirola

Director: Dr. Marcelo Morales  
Co-director: Dr. Augusto Tessone

¿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.

Universidad de Buenos Aires  
Facultad de Filosofía y Letras  
Departamento de Ciencias  
Antropológicas

Tesis de Licenciatura – 2014

Malena Pirola

Director: Dr. Marcelo Morales  
Co-director: Dr. Augusto Tessone

# ¿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.



*A la memoria de mi abuelo Niki, por el cuento del burrito sindicalista. Por los chokolatines tan grandes que se cortaban con serrucho. Por enseñarme las capitales de Europa. Por el amor.*

## AGRADECIMIENTOS

La escritura de esta Tesis fue para mí, como para casi todos, un rito de pasaje vital. Les debo, por lo tanto, un enorme agradecimiento a mis directores, el Dr. Marcelo Morales y el Dr. Augusto “Guti” Tessone, los *chamanes* que me guiaron en este ritual, me brindaron constantemente su apoyo y soportaron estoicamente mis reiterados llantos.

Agradezco infinitamente al Dr. Hugo Yacobaccio y su equipo por haberme recibido e integrado a un grupo de trabajo del cual ser parte es a la vez un honor, un orgullo y un placer. Le doy especialmente las gracias a Cele “la Ucraniana” Samec por sus comentarios al borrador de esta Tesis y su apoyo operativo, técnico y emocional.

El trabajo que se presenta aquí tampoco pudo haber sido realizado sin la ayuda de la gente del INGEIS: Héctor Panarello me permitió trabajar con ellos y me brindó toda la ayuda posible; Nazareno me sacó las papas del fuego (casi literalmente) en más de una oportunidad; Mariana Cagnoni me brindó su laboratorio y su sonrisa de forma desinteresada. A ellos, mi eterna gratitud.

Por último y volviendo al principio, este trabajo es un hito de la vida, uno de esos que nos llevan a pensar en y reconocer a aquellos que nos acompañan y nos ayudan a transitarla. A mi mamá, Mónica, por ser mi *fan* número uno y creer en mí siempre. A mi papá, Carlos; sin él no sería quien soy. A mi abuela Carmen, la mejor abuela que una puede pedir. A mi hermano Facu, el loco más lindo de todos. A mis amigos que me aceptaron por las buenas y se quedaron en las malas, Eli, Male, Martín, Meli, y Sammy. A mis queridos amigos arqueólogos, Lau, Juampi, Moi, Pili, Aye, Juanma y, muy especialmente, a Catita, que me aguanta en éste y tantos otros aspectos de la vida. A mis jefas, Vero y Marie, quienes me facilitaron la vida y la carrera de diversas y generosas maneras. A Juan, por hacer del mundo un lugar más bello en el que vivir.

A todos los que no entraron aquí, no por no merecerlo, sino porque dos páginas de agradecimientos constituyen un exceso; ustedes saben quiénes son. A todos, gracias.



# ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.i.	Problema de investigación.....	1
1.ii.	Objetivos e hipótesis.....	4
1.iii.	Estructura de la tesis.....	8
2.	ÁREA DE ESTUDIO.....	10
3.	ANTECEDENTES.....	16
3.i.	Paleoambiente de la Puna Seca de Jujuy.....	16
3.ii.	Arqueología del área de estudio: el silencioso Holoceno Medio.....	20
4.	FUNDAMENTOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS.....	23
4.i.	Marco teórico.....	23
4.ii.	Un problema de escalas.....	25
4.iii.	Materia orgánica y carbonatos en sedimentos.....	26
5.	MATERIALES Y TÉCNICAS ANALÍTICAS.....	29
5. i.	Técnicas analíticas.....	29
5.i.1.	Determinación de contenido de materia orgánica en sedimentos.....	29
5.i.2.	Determinación de contenido de carbonatos en sedimentos.....	32
5.ii.	Archivos ambientales estudiados.....	33
5.ii.1.	Perfil Pastos Chicos 1 (Pch-1).....	33
5.ii.2.	Perfil Inca Cueva (PIC).....	38
5.ii.3.	Valores de referencia actuales.....	41
6.	RESULTADOS.....	45
6.i.	Comparación de métodos de LOI para determinación de %MO.....	45
6.ii.	%MO y %Cto en sedimentos de las secuencias Pastos Chicos 1 e Inca Cueva y en humedales actuales.....	47
6.ii.1.	Humedales actuales.....	48
6.ii.2.	Secuencia Pastos Chicos 1 (PCH1).....	49

6.ii.3. Secuencia Inca Cueva (PIC).....	55
7. DISCUSIÓN.....	63
7.i. %MO y %Cto en suelos. Interpretaciones paleoambientales y cuestiones metodológicas.....	63
7.i.1. Pastos Chicos 1.....	64
7.i.2. Inca Cueva (PIC).....	68
7.ii. Implicancias para la arqueología de la región.....	70
8. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS.....	74
9. BIBLIOGRAFÍA.....	79

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ubicación de los archivos paleoambientales estudiados en esta Tesis.....	3
Figura 2.1. Relación entre la precipitación media anual (mm) y la altitud (msnm) de 29 estaciones meteorológicas de la Provincia de Jujuy.....	11
Figura 2.2. Esquema de la distribución altitudinal de las fajas de vegetación en ambas vertientes de la cordillera.....	12
Figura 2.3. Vista del Tolar (Abdon Castro Tolay, 3600 msnm, Cochinoca, Jujuy). .....	12
Figura 2.4. Vista del Pastizal Altoandino o Pajonal (base del Cerro Tuzgle, 4100 msnm, Susques, Jujuy).....	13
Figura 2.5. Vista de la faja ecotonal entre el Tolar y el Pastizal Altoandino (Curque, 4000 msnm, Susques, Jujuy). .....	13
Figura 2.6. Vista de vega en Tolar (3650 msnm, Huancar, Susques, Jujuy).....	15
Figura 2.7. Vista de vega en Pajonal (vega altoandina) (4200 msnm, Alto Tocomar, límite entre Salta y Jujuy).....	15
Figura 3.1. Localidades arqueológicas de la Puna Argentino-Chilena con dataciones del Holoceno Medio .....	21
Figura 5.1. Vista del río de Pastos Chicos y de la barranca expuesta por acción fluvial.....	33
Figura 5.2. Vista del Perfil Pastos Chicos 1.....	34
Figura 5.3. Dataciones radiocarbónicas de Pastos Chicos 1.....	35
Figura 5.4. Esquema del perfil Pastos Chicos 1.....	37
Figura 5.5. Vista de la terraza excavada por el río Azul Pampa.....	38
Figura 5.6. Esquema del perfil Inca Cueva.....	40
Figura 5.7. Extracción de las 65 muestras del Perfil Inca Cueva. ....	41
Figura 5.8. Dataciones por AMS de Perfil Inca Cueva.....	41
Figura 5.9. Humedales actuales estudiados y características fisico-químicas generales.....	42
Figura 5.10. Vista y detalle de humedales actuales muestreados (parte 1).....	43
Figura 5.11. Vista y detalle de humedales actuales muestreados (parte 2).....	44
Figura 6.1. Resultado de la prueba comparativo entre método 1 y método 2 de LOI para estimar proporción de MO en sedimentos.....	46

Figura 6.2. Resultados de las mediciones de %MO y %Cto en sedimentos provenientes de humedales actuales.....	48
Figura 6.3. Resultados de las mediciones de %MO y %Cto sobre muestras del Perfil Pastos Chicos 1.....	50
Figura 6.4. Estadística descriptiva básica de la distribución de valores de %MO y %Cto obtenidos del Perfil Pastos Chicos 1.....	50
Figura 6.5. Valores de %MO y %Cto de la secuencia Pastos Chicos 1 en función de la edad de la muestra analizada.....	52
Figura 6.6. Resultados de las mediciones de %MO y %Cto sobre muestras del Perfil Pastos Chicos 1.....	56
Figura 6.7. Estadística descriptiva básica de la distribución de valores de %MO y %Cto obtenidos del Perfil Inca Cueva.....	57
Figura 6.8. Valores de %MO y %Cto de la secuencia Inca Cueva en función de la edad de la muestra analizada.....	59
Figura 6.9. Valores de P para el test de muestras pareadas de Mann-Whitney de la serie de %MO de los segmentos A1a, A1b, A2 y A3 de la secuencia PIC.....	61
Figura 6.10. Valores de P para el test de muestras pareadas de Mann-Whitney de la serie de %Cto de los segmentos A1 $\alpha$ , A1 $\beta$ , A2 y A3 de la secuencia PIC.....	62

# Capítulo 1

---

---

## INTRODUCCIÓN

*“Posible, pero no interesante-respondió Lönnrot-. Usted replicará que la realidad no tiene la menor obligación de ser interesante. Yo le replicaré que la realidad puede prescindir de esa obligación, pero no las hipótesis”*

J. L. Borges, La muerte y la brujula

### ***1.i. Problema de investigación.***

Diferentes líneas de evidencia paleoambiental sugieren que, en términos generales, el Holoceno Medio (8000-3500 AP) habría sido un período de extrema aridez en la Puna Argentino-Chilena, responsable del despoblamiento de la región y un consecuente “silencio arqueológico” – o ausencia de ocupaciones arqueológicamente visibles (Núñez & Santoro, 1988). Sin embargo, la existencia de sitios arqueológicos fechados dentro del Holoceno Medio en diferentes áreas de esta región ha llevado a cuestionar la naturaleza, escala y extensión de los efectos de este pulso hiper-árido sobre el ambiente en general. Parte de los estudios realizados en el área sostienen que en las localidades donde se ubican algunos de estos sitios se habrían dado condiciones especialmente favorables para la ocupación humana (Grosjean & Núñez, 1994; Yacobaccio, 1994; Pintar, 2009). No

obstante, aún resta comprender de manera acabada cómo estos sitios se habrían incorporado a los nuevos patrones de movilidad y subsistencia que se observan durante el Holoceno Medio. Esta amplia variabilidad ambiental, caracterizada por modificaciones espacio-temporales de corto y mediano plazo en la estructura de recursos, debió presentar restricciones, pero también oportunidades, para la organización de los cazadores-recolectores que habitaron la región. Particularmente, estas modificaciones parecerían estar cronológicamente vinculadas a cambios organizacionales altamente significativos, como los vinculados a la reducción de la movilidad residencial y al proceso de domesticación animal (Núñez & Santoro, 1988; Grosjean & Núñez, 1994; Yacobaccio, 2004; Olivera & Tchilinguirian, 2006; Morales, 2011).

El trabajo presentado en esta tesis se enmarca en un programa de investigación amplio que apunta a comprender las relaciones entre las condiciones y cambios ambientales y los patrones organizativos de los grupos humanos que habitaron la Puna a lo largo del Holoceno. En este contexto, se hace necesario incorporar la mayor cantidad de líneas de evidencia posible al estudio del clima y el ambiente en el pasado, con el fin de abarcar las complejas interacciones entre los procesos de cambio climático-ambiental a diversas escalas temporales y espaciales para construir modelos paleoecológicos precisos y confiables.

Así, esta investigación aporta nueva información referida al Holoceno Medio que nos permite precisar los modelos paleoambientales que venimos desarrollando y aplicando en la Puna Seca de Jujuy. Esta tarea involucra el análisis del contenido de materia orgánica y carbonatos en sedimentos de dos secuencias paleoambientales, Perfil Pastos Chicos 1 y Perfil Inca Cueva (Fig. 1.1.). Estudios previos sobre la secuencia de Pastos Chicos han sugerido condiciones locales variables en cuanto a la disponibilidad de agua para el Holoceno Medio, incluyendo

períodos de déficit hídrico y otros de mayor humedad (Tchilinguirian *et al.*, 2014b). La nueva información generada para esta Tesis permite tanto evaluar la confiabilidad de dichas interpretaciones, como destacar el aporte particular de las nuevas líneas de evidencia aplicadas en lo que hace a información específica sobre la productividad vegetal y balance hídrico disponible a lo largo del lapso representado por el registro de Pastos Chicos 1 (*ca.* 9300-6700 AP). En lo que hace a la secuencia de Inca Cueva, aún no se ha generado información paleoambiental comparable a la de Pastos Chicos, de modo que los datos aquí presentados constituyen la primera aproximación a la dinámica paleoambiental en esta localidad durante el lapso 7000-5900 AP, con la particularidad de que la información obtenida posee una alta resolución cronológica (*i.e.* multidecadal).

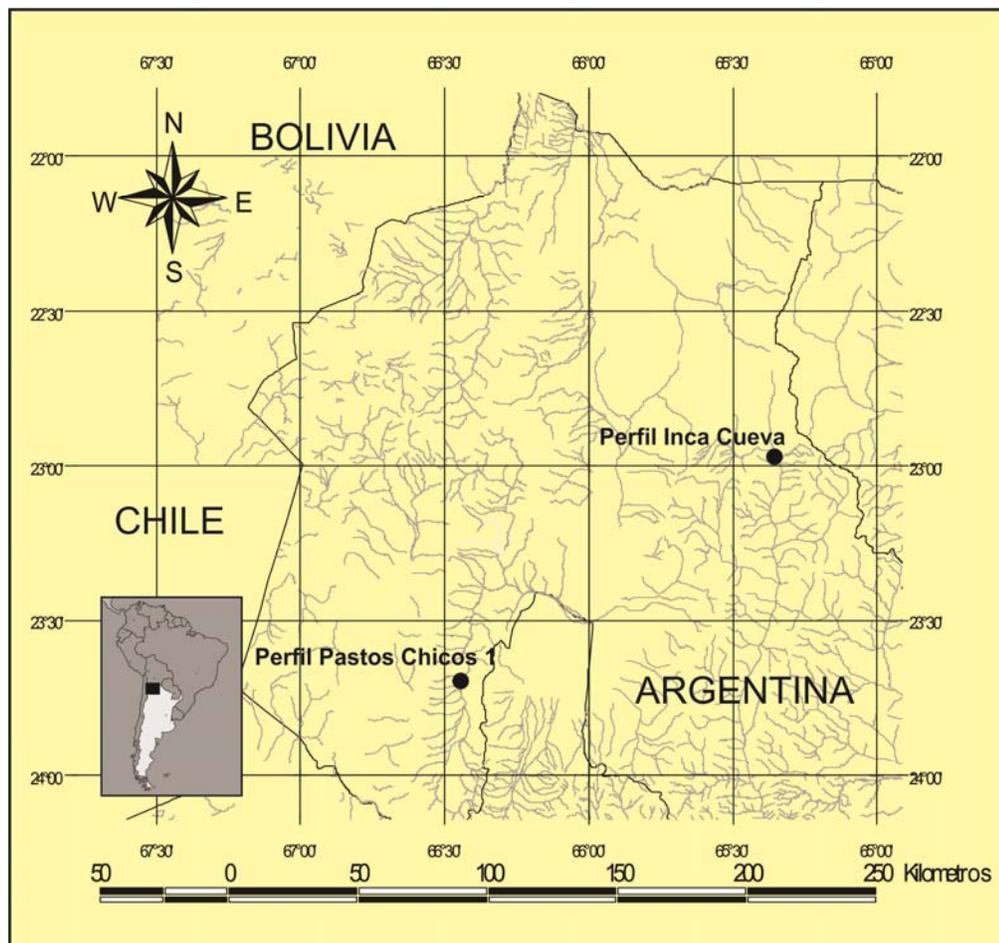


Figura 1.1. Ubicación de los archivos paleoambientales estudiados en esta Tesis.

Las líneas de evidencia utilizadas en este trabajo -contenido de materia orgánica y de carbonatos en sedimentos- han sido escasamente exploradas y aplicadas en la Puna Argentina en general (Valero-Garcés *et al.*, 2000; Valero-Garcés *et al.*, 2003; Moreno *et al.*, 2007; Pueyo *et al.*, 2011; McGlue *et al.*, 2012) y la Puna Seca de Jujuy en particular, pero tienen una probada utilidad para los estudios paleoambientales (*e.g.* Abbott *et al.*, 1997; Rodbell *et al.*, 1999; Meyers & Teranes, 2001; Abbott *et al.*, 2003). Los datos presentados aquí serán útiles no sólo para contrastar y complementar los datos e hipótesis existentes sobre el clima y el ambiente a lo largo del Holoceno para el área de estudio, sino también para evaluar la aplicabilidad de estas líneas de evidencia en la región y comparar las técnicas disponibles para su utilización. Asimismo, vale destacar que la determinación del contenido de materia orgánica y carbonatos de los sedimentos resulta un paso previo necesario para estudiar otros datos *proxy* sobre los mismos sustratos (*i.e.* composición isotópica del C, O, N, etc.), así como también es complementario a otros estudios para caracterizar química y físicamente los perfiles sedimentarios (*e.g.* susceptibilidad magnética, N total, relación Fe/Mn, etc.).

Esperamos que esta tesis constituya el punto de partida para avanzar en el estudio sistemático de variables geoquímicas y geofísicas en los archivos ambientales de la región, permitiéndonos realizar inferencias más sólidas sobre la dinámica del clima y el ambiente del Holoceno en diferentes escalas espacio-temporales.

### ***1.ii. Objetivos e hipótesis.***

Como se ha mencionado anteriormente, el objetivo general en el que se enmarca esta investigación se orienta a comprender la dinámica ambiental a lo largo del

Holoceno y su impacto sobre los patrones organizativos de los grupos humanos que habitaron la Puna. En particular, esta Tesis se aboca a generar nueva información sobre la evolución de parámetros ambientales como el balance hídrico y la bioproductividad en localidades particulares de la Puna Seca de Jujuy durante el Holoceno Medio, mediante el análisis de contenido de materia orgánica e inorgánica en sedimentos. Esto permitirá corroborar, corregir y mejorar la información provista por los archivos ambientales en la región para la construcción de modelos sobre la estructura de recursos disponible en diferentes lapsos del Holoceno y discutir las hipótesis arqueológicas que se han planteado sobre la base de estos modelos.

Así, los objetivos específicos de este proyecto son:

- a) Realizar una evaluación experimental de las técnicas alternativas del método de Perdida Por Combustión (*i.e. Loss On Ignition* o LOI) utilizado para la determinación de contenido de materia orgánica (%MO) y de carbonatos (%Cto) en sedimentos.
- b) Obtener valores de referencia de %MO y %Cto de sedimentos de humedales actuales.
- c) Determinar la evolución de la bioproductividad y el balance hídrico de dos paleohumedales de la Puna Seca de Jujuy a lo largo del Holoceno Medio - Pastos Chicos 1 e Inca Cueva- mediante el análisis de %MO y %Cto en ambas secuencias sedimentarias.

- d) Contrastar y discutir los resultados generados en Pastos Chicos con los previamente disponibles a partir del estudio de otros datos *proxy* y de los valores de los humedales actuales mencionados en el Objetivo b.
  
- e) Generar una primera interpretación general sobre las características paleoambientales de la secuencia sedimentaria de la localidad de Inca Cueva y de su relevancia para comprender la dinámica paleoambiental de la región.
  
- f) Evaluar y modelar el impacto del cambio en los parámetros estudiados a lo largo del tiempo sobre la estructura de recursos de la región y su relación con los patrones organizativos de los grupos humanos que habitaron la Puna Seca durante el Holoceno Medio.

En términos generales, ya que los datos *proxy* brindan información paleoambiental en diferentes escalas espacio-temporales y deben ser interpretados de manera integrada para alcanzar mayor precisión en la reconstrucción de los ambientes del pasado (Dincauze, 2000; Oldfield, 2003), se espera que la investigación de las nuevas líneas de evidencia propuestas reflejen facetas diferentes de los cambios climático-ambientales inferidos a partir de otros datos *proxy* en Pastos Chicos. Esto se debería a la sensibilidad particular de cada *proxy* -en términos de la resolución espacio-temporal de su señal- a variables y agentes que operan en distintas escalas espacio-temporales (*e.g.* temperatura, precipitaciones, capacidad de retención de humedad de los suelos, geomorfología local, etc.).

Si bien, como ya se ha mencionado, parte de los objetivos de esta tesis se orientan a generar hipótesis particulares que enriquezcan los modelos arqueológicos y paleoambientales previamente disponibles, esta investigación se ha organizado a

partir de una serie de hipótesis más generales que se discutirán en el transcurso de esta tesis y que se enuncian a continuación:

- a) Se observarán variaciones diacrónicas a lo largo del Holoceno en el %MO y %Cto en sedimentos de la secuencias de Pastos Chicos 1 e Inca Cueva, coherentes con los cambios registrados a través de otros datos *proxy* en Pastos Chicos 1 y con los modelos de evolución ambiental regional conocidos para los Andes Tropicales.
- b) Las condiciones durante la primera mitad del Holoceno Medio -8000-6000 AP- presentará indicadores de menor bioproductividad y/o menor humedad que el Holoceno Temprano, con un rango amplio de variación de valores de %MO y %Cto, consistente con una mayor heterogeneidad interna, climática e hídrica durante este período.
- c) Las condiciones ambientales en los humedales existentes durante los momentos más áridos del Holoceno Medio serían asimilables a las de los humedales con balances hídricos más pobres de los disponibles en la actualidad en la Puna Seca.
- d) Los cambios ambientales registrados en el Holoceno Medio tuvieron un impacto significativo en la estructura de recursos de la Puna Seca de Jujuy y, consecuentemente, en el registro arqueológico de la región para este período.

### ***1.iii. Estructura de la tesis.***

La presente tesis de licenciatura se organiza en ocho capítulos. En este primer capítulo, se introdujo el problema de investigación y se expusieron los objetivos generales y específicos e hipótesis que guiarán esta tesis.

En el segundo capítulo se presentan las características generales del área de estudio, la Puna Seca de Jujuy, profundizándose en el tercer capítulo la evolución del clima y el ambiente a lo largo del Holoceno y los antecedentes arqueológicos del área, particularmente los vinculados al Holoceno Medio.

En el cuarto capítulo se describen los fundamentos teórico-metodológicos de esta Tesis, incluyendo una presentación de los desafíos metodológicos e interpretativos implicados en el empleo del contenido de materia orgánica y carbonatos en sedimentos como *proxy* paleoambiental.

En el quinto capítulo se presentan las técnicas analíticas alternativas evaluadas en esta Tesis y se describen los archivos paleoambientales –Perfil Pastos Chicos 1 y Perfil Inca Cueva- y los humedales actuales estudiados.

En el sexto capítulo se exhiben los resultados de la comparación entre los métodos analíticos alternativos para determinación de %MO, así como los valores medidos (%MO y %Cto) en humedales actuales y en los archivos ambientales mencionados. Posteriormente, en el séptimo capítulo, se discuten estos resultados y sus implicancias para las cuestiones metodológicas, ambientales y arqueológicas planteadas en la Introducción.

Por último, en el octavo capítulo se enuncian las conclusiones preliminares así como también se plantean las perspectivas futuras de investigación en el área, utilizando éstas y otras líneas de evidencia geoquímicas relacionadas.

# Capítulo 2

---

---

## ÁREA DE ESTUDIO

La Puna de Argentina comprende el sector oriental de la Puna de Atacama, las tierras altas áridas del segmento tropical de la Cordillera de los Andes, situadas entre los 19° y 29° S y en el rango altitudinal entre 3000 y 4500 msnm. Éste área se clasifica como un bioma de desierto de altura y se encuentra surcada por cordones montañosos de dirección NE-SW. Las características ambientales dominantes de éste área son una alta radiación solar y gran amplitud térmica diaria, una estacionalidad marcada (el 80% de las precipitaciones anuales ocurren en los meses de verano) y fuerte variabilidad interanual en las precipitaciones, las cuales se encuentran gobernadas por el Sistema Monzónico Sudamericano (Zhou & Lau, 1998; Vuille & Keimig, 2010).

En la Puna Argentina en particular existen gradientes altitudinales y latitudinales en las precipitaciones. En términos generales, las zonas más altas reciben mayores precipitaciones que las tierras más bajas (Fig. 2.1.). A su vez, el sector NW de la Puna Argentina (Puna Seca) recibe más de 300 mm/año de precipitaciones

anuales, mientras que el sector SE (Puna Salada) sólo alcanza los 100 mm/año. Esto, sumado a las diferentes condiciones térmicas generadas por la diferencia de alturas, determina una heterogeneidad ambiental significativa dentro de la región.

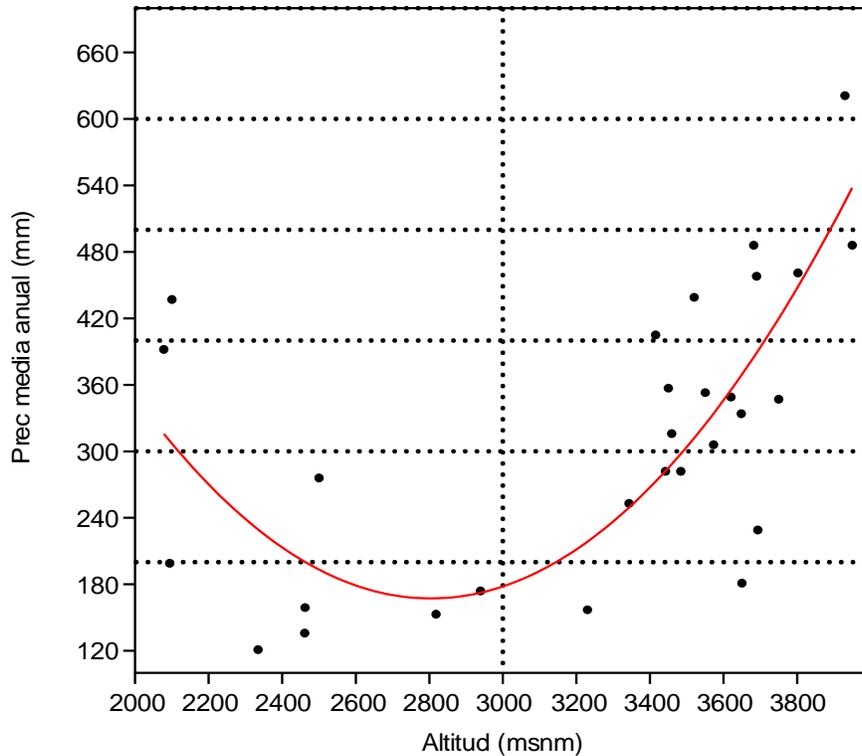


Figura 2.1. Relación entre la precipitación media anual (mm) y la altitud (msnm) de 29 estaciones meteorológicas de la Provincia de Jujuy. Coeficiente de correlación polinómico= 0,561 ( $p=0$ ). Las estaciones ubicadas por debajo de los 3200 msnm corresponden a la Quebrada de Humahuaca.

En la Puna Seca se han descripto tres grandes tipos de comunidad vegetal (Cabrera, 1976; Arzamendia, Cassini & Vilá, 2006; Borgnia *et al.*, 2006), cuya distribución vertical se encuentra condicionada por los mencionados parámetros de humedad y temperatura (Fig. 2.2.). El *Tolar*, ubicado entre los 3500 y 3900 msnm, es una estepa arbustiva dominada por especies de las Familias Compositae y Solanaceae y una baja proporción de herbáceas (*ca.* 5%) (Fig. 2.3.). Entre los 4100 y 4700 msnm domina el *Pastizal Altoandino* o *pajonal*, una estepa compuesta casi exclusivamente por herbáceas, predominantemente *Festuca* spp., así como también *Poa* spp. y *Stipa* spp. (Fig. 2.4.). Entre los 3900 y 4100 msnm, se encuentran franjas ecotonales compuestas por comunidades vegetales mixtas *-i.e.*

comunidades intermedias entre aquellas propias del tolar y el pajonal (Fig. 2.5). En la Puna Salada, se encuentran comunidades vegetales similares, pero los límites absolutos de su distribución vertical varían levemente.

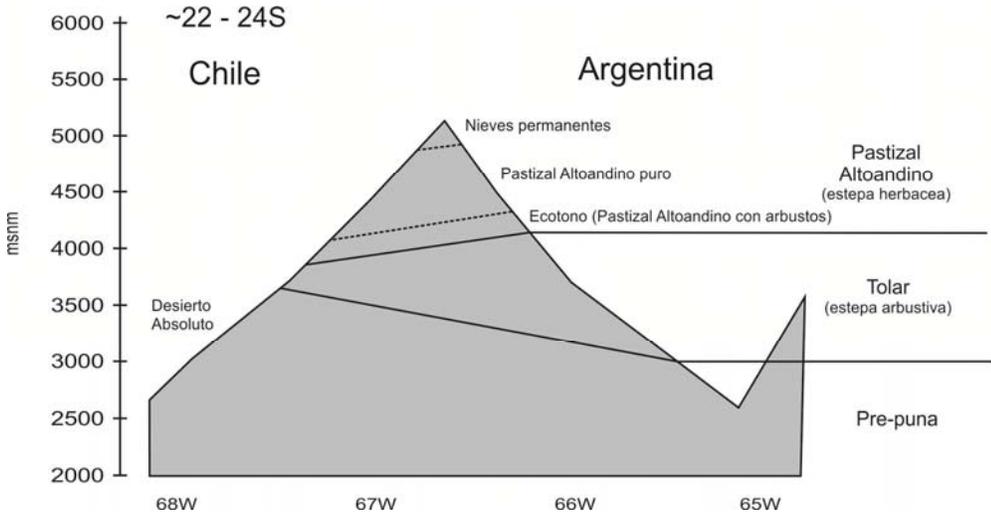


Figura 2.2. Esquema de la distribución altitudinal de las fajas de vegetación en ambas vertientes de la cordillera (adaptado de Morales 2011).



Figura 2.3. Vista del Tolar (Abdon Castro Tolay, 3600 msnm, Cochino, Jujuy).



Figura 2.4. Vista del Pastizal Altoandino o Pajonal (base del Cerro Tuzgle, 4100 msnm, Susques, Jujuy).



Figura 2.5. Vista de la faja ecotonal entre el Tolar y el Pastizal Altoandino (Curque, 4000 msnm, Susques, Jujuy).

La red hidrológica de la región está constituida por distintos tipos de humedales, incluyendo salares, salinas, lagunas poco profundas, ríos de régimen endorreico y vegas. Las pocas cuencas permanentes de agua dulce y pequeñas vertientes dispersas a lo largo del paisaje son las únicas fuentes de agua disponible y, por lo tanto, un recurso crítico para las poblaciones humanas. La productividad primaria se concentra principalmente en sistemas estables como cuencas primarias, valles elevados y humedales (Dollfus, 1991). En particular, los humedales denominados *vegas* se encuentran en diversas altitudes del rango considerado como parte de la Puna (Figs. 2.6. y 2.7.); son pastizales de alta cobertura (>70%) y elevada productividad, discretos en el espacio, fuertemente asociados a sistemas hídricos estables (Squeo *et al.*, 1993; Squeo, Osorio & Arancio, 1994) o vertientes. Las vegas cumplen un papel central en la hidrología de la Puna ya que son los únicos lugares en donde se da un desarrollo significativo de suelos (Squeo *et al.*, 1993) con un alto contenido de materia orgánica, asociados a rasgos hidromórficos (*i.e.* turberas) (Borgnia *et al.*, 2006). Como las vegas de la Puna se encuentran regadas principalmente por vertientes y aguas subterráneas, las turberas originadas aquí son del tipo minerotróficas, en contraposición con aquellas controladas principalmente por precipitación directa u ombrotólicas (Barber & Charman, 2003).

La cobertura vegetal y características generales de las vegas están influidas por unos pocos factores ecológicos: cantidad y disponibilidad estacional de agua, temperatura (incluyendo frecuencia de heladas), duración de la estación de crecimiento, pH del agua, disponibilidad de nutrientes y factores bióticos como la dispersión de semillas a través de la acción animal y humana (Villagrán, Arroyo & Marticorena, 1983; Ruthsatz, 1993, 2000; Villagrán & Castro, 2003). Schitteck y colaboradores (2012) han postulado que las características de las vegas puneñas son influidas básicamente por las características del área de captación hidrológica (*i.e.* extensión, estabilidad del suministro de agua, ubicación, etc.) y el grado de

exposición e inclinación de la pendiente (*i.e.* que determina irradiación solar y equilibrio hídrico). Por ejemplo, en las vegas de altura, el proceso diario de fusión de heladas estimula la migración vertical de agua hacia la superficie, lo cual la mantiene saturada de agua aún en los períodos más secos (Squeo *et al.*, 1993).



Figura 2.6. Vista de vega en Tolar (3650 msnm, Huancar, Susques, Jujuy).



Figura 2.7. Vista de vega en Pajonal (vega altoandina) (4200 msnm, Alto Tocomar, límite entre Salta y Jujuy).

# Capítulo 3

---

---

## ANTECEDENTES

*"Todavía no he visto ningún problema, no importa cuán complicado, que al ser examinado de cierta manera particular, no se vuelva aún más complicado".*

Paul Alderson, en "New Scientist" Vol. 638

### *3.i. Paleoambiente de la Puna Seca de Jujuy.*

Diversos estudios paleoambientales sugieren que el Holoceno Temprano (10000-8000 años AP) en los Andes habría tenido condiciones más frías y estables que en la actualidad (Thompson *et al.*, 1995; Thompson *et al.*, 1998; Thompson, Mosley-Thompson & Henderson, 2000; Bradbury *et al.*, 2001; Ramírez *et al.*, 2003), así como una estacionalidad menos marcada en las precipitaciones y menor variabilidad climática a corto plazo (Morales, 2011). La evidencia paleolimnológica de la región es coherente con condiciones imperantes de mayor humedad, con un balance hídrico positivo en la mayor parte de los cuerpos de agua estudiados para este período (Grosjean *et al.*, 1997; Geyh *et al.*, 1999; Bradbury *et al.*, 2001; Abbott *et al.*,

2003). Este escenario se refuerza al considerar la evidencia palinológica, que indica la presencia de una estepa herbácea por debajo de los 3.800 msnm (Markgraf, 1985; Oxman, 2010), el cual constituye hoy el límite altitudinal inferior para la distribución de esta comunidad en la Puna Argentina. Datos *proxy* de distinta resolución espacial como la composición vegetal y valores isotópicos de los *pellets* de roedores (*i.e.* local) (Latorre *et al.*, 2003; Latorre, Betancourt & Arroyo, 2006) o el desarrollo de paleosuelos (*i.e.* regional) (Morales, 2011) también sugieren condiciones más estables y húmedas para el período de 10000 a 8000 años AP tanto en localidades particulares como en la región en general. Sin embargo, el final de las características del Holoceno Temprano no fue sincrónico para toda la región. En el sudeste de los Andes Tropicales (NW Argentino) se observa una fecha más tardía -en torno a los 7000 AP- para la instalación de las condiciones imperantes en el Holoceno Medio, particularmente reflejado por el comportamiento de los sistemas lacustres con amplias áreas de captación (Tchilinguirian & Morales, 2013).

Las características paleoambientales del Holoceno Medio (8000-3500 años AP) son aún objeto de debate, dada la complejidad de las señales registradas para este período en la región de Atacama (Grosjean, 2001; Grosjean *et al.*, 2003; Latorre *et al.*, 2003; Latorre, Betancourt & Arroyo, 2006). Algunos trabajos proveen evidencia de que las condiciones de humedad habrían sido mayores que las actuales (Betancourt *et al.*, 2000; Latorre *et al.*, 2002; 2003; Rech *et al.*, 2003). Sin embargo, Tchilinguirian y Morales (2013) sostienen que es mucho más sólida y abundante la evidencia a favor del escenario opuesto, si bien señalan que pareciera existir una mayor variabilidad espacial y temporal en la disponibilidad de humedad que la tradicionalmente aceptada para el período en cuestión, que permite el desarrollo de numerosos ambientes altamente productivos en localidades particulares, enmarcados en un ambiente extremadamente árido.

La posición que se toma aquí es que, en una escala regional, la parte sur de los Andes Tropicales sufrió un proceso de progresiva aridización a lo largo del Holoceno Medio y que en su mayor parte esto significó el establecimiento de condiciones generalizadas de estrés hídrico en la región (Tchilinguirian & Morales, 2013). Diferentes trabajos sostienen que el Holoceno Medio fue un período cálido, de marcada estacionalidad en las precipitaciones y con una fuerte heterogeneidad interna. Al respecto, algunos registros paleoambientales indican episodios reiterados de desecación total de lagos (Geyh *et al.*, 1999; Bradbury *et al.*, 2001) y otros la desaparición de humedales y desplazamiento vertical de la estepa herbácea hacia altitudes mayores a 4000 msnm (Tchilinguirian & Morales, 2013). Para explicar esta tendencia en general se ha recurrido a dos causas principales: la modificación en el sistema de circulación atmosférica por intensificación del Anticiclón del Atlántico Sur (Villagrán, 1993) y cambios en el ciclo orbital que afectaron los niveles de insolación en el área (Rowe *et al.*, 2002).

Asimismo, se considera que el Holoceno Medio puede subdividirse en dos fases. La primera abarca del 8000 al 6000 AP y puede ser caracterizada como transicional entre las condiciones más frías y húmedas del Holoceno Temprano y las más áridas, cálidas e inestables del Holoceno Medio más tardío. En esta fase, varias localidades pudieron retener sus rasgos de humedal, probablemente en relación a los altos niveles de freáticas alcanzados durante el Holoceno Temprano, hasta por lo menos el 7000 AP (Grosjean, 2001; Servant & Servant-Vildary, 2003; Yacobaccio & Morales, 2005; Tchilinguirian, 2009; Morales, 2011; Tchilinguirian *et al.*, 2014b). La segunda fase del Holoceno Medio (6000 – 3500 años AP) fue, en cambio, un período de extrema aridez regional. Hacia los 6200 AP, estas áreas y las laderas orientales de los Andes presentaron una interrupción más o menos sincrónica en la disponibilidad de humedad y un evento de desecación severa hacia los 5000 AP, mientras que en las tierras más bajas andinas se dio un aumento de la humedad.

Este patrón es coherente con el establecimiento de los primeros eventos ENSO (El Niño/Oscilación del Sur) (Villagrán, 1993; Veit, 1996; Riedinger *et al.*, 2002).

A pesar de la aridez regional descrita para el período, tanto la evidencia paleoambiental como arqueológica es coherente con la persistencia de “refugios ecológicos” (Grosjean & Núñez, 1994), en donde la presencia de cursos de agua permanentes o reservorios de agua puntuales habrían asegurado la estabilidad local de los recursos o una demora del proceso de desecación, generando condiciones favorables para la habitación/explotación humana durante el Holoceno Medio (Núñez & Santoro, 1988; Grosjean & Núñez, 1994; Grosjean, Núñez & Cartajena, 2005; Yacobaccio & Morales, 2005; Olivera & Tchilinguirian, 2006; Morales, 2011). Las cuencas de captación de aguas en altura (*i.e.* > 4000 msnm) que permanecieron alimentadas por las aguas de deshielo aún en momentos de mayor aridez, serían un ejemplo de tales ambientes (Morales, 2011). Asimismo, existen indicadores de ambientes húmedos en ambas vertientes de la Puna, aún en el período de mayor aridez (6000-3500 AP). En este lapso, se ha detectado la formación episódica de cuerpos de agua y/o desarrollo de suelos en diversas localidades de la Puna Argentina, tales como Alto Tocomar (Morales & Schitteck, 2008; Morales, 2011), en Salta, Quebrada de las Papas, Fiambalá (Ratto *et al.*, 2008), y Río Mirihuaca (Grana & Morales, 2005), en Catamarca, y Quebrada de Lapao en Jujuy (Morales, 2011).

Las condiciones del Holoceno Medio finalizan con la instalación, hace *ca.* 3500 años, de las condiciones más húmedas y variables características del Holoceno Tardío (Grosjean, 2001), aunque en algunas áreas comienzan a desarrollarse algo antes (hacia el 4000 AP), como se evidencia en los núcleos de hielo de Huascarán y Sajama (Thompson *et al.*, 1995; 1998; Thompson, Mosley-Thompson & Henderson,

2000; Villagrán & Castro, 2003) y en algunos estudios de niveles de lagos (Abbott *et al.*, 2003).

### ***3.ii. Arqueología del área de estudio: el silencioso Holoceno Medio.***

*“También le contó que los beduinos provenían algunos de ciertos oasis poblados y otros de ciertos desiertos desiertos”.*

Les Luthiers. Serenata Medio Oriental.

Los estudios paleoambientales y arqueológicos realizados en la Puna de Atacama chilena sentaron las bases para postular que la extrema aridez del Holoceno Medio habría imposibilitado la ocupación humana de esta zona, con la excepción de algunos lugares puntuales como el sector medio del río Loa y la Quebrada de Puripica, en donde podrían haberse sostenido niveles mínimos de disponibilidad de agua y otros recursos críticos. El concepto de “silencio arqueológico del Holoceno Medio” (Núñez & Santoro, 1988) fue utilizado para describir esta situación y fue hecho extensivo a todas las tierras altas de los Andes Centro-Sur en general, incluyendo la Puna Argentina (Grosjean & Núñez, 1994).

En los últimos años, el creciente cuerpo de evidencia de ocupaciones humanas en el Holoceno Medio en ambas vertientes andinas de la Puna (Fig. 3.1.) llevó al cuestionamiento de la validez del concepto de “silencio arqueológico” para toda la región y creó la necesidad de comprender mejor las particularidades ambientales del período. En la Puna Argentina, existen varios sitios arqueológicos con dataciones comprendidas en el Holoceno Medio (Fig. 3.1.). Entre éstos se encuentran Cueva Salamanca 1 (Pintar, 2009), Quebrada Seca 3 y Punta de la Peña 4 en la zona de Antofagasta de la Sierra (Aschero & Hocsman, 2011) en la Puna

Salada; y Pintoscayoc 1 (Hernández Llosas, 2000), Alero Cuevas (López, 2008) Inca Cueva 7 (Aschero & Podestá, 1986) y Hornillos 1 (Morales, 2011) y 2 (Yacobaccio *et al.*, 2007) en la Puna Seca.

Habida cuenta de la heterogeneidad ambiental descrita para el período a partir de los nuevos estudios que se estaban llevando a cabo en la región, se propuso que estas ocupaciones habrían estado vinculadas a lugares particulares con oferta de recursos relativamente estables (Núñez & Santoro, 1988; Grosjean & Núñez, 1994; Grosjean, Núñez & Cartajena, 2005; Yacobaccio & Morales, 2005; Olivera & Tchilinguirian, 2006; Morales, 2011) en un contexto general más árido y menos productivo. Estos “refugios ecológicos” (Grosjean & Núñez, 1994), “zonas de concentración de nutrientes” (Yacobaccio, 1994) o

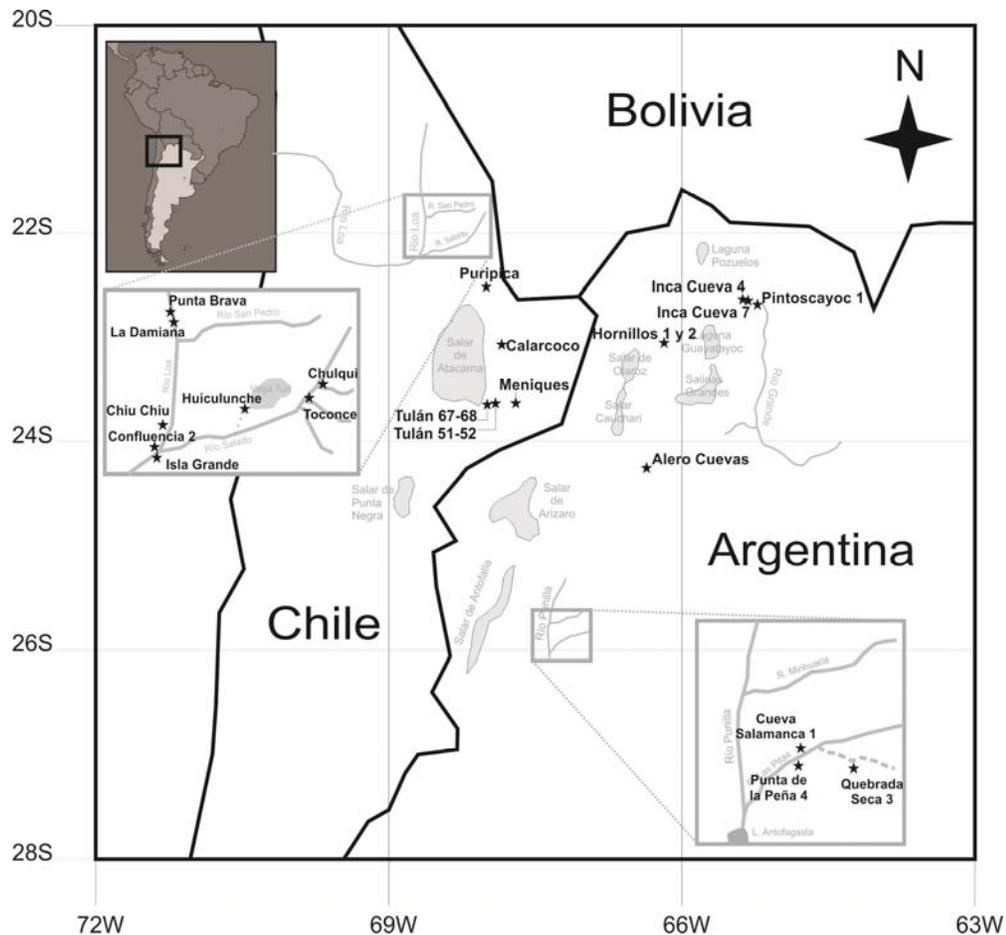


Figura 3.1. Localidades arqueológicas de la Puna Argentino-Chilena con dataciones del Holoceno Medio (adaptado de Morales 2011).

“zonas concentradoras de recursos” (Yacobaccio & Morales, 2005) habrían permitido la ocupación de la Puna Seca a lo largo de todo el Holoceno Medio.

Sobre todo a partir del establecimiento de las condiciones más áridas de este período, hacia el 6000 AP, los ambientes favorables para la ocupación humana habrían sido más escasos, acentuando la heterogeneidad espacial en la distribución de los recursos y concentrándolos aún más en puntos particulares. Aunque las respuestas humanas podrían haber variado significativamente entre sí (Olivera, Tchilinguirian & de Aguirre, 2006) en consonancia con las también variables respuestas de los ecosistemas en diferentes áreas de la Puna (Grosjean, Núñez & Cartajena, 2005; Morales, 2011), existe un cierto acuerdo en que, ante esta situación de alto estrés ambiental, se habrían modificado importantes aspectos organizativos de los grupos que habitaban en la región, como los referidos al uso del espacio y la explotación de recursos de subsistencia (Núñez & Santoro, 1988; Grosjean & Núñez, 1994; Yacobaccio, 2004; Olivera & Tchilinguirian, 2006; Morales, 2011). Estos cambios podrían resumirse en una disminución de la movilidad residencial a favor de un incremento de movilidad logística (Rodríguez, 2004; Yacobaccio & Morales, 2005), particularmente a partir de los 6000 AP, cuando se establecieron las condiciones más áridas (Morales, 2011). En este contexto se habría dado también una progresiva especialización e intensificación de la explotación de camélidos, que habría comenzado con una modificación y diversificación de las estrategias de caza (Aschero & Martínez, 2001), seguidas de una fase de intensificación de este recurso (Yacobaccio, Berberían & Nielsen, 2001; Morales, 2011), posiblemente vinculada a prácticas de manejo de manadas que desembocaron en el proceso de domesticación (Yacobaccio, Berberían & Nielsen, 2001; Olivera & Tchilinguirian, 2006).

# Capítulo 4

---

---

## FUNDAMENTOS TEÓRICO- METODOLÓGICOS

*“Primero haga una suposición. No se ría, este es el paso más importante. Después compute las consecuencias. Compare las consecuencias con la experiencia. Si no concuerda con la experiencia, la suposición es incorrecta. Este simple enunciado es la clave de la ciencia”.*

R. Feynman

### *4.i. Marco teórico.*

La premisa que guía este trabajo es que las características del ambiente influyen sobre la organización de los grupos humanos, condicionando y limitando el rango de estrategias posibles para lograr adaptaciones exitosas (Butzer, 1982; Dincauze, 1987; Winterhalder & Smith, 1992; Kelly, 1995; Dincauze, 2000; Binford, 2001). En el caso de cazadores-recolectores que ocupan áreas áridas con una alta variabilidad de precipitaciones, la adaptación involucra el empleo de estrategias de reducción de riesgo, como la alta movilidad y la explotación de recursos de diferentes ecosistemas (Grosjean *et al.*, 2007). En las condiciones altamente variables del Holoceno Medio, el equilibrio entre la demanda y la disponibilidad de recursos en diferentes escalas fue especialmente crítico para los grupos humanos que

habitaron la Puna. Éstos necesariamente tuvieron que generar respuestas a un nuevo escenario extremo de recursos fluctuantes y espacialmente discontinuos.

Por otra parte, el rol que los “refugios ecológicos” habrían cumplido en los patrones de asentamiento y movilidad de cazadores-recolectores dista de ser claro. Yacobaccio y Morales (2005) señalan que es probable que estos lugares no fueran “refugios cerrados” en donde se encontraban todos los recursos necesarios, pero sí que eran apropiados para recibir ocupaciones puntuales en el marco de un circuito de movilidad logística incrementada. Otros autores colocan un acento mayor en la reubicación de poblaciones en torno a estos hábitat favorables y en la reducción del rango de acción de los grupos humanos de la Puna (Grosjean *et al.*, 2007).

Cuando la evidencia arqueológica es reducida y aislada, como en este caso, los modelos paleoambientales proveen una vía alternativa para evaluar hipótesis sobre la organización de la subsistencia y asentamiento, además de una herramienta para generar nuevas hipótesis y expectativas arqueológicas (Morales, 2011). Sin embargo, los cambios del ambiente pueden darse en variadas escalas temporales y espaciales, con diferentes tipos de impacto sobre los aspectos organizativos de los grupos humanos que interactúan con dichos ambientes (Winterhalder & Smith, 1992; Dinceuze, 2000). Sumado a esto, los *proxy* paleoambientales no son de interpretación unívoca y proveen información con diverso grado de resolución espacial y temporal (Olivera, Tchilinguirian & Grana, 2004). Entonces, la integración de diferentes tipos de datos *proxy* provee una vía más segura para realizar inferencias sobre el ambiente del pasado (Dinceuze, 1987; Oldfield, 2003). En el contexto inferido de amplia heterogeneidad espacial y temporal de la Puna Seca Argentina durante el Holoceno Medio, la necesidad de contemplar e integrar la mayor cantidad de líneas de evidencia paleoambientales posible es especialmente crítica.

#### ***4.ii. Un problema de escalas***

Como se ha mencionado en el capítulo 2, tanto en los Andes del Sur como en el área de estudio, la información paleoambiental disponible se ha obtenido en su mayor parte de estudios palinológicos (*e.g.* Markgraf, 1985; Fernández *et al.*, 1991; Lupo, 1998; Oxman, 2010), limnológicos (*e.g.* Fernández, 1994; Abbott *et al.*, 2003), geomorfológicos (*e.g.* Grosjean *et al.*, 1997; Tchilinguirian & Olivera, 2005; Olivera & Tchilinguirian, 2006; Tchilinguirian, 2009; Tchilinguirian *et al.*, 2014b; Tchilinguirian *et al.*, 2014a), el análisis de núcleos de hielo (*e.g.* Thompson *et al.*, 1998), el estudio de diatomeas (*e.g.* Yacobaccio & Morales, 2005; Morales, 2011; Grana & Morales, 2005) e incluso a partir de la evidencia arqueológica utilizada como *proxy* paleoambiental (*e.g.* Tchilinguirian & Olivera, 2005; Olivera & Tchilinguirian, 2006).

Cada tipo de dato *proxy* debe ser utilizado con cautela ya que son útiles para abordar fenómenos climático-ambientales actuantes a diversas escalas temporales y espaciales. El problema de escalas mencionado es ilustrado por el análisis de contenido de *middens* de roedores fósiles en el desierto de Atacama, Chile, que ha servido a varios autores (Betancourt *et al.*, 2000; Latorre *et al.*, 2003; Rech *et al.*, 2003) para fundamentar la propuesta de que el Holoceno Medio no fue un período particularmente árido en la Puna, sino que posiblemente haya sido más húmedo que el actual. Esta línea de evidencia tiene una alta resolución tanto temporal como espacial, por lo que resulta un pobre indicador de tendencias generales, entendiéndose mejor como el reflejo de episodios climático-ambientales puntuales (Grosjean *et al.*, 2003). No obstante, este tipo de estudios sí contribuye a remarcar la alta variabilidad ambiental que habría presentado la región durante el Holoceno

Medio a escalas micro *sensu* Dincauze ((2000), que son particularmente significativas para la adaptación humana (Dincauze, 1987).

Las líneas de evidencia que se exploran en este trabajo permiten una alta resolución temporal -en esta Tesis y en virtud de los intervalos del muestreo ha sido de orden multidecadal- por lo que permite conocer la dinámica paleoambiental a una escala directamente perceptible por los grupos humanos que habitaron el área a lo largo del Holoceno. Estas variaciones de corto plazo habrían tenido un impacto directo sobre el proceso de toma de decisiones vinculadas a las estrategias de movilidad, asentamiento y subsistencia. En el mismo sentido, los *proxy* paleoambientales utilizados en esta Tesis reflejan el impacto ambiental en distintas escalas espaciales, tanto a nivel local (*e.g.* sobre un humedal o una sección de un curso de agua) como regional, ya que el tamaño del área de captación hídrica de los dos sistemas estudiados permiten estudiar las características de los procesos climáticos de escala más amplia (*e.g.* aridización de la Andes Tropicales durante el Holoceno Medio) (ver Morales 2011). Consideramos que los datos sobre la naturaleza, magnitud y duración del efecto de estos cambios climáticos en escalas espaciales reducidas es especialmente importante para reconstruir los escenarios concretos en los que grupos de cazadores-recolectores móviles del Holoceno decidieron y plantearon diversas estrategias de subsistencia.

#### ***4.iii. Materia orgánica y carbonatos en sedimentos.***

En este trabajo examinaremos dos líneas de evidencia distintas: el contenido de materia orgánica (%MO) y carbonato (%Cto) en sedimentos de edad holocénica. En los contextos ambientales examinados, la materia orgánica recuperada en sedimentos es producida principalmente por vegetales, tanto acuáticos como

terrestres, que crecen en o alrededor de humedales, como pueden ser las vegas o cuerpos de agua someros. Por lo tanto, el %MO constituye un indicador directo de productividad primaria para el humedal en cuestión y su área inmediata (Meyers & Teranes, 2001; Meyers, 2003), permitiendo inferir, consecuentemente, la disponibilidad y productividad de otros niveles tróficos. Funciona así como un dato *proxy* útil para abordar las hipótesis de trabajo respecto a variables como la temperatura, humedad y otros factores ambientales y climáticos, su cambio a través del tiempo -incluyendo anomalías periódicas y eventos extremos- y su impacto a escalas locales y sub-regionales.

De manera similar, el %Cto está vinculado principalmente a la precipitación de carbonatos. La remoción de CO<sub>2</sub> disuelto en el agua es una de sus principales causas, siendo la fotosíntesis de vegetales acuáticos uno de los desencadenantes más frecuentes de este proceso. El aumento de la bioproductividad acuática -ya sea por aumento estacional de temperatura o por ingreso aumentado de nutrientes- causa precipitación de carbonatos (Cohen, 2003). Sin embargo, en los ambientes que analizamos aquí, con una gran variabilidad anual e interanual en los niveles de agua e incluyendo desecación total de los humedales, un aumento en %Cto de sedimentos puede interpretarse de forma más segura como indicador de una reducción en la concentración de agua, lo cual causa precipitación de solutos, incluidos carbonatos (Cohen, 2003). En otras palabras, un aumento en el %Cto en sedimentos puede interpretarse como indicador de equilibrio hídrico negativo a escala de la localidad, vinculado a mayores niveles de evaporación (Valero-Garcés *et al.*, 2003), especialmente si estos valores están asociados a menores %MO.

En el área de estudio estas líneas de evidencia han sido escasamente utilizadas como *proxy* paleoambientales por derecho propio. Valero-Garcés y colaboradores estudiaron secuencias sedimentarias de las lagunas El Peinado y San Francisco

(2000) en la Puna catamarqueña y Lago Chungará y Laguna Miscanti (2003) en la Puna chilena, analizando, entre otros indicadores, el %MO y %Cto en sedimentos de edad holocénica. Estos autores asociaron valores mayores de %MO y menores de %Cto con mayores niveles de agua en dichas cuencas.

Son más comunes los trabajos que informan valores de concentración de carbono orgánico total (TOC) y carbono inorgánico total (TIC). Las tendencias en estos valores son comparables a las tendencias de %MO y %Cto, respectivamente (ver sección 4.1.i.). La laguna Chungará fue extensivamente estudiada, tanto en el trabajo citado arriba como en otros posteriores. Mientras que los valores de TOC son asociados en todos los casos con mayores niveles de bioproductividad en la laguna y su área inmediata, Moreno y colaboradores (2007) asocian valores mayores de TIC con eventos repetidos de aridez ocurridos en el Holoceno Medio en Laguna Chungará. Pueyo y colaboradores (2011), en cambio, interpretan los valores de TIC de la Laguna Chungará de manera diferente según la escala temporal examinada. En el corto plazo, estos autores asocian mayores niveles de TIC a episodios puntuales de bioproductividad acuática aumentada, principalmente diatomeas; en el mediano plazo, valores mayores de TIC apuntarían a un equilibrio hídrico negativo sostenido.

En Laguna de los Pozuelos, provincia de Jujuy, McGlue y colaboradores (2012) realizaron estudios en sedimentos actuales y midieron diversos parámetros químicos. Ellos encontraron valores más altos de concentración de TIC y más bajos de TOC en las márgenes de la laguna, que atribuyen a procesos frecuentes de evaporación, bioturbación y deflación.

# Capítulo 5

---

---

## MATERIALES Y TÉCNICAS ANALÍTICAS

*“Hablando de soufflé, les voy a dar la receta... no, no se rían que después les sale aplastado y no saben porqué... un secretito para que el soufflé les salga... hay que poner la harina con las yemas en un recipiente más bien grande, y eso hay que dejarlo ventilar tres días y tres noches... pero con la mirada fija en la mezcla. Y después, unos instantes antes de servirlo se lo pone en presencia de un frasco de ajos de Bulgaria... herméticamente cerrado... sí, porque si no el soufflé toma el gusto de los ajos...”.*

Les Luthiers. A la playa con Mariana.

### ***5. i. Técnicas analíticas.***

#### **5.i.1. Determinación de contenido de materia orgánica en sedimentos**

Existen dos métodos para determinar el contenido de materia orgánica (%MO) de una muestra. La más difundida es la medición directa o indirecta del contenido total de carbono orgánico (TOC, por sus siglas en inglés). La materia orgánica está compuesta aproximadamente en un 50% por C, con lo cual se puede estimar el %MO de una muestra a partir de su valor de TOC (*e.g.* Meyers & Lallier-Vergès, 1999). Las técnicas utilizadas para medir TOC requieren del uso de analizadores elementales (Meyers & Teranes, 2001), lo cual lo hace un método costoso de estimación de %MO.

En este trabajo hemos utilizado el método de pérdida de peso por combustión o “*loss on ignition*” (LOI), que fue sistematizado por Dean (1974) para medir %MO. El método de LOI implica pesar la muestra de sedimento antes y después de una combustión prolongada, a temperaturas relativamente bajas que sólo eliminan la MO de la muestra. Se trata de un método relativamente simple que permite procesar gran número de muestras en poco tiempo y con un costo muy bajo; no obstante, existen reparos para su uso ya que debe garantizarse que la combustión afecte únicamente a la materia orgánica (para no sobreestimar %MO) y que ésta se oxide completamente (para no subestimar %MO).

Por otra parte, algunos autores han encontrado una correlación muy fuerte entre las estimaciones de %MO obtenidas por LOI y aquellas obtenidas por medición directa de TOC (Ball, 1964; Beaudoin, 2003). Además, el trabajo presentado aquí entraña un análisis comparativo, de evolución en el tiempo, del %MO en sedimentos; las posibles sobreestimaciones /subestimaciones sistemáticas de %MO generadas por el método no constituyen un obstáculo para analizar la evolución relativa de este indicador a lo largo de los perfiles sedimentarios analizados. Teniendo en cuenta estos factores, consideramos que el método de LOI para estimación de proporción de MO es adecuado para evaluar tendencias en esta variable en un perfil sedimentario (Cohen, 2003; Santisteban *et al.*, 2004).

De todas maneras, la minimización del riesgo de sobre o subestimar el %MO en las muestras de sedimentos constituyó un desafío metodológico importante. El uso de una temperatura de combustión demasiado alta (400° C o más) puede causar la pérdida de sales, agua estructural de las arcillas y otros compuestos inorgánicos, llevando a una sobreestimación del contenido de MO (Ball, 1964; Meyers & Teranes, 2001; Schumacher, 2002). Por otro lado, un tiempo de exposición insuficiente puede

resultar en subestimaciones de %MO por combustión incompleta de la materia orgánica en los sedimentos (Ball, 1964; Heiri, Lotter & Lemcke, 2001).

Para abordar este problema, el presente trabajo incluyó un análisis experimental en el que se midió el %MO sobre un número limitado de muestras utilizando dos métodos diferentes: 1) una versión modificada del método original propuesto por Dean (1974), de uso corriente en el laboratorio ("método 1"), y 2) un método diseñado tomando en cuenta las críticas realizadas por Ball (1964), Schumacher (2002) y Heiri y colaboradores (2001) ("método 2").

El método 1 consiste de las siguientes etapas:

- Molienda del sedimento.
- Pesaje del crisol a utilizar para la combustión.
- Colocación de aproximadamente 1,5 g. de muestra en el crisol.
- Nuevo pesaje.
- Secado de la muestra de sedimento en mufla<sup>1</sup> de graduación electrónica (105°C) durante una hora y enfriado a temperatura ambiente.
- Pesaje ("peso seco").
- Primera combustión a 550 °C durante una hora en mufla de graduación electrónica.
- Enfriado en mesada y pesaje ("peso post-combustión 1").

El método 2 consiste de las siguientes etapas:

- Molienda del sedimento.

---

<sup>1</sup> El "secado por congelamiento" *ofreeze-drying* es el método recomendado para secar muestras, ya que el uso de hornos puede generar la pérdida de compuestos orgánicos volátiles o la oxidación de compuestos sensibles en la materia orgánica. Sin embargo, este riesgo es despreciable en muestras de más de 100 años de antigüedad (Meyers y Teranes 2001).

- Pesaje del crisol a utilizar para la combustión.
- Colocación de aproximadamente 1,5 g. de muestra en el crisol.
- Pesaje.
- Secado de la muestra de sedimento en mufla de graduación electrónica (95°C) durante 12-18 hs y enfriado a temperatura ambiente.
- Pesaje (“peso seco”).
- Primera combustión a 390 °C durante 12-18 hs en mufla de graduación electrónica. Enfriado en mesada y pesaje (“peso post-combustión 1”).

### 5.i.2. Determinación de contenido de carbonatos en sedimentos

La determinación del contenido de carbonatos (%Cto) en sedimentos puede realizarse de forma indirecta, midiendo el volumen de CO<sub>2</sub> liberado por acidificación de la muestra con HCl (*e.g.* Müller & Gastner, 1971) o por método coulométrico (*e.g.* Engleman, Jackson & Norton, 1985). Estos métodos asumen que la mayor parte del C inorgánico en estas muestras proviene de carbonatos (Cohen 2003). También se puede medir el %Cto de forma directa, por LOI (*e.g.* Dean, 1974; Heiri, Lotter & Lemcke, 2001). Por las mismas razones expuestas arriba, el método utilizado en este trabajo es de LOI y consiste en realizar una segunda combustión de las mismas muestras (*i.e.* luego de una primera para eliminar materia orgánica), a una temperatura más alta para eliminar carbonatos, pesándose nuevamente la muestra resultante. La medida de masa “perdida” en la combustión funciona como estimador del contenido de carbonato en la muestra. La bibliografía parecería no presentar mayores problemas en cuanto a temperatura y tiempo de la combustión, por lo cual se usaron parámetros adaptados de Heiri y colaboradores (2001). Siguiendo a la primera combustión (determinación de %MO), se realizó una

segunda combustión en mufla de graduación electrónica a 950°C durante dos horas, luego de lo cual se enfriaron las muestras en mesada y se las pesó.

## *5.ii. Archivos ambientales estudiados.*

### **5.ii.1. Perfil Pastos Chicos 1 (Pch-1)**

El Río Pastos Chicos es uno de los principales tributarios del Río Las Burras, el cual drena en la Cuenca de la Laguna de Guayatayoc-Salinas Grandes (Fig. 5.1.). Tienen numerosos afluentes efímeros, pero Pastos Chicos tiene un flujo de agua continuo gracias a la recarga de aguas subterráneas que recibe en el cordón montañoso de Taire. Este tipo de régimen genera una gran variabilidad estacional del caudal de agua, con fuertes incrementos en la estación lluviosa (Diciembre-Marzo). Dada el área de captación hídrica del Río Pastos Chicos (988 km<sup>2</sup>), se sostiene que las señales paleoambientales detectadas en la localidad son representativas de buena parte del sector occidental de la puna jujeña.



Figura 5.1. Vista del río de Pastos Chicos y de la barranca expuesta por acción fluvial.

En la cuenca de Pastos Chicos se relevaron 6 perfiles expuestos por acción hídrica, que fueron estudiados sedimentaria y geomorfológicamente. El Perfil 1 (PCh1, 23° 40' 2900" S; 66° 250' 3200" W; 3781 msnm) fue el más intensivamente estudiado, sumándose análisis de diatomeas y polen (Tchilinguirian *et al.*, 2014b) (Fig. 5.2.).



Figura 5.2. Vista del Perfil Pastos Chicos 1.

Se recuperaron 27 muestras de PCh1 de las cuales pudieron obtenerse 3 fechados, dos de ellos por datación radiocarbónica convencional –LP 1836 y 1841- y el tercero por AMS –AA 94570- (Fig. 5.3).

Código de laboratorio	Muestra	Material	Edad <sup>14</sup> C (AP)	Edad calibrada 1 $\sigma$ (Cal AP)
LP 1841	PCh1-M3	Turba	8900 $\pm$ 130	9766 - 10166
LP 1836	PCh2-M2	Turba	7900 $\pm$ 100	8543 - 8783
AA 94570	PCh2-M15	Hueso de ave	6935 $\pm$ 69	7662 - 7796

Figura 5.3. Dataciones radiocarbónicas de Pastos Chicos 1. La calibración se realizó con la curva para Hemisferio Sur, SHCal13 (Hogg et al., 2013), utilizando el programa Calib Rev 6.1.0.

Con estas fechas se elaboró un modelo de edad-profundidad por interpolación lineal (Bennett, 1994), asumiéndose tasas constantes de sedimentación, para estimar edades absolutas para cada una de las muestras analizadas (Tchilinguirian *et al.*, 2014b). Este modelo permite ubicar cronológicamente la secuencia entre *ca.* 9300 y 6700 AP (Fig. 6.3.), abarcando entonces buena parte del Holoceno Temprano y la primera mitad del Holoceno Medio. Las 4 muestras superiores del perfil (M24-M27), resultan posteriores a una discontinuidad erosiva. Por asociación con otros perfiles de la localidad se considera que estas muestras son posteriores a los 4200 AP.

Los datos obtenidos a partir del estudio de estos 6 perfiles permitió elaborar un modelo paleoambiental para la evolución de la cuenca a lo largo del Holoceno. Entre el Holoceno Temprano y el Holoceno Medio (9300-6700 AP), se dio un proceso de expansión de la planicie de inundación, con desarrollo de paleosuelos y de una estepa herbácea en el área de la cuenca. Este proceso se manifiesta geomorfológicamente en la secuencia como la Alounidad A, subdividida en tres

Alofacies. La Alofacie A1 se caracteriza por la presencia de arenas medias verdes, no estructuradas. El estudio de diatomeas realizado sobre la secuencia PCh1 indica la presencia de un humedal en el sitio, con un área litoral amplia y sometido a variaciones de salinidad entre *ca.* 9300 y 8900 AP. La Alofacie A2 (8900 – 7900 AP) presenta ricos segmentos orgánicos (turbas), interlaminados con capas delgadas de arenas finas. Estas capas con abundante materia orgánica desaparecen hacia el 7900, dando lugar a la Alofacie A3, caracterizada por arcillas interlaminadas con diatomitas masivas, consistente con un ambiente de tipo palustre. Esto fue seguido de un proceso de erosión fluvial en la segunda mitad del Holoceno Medio, comenzando *ca.* 6300 AP, que se observa en PCh1 como una discontinuidad erosiva en el perfil (Tchilinguirian *et al.*, 2014b) (Fig. 5.4).

La evidencia provista por el estudio de diatomeas indica que a partir del ~7400 AP comenzaron a predominar condiciones áridas, acompañados de valores más elevados de salinidad y con eventos discretos y discontinuos de aumento del nivel de agua, relacionados a pulsos de humedad puntuales dentro de un contexto general más árido. Tanto la evidencia de diatomeas como los estudios sedimentológicos del perfil indican que, antes de esta fecha, el sitio habría presentado un ambiente de vega. Post 7400 AP, la localidad parece haber estado cubierta por un cuerpo de agua somero y sujeto a procesos de desecación recurrentes (Tchilinguirian *et al.*, 2014b).

La evidencia palinológica es consistente con este cambio de un ambiente más húmedo hacia otro más seco, marcado por transición de una estepa herbácea hacia una estepa arbustiva. Sin embargo, este dato *proxy* marca una fecha más tardía para esta transición, que se habría dado a partir del 6900 AP. Dada la mayor sensibilidad de las diatomeas a cambios en los regímenes de temperatura y humedad, no resulta sorprendente que sea en el registro polínico en el que se manifiesten de manera más tardía los efectos de un cambio climático tendiente hacia una mayor aridez (Tchilinguirian *et al.*, 2014b).

# Perfil Pastos Chicos 1

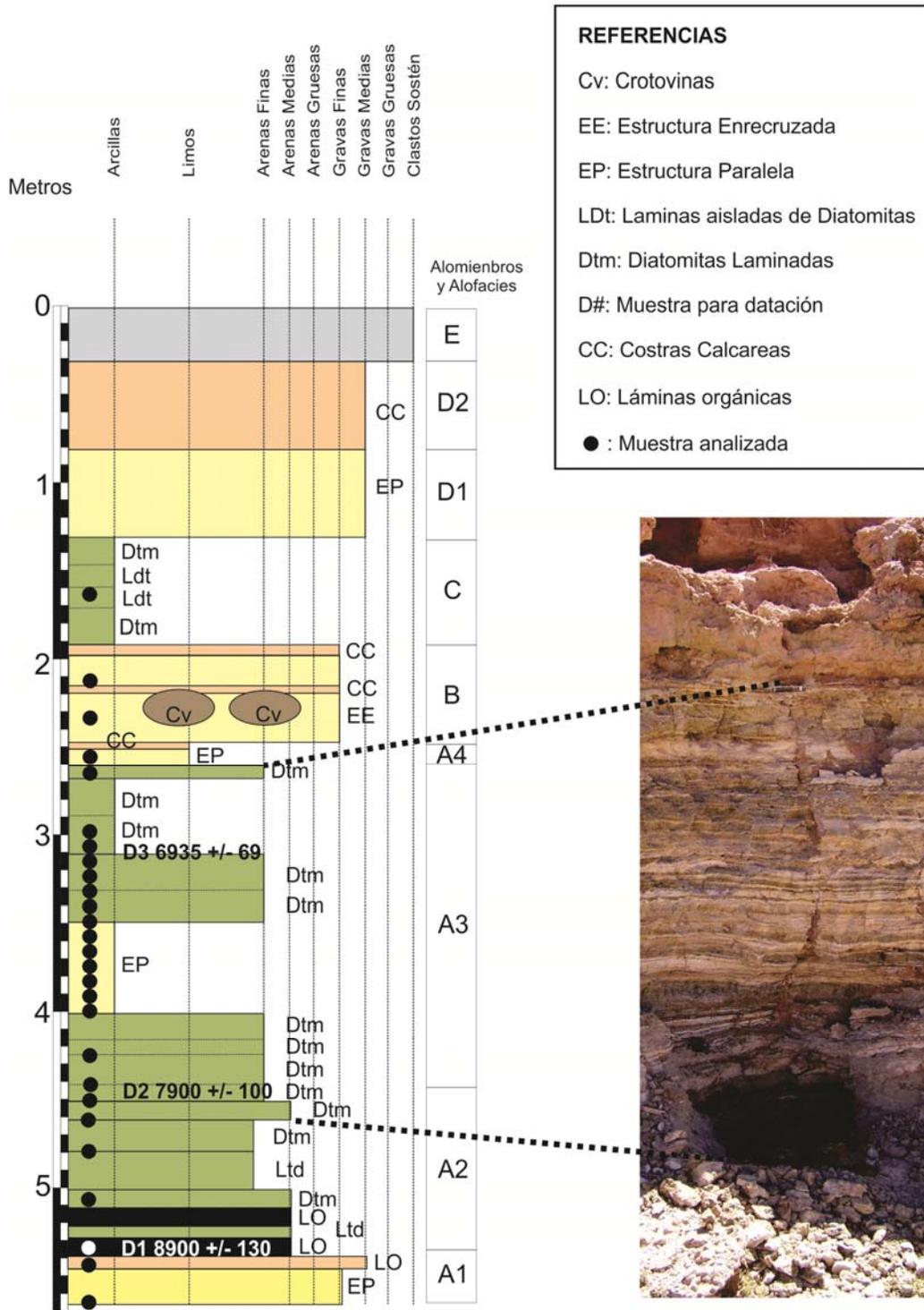


Figura 5.4. Esquema del perfil Pastos Chicos 1 indicando sus Alounidades y alofacies, cronología, características sedimentarias y ubicación de las muestras obtenidas para los análisis paleoambientales.

### 5.ii.2. Perfil Inca Cueva (PIC)

La secuencia sedimentaria del Perfil Inca Cueva (W 65° 28' 1,5"; S 22° 58' 43,4', 3563 msnm,) se observa en una terraza excavada por el río permanente Azul Pampa, tributario del Río Grande (Fig. 5.5.). El área de captación hídrica del Perfil Inca Cueva (381 km<sup>2</sup>) indica que las señales ambientales detectadas en dicho perfil son representativas del sector este de las cuencas de Pozuelos y Guayatayoc-Salinas Grandes, extendiéndose hacia el norte hasta las inmediaciones de la localidad de Abra Pampa.



Figura 5.5. Vista de la terraza excavada por el río Azul Pampa.

Se extrajeron 65 muestras en intervalos regulares de 10 cm (Fig. 5.7.). Hasta el momento sólo se ha descrito la sedimentología y geomorfología de los 6,3 m inferiores del perfil de forma preliminar (Alounidad A, incluyendo las Alofacies A1, A2

y A3) (Tchilinguirian, com. pers). Estos depósitos están constituidos mayoritariamente por sedimentos finos limo-arcillosos -generalmente laminados-, de contenido variable de materia orgánica, e intercalados con facies que presentan gastrópodos y macrorrestos vegetales y/o arenas (Fig. 5.6.).

Las tres fechas de referencia obtenidas por el método AMS (Fig. 5.8.) permiten ubicar cronológicamente los depósitos estudiados de este segmento del perfil entre los 7000 y los 5800 años AP, aproximadamente, asignándose una cronología absoluta a cada una de las muestras a través de un modelo de edad-profundidad por interpolación lineal (Fig. 6.6.).

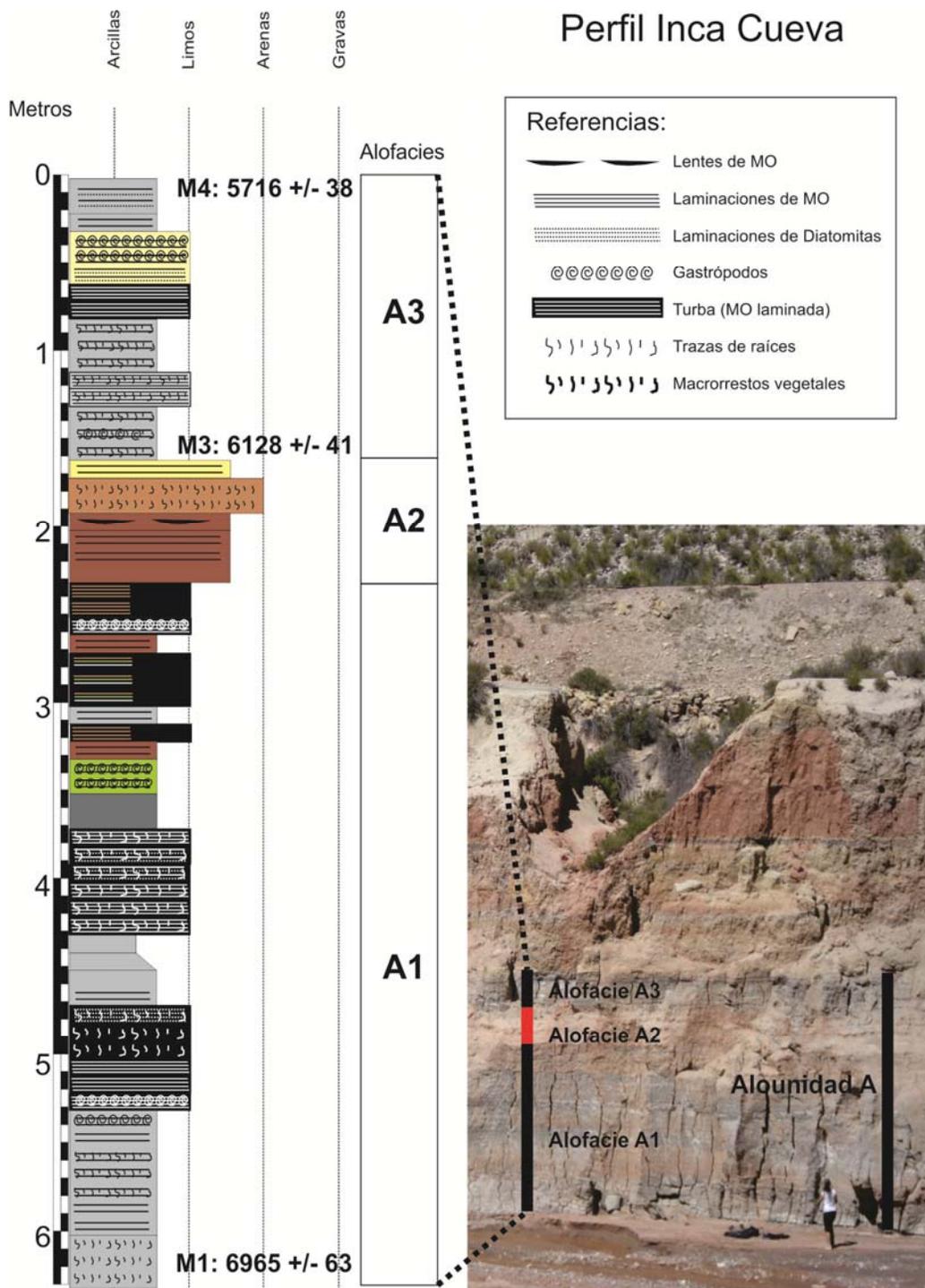


Figura 5.6. Esquema del perfil Inca Cueva, indicando las Alofacies identificadas, cronología y características sedimentarias.



Figura 5.7. Extracción de las 65 muestras del Perfil Inca Cueva.

Código de laboratorio	Muestra	Material	Edad $^{14}\text{C}$ (AP)	Edad calibrada $1 \sigma$ (Cal AP)
AA88353	PIC M1	Turba	$6965 \pm 63$	7683 – 7799
AA94573	PIC M3	Turba	$6128 \pm 41$	6882 – 7009
AA88354	PIC M4	Turba	$5716 \pm 38$	6405 – 6495

Figura 5.8. Dataciones por AMS de Perfil Inca Cueva. La calibración se realizó con la curva para Hemisferio Sur, SHCal13 (Hogg et al., 2013), utilizando el programa Calib Rev 6.1.0.

### 5.ii.3. Valores de referencia actuales.

Uno de los principales desafíos para los estudios paleoambientales es la falta de datos confiables actuales que provean un marco de referencia para interpretar los datos *proxy* sobre ambientes del pasado. Con el fin de comenzar a solucionar este sesgo se obtuvieron valores de %MO y %Cto de 12 muestras sedimentarias

provenientes de 6 humedales actuales emplazados a diferentes alturas y con distintas características físico-químicas (Figs. 5.9, 5.10 y 5.11).

Sitio	Altura (msnm)	pH	Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}$ )
Vega Lapao Chico	3612	8,58	1310
Vega Barrancas	3795	7,66	263
Vega Taire	4034	8,78	676
Salina de Jama	4087	9,35	>2000
Laguna Ana	4101	8,43	>2000
Vega Tuzgle	4231	9,9	107

Figura 5.9. Humedales actuales estudiados y características físico-químicas generales.

Se analizaron dos muestras obtenidas de un microtestigo de 20 cm recuperado en cada sitio, una superficial y una tomada a 10 o 15 cm de profundidad, de manera de evaluar la incidencia de procesos diagenéticos sobre los valores de %MO y %Cto obtenidos. Los resultados se presentan en el capítulo siguiente, junto con los estudios experimentales y paleoambientales mencionados a lo largo de este apartado.

### Vega Lapao Chico



### Vega Barrancas



### Vega Taire

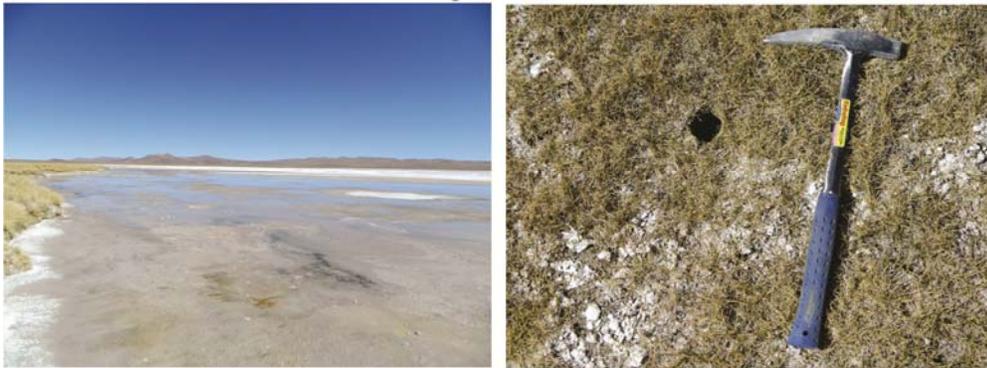


Figura 5.10. Vista y detalle de humedales actuales muestreados (parte 1).

Salina de Jama



Laguna Ana



Vega Tuzgle



Figura 5.11. Vista y detalle de humedales actuales muestreados (parte 2).

# Capítulo 6

---

---

## RESULTADOS

*“De cada diez personas que ven televisión, cinco son la mitad”.*

Les Luthiers. La tanda.

### *6.i. Comparación de métodos de LOI para determinación de %MO.*

Los dos métodos para determinar %MO a través de la medición de pérdida de peso por combustión o *loss-on-ignition* (LOI) descritos arriba fueron aplicados en un subconjunto de muestras provenientes del Perfil Pastos Chicos 1 y los resultados se presentan en la Fig. 6.1. Las dos diferencias fundamentales entre estos métodos es que el método 2 presenta tiempos más largos de exposición (12/16 hs vs 1 h) al calor pero a menores temperaturas (390° C vs 550° C).

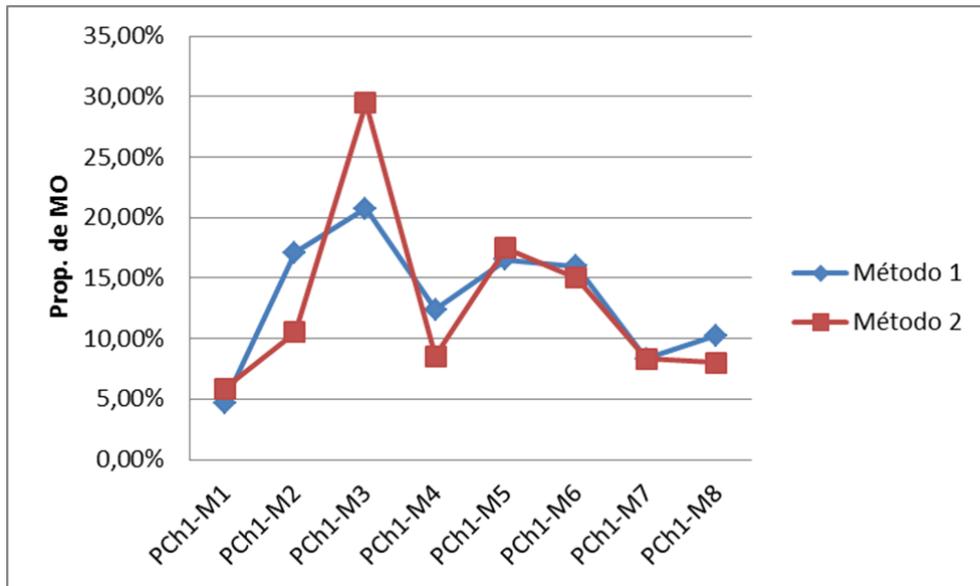


Figura 6.1. Resultado de la prueba comparativo entre método 1 y método 2 de LOI para estimar %MO en sedimentos.

Como puede observarse en la Fig. 6.1., utilizando el método 1, que involucra temperaturas más altas de combustión, en casi todos los casos el valor de %MO obtenido fue igual o más alto que con el método 2. Esto es consistente con la crítica realizada por Schumacher (2002), quien sostiene que un método LOI con más de 440°C podría conducir a una sobreestimación de %MO.

La excepción más evidente a este patrón fue el resultado obtenido para PCh1-M3, la cual es también la que arrojó el valor más alto de %MO. En muestras con alto contenido de MO, es posible que el poco tiempo de exposición del método 1 haya sido insuficiente para quemar la materia orgánica de forma completa, de forma coherente a lo indicado por Heiri y colaboradores (2001).

En vista a estos resultados, se seleccionó el método 2 como más apropiado para obtener valores de %MO a través de LOI en los perfiles de Pastos Chicos e Inca Cueva, completándose el análisis de los dos perfiles mediante este método.

*6.ii. %MO y %Cto en sedimentos de las secuencias Pastos Chicos 1 e Inca Cueva y en humedales actuales.*

En los apartados siguientes se presentan los valores de %MO y %Cto obtenidos de las muestras analizadas en las dos secuencias sedimentarias y en humedales actuales. Estos valores son proporciones de peso (g)/peso (g), conocido como  $w/w$  por sus siglas en inglés (*weight/weight*).

Como ya hemos mencionado, es de principal interés en este trabajo analizar las tendencias temporales en las secuencias como vía de entrada para inferir las principales tendencias ambientales en dichas localidades. Consideramos que una aproximación estadística adecuada resulta de la comparación de los resultados tanto con los valores medios de cada serie -para luego observar cualitativamente si existe algún patrón temporal en las distancias de los valores con respecto a dichas medias- como con los valores de referencia obtenidos de los estudios actualísticos. Se considerarán valores anómalos aquellos que se ubican a más o menos de un desvío estándar de la media y como valores extremos los que se encuentran por debajo o por encima de dos desvíos estándar de la media. En este contexto, estos valores anómalos y extremos se entienden como indicativos de condiciones ambientales particulares, y no como criterios de exclusión de la muestra.

Dado que los valores de humedales actuales de la región constituyen nuestro único material de referencia para realizar interpretaciones ambientales a partir de los valores de %MO y %Cto, presentamos estos resultados en primer lugar para facilitar su uso posterior en el análisis de las series de valores en los perfiles Pastos Chicos 1 e Inca Cueva.

### 6.ii.1. Humedales actuales.

Se procesaron 12 muestras para medir su contenido de MO y Cto (Fig. 6.2). De los seis humedales muestreados, cuatro son vegas: Vega Lapao Chico, Vega Barrancas, Vega Taire y Vega Tuzgle. Estas vegas activas y vegetadas presentan valores bajos a moderados de %MO, encontrándose los dos valores más altos en superficie en Vega Taire y Vega Tuzgle, ambas emplazadas a más de 4000 msnm. Los valores de %Cto en superficie son bajos, con la excepción de Salina de Jama y Laguna Ana, dos humedales altamente salinos en cuya composición geoquímica juegan un rol fundamental los procesos evaporíticos.

Dado que no hemos observado variaciones sistemáticas en los muestreos de superficie vs. sub-superficiales, es posible descartar la diagénesis como un factor de influencia significativa en las variaciones encontradas. En este escenario, las diferencias entre los valores de superficie y sub-superficie de un mismo humedal pueden ser explicadas por diferencias ambientales en las condiciones de formación de dichos depósitos. Por este motivo, todos los valores obtenidos de estos humedales pueden considerarse representativos de las condiciones actuales o sub-actuales imperantes en estos ambientes.

Sitio	pH	Conductividad (μS)	Altura (msnm)	Muestra de superficie		Muestra -10/-15 cm	
				% MO	% Cto	% MO	% Cto
Vega Lapao Chico	8,58	1310	3612	2,34	1,64	1,24	0,82
Vega Barrancas	7,66	263	3795	9,68	2,94	3,53	1,43
Vega Taire	8,78	676	4034	11,63	3,04	13,01	15,74
Salina de Jama	9,35	2000	4087	4,14	10,51	4,70	3,31
Laguna Ana	8,43	2000	4101	3,59	10,50	2,09	5,85
Vega Tuzle	9,9	107	4231	10,76	1,29	2,71	1,17

Figura 6.2. Resultados de las mediciones de %MO y %Cto en sedimentos provenientes de humedales actuales.

En casi todos los casos, las muestras tomadas por debajo de la superficie (10 o 15 cm de profundidad, según el caso) muestran un escenario similar a las superficiales, si bien el %MO en Vega Tuzgle se reduce drásticamente comparado con su valor en superficie. Dado el reducido %Cto en la misma muestra, es posible que esto esté relacionado a una fase de profundización de la columna de agua en el sitio de muestreo. Por el contrario, la Vega Taire mantiene un contenido de MO similar -el más elevado de todos los sitios- pero aumenta su contenido de carbonato en comparación con la superficie. Esto podría deberse a alguna fase de mayor evaporación ocurrida recientemente o, habida cuenta de su valor relativamente alto de %MO, a un crecimiento de la comunidad vegetal acuática – algas, cianobacterias, etc.

#### 6.ii.2. Secuencia Pastos Chicos 1 (PCH1)

Obtuvimos valores de %MO y %Cto para las 27 muestras datadas, los cuales se presentan en las Fig. 6.3 y 6.5.

Muestra	Edad (años *C AP – modelo)	%MO (w/w)	%Cto (w/w)
PCh1-27	post 4200	4,01	9,23
PCh1-26	post 4200	3,69	7,83
PCh1-25	post 4200	5,26	18,81
PCh1-24	post 4200	5,45	6,23
PCh1-23	6694	5,54	15,14
PCh1-22	6872	4,99	7,03
PCh1-21	6935	5,45	19,55
PCh1-20	6998	5,46	18,29
PCh1-19	7062	3,67	12,82
PCh1-18	7125	4,70	15,76
PCh1-17	7189	5,95	19,25
PCh1-16	7252	4,98	30,52
PCh1-15	7316	3,57	29,69
PCh1-14	7379	3,64	28,22
PCh1-13	7443	2,34	12,48
PCh1-12	7506	4,36	13,97

PCh1-11	7570	4,68	9,23
PCh1-10	7583	3,23	28,29
PCh1-9	7748	3,95	24,13
PCh1-8	7900	8,02	14,00
PCh1-7	8015	8,34	15,93
PCh1-6	8210	15,01	6,74
PCh1-5	8532	17,49	3,31
PCh1-4	8877	8,54	9,04
PCh1-3	8900	29,47	2,79
PCh1-2	9026	10,54	12,26
PCh1-1	9256	5,89	28,87

Figura 6.3. Resultados de las mediciones de %MO y %Cto sobre muestras del Perfil Pastos Chicos 1.

Como fue mencionado, tomaremos como referencia para interpretar estos datos la media y mediana de las series temporales de valores de %MO y %Cto, así como su desvío estándar, de modo de poder identificar no sólo tendencias medias si no también eventos anómalos y extremos.

	Serie %MO	Serie %Cto
<b>Media</b>	6,97%	13,13%
<b>Mediana</b>	5,26%	14,00%
<b>Desvío estándar</b>	5,67%	8,34%
<b>Mínimo</b>	2,34%	2,79%
<b>Máximo</b>	29,47%	30,52%

Figura 6.4. Estadística descriptiva básica de la distribución de valores de %MO y %Cto obtenidos del Perfil Pastos Chicos 1.

La serie de %MO presenta una clara diferencia entre aquellos valores por encima de la media (6,97%), que se agrupan en el período *ca.* 9000-7900 AP y aquellos por debajo de la media, post-7900 AP. El desvío estándar de la media (5,67%) indica una variabilidad alta, pero es más probable que este parámetro esté dando cuenta del marcado contraste entre los dos bloques temporales con límite en el 7900 AP.

Los valores máximos de %MO se alcanzaron en torno al 8900 AP (29,47%) y 8500 AP (17,49%). Dada la similitud entre la media y la mediana de la serie, consideramos que estos valores –extremo y anómalo, respectivamente– no afectaron significativamente la media. Ambos son indicativos de episodios de bioproductividad inusualmente alta que no son comparables con valores de vegas actuales/sub-actuales a similares altitudes. Esto es coherente con lo indicado por el estudio geomorfológico y los análisis de diatomeas y polen, los cuales evidencian la expansión de la planicie de inundación en un contexto general de mayor humedad, así como el avance de la estepa herbácea hacia altitudes más bajas que su cota actual (Tchilinguirian *et al.*, 2014b). No es sorprendente, entonces, que los valores de %MO de este primer segmento del perfil PCh-1 estén más próximos, e incluso superen, a los valores presentados por humedales actuales de mayor altitud, como Vega Taire y Vega Tuzgle.

Hacia el 7900 AP los valores de %MO descienden por debajo de la media, sin excepciones, oscilando entre 2,34% y 5,95%, los cuales se encuentran dentro del rango presentado por vegas, salinas y lagunas actuales. Este cambio es coherente con la transición de una planicie aluvial profusamente vegetada, con un equilibrio hídrico positivo sostenido, desarrollo de suelos y una alta productividad primaria, hacia un escenario de mayor variabilidad en la disponibilidad de agua que habría reducido considerablemente el desarrollo de comunidades vegetales significativas en el área.

La serie de valores de %Cto presenta una media de 15,53% y mayor variabilidad ( $ds=8,34\%$ ). Como tendencia general, encontramos que entre el 9000 y el 8200 AP, en coincidencia con los valores más altos de %MO, los valores de %Cto son muy bajos, incluyendo dos valores anómalos en el 8900 AP (3,31%) y 8532 AP (2,79%). Este tipo de registro no se repite en la secuencia hasta el final, a partir del 6900 AP.

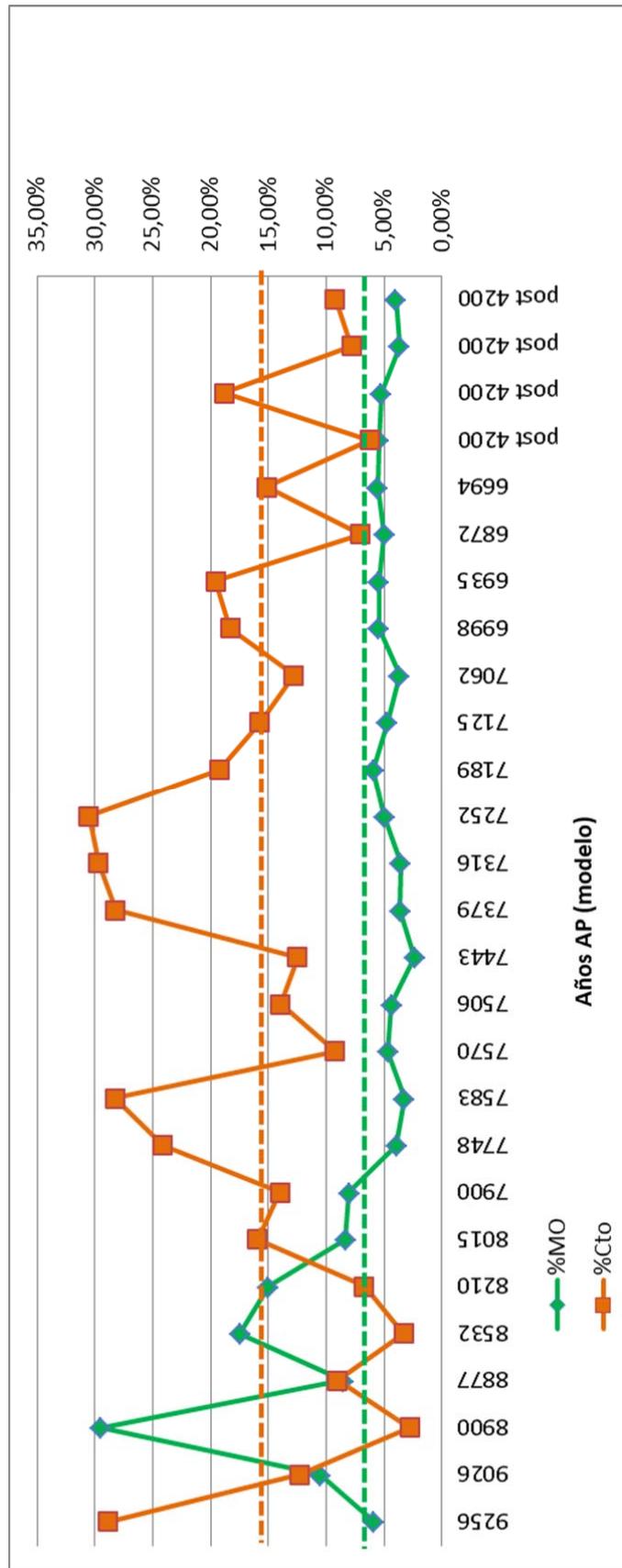


Figura 6.5. Valores de %MO y %Cto de la secuencia Pastos Chicos 1 en función de la edad de la muestra analizada. Las líneas punteadas representan la media de cada serie de datos.

Por otra parte, los valores de %Cto medidos en muestras post-8000 AP se encuentran en general muy por encima de los registrados para humedales actuales a altitudes comparables, incluyendo humedales salobres como Salina de Jama y Laguna Ana.

Tomando como referencia la media de la serie de %Cto, el segmento post-8000 presenta fluctuaciones que incluyen valores anómalos altos *ca.* 7750 – 7580 AP (24,13% y 28,29%) y *ca.* 7400-7250 AP (26,69%, 28,22% y 30,52%), alternados con períodos cortos de valores cercanos a la media o por debajo de ella (7570 – 7443 AP, 7062 AP y 6872 AP). Sumado a los valores bajos de %MO de este período y a los estudios sedimentológicos de la secuencia (Tchilinguirian et al 2014), esto parecería indicar la presencia de un cuerpo de agua sometido a desecaciones frecuentes y de gran intensidad. A partir de *ca.* 6900 AP, si bien con cierta fluctuación, los valores de %Cto se mantienen en o por debajo de la media, indicando una presencia mucho más esporádica de agua en el sitio de muestreo.

Estas primeras observaciones acerca de la evolución de los valores de %MO y %Cto en la secuencia de PCh1 fueron confirmadas a través de la comparación de las medias de los dos períodos identificados (9000 – 7900 AP y 7748 – post-4200 AP, para %MO; 9000 – 8200 AP y 8200 – post-4200 AP, para %Cto)<sup>2</sup>. Para seleccionar una prueba estadística adecuada, se evaluó la normalidad de la distribución de probabilidad de las variables analizadas a través de la prueba de Shapiro-Wilks, el cual permitió establecer que la distribución de la variable %MO no es normal para el primer período ( $W=0,8031$ ;  $p<0,05$ ). Por este motivo, se seleccionó el test de Mann-Whitney (no paramétrico) para comparar las medias de los dos períodos; este tipo de tests no asumen formas específicas en las distribuciones de probabilidad de las variables analizadas y son más robustas que los tests paramétricos (*e.g.* T de

---

<sup>2</sup> Los tests se efectuaron por medio del programa PAST versión 2.10 (Hammer, Harper & Ryan, 2001).

Student) para muestras pequeñas. Por este motivo se aplicó también para comparar las medias de %Cto en los períodos definidos, aun cuando el test de Shapiro-Wilks confirmó una distribución normal para dicha variable ( $W=0,8113$  y  $W=0,9312$ , para el primer y segundo período, respectivamente;  $p>0,05$  en ambos casos).

El test de Mann-Whitney confirmó que existe una diferencia muy grande y estadísticamente significativa entre las medias de los valores de %MO de los períodos 9000 – 7900 AP y 7748 – post-4200 AP ( $U=0$ ;  $p=0$ ); el estadístico  $U=0$  indica que todos los valores de %MO del primer período fueron más altos que todos los del segundo período (*i.e.* no hay superposición en las dos distribuciones). En el caso de los valores de %Cto, las medias de los dos períodos analizados (9000 – 8200 AP y 8200 – post-4200 AP) también presentaron una diferencia estadísticamente significativa, si bien no tan dramática como la existente para los valores de %MO ( $U=28$ ,  $p<0,05$ ).

Por último, es necesario notar que hemos excluido los valores de %MO y %Cto correspondientes a la fecha 9256 AP del análisis de los períodos descrito arriba. Esta muestra presentó no sólo uno de los valores de %Cto más altos de la secuencia, sino que además se encuentra asociado al único valor de %MO del Holoceno Temprano que queda por debajo de la media de la serie. Esto es llamativo dado que el Holoceno Temprano se considera el período más húmedo del Holoceno en la Puna. Un evento puntual de desecación en un contexto general de mayor humedad podría explicar estos datos, posiblemente un evento de escala regional.

### 6.ii.3. Secuencia Inca Cueva (PIC)

Se midieron las concentraciones de MO y Cto para las 65 muestras recuperadas, los cuales se presentan en las Fig. 6.6 y 6.8.

Muestra	Edad (años $\pm$ C AP – modelo)	%MO (w/w)	%Cto (w/w)
PIC-M64	5881	3,08	4,50
PIC-M63	5901	5,42	6,05
PIC-M62	5922	11,63	7,20
PIC-M61	5943	3,39	6,28
PIC-M60	5963	4,65	9,10
PIC-M59	5984	9,76	5,48
PIC-M58	6004	18,12	6,98
PIC-M57	6025	32,25	5,80
PIC-M56	6046	11,52	9,24
PIC-M55	6066	5,32	7,21
PIC-M54	6087	4,22	6,74
PIC-M53	6107	5,12	6,78
PIC-M52	6128	6,54	7,28
PIC-M51	6145	7,83	7,85
PIC-M50	6161	5,94	9,52
PIC-M49	6178	3,09	6,45
PIC-M48	6195	1,42	3,25
PIC-M47	6212	1,54	3,64
PIC-M46	6228	1,98	2,18
PIC-M45	6245	1,45	2,54
PIC-M44	6262	4,52	5,40
PIC-M43	6279	1,69	5,05
PIC-M42	6295	3,62	5,78
PIC-M41	6312	0,95	3,70
PIC-M40	6329	2,72	6,54
PIC-M39	6346	3,91	9,70
PIC-M38	6362	3,72	6,50
PIC-M37	6379	3,59	8,17
PIC-M36	6396	4,11	7,13
PIC-M35	6413	2,77	6,82
PIC-M34	6429	3,21	6,63
PIC-M33	6446	3,75	7,25
PIC-M32	6463	3,56	6,24

PIC-M31	6480	2,68	5,83
PIC-M30	6496	6,05	6,27
PIC-M29	6513	7,50	6,22
PIC-M28	6530	5,77	6,41
PIC-M27	6547	7,46	6,95
PIC-M26	6563	5,52	6,04
PIC-M25	6580	6,12	8,35
PIC-M24	6597	15,67	7,86
PIC-M23	6613	25,25	6,80
PIC-M22	6630	28,51	5,20
PIC-M21	6647	7,12	7,19
PIC-M20	6664	3,93	9,23
PIC-M19	6680	4,20	6,32
PIC-M18	6697	4,54	5,95
PIC-M17	6714	5,60	5,76
PIC-M16	6731	7,22	6,09
PIC-M15	6747	9,21	6,78
PIC-M14	6764	7,25	6,58
PIC-M13	6781	7,03	7,21
PIC-M12	6798	4,29	6,52
PIC-M11	6814	7,18	10,18
PIC-M10	6831	8,85	7,75
PIC-M9	6848	7,68	8,24
PIC-M8	6865	6,87	8,98
PIC-M7	6881	8,14	9,18
PIC-M6	6898	7,30	7,75
PIC-M5	6915	5,00	7,42
PIC-M4	6932	4,86	7,23
PIC-M3	6948	6,02	12,04
PIC-M2	6965	5,30	7,75
PIC-M1	6982	5,73	7,76
PIC-M0	6998	3,97	7,49

Figura 6.6. Resultados de las mediciones de %MO y %Cto sobre muestras del Perfil Inca Cueva.

	Serie %MO	Serie %Cto
Media	6,68%	6,84%
Mediana	5,32%	6,78%
Desvío estándar	5,79%	1,73%
Mínimo	0,95%	2,18%
Máximo	32,25%	12,04%

Figura 6.7. Estadística descriptiva básica de la distribución de valores de %MO y %Cto obtenidos del Perfil Inca Cueva.

Si bien esta secuencia presentó una media y desvío estándar de la serie de %MO similar a la de la secuencia PCh-1, el comportamiento de los valores a lo largo de la secuencia es mucho más variable, definiéndose varios periodos con valores por debajo y por encima de la media, encontrándose dos claros eventos extremos de concentración de MO en torno al 6630 AP y al 6025 AP.

La serie de valores de %Cto, por el contrario, tiene una variabilidad mucho menor que la presentada por la secuencia de PCh-1, según lo indicado por el desvío estándar de la media de la serie. Los valores anómalos (n=14, incluyendo 4 valores extremos) se dan de forma aislada, en la mayor parte de los casos.

En vista a esta gran variabilidad de corto plazo (*i.e.* decadal a centenaria) de las series de %MO y %Cto y dado que para esta secuencia sólo contamos con una descripción preliminar de su sedimentología, hemos tomado las tres Alofacies identificadas en la Alounidad A (Fig. 5.6) como base para guiar la descripción e interpretación del comportamiento de las series de %MO y %Cto de PIC. Como primera aproximación, se evaluará este comportamiento en relación a las medias de las series completas, teniendo en cuenta valores anómalos y extremos, como fue explicitado arriba.

El período correspondiente a la Alofacie A1 (6998 - 6329 AP) puede subdividirse en tres segmentos. El primero, entre el 6998 y 6496 AP (período A1a), se caracteriza por valores de %MO poco variables y próximos a la media de la serie. El segundo es un evento corto (6630 a 6597 AP), incluido dentro de primer segmento, que presenta valores anómalos y extremos de %MO (28,51%, 25,25% y 15,67%), que no tienen análogos en los humedales actuales/sub-actuales que hemos medido en el marco de esta tesis. El tercer segmento, a partir de 6480 AP (período A1b), se caracteriza por una caída de los valores de %MO por debajo de la media, manteniendo una cierta regularidad hasta el final del período correspondiente a la Alofacie A1 (*i.e.* 6329 AP).

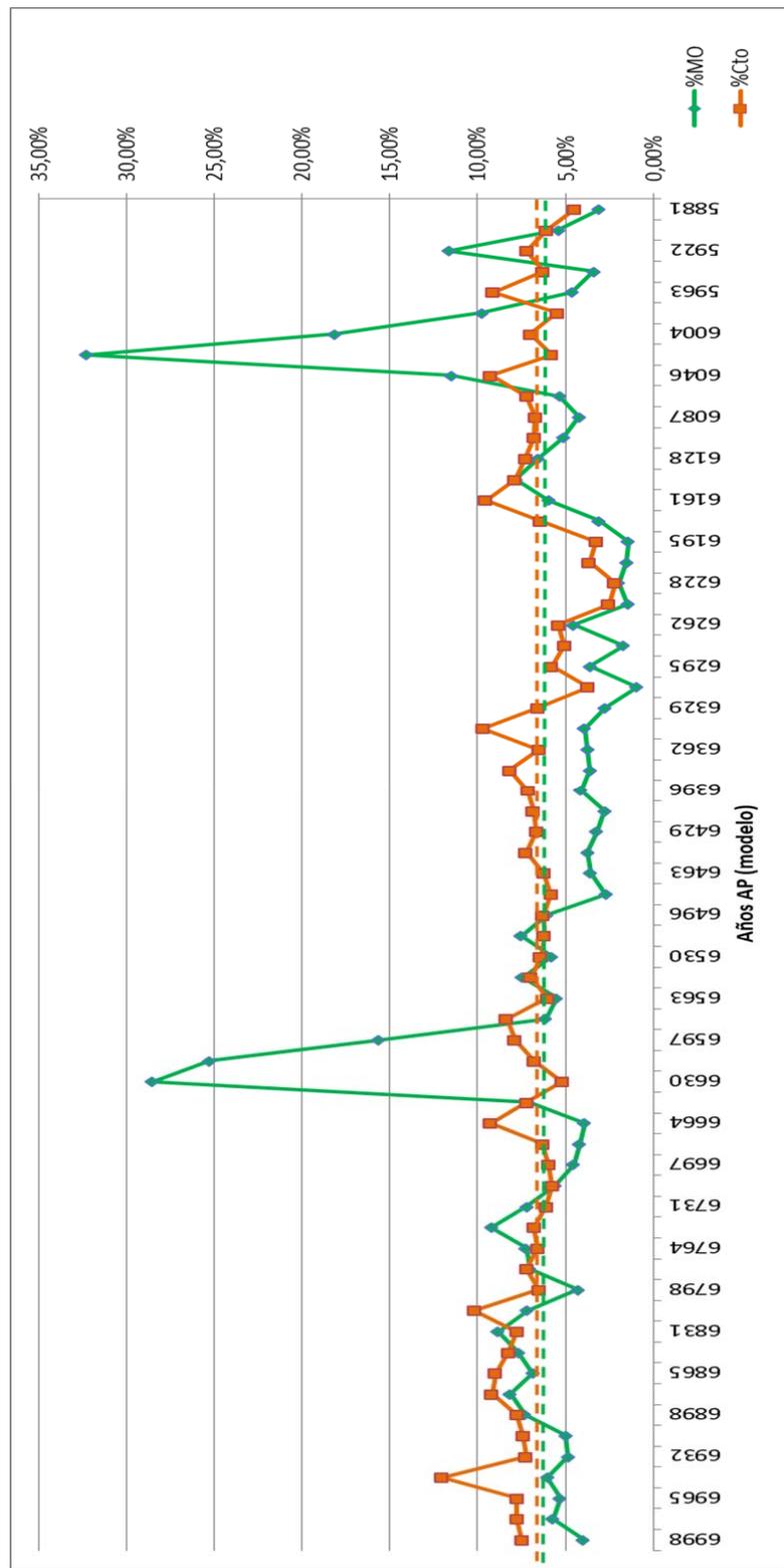


Figura 6.8. Valores de %MO y %Cto de la secuencia Inca Cueva en función de la edad de la muestra analizada. Las líneas punteadas representan la media de cada serie de datos.

Por su parte, los valores de %Cto permiten distinguir dos períodos. El primero abarca desde 6998 hasta 6798 años AP, caracterizado por valores elevados - incluyendo los más altos de toda la secuencia, valores extremos y anómalos (período A1 $\alpha$ , para distinguirlo de su análogo de la serie de %MO). El segundo, desde 6798 hasta 6326 AP (período A1 $\beta$ ), con valores en general por debajo de la media pero con eventos puntuales de mayor concentración de carbonatos que incluyen cinco eventos anómalos (*i.e.* 6664, 6580, 6563, 6373 y 6346 AP).

El segundo período o A2 (Alofacie A2), que comprende aproximadamente un siglo (*i.e.* 6329 y 6195 AP), presenta los valores más bajos de %MO y %Cto de toda la secuencia, los cuales son comparables con valores actuales de vegas de altitudes similares -*e.g.* Vega Lapao Chico.

El tercer período o A3 (Alofacie A3) de unos 300 años (6195 - 5881 AP), es altamente variable tanto en sus valores de %MO como de %Cto, aunque presenta cierto grado de periodicidad en una escala pluri-decadal (*ca.* 60 años) que incluye eventos anómalos y extremos, tanto positivos como negativos. Con la excepción del pico de %MO registrado en torno al 6025 AP, la curva de %MO se mantiene en torno o por debajo de la media de la serie, mientras que los valores de %Cto son en general más altos.

Para corroborar cuantitativamente estas diferencias entre los diferentes períodos identificados, se compararon estadísticamente los valores medios de %MO y %Cto de los segmentos de la secuencia correspondientes a esos períodos.

Al igual que en la secuencia PCh1, el test de Shapiro-Wilks permitió descartar la normalidad de la distribución de probabilidad de las variables %MO y %Cto en las muestras de algunos de los segmentos de la secuencia analizados; por este motivo,

se seleccionaron test no paramétricos para comparar las medias de estos valores entre los diferentes períodos considerados.

En el caso de la serie de %MO, el test de Kruskal-Wallis (*i.e.* equivalente al test de Mann-Whitney para más de dos muestras), indica que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los períodos analizados ( $H=33,53$ ;  $P=0$ ). También se realizó una comparación pareada utilizando el test de Mann-Whitney (Fig. 6.9). Este test demuestra que existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias del período A1a vs. A1b, A1a vs. A2, A1b vs. A3 y A2 vs. A3; inversamente, el test indica que la media de %MO del período A1b (6480 -6329 AP) es indistinguible de la media de %MO del período A2 (6329 – 6195 AP); un escenario similar se comprueba al comparar las medias de %MO de los períodos A1a (6998 – 6496 AP) y A3 (6195 – 5881 AP).

	Período A1a	Período A1b	Período A2
Período A1b	0,00002		
Período A2	0,00019	0,22080	
Período A3	1,00000	0,01028	0,00324

**Figura 6.9. Valores de P para el test de muestras pareadas de Mann-Whitney de la serie de %MO de los segmentos A1a, A1b, A2 y A3 de la secuencia PIC. En rojo los valores de P que indican la inexistencia de diferencias estadísticamente significativas entre las medidas de las distribuciones.**

Para el caso de la serie de %Cto, el test de Kruskal-Wallis indica que los períodos se diferencian significativamente ( $H=28,91$ ,  $P=0$ ). Las comparaciones pareadas utilizando el test de Mann-Whitney (Fig. 6.10) demuestran que existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias del período A1 $\alpha$  vs. A1 $\beta$ , A1 $\alpha$  vs. A2, A1 $\beta$  vs. A2, y A2 vs. A3. Asimismo, este test indica que las medias de los períodos A1 $\alpha$  (6998-6798 AP) y A1 $\beta$  (6798-6326) son indistinguibles estadísticamente de la media del período A3 (6195 – 5881 AP).

	Período A1 $\alpha$	Período A1 $\beta$	Período A2
Período A1 $\beta$	0,00359		
Período A2	0,00115	0,00022	
Período A3	0,07934	1,00000	0,00161

Figura 6.10. Valores de P para el test de muestras pareadas de Mann-Whitney de la serie de %Cto de los segmentos A1 $\alpha$ , A1 $\beta$ , A2 y A3 de la secuencia PIC. En rojo los valores de P que indican diferencias no estadísticamente significativas entre las medias de las distribuciones.

# Capítulo 7

---

---

## DISCUSIÓN

*"Si no puedes convencerlos, confúndelos"*

H. Truman

### *7.i. %MO y %Cto en suelos. Interpretaciones paleoambientales y cuestiones metodológicas.*

La interpretación de condiciones ambientales a partir de las variaciones en las concentraciones de MO y Cto en muestras sedimentarias presenta un alto grado de complejidad. Al respecto, valores bajos de %MO pueden ser indicativos de una menor bioproductividad en las inmediaciones del *locus* de muestreo, pero también puede ser reflejo de los procesos de trabajo de los sedimentos ocurridos en las márgenes de un cuerpo de agua (McGlue *et al.*, 2012). Más aún, la relación de los valores de %MO o %Cto con la disponibilidad de agua a nivel local o regional dista de ser clara. Valores bajos de %MO y %Cto pueden ser indicativos de un descenso de bioproductividad por falta sostenida de agua o, por el contrario, puede ser

evidencia de que el sitio de muestreo ha quedado debajo de una columna de agua profunda. También puede ser testimonio de acción fluvial. Asimismo, una mayor concentración de Cto puede ser indicativo, como fue explicado arriba, de una mayor bioproductividad acuática, de la acción de procesos evaporíticos o de ambos (Cohen, 2003) (*e.g.* asociados a un incremento de la temperatura). Por otra parte, un período sostenido de valores bajos de %Cto puede indicar tanto la presencia estable de un cuerpo de agua (*i.e.* un equilibrio positivo de *input* de agua/evaporación) como de la ausencia de agua por un período prolongado, ya que el origen de los depósitos de carbonato autóctono suele ser la precipitación de carbonatos en solución. En este contexto, resulta fundamental para la interpretación de estos resultados la integración de los dos tipos de datos *proxy* analizados en este trabajo, así como la incorporación de interpretaciones realizadas a partir de la secuencia sedimentaria, otros datos *proxy* biológicos disponibles (*i.e.* diatomeas y polen) y a partir de otras líneas de evidencia paleoambientales que puedan investigarse en el futuro.

### 7.i.1. Pastos Chicos 1

La secuencia de Pastos Chicos 1, de las dos estudiadas en esta Tesis, es la que permite abordar el problema de la diferencia ambiental entre el Holoceno Medio y otros períodos, dado el rango temporal representado por sus depósitos (*ca.* 9300-6700 AP). Como fue mencionado en el apartado de *Resultados*, hay una clara diferencia en bioproductividad primaria (*via* valores de %MO) cuando se compara el Holoceno Temprano con el Holoceno Medio, iniciándose este cambio hacia el 7900 AP. Luego de esta fecha, los valores de %MO caen significativamente, estabilizándose en niveles muy bajos hacia el 7500 AP, en torno al 2 o 3%, implicando una marcada reducción de la productividad primaria en esta localidad durante los primeros 1500 años del Holoceno Medio. Sumado al comportamiento

de los valores de %Cto, esta evidencia es coherente con un escenario de progresiva aridización que habría comenzado hacia el 7900 AP y la estabilización, a partir del 7500 AP, de un ambiente eminentemente palustre y pobre desde el punto de vista de la productividad primaria pero con episodios de humedad recurrentes. Estos episodios implicaron la formación y subsecuente desecación de cuerpos de agua someros y probablemente salobres en la localidad.

Sin embargo, la transición hacia ambientes más áridos no se hace manifiesta en estas líneas de evidencia de forma estrictamente sincrónica a lo observado en otros *proxy* biológicos (diatomeas, polen), si no que ocurre de manera más temprana. El análisis sedimentológico y geomorfológico señalan un proceso de expansión de la planicie aluvial y desarrollo de suelos hasta el 6300 AP, aproximadamente. Por otro lado, el inicio de la transición de un ambiente más húmedo a otro de características generales más áridas fue datado en torno al 6900 AP (análisis palinológico) o unos siglos antes (7400 AP, análisis de diatomeas) (Tchilinguirian *et al.*, 2014b). Las variaciones en el contenido de MO y Cto de las muestras de la secuencia, en cambio, marcan el inicio de este proceso hacia el 7900 AP.

Creemos que estas diferencias se deben a distintas cuestiones. En primer lugar a aspectos relacionados con la variabilidad en la resolución espacial de los *proxy*. Al respecto, las interpretaciones ambientales realizadas a partir del contenido de polen de las muestras indican una expansión de las especies arbustivas en detrimento de la estepa herbácea en torno a los 6900 AP, marcando la transición hacia ambientes más áridos. Sin embargo, la escala de esta señal es más probablemente regional o sub-regional y pone de relieve la influencia de la señal regional de herbáceas por sobre la local. Esta última estaría más relacionada a la vegetación de vega disponible durante el Holoceno Temprano, cuya señal se ve mejor representada por el %MO en la secuencia.

En segundo lugar consideramos que existe también variabilidad en el *tempo* de respuesta de las comunidades biológicas a cambios en los parámetros ambientales. Por ejemplo, la señal de polen antes descrita pudo haber estado relacionada con la proximidad de la estepa herbácea al *locus* muestreado, que habría estado emplazada hasta 200 m por debajo de su altitud actual (Tchilinguirian *et al.*, 2014b) y cuya retracción fue probablemente más lenta y progresiva, comparada con los cambios en la vegetación de vega. Asimismo, las variaciones de las comunidades de diatomeas, si bien son relativamente rápidas, están mediadas por la sensibilidad del ecosistema que las contiene, por lo que en sistemas amplios suelen generar señales notables sólo una vez que este sistema es modificado de manera ostensible en sus variables físico-químicas principales.

La contraparte de esta última afirmación se refiere a la sensibilidad particular de determinados *proxy* a “eventos” temporalmente acotados. Por ejemplo, episodios de incremento en las precipitaciones, aporte de nutrientes, desecación temporaria, y otros eventos particulares pueden causar cambios puntuales dramáticos en las comunidades de diatomeas o de fitoplancton, sin que esto tenga un impacto de similar magnitud en el conjunto de vegetación de una vega y su entorno inmediato. No obstante, estas variaciones son usualmente distinguibles en el registro paleoambiental dada la brevedad de su señal y la ausencia de cambios sustanciales y sostenidos en las especies dominantes de las asociaciones de la flora.

Un último factor que puede estar afectando la sincronía de los períodos o momentos ambientales en las reconstrucciones páleoecológicas como la llevada a cabo en esta localidad, son las elecciones metodológicas ligadas a la utilización de valores de referencia. Usualmente se analizan los cambios detectados en relación

con algún elemento o medida de referencia que permita comparar si las condiciones son más o menos húmedas/salobres/cálidas etc. El hecho de utilizar el valor medio de una serie –si bien es una estrategia frecuente y metodológicamente acertada- no cierra la posibilidad de generar diferencias al comparar distintos datos *proxy*, sino más bien todo lo contrario. Para poder salvar este tipo de discrepancias, una de las estrategias más usuales es utilizar como referencia las condiciones actuales del parámetro medido o estudiado. No obstante, este tipo de valores no suelen estar disponible para la mayor parte de los *proxy* utilizados en reconstrucciones paleoambientales y fue una de las principales razones por las que se tomó la decisión metodológica de incorporar este tipo de material en esta Tesis.

En síntesis, en lo que respecta a las condiciones paleoambientales locales de Pastos Chicos se observa la presencia durante el Holoceno Temprano de humedales muy productivos en términos de vegetación y con un equilibrio hídrico positivo estable, asociados a una planicie aluvial. Estos humedales habrían sido mucho más productivos que la mayor parte de los disponibles actualmente en la Puna Argentina. Hacia el 8000-7500 AP se habría consolidado gradualmente un ambiente palustre con una productividad primaria mucho menor enmarcado en un proceso de aridización regional. Si bien se postula la existencia de un cuerpo somero de agua durante este período, el mismo habría estado caracterizado por condiciones salobres, con abundante cantidad de sólidos disueltos y sujeto a desecaciones frecuentes de gran magnitud, con lo que se habría impedido el desarrollo de comunidades vegetales significativas comparables con las presentes en la localidad durante el Holoceno Temprano.

### 7.i.2. Inca Cueva (PIC)

Como se ha mencionado, el segmento de la secuencia estudiada hasta la fecha representa el período de *ca.* 7000 – 5800 AP y, por lo tanto, se encuentra incluido en el Holoceno Medio en su totalidad. En consecuencia, no sabemos aún qué impacto local pudo haber tenido la transición hacia condiciones regionales más áridas que caracterizaron este período, conocidas a partir de los estudios regionales ya mencionados en el Capítulo 2.

Sin embargo, sí contamos con datos sobre humedales actuales, presentados en la sección 6.ii.1. Estos datos pueden guiar las interpretaciones respecto al tipo de ambientes que podrían haber prevalecido durante los más de 1000 años representados en PIC. Asimismo, contamos con una descripción preliminar de la estratigrafía y sedimentos del perfil. La discusión que sigue integra esta información con los datos generados sobre muestras de PIC en el marco de la presente Tesis, con el objetivo de proveer un primer modelo de la evolución ambiental de la localidad durante el Holoceno Medio.

En términos ambientales, las condiciones comprendidas en los primeros 200 años de la secuencia (*ca.* 7000-6800 AP) se corresponden con un humedal vegetado, estable en términos de su variabilidad decadal, sujeto a episodios recurrentes de evaporación evidenciados por valores de %Cto elevados. Sus valores de %MO resultan comparables a los disponibles para vegas actuales de similar altitud, pero presentan valores de %Cto significativamente más altos que podrían estar señalando una incidencia mayor, ya sea en términos de frecuencia o de intensidad, de episodios de desecación. Los siguientes 500 años (6800 a 6300 AP) presentan

condiciones similares, aunque progresivamente menos vegetadas y con presencia de agua menos frecuente, según lo indicado por los menores valores de %Cto

El segundo período (Alofacie A2 – 6329 y 6195 AP) presenta los valores más bajos de %MO y %Cto de toda la secuencia. Estos valores son comparables a los de algunos humedales actuales (*e.g.* Vega Lapao Chico) y la textura de los sedimentos resulta indicativa de un ambiente de tipo fluvial. En general se trata de sedimentos areno-limosos a arenas finas/medias laminadas con materia orgánica. Consecuentemente, este lapso podría ser interpretado tentativamente como una paleo-planicie aluvial vegetada, con un ambiente de depositación hídrica de mayor energía.

El tercer período (Alofacie A3) de unos 300 años, que va desde el 6195 hasta 5881 AP, es altamente variable tanto en sus valores de %MO como de %Cto, aunque presenta cierto grado de periodicidad en una escala pluri-decadal (*ca.* 60 años) que incluye eventos anómalos y extremos, tanto positivos como negativos. Con la excepción del pico de %MO registrado en torno al 6025 AP, los valores de %MO se mantienen en torno o por debajo de la media de la serie, asociados a valores relativamente altos de %Cto. Así, pareciera tratarse de un ambiente similar al del primer período –*i.e.* un humedal profusamente vegetado-, sujeto a episodios frecuentes de desecación, aunque menos estable en el mediano plazo y con variaciones de una mayor amplitud. Sin embargo, esta señal pudo también deberse al incremento de episodios de aumento de la bioproductividad acuática que sean en parte responsables de las variaciones en la precipitación de Cto. Estos episodios de aumento de bioproductividad podrían haber estado más vinculados a aumentos cíclicos de la temperatura o a aporte de nutrientes que a variaciones significativas del equilibrio hídrico.

Por último, siguiendo a Pueyo y colaboradores (2011), a mediano y largo plazo la persistencia de valores altos de %Cto en casi toda la secuencia –por lo menos en comparación con los valores presentados por humedales actuales- es indicativa de un equilibrio hídrico negativo sostenido a lo largo de todo el período representado – *i.e.* 7000–5800 AP, con la posible excepción del lapso correspondiente a la Alofacie A2. Esta facie, con rasgos de génesis fluvial, podría estar asociada a un mayor nivel de humedad regional –responsable de la presencia de un sistema fluvial activo- pero, que a su vez, representa la fase de menor productividad primaria de la localidad, por lo menos en los términos en que podemos acceder a ella a través de los valores de %MO. En otras palabras, los resultados indican que la localidad de Inca Cueva pudo haber sido relativamente más productiva en términos de biomasa primaria en los momentos de mayor aridez regional del Holoceno Medio.

### *7.ii. Implicancias para la arqueología de la región.*

Si bien las dos secuencias estudiadas en el marco de esta tesis se solapan solamente en unos pocos cientos de años, podemos realizar un primer análisis integrador –si bien general- de los cambios ambientales experimentados en los sitios representados por las secuencias PCh1 y PIC, a partir de las líneas de evidencia presentadas en este trabajo.

Los estudios de archivos paleoambientales previos indican que el Holoceno Temprano (10000 – 8000 AP) habría presentado condiciones húmedas y estables para toda la región. Esto se refleja en el registro de %MO y %Cto de la secuencia PCh-1, con la excepción de un momento en torno al 9250 AP en que se produjo un evento de desecación significativo. Las condiciones de humedad y estabilidad se mantuvieron hasta el 8000 AP. Ya en este momento se manifiestan las primeras

señales de deterioro ambiental, iniciándose un proceso de aridización clara hacia el 7900 AP, con el comienzo del Holoceno Medio, que se mantuvo hasta el final de la secuencia, con algunos eventos de mayor humedad *ca.* 7600 AP y 6900 AP. Sin embargo, mientras que en los primeros mil años del Holoceno Medio, estas condiciones áridas mantuvieron una relativa estabilidad en largo plazo, como se observa en los valores de %MO y %Cto en la secuencia de PCh1, a partir del 6900 AP, se observa una mayor variabilidad en los valores de %Cto, la cual revela inestabilidad y una menor frecuencia en la presencia de agua en el sitio. En estos pocos siglos en los que la secuencia de PCh-1 y PIC se solapan (7000 – 6700), se puede observar un posible evento de desecación de alcance regional (*ca.* 7000), manifestado como un incremento del %Cto en PCh-1. Sin embargo, el impacto de este evento en la secuencia de PIC se encuentra temporalmente muy acotado, expresado en una única muestra (*ca.* 6950), observable por la alta resolución temporal que presenta el registro en este perfil. Tanto en este segmento en el que ambas secuencias se solapan como posteriormente, el escenario ambiental representado en PIC es de aridez regional, si bien con una mayor estabilidad a nivel decadal hasta *ca.* 6200 AP, seguido de una creciente inestabilidad vinculada a episodios más frecuentes de desecación. La excepción la constituye el período comprendido entre 6329 y 6195 AP, en el que un registro coherente con un cauce fluvial activo implica la incidencia de un evento de mayor humedad regional, si bien con una merma en la disponibilidad de biomasa primaria a nivel local. Por otra parte, los dos eventos extremos de bioproductividad incrementada (*ca.* 6600 y 6000 AP) constituyen ejemplos excepcionales del escenario opuesto: un ambiente local hiper-productivo en un marco regional de aridez significativa.

En este contexto, es razonable afirmar que el ambiente presentó sucesivas fases en cuanto a parámetros claves en la estructura de recursos disponibles para las poblaciones humanas: abundancia y previsibilidad espacio-temporal. Dado que

estos elementos establecen el marco de limitantes y posibilidades de base para el proceso de toma de decisiones estratégicas respecto a la subsistencia, la movilidad, la tecnología y otras esferas de organización humanas (Kelly, 1995), el cambio sufrido por la estructura de recursos a lo largo del Holoceno en la Puna Seca de Jujuy debe haber tenido un impacto significativo en todas estas esferas de organización.

Si bien un análisis detallado de estos cambios organizacionales excede el alcance de este trabajo, creemos que los resultados obtenidos aquí aportan información significativa a los modelos paleoambientales existentes para la región. El Holoceno Temprano parecería haber ofrecido agua más abundante y, por lo tanto, abundante biomasa primaria, de una manera más estable en el tiempo y más homogéneamente distribuida en el espacio (Morales, 2011), sin análogos modernos en cuanto a niveles de productividad de los ambientes de humedal, como se observa en la comparación de los valores de %MO obtenidos de PCh-1 con los observados en humedales actuales y sub-actuales. Sin embargo, estas condiciones de mayor disponibilidad y previsibilidad temporal de agua y recursos vegetales habría vuelto menos predecible espacialmente los recursos animales, especialmente camélidos, al estar menos restringidos a lugares específicos del paisaje (Morales, 2011).

La evidencia presentada en este trabajo indican que ya hacia el 8000 – 7900 AP, el inicio del proceso de aridización habría reducido la productividad de localidades previamente híper-productivos (*e.g.* Pastos Chicos). La estabilización de estas condiciones a lo largo de los primeros 500 años del Holoceno Medio habría aumentado la heterogeneidad espacial de los recursos, tanto de la biomasa primaria como de los recursos animales asociados a éstos. Sin embargo, la evidencia presentada aquí demuestra que aún en los momentos más áridos del

Holoceno Medio, ciertas localidades retuvieron un potencial productivo que los habría hecho atractivos para poblaciones humanas. Ciertamente, los valores de %MO en PCh-1 bajaron drásticamente a partir del 7900 AP; sin embargo, éstos no se alejan demasiado de los valores actuales presentados por vegas que sostienen poblaciones de camélidos actuales (*e.g.* Lapao Chico). Más aún, como hemos mencionado en el apartado anterior, los valores de %MO y %Cto obtenidos de la secuencia PIC permiten inferir el desarrollo local de humedales –y, por lo tanto, la disponibilidad de bioproductividad primaria significativa y sostenida- vinculados a períodos regionalmente más áridos.

En este contexto, es posible que Inca Cueva haya sido especialmente atractiva para las poblaciones humanas en estos momentos más áridos, mientras que en períodos más húmedos –*e.g.* 6329 y 6195 AP- su importancia relativa dentro de las estrategias de movilidad y asentamiento haya disminuido, en favor de otras localidades más productivas. Esto no es un detalle menor si tenemos en cuenta que la resolución temporal de grano fino del registro de PIC nos permite abordar el cambio ambiental a escala decadal, una escala directamente perceptible por los grupos humanos y, por lo tanto, con un posible impacto efectivo sobre el proceso de toma de decisiones de los grupos cazadores-recolectores que habitaron el área de estudio durante el lapso abordado en esta Tesis.

# Capítulo 8

---

---

## CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

*"Todo tiempo pasado fue anterior".*

Les Luthiers

Como se ha mencionado en la introducción de esta Tesis, el primer objetivo específico se orientaba a evaluar las metodologías alternativas de LOI para determinar %MO y %Cto en sedimentos. Este objetivo fue cumplido mediante la comparación de dos técnicas analíticas de LOI, de las cuales se seleccionó aquella que demostró mayor precisión y redujo la posibilidad de sub y sobreestimación de los %MO (Método 2). Esto se realizó como primer paso y como condición necesaria para la realización de todas las mediciones subsecuentes.

Resuelto este aspecto metodológico, se obtuvieron los valores de referencia de %MO y %Cto de seis humedales actuales de características biológicas, físicas y químicas diferentes, que representaron un gradiente altitudinal desde los 3600 hasta los 4200 msnm, como lo establecía el objetivo 2.

En los objetivos 3, 4 y 5 de esta Tesis se proponía determinar la evolución de la bioproductividad y el balance hídrico en las localidades de Pastos Chicos 1 e Inca Cueva durante el Holoceno Medio, a través de los análisis de contenido de MO y carbonatos; contrastar los resultados generados en Pastos Chicos con los previamente disponibles a partir del estudio de otros *proxy*; y generar una primera interpretación general sobre las características paleoambientales de la localidad de Inca Cueva. Para ello formulamos hipótesis de partida que sostenían que:

- a) *Se observarán variaciones diacrónicas a lo largo del Holoceno en el %MO y %Cto en sedimentos de la secuencias de Pastos Chicos 1 e Inca Cueva, coherentes con los cambios registrados a través de otros datos proxy en Pastos Chicos 1 y con los modelos de evolución ambiental general conocidos para los Andes Tropicales.*
  
- b) *Las condiciones durante la primera mitad del Holoceno Medio -8000-6000 AP- presentará indicadores de menor bioproductividad y/o menor humedad que el Holoceno Temprano, con un rango amplio de variación de valores de %MO y %Cto, consistente con una mayor heterogeneidad interna, climática e hídrica durante este período.*
  
- c) *Las condiciones ambientales en los humedales existentes durante los momentos más áridos del Holoceno Medio serían asimilables a las de los humedales con balances hídricos más pobres de los disponibles en la actualidad en la Puna Seca.*

Habida cuenta de los resultados obtenidos en el marco de este trabajo de investigación, podemos afirmar que las hipótesis de partida a) y b) se vieron corroboradas, al menos de forma preliminar. Sin embargo, la heterogeneidad

interna del Holoceno Medio no permite corroborar la hipótesis c) en los términos planteados, en por lo menos en dos sentidos. Por un lado, aún en los momentos más áridos del Holoceno Medio existieron episodios de bioproductividad primaria extremadamente alta en algunos puntos del paisaje, como se evidencia en Inca Cueva en torno al 6600 AP y al 6000 AP. Por otro lado, los valores de %MO para el Holoceno Medio en general en las localidades estudiadas no parecen diferir de los valores medidos en humedales actuales a diferentes altitudes, con la excepción de vegas localizadas a más de 4000 msnm. Lo que sí parece ser una diferencia significativa entre estos humedales del Holoceno Medio y los actuales es la intensidad de las desecaciones evidenciadas por los valores de %Cto en las muestras del Holoceno Temprano y Medio. Estos valores no presentan análogos actuales o sub-actuales, por lo menos en los humedales que hemos estudiado para esta Tesis.

Por último, se propuso evaluar el impacto del cambio en la bioproductividad y el equilibrio hídrico sobre la estructura de recursos de la región y su relación con los patrones organizativos de los grupos humanos que habitaron la puna Seca durante el Holoceno Medio. Si bien este objetivo global excede los alcances de esta Tesis, los datos generados aquí contribuyen a precisar los modelos paleoambientales con los que contamos para desarrollar hipótesis sobre los cambios organizacionales propuestos para el Holoceno Medio en la región.

En este sentido, planteamos la siguiente hipótesis de partida:

*d) Los cambios ambientales registrados en el Holoceno Medio tuvieron un impacto significativo en la estructura de recursos de la Puna Seca de Jujuy y esto puede explicar, por lo menos en parte, los cambios detectados en el registro arqueológico de la región para este período.*

La evidencia presentada aquí nos permite corroborar esta hipótesis, ya que es coherente con un proceso de progresivo aumento de heterogeneidad espacial y temporal de los recursos. La disponibilidad de agua hizo particularmente valiosas a estas localidades que mantuvieron un potencial productivo a lo largo del Holoceno Medio; sin embargo, la incidencia de episodios de desecación intensa habría sido muy frecuente, generando un importante y recurrente stress de recursos. Este escenario de *loci* productivos discretos en un marco de aridez, con una fuerte inestabilidad a escala directamente perceptible por los grupos humanos que habitaron la región en este período, habría requerido de estrategias de reducción de riesgo (Grosjean *et al.*, 2007) como estrategias de asentamiento y subsistencia siguiendo un modelo logístico (Kelly, 1995; Rodríguez, 2004; Yacobaccio & Morales, 2005), con una progresiva especialización e intensificación de la explotación de camélidos (Yacobaccio, Berberían & Nielsen, 2001; Morales, 2011). Las localidades como Pastos Chicos e Inca Cueva, que presentaron fases altamente productivas aun en los momentos regionalmente más áridos del Holoceno Medio, podrían haber sido ejemplos de zonas concentradoras de recursos (Yacobaccio & Morales, 2005) y con un rol preponderante, tal vez, dentro de las estrategias de movilidad y subsistencia mencionadas.

La construcción y refinamiento de modelos paleoambientales demanda la integración de la mayor cantidad de líneas de evidencia posible, para incorporar no sólo diversos factores climático-ambientales, sino también la multiplicidad de escalas temporales y espaciales en las que operan estos factores (Winterhalder & Smith, 1992; Dincauze, 2000; Oldfield, 2003; Olivera, Tchilinguirian & Grana, 2004). En este contexto en el que buscamos comprender las relaciones entre el cambio ambiental y los cambios en la organización de las sociedades humanas, las escalas espaciales y temporales micro *sensu* Dincauze (2000) es especialmente importante,

dado que éstas son las escalas en las que los grupos humanos se enfrentan a condiciones ambientales concretas y toman decisiones estratégicas. Esto, sumado a la alta heterogeneidad ambiental que pareciera haber presentado el Holoceno Medio en la Puna Argentina, hace imperiosa la necesidad de aumentar la cobertura de nuestros estudios paleoambientales en la región, particularmente a nivel de localidades con diversas áreas de captación hídrica y analizando datos *proxy* que informen sobre estas escalas espaciales y temporales micro.

Las líneas de evidencia y técnicas utilizadas aquí presentan no sólo una oportunidad de avanzar en el estudio del paleoambiente a estas escalas relevantes para la adaptación humana en el pasado, sino también una oportunidad práctica, dado que permiten el procesamiento rápido y relativamente poco costoso de una gran cantidad de muestras. Asimismo, el análisis de contenido de MO y Cto en sedimentos constituye un paso previo y complementario para la realización de otros análisis geoquímicos (*e.g.* contenido y composición isotópica de elementos livianos, susceptibilidad magnética, etc.). Así, podremos expandir mucho más rápidamente la cobertura de nuestros marcos de referencia, así como precisar a diversas escalas temporales y espaciales los modelos paleoambientales con los que contamos para comprender las interacciones entre el ambiente y la organización de los grupos humanos en el pasado.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Abbott, M. B., Seltzer, G. O., Kelts, K. R., & Southon, J. (1997). Holocene paleohydrology of the tropical Andes from lake records. *Quaternary Research*, 47(1), 70-80.
- Abbott, M. B., Wolfe, B. B., Wolfe, A. P., Seltzer, G. O., Aravena, R., Mark, B. G., et al. (2003). Holocene paleohydrology and glacial history of the central Andes using multiproxy lake sediment studies. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 194(1-3), 123-138.
- Arzamendia, Y., Cassini, M. H., & Vilá, B. L. (2006). Habitat use by vicuña vicugna in laguna Pozuelos Reserve, Jujuy, Argentina. *Oryx*, 40(2), 198-203.
- Aschero, C., & Martínez, J. (2001). Técnicas de caza en Antofagasta de la Sierra, Puna meridional argentina. *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología*, 26.
- Aschero, C., & Podestá, M. (1986). El arte rupestre en asentamientos Prececerámicos de la Puna argentina. *RUNA*, 16, 19-57.
- Aschero, C. A., & Hocsman, S. (2011). Archaeology of late Middle Holocene hunter-gatherers of Antofagasta de la Sierra (Southern Argentinean Puna). *Chungará*, 43, 393-411.
- Ball, D. (1964). Loss-on-ignition as an estimate of organic matter and organic carbon in non-calcareous soils. *Journal of Soil Science*, 15(1), 84-92.
- Barber, K., & Charman, D. (2003). Holocene palaeoclimate records from peatlands. In A. Mackay, R. Battarbee, J. Birks & F. Oldfield (Eds.), *Global change in the Holocene* (pp. 210-226). London: Arnold, Hodder Headline Group.
- Beaudoin, A. (2003). A comparison of two methods for estimating the organic content of sediments. *Journal of Paleolimnology*, 29(3), 387-390.

- Bennett, K. (1994). Confidence intervals for age estimates and deposition times in late-Quaternary sediment sequences. *The Holocene*, 4(4), 337-348.
- 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(5484), 1542.
- Binford, L. R. (2001). *Constructing frames of reference: an analytical method for archaeological theory building using hunter-gatherer and environmental data sets*. University of California Press.
- Borgnia, M., Maggi, A., Arriaga, M., Aued, B., Vilá, B. L., & Cassini, M. H. (2006). Caracterización de la vegetación en la Reserva de Biósfera Laguna Blanca (Catamarca, Argentina). *Ecología austral*, 16(1), 29-45.
- Bradbury, J., 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. *Interhemispheric Climate Linkages* (pp. 265-291): Academic Press.
- Butzer, K. W. (1982). *Archaeology as human ecology: method and theory for a contextual approach*. Cambridge University Press.
- Cabrera, A. L. (1976). Regiones fitogeográficas argentinas, *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Ganadería*. (Vol. 2). Buenos Aires: ACME.
- Cohen, A. S. (2003). *Paleolimnology: the history and evolution of lake systems*. Oxford University Press, USA.
- Dean, W. E. (1974). Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Research*, 44(1).
- Dincauze, D. F. (1987). Strategies for paleoenvironmental reconstruction in archaeology. *Advances in Archaeological Method and Theory*, 11, 255-336.

- Dincauze, D. F. (2000). *Environmental archaeology: principles and practice*. Cambridge University Press.
- Dollfus, O. (1991). *Territorios andinos: reto y memoria*. Lima, Perú: Instituto Francés de Estudios Andinos/Instituto de Estudios Peruanos.
- Engleman, E. E., Jackson, L. L., & Norton, D. R. (1985). Determination of carbonate carbon in geological materials by coulometric titration. *Chemical Geology*, 53(1), 125-128.
- Fernández, C. A. (1994). An outline of paleolimnology in Argentina. *Journal of Paleolimnology*, 10(1), 3-16.
- Fernández, J., Markgraf, V., Panarello, H. O., Albero, M., Angiolini, F. E., Valencio, S., et al. (1991). Late Pleistocene/Early Holocene environments and climates, fauna, and human occupation in the Argentine Altiplano. *Geoarchaeology*, 6(3), 251-272.
- Geyh, M. A., Grosjean, M., Núñez, L., & Schotterer, U. (1999). Radiocarbon reservoir effect and the timing of the late-Glacial/Early Holocene humid phase in the Atacama desert (northern Chile). *Quaternary Research*, 52(2), 143-153.
- 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. Trabajos de las VI Jornadas de Jóvenes Investigadores en Ciencias Antropológicas, Buenos Aires.
- Grosjean, M. (2001). Mid-Holocene climate in the south-central Andes: humid or dry? *Science*, 292(5526), 2391.
- Grosjean, M., Cartajena, I., Geyh, M. A., & Núñez, L. (2003). From proxy data to paleoclimate interpretation: the mid-Holocene paradox of the Atacama Desert, northern Chile. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 194(1), 247-258.

- Grosjean, M., & Núñez, A. L. (1994). Lateglacial, early and middle Holocene environments, human occupation, and resource use in the Atacama (northern Chile). *Geoarchaeology*, 9(4), 271-286.
- Grosjean, M., Núñez, L. A., & Cartajena, I. (2005). Cultural response to climate change in the Atacama Desert. In S. Smith & P. Hesse (Eds.), *23° South: Archaeology and Environmental History of the Southern Deserts* (pp. 156-171): National Museum of Australia Press.
- Grosjean, M., Santoro, C. M., Thompson, L. G., Núñez, L., & Standen, V. G. (2007). Mid-Holocene climate and culture change in the South Central Andes. In *Climate Change and Cultural Dynamics: A Global Perspective on Mid-Holocene Transitions*. (pp. 51-115). London: Academic Press.
- Grosjean, M., Valero-Garcés, B. L., Geyh, M. A., Messerli, B., Schotterer, U., Schreier, H., et al. (1997). Mid-and late-Holocene limnogeology of Laguna del Negro Francisco, northern Chile, and its palaeoclimatic implications. *The Holocene*, 7(2), 151-159.
- Hammer, O., Harper, D., & Ryan, P. (2001). PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 9.
- Heiri, O., Lotter, A. F., & Lemcke, G. (2001). Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology*, 25(1), 101-110.
- Hernández Llosas, M. I. (2000). Quebradas altas de Humahuaca a través del tiempo: el caso Pintoscayoc. *Estudios sociales del NOA*, 4(2), 167-224.
- Hogg, A. G., Hua, Q., Blackwell, P. G., Niu, M., Buck, C. E., Guilderson, T. P., et al. (2013). SHCal13 Southern Hemisphere calibration, 0–50,000 cal yr BP. *Radiocarbon*.
- Kelly, R. L. (1995). *The foraging spectrum: Diversity in hunter-gatherer lifeways*. Smithsonian Institution Press Washington.

- Latorre, C., Betancourt, J. L., & 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. *Quaternary Research*, 65(3), 450-466.
- Latorre, C., Betancourt, J. L., Rylander, K. A., & Quade, J. (2002). Vegetation invasions into absolute desert: A 45,000 yr rodent midden record from the Calama–Salar de Atacama basins, northern Chile (lat 22°–24° S). *Geological Society of America Bulletin*, 114(3), 349.
- Latorre, C., Betancourt, J. L., Rylander, K. A., 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(1), 223-246.
- López, G. E. J. (2008). *Arqueología de cazadores y pastores en tierras altas: ocupaciones humanas a lo largo del Holoceno en Pastos Grandes, Puna de Salta, Argentina*. London: British Archaeological Reports Limited.
- Lupo, L. C. (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*. Fakultät für Geschichts- und Geowissenschaften Universität Bamberg.
- Markgraf, V. (1985). Paleoenvironmental history of the last 10,000 years in northwestern Argentina. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie*, 11(12), 1739-1748.
- McGlue, M. M., Ellis, G. S., Cohen, A. S., & Swarzenski, P. W. (2012). Playa-lake sedimentation and organic matter accumulation in an Andean piggyback basin: the recent record from the Cuenca de Pozuelos, Northwest Argentina. *Sedimentology*, 59(4), 1237-1256.
- Meyers, P. A. (2003). Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes. *Organic Geochemistry*, 34(2), 261-289.

- Meyers, P. A., & Lallier-Vergès, E. (1999). Lacustrine sedimentary organic matter records of Late Quaternary paleoclimates. *Journal of Paleolimnology*, 21(3), 345-372.
- Meyers, P. A., & Teranes, J. L. (2001). Sediment organic matter. In W. M. Last & J. P. Smol (Eds.), *Tracking environmental change using lake sediments* (pp. 239-269): Springer.
- 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* (Vol. 15). Oxford, UK: Archaeopress.
- Morales, M., & Schitteck, K. (2008). *Primeros resultados paleoambientales del Holoceno medio en Alto Tocomar (Puna Salteña): interpretación local e implicancias regionales*. Paper presented at the Libro de resúmenes de las 1° Jornadas del Área Puneña de los Andes Centro-Sur., Tucumán.
- Moreno, A., Giralt, S., Valero-Garcés, B., Sáez, A., Bao, R., Prego, R., et al. (2007). A 14kyr record of the tropical Andes: The Lago Chungará sequence (18° S, northern Chilean Altiplano). *Quaternary international*, 161(1), 4-21.
- Müller, G., & Gastner, M. (1971). The 'Karbonat-Bombe', a simple device for the determination of carbonate content in sediment, soils, and other materials. *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Monatshefte*, 10, 466-469.
- Núñez, L., & Santoro, C. M. (1988). Cazadores de la puna seca y salada del área centro-sur Andina (Norte de Chile). *Estudios Atacameños*(9), 11-60.
- Oldfield, F. (2003). Introduction: the Holocene, a Special Time. In A. Mackay, R. Battarbee, J. Birks & F. Oldfield (Eds.), *Global change in the Holocene*. London: Arnold, Hodder Headline Group.
- Olivera, D., & Tchilinguirian, P. (2006). *Humedales de altura y capacidad de sustentación para camélidos (Antofagasta de la Sierra, Catamarca,*

*Argentina*). Paper presented at the Memorias del IV Congreso Mundial de Camélidos., Santa María.

- Olivera, D., Tchilinguirian, P., & de Aguirre, M. J. (2006). Cultural and environmental evolution in the meridional sector of the Puna of Atacama during the Holocene. *BAR INTERNATIONAL SERIES*, 1524, 7.
- Olivera, D. E., Tchilinguirian, P., & Grana, L. (2004). Paleoambiente y arqueología en la Puna Meridional argentina: archivos ambientales, escalas de análisis y registro arqueológico. *Relaciones-Sociedad Argentina de Antropología*(29), 229-248.
- 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.*, Universidad de Buenos Aires.
- Pintar, E. (2009). Un "ecorrefugio" en la cuenca de la Laguna de Antofagasta (Puna Salada) entre 7900 y 6200 años AP. *Arqueología*, 15, 85-108.
- Pueyo, J. J., Sáez, A., Giralt, S., Valero-Garcés, B. L., Moreno, A., Bao, R., et al. (2011). Carbonate and organic matter sedimentation and isotopic signatures in Lake Chungará, Chilean Altiplano, during the last 12.3 kyr. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 307(1), 339-355.
- Ramírez, E., Hoffmann, G., Taupin, J.-D., Francou, B., Ribstein, P., Caillon, N., et al. (2003). A new Andean deep ice core from Nevado Illimani (6350 m), Bolivia. *Earth and Planetary Science Letters*, 212(3), 337-350.
- Ratto, N., Carolina, M., Hongn, F., & Randall, M. (2008). *Gente y volcanes: el registro arqueológico de ambientes inestables del oeste Tinogasteño de Catamarca (ca. 1500-1500 AP)*. Paper presented at the Primeras jornadas de arqueología del área Puneña de los Andes Centro-Sur, San Miguel de Tucumán.

- Rech, J. A., Pigati, J. S., Quade, J., & Betancourt, J. L. (2003). Re-evaluation of mid-Holocene deposits at Quebrada Puripica, northern Chile. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, *194*(1), 207-222.
- Riedinger, M. A., Steinitz-Kannan, M., Last, W. M., & Brenner, M. (2002). A 6100 14C yr record of El Niño activity from the Galápagos Islands. *Journal of Paleolimnology*, *27*(1), 1-7.
- Rodbell, D. T., Seltzer, G. O., Anderson, D. M., Abbott, M. B., Enfield, D. B., & Newman, J. H. (1999). An~ 15,000-year record of El Niño-driven alluviation in southwestern Ecuador. *Science*, *283*(5401), 516-520.
- Rodríguez, M. F. (2004). Cambios en el uso de los recursos vegetales durante el Holoceno en la Puna meridional argentina. *Chungará (Arica)*, *36*, 403-413.
- Rowe, H. D., Dunbar, R. B., Mucciarone, D. A., Seltzer, G. O., Baker, P. A., & Fritz, S. (2002). Insolation, moisture balance and climate change on the South American Altiplano since the Last Glacial Maximum. *Climatic Change*, *52*(1-2), 175-199.
- Ruthsatz, B. (1993). Flora and ecological conditions of high Andean mires of Chile between 18 degree 00'(Arica) and 40 degree 30'(Osorno) s. lat. *Phytocoenologia*, *23*, 157-199.
- Ruthsatz, B. (2000). Die Hartpolstermoore der Hochanden und ihre Artenvielfalt. Ber. D. Reinh. *Tüxen-Ges*, *12*, 351-371.
- Santisteban, J. I., Mediavilla, R., Lopez-Pamo, E., Dabrio, C. J., Zapata, M. B. R., García, M. J. G., et al. (2004). Loss on ignition: a qualitative or quantitative method for organic matter and carbonate mineral content in sediments? *Journal of Paleolimnology*, *32*(3), 287-299.
- Schitteck, K., Forbriger, M., Schábitz, F., & Eitel, B. (2012). Cushion peatlands-fragile water resources in the high Andes of southern Peru. En H. Weingartner, O. Blumenstein & M. Vavelidis (Eds.), *Water-Contributions to sustainable supply and use*, Vol. 4.. Universität Salzburg, Fachbereich Geographie und Geologie, Salzburg

- Schumacher, B. A. (2002). Methods for the determination of total organic carbon (TOC) in soils and sediments. *Ecological Risk Assessment Support Center*, 1-23.
- Servant, M., & Servant-Vildary, S. (2003). Holocene precipitation and atmospheric changes inferred from river paleowetlands in the Bolivian Andes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 194(1), 187-206.
- Squeo, F. A., Osorio, R., & Arancio, G. (1994). *Flora de los Andes de Coquimbo: cordillera de Doña Ana*. Universidad de La Serena.
- Squeo, F. A., Veit, H., Arancio, G., Gutierrez, J. R., Arroyo, M. T., & Olivares, N. (1993). Spatial heterogeneity of high mountain vegetation in the Andean desert zone of Chile. *Mountain Research and Development*, 203-209.
- Tchilinguirian, P. (2009). *Paleoambientes holocenos en la Puna Austral, Provincia de Catamarca (27°S): implicancias geoarqueológicas*. Tesis de doctorado, Universidad de Buenos Aires.
- Tchilinguirian, P., & Morales, M. R. (2013). Mid-Holocene paleoenvironments in Northwestern Argentina: Main patterns and discrepancies. *Quaternary international*, 307(0), 14-23.
- Tchilinguirian, P., Morales, M., Oxman, B., & Pirola, M. (2014a). Paleoenvironmental studies of the Quebrada de Lapao, Jujuy Province, Argentina (23°22' 01" S, 66° 21' 52.8" W, 3650 m a.s.l.) for the 9400 - 7300 yrs B.P. span. En D. Kligmann & M. Morales (Eds.), *Physical, Chemical and Biological Markers in Argentine Archaeology: Theory, Methods and Applications*. Oxford British Archaeological Research International Series, Archaeopress (En prensa).
- Tchilinguirian, P., Morales, M. R., Oxman, B., Lupo, L. C., Olivera, D. E., & Yacobaccio, H. D. (2014b). Early to Middle Holocene transition in the

Pastos Chicos record, dry Puna of Argentina. *Quaternary international*, 330(0), 171-182.

- Tchilinguirian, P., & Olivera, D. (2005). *Evolución paleoambiental e implicancias geoarqueológicas en Laguna Colorada, Puna Catamarqueña, Argentina*. Trabajo presentado en el XVI Congreso Geológico Nacional Argentino, La Plata.
- Thompson, L. G., Davis, M. E., Mosley-Thompson, E., Sowers, T. A., Henderson, K. A., Zagorodnov, V. S., et al. (1998). A 25,000-year tropical climate history from Bolivian ice cores. *Science*, 282(5395), 1858-1864.
- Thompson, L. G., Mosley-Thompson, E., Davis, M. E., Lin, P. N., Henderson, K. A., Cole-Dai, J., et al. (1995). Late glacial stage and Holocene tropical ice core records from Huascarán, Peru. *Science*, 269(5220), 46-50.
- Thompson, L. G., Mosley-Thompson, E., & Henderson, K. A. (2000). Ice-core palaeoclimate records in tropical South America since the Last Glacial Maximum. *Journal of Quaternary Science*, 15(4), 377-394.
- Valero-Garcés, B., Delgado-Huertas, A., Ratto, N., Navas, A., & Edwards, L. (2000). Paleohydrology of Andean saline lakes from sedimentological and isotopic records, Northwestern Argentina. *Journal of Paleolimnology*, 24(3), 343-359.
- Valero-Garcés, B. L., 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(1), 319-338.
- Veit, H. (1996). Southern Westerlies during the Holocene deduced from geomorphological and pedological studies in the Norte Chico, Northern Chile (27–33 S). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 123(1), 107-119.
- Villagrán, C. (1993). Una interpretación climática del registro palinológico del último ciclo glacial-postglacial en Sudamérica. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 22, 243-258.

- Villagrán, C., Arroyo, M., & Marticorena, C. (1983). Efectos de la desertización en la distribución de la flora andina de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 56(2), 137-157.
- Villagrán, C., & Castro, V. (2003). *Ciencia indígena de los Andes del norte de Chile*. Editorial Universitaria.
- Vuille, M., & Keimig, F. (2010). Interannual variability of summertime convective cloudiness and precipitation in the central Andes derived from ISCCP-B3 data. *Journal of Climate*, 17, 3334–3348.
- Winterhalder, B., & Smith, E. A. (1992). Evolutionary ecology and the social sciences. En B. Winterhalder & E. A. Smith (Eds.), *Evolutionary ecology and human behavior*. Transaction Publishers, New Brunswick
- Yacobaccio, H. (1994). Biomasa animal y consumo en el Pleistoceno-Holoceno Surandino. *Arqueología*, 4, 43-71.
- Yacobaccio, H. (2004). Social dimensions of camelid domestication in the southern Andes. *Anthropozoologica*, 39(1), 237-247.
- Yacobaccio, H., Berberían, E., & Nielsen, A. (2001). *La domesticación de camélidos en el Noroeste Argentino*. En E. Berberían & A. Nielsen (Eds.), *Historia argentina prehispánica*, Vol. 1: 7-40. Brujas, Córdoba
- Yacobaccio, H., Catá, M., Morales, M., Joly, D., & Azcune, C. (2007). Ocupaciones humanas tempranas en la Puna de Atacama: el Alero Hornillos 2, Susques (Jujuy). *British Archaeological Reports*, En prensa.
- Yacobaccio, H. D., & Morales, M. (2005). Mid-Holocene environment and human occupation of the Puna (Susques, Argentina). *Quaternary international*, 132(1), 5-14.
- Zhou, J., & Lau, K. (1998). Does a monsoon climate exist over South America? *Journal of Climate*, 11(5), 1020-1040.