

## Capítulo 16

### Clima y Paleoambientes durante el Cuaternario Tardío en la Región de Atacama

ANTONIO MALDONADO & EDGAR ROZAS

#### RESUMEN

El clima del pasado en la Región de Atacama ha estado ligado principalmente a la interacción del Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur y las escasas precipitaciones originadas tanto en el Cinturón de Vientos del Oeste, como en el Cinturón de vientos Alisios del Este. Los principales cambios inferidos para esta zona desde el Pleistoceno Tardío hasta el presente corresponden a los del Último Máximo Glacial, que se habría expresado en la zona con temperaturas más frías y montos pluviométricos superiores a los actuales. Destaca una fase húmeda en la zona cordillerana durante el periodo tardiglacial, entre ~14.000-11.000 años Antes del Presente (AP), con altos valores de precipitaciones y reavances glaciares, probablemente asociados al sistema de precipitaciones de los Alisios, de la vertiente Amazónica de los Andes. Durante el Holoceno, la mayoría de los antecedentes sugieren condiciones muy áridas, con máximos en torno a ~7.000-6.000 años AP las que posteriormente habrían disminuido paulatinamente, para luego de variaciones menores llegar a las actuales condiciones ambientales en la zona. Dentro de este último periodo se ha registrado la mayor frecuencia de eventos asociados a fenómenos El Niño, en torno a ~2.000-1.500 años AP.

**Palabras clave:** Paleoclima, Holoceno, Pleistoceno Tardío, Zona Árida de Chile, Cinturón de Vientos del Oeste.

#### INTRODUCCIÓN

La Región de Atacama, se ubica entre la región árida del Norte grande de Chile, con influencia climática de las lluvias estivales amazónicas del Este en la parte alta de la cordillera y por el sur la zona mediterránea de Chile central, con las últimas expresiones de lluvias invernales provenientes del Cinturón de Vientos del Oeste. Por lo tanto, pese a ser una zona caracterizada por la influencia del Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur, recibe la influencia climática de ambas áreas vecinas. Esta situación, junto con la escasez de antecedentes paleoclimáticos en la región, lleva a una revisión más amplia que la exclusiva Región de Atacama, incluyendo las zonas geográficas a ambos lados del área de estudio.

Así, en este capítulo se pretende entregar una visión del estado actual del conocimiento paleoclimático y de la vegetación asociada de la Región de Atacama (~26-29°S) y áreas geográficas vecinas, de las cuales es posible extraer información hacia el área de estudio, centrándonos en el Pleistoceno Tardío, particularmente en los últimos 40.000 años.

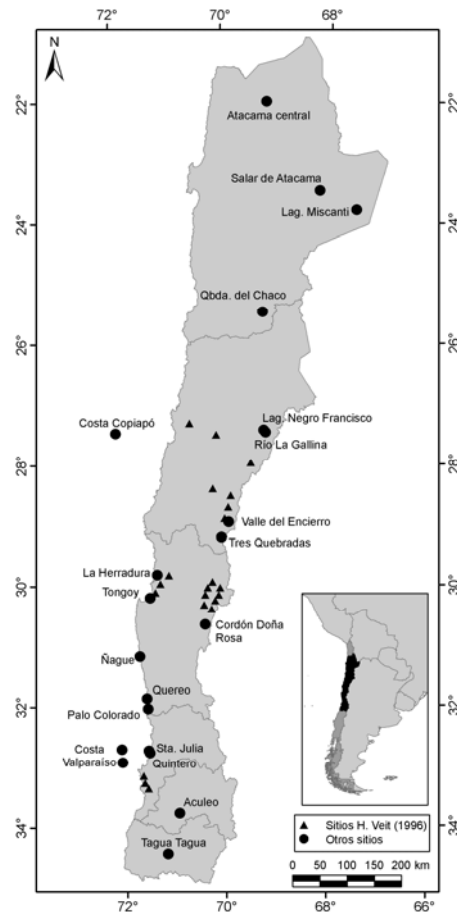
## Registros Paleoclimáticos de la Región de Atacama

El carácter de transición de la Región de Atacama, entre el área de influencia del Cinturón de Vientos del Oeste y el Cinturón de Vientos Alisios del Este, le confiere un interés especial, para comprender la relación en el tiempo entre estos dos sistemas climáticos, pese a esto, el carácter árido de la región ha dificultado el desarrollo de estudios paleoclimáticos en la zona, de esta manera los estudios paleoclimáticos en el Norte Chico, y específicamente dentro de la Región de Atacama, son escasos. La mayoría de ellos corresponden a investigaciones realizadas en la alta cordillera, e incluyen el análisis de sedimentos lacustres y estudios de avances y retrocesos glaciares, sin embargo, el registro que presenta una escala temporal más amplia corresponde a un testigo de sedimentos marinos obtenido a los 27°30'S, a la latitud de Copiapó (Lamy et al. 1998) (Fig. 1). Este registro sugiere una alta correlación entre ciclos de la órbita terrestre, en particular de *presesión* de los equinoccios (i.e., cambio en el ángulo del eje terrestre), con amplitud de ~21.700 años, y las variaciones en las precipitaciones inferidas para la zona durante los últimos 120.000 años, las cuales son atribuidas a los sistemas frontales originadas en el cinturón de vientos del oeste (Lamy et al. 1998, Lamy et al. 2000, Stuu & Lamy 2004). Una visión más acabada de los últimos 80.000 años sugiere una variabilidad superimpuesta de menor escala asociada a la ciclicidad de escala milenial del noratlántico (Lamy et al. 2000).

En particular para el Último Máximo Glaciar y el período glaciar tardío, el análisis de sedimentos indica una mayor cantidad de precipitaciones en la zona de estudio, con montos máximos en torno a 20.000-30.000 años AP, las cuales habrían ido disminuyendo hacia comienzos del Holoceno donde termina este registro (Lamy et al. 1998, 2000, Stuu & Lamy 2004). Concordantemente, en la alta cordillera, análisis de geoformas y fechados de morrenas antiguas, sugieren al menos dos avances glaciares en Valle del Encierro (29°S) a los ~14.000 años AP y 11.500 años AP (Zech et al. 2006), con estimaciones de descensos de 5,5°C en las temperaturas y aumentos hasta de 550 mm en los montos anuales de precipitaciones (Kull et al. 2002), adicionalmente se ha registrado, aún con ciertas dudas un avance glaciar anterior a los ~24.000 (Zech et al. 2006).

Durante los inicios del Holoceno se ha estimado una edad de 10.400 años AP para el derretimiento de los glaciares cubiertos del último avance del Pleistoceno, y una fecha de 9.300 años AP para la estabilización de las geoformas en el Valle del Encierro (Zech et al. 2006). Durante este período, estudios pedológicos, en una amplia zona geográfica (27-33°S), indican que al menos desde los 9.500 años AP se habrían registrado intensas precipitaciones en forma de nieve, y acumulación de abanicos fluviales en los Andes al sur de la diagonal árida (~27°S), junto con la formación de suelos en la línea costera, sugiriendo mayor humedad (Veit 1996). Uno de los últimos pulsos de humedad del Holoceno temprano, atribuido a lluvias estivales, es registrado en paleomadrigueros de roedores del sector de Doña Inés Chica (26°S) hacia los 7.500-7.300 años AP (Villavicencio et al. 2007). Desde los 7.300 años AP, se habría producido una disminución de las precipitaciones aportadas por nevadas en los Andes del Norte Chico, lo que explicaría la ausencia de abanicos fluviales durante este período, condiciones que se habrían mantenido hasta 5.000 años AP (Veit, 1996). Teniendo en cuenta los problemas de fechados que puede tener el registro de Laguna del Negro Francisco ubicada en la alta cordillera (27°30'S), los estudios sedimentológicos y geoquímicos de este registro son concordantes al sugerir condiciones áridas al menos desde 6.000 y

hasta 3.800 años AP (Grosjean et al. 1997), por otro lado los análisis pedológicos sugieren que las precipitaciones habrían nuevamente aumentado entre los 5.000 y los 3.700 años AP, pero concentrándose en la zona de la alta cordillera, evidenciando a través de la alta actividad aluvial registrada en este período para la zona (Veit 1996). Según Veit (1996), tanto los valles centrales como la línea costera habrían experimentado altas tasas de erosión y escasa formación vegetal, este escenario se explicaría por disminución de la neblina costera y aumento de la actividad del sistema climático de los Vientos del Oeste. Pese a la aparente discordancia entre fechas para el término de la fase árida del Holoceno medio, diferencias en la sensibilidad en los indicadores paleoclimáticos y una recuperación gradual de la humedad puede ser la causa de estas diferencias, como fuera sugerido para los registros de la costa de la región de Coquimbo (Maldonado & Villagrán 2006).



**Fig. 1.** Mapa del área de estudio y regiones adyacentes. En círculos se muestran los sitios mencionados en el texto y en triángulos, los puntos de muestreo del trabajo de Veit (1996), que incluye todo el Norte Chico.

Durante el Holoceno tardío, aparecen nuevos antecedentes que indicarían que en este período se registró una alta variabilidad climática. Los análisis de sedimentos lacustres en Laguna del Negro Francisco muestra que entre los 3.000 y 1.800 años AP, la humedad efectiva en el extremo sur de los Andes Centrales (29°S) habría sido entre 20 y 30% superior a las condiciones actuales (Grosjean et al. 1997). Este aumento en las precipitaciones habría

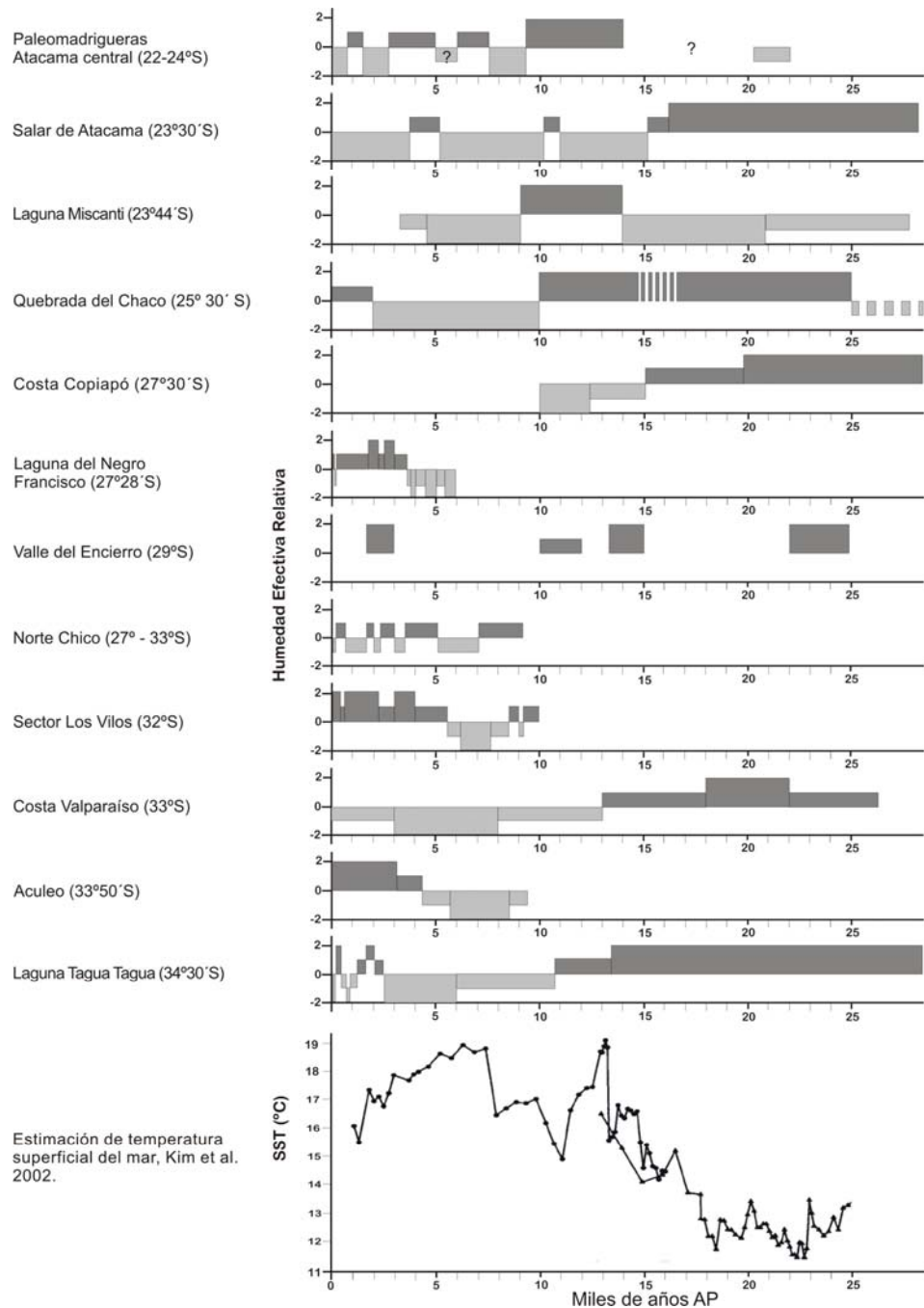
generado las condiciones necesarias para producir el avance glaciar registrado en Valle del Encierro y Valle Valeriano (~29°05'S), hacia los 2.600 años AP (Grosjean et al. 1998). Estos resultados concuerdan con los estudios de paleosuelos que reportan un incremento en la dinámica de depositación de abanicos fluviales posterior a los 3.000 años AP (Veit 1996), probablemente este evento tendría su origen en un desplazamiento norte del Cinturón de Vientos del Oeste (Grosjean et al. 1998) (Fig. 2).

El fin de los altos niveles en Laguna del Negro Francisco se habría producido hacia los 1800 años AP (Grosjean et al. 1997), en conjunto con el término de la formación de turba en el Valle del Encierro (Grosjean et al. 1998) y las inferencias realizadas a partir de estudios de turberas en el Río La Gallina (27°28'S; Earle et al. 2003), permiten sugerir una disminución en los niveles de humedad. Finalmente fechados en secuencias obtenidas en vegas de altura sugieren la recuperación de humedad a partir de 1200-1100 en la alta cordillera (Earle et al. 2003, Squeo et al. 2006).

### **Registros Paleoclimáticos de la Región de Coquimbo y Chile Central**

Los registros paleoclimáticos y de vegetación de Chile Central y Norte Chico, al sur de la Región de Atacama, se concentran desde la región de Coquimbo hasta aproximadamente la zona de San Fernando (30-35°), así la reconstrucción histórica de las condiciones climáticas de esta zona durante el cuaternario tardío ha sido foco de diversos estudios, siendo los más antiguos los registros palinológicos obtenidos en Laguna Tagua-Tagua (34°30'S) (Heusser 1981, 1983, 1990, Valero-Garcés et al. 2005), los que alcanzan hasta al menos 46.000 años AP, mostrando las condiciones del periodo Glacial con presencia de bosques de *Nothofagus* y *Prumnopitys andina*, este último particularmente durante el Último Máximo Glacial, lo que indicaría condiciones más húmedas a las actuales, las que son más evidentes entre 28.000-10.000 años AP, de este registro también es posible inferir condiciones interestadiales entre, 30.000-35.000 años AP, es decir periodos más cálidos pero aún dentro del periodo glacial, con disminuciones en las proporciones de *Nothofagus* y aumentos en la Chenopodiáceas. Posteriormente, durante el Holoceno, la desaparición de taxa de bosque y dominio de Chenopodiáceas y Poáceas sugiere condiciones más cálidas y secas. Estas interpretaciones son consistentes con los análisis sedimentológicos, geoquímicos y palinológicos realizados posteriormente en la misma laguna (Valero-Garcés et al. 2005). Algo más al norte, el análisis de sedimentos marinos obtenidos frente a la costa de Valparaíso (32°45'S y 33°13'S) (Lamy et al. 1999, Kim et al. 2002), sugieren condiciones más húmedas y frías durante el periodo glacial, así mismo en la cordillera de la Región de Coquimbo (31°S), avances glaciares se han registrado entorno a 32.000 y durante el periodo glacial tardío a 14.000 y 11.000 años AP (Zech et al. 2007).

Durante los inicios del Holoceno, condiciones húmedas parecen haber prevalecido en la zona, como lo muestran los registros polínicos de la zona sur de la Región de Coquimbo (Villagrán & Varela 1990, Maldonado & Villagrán 2006), sin embargo con una tendencia hacia la aridización como se puede inferir de diversos registros en la zona, incluyendo los de Laguna Tagua-Tagua (Heusser 1983, 1990, Valero-Garcés et al. 2005), Laguna Aculeo (Jenny et al. 2002b, Villa-Martínez et al. 2003) y los registros marinos en la costa de Valparaíso (Lamy et al. 1999, Marchant et al. 1999, Kim et al. 2002). Condiciones de máxima aridez habrían prevalecido en torno a 7.500-6.000 años AP, con estimaciones de temperaturas marinas de ~3°C más altas que las



**Fig. 2.** Esquema cualitativo mostrando las fases húmedas y secas para los últimos 30.000 años inferidas de diversos registros de la Región de Atacama y zonas adyacentes. En gris oscuro fases húmedas y en gris claro fases secas.

actuales (Kim et al. 2002), de la misma manera estudios paleopedológicos entre los 27-33°S, sugieren también temperaturas por sobre los 3°C más altas que las actuales en torno a este periodo (Veit 1996), así mismo los indicadores de humedad en la costa de Los Vilos sugieren el mayor descenso durante el mismo periodo (Maldonado & Villagrán 2006), concordante con las alzas de

temperatura, máximos niveles marinos, alcanzando hasta 3,8 m sobre el nivel actual, se habrían registrado en la zona de Tongoy - La Herradura (30°S), y Algarrobo (33°S) en torno a 7.000-6.500 años AP (Ota & Paskoff 1993, Hervé et al. 2003). Como lo muestran los registros marinos de alkenonas (Kim et al. 2002) y reconstrucciones polínicas en la costa de Los Vilos el término de la fase árida fue paulatino, en este último caso al menos a partir de 6.200 años AP (Maldonado & Villagrán 2002, Maldonado & Villagrán 2006). Con posterioridad gran parte de los registros que abarcan el Holoceno medio y tardío en Chile Central, muestran alternancia de períodos húmedos y secos asociado a una gran variabilidad climática, con cierto desacuerdo acerca del momento y duración de estas fases. Posterior a la fase árida del Holoceno temprano a medio, habría ocurrido un nuevo aumento paulatino en las precipitaciones, registrado inicialmente con el comienzo de la sedimentación en el registro de Ñague a los 6.200 años AP (Maldonado & Villagrán 2002) y posteriormente, a partir de los ~5.700 años AP, el aumento de las señales polínicas de bosque pantanoso en Palo Colorado, donde se habrían alcanzando fases de mayor humedad hacia los ~4.200 años AP y a partir de los ~2.200 años AP, con una fase intermedia algo más árida entre los ~3.000 y los ~2.200 años AP (Maldonado & Villagrán 2006). Este retroceso inferido a partir de los descensos en las frecuencias polínicas e influjos de los taxa pantanosos es observado también en el bosque de Ñague hacia los 3.200 años AP. Los registros sedimentológicos marinos de la costa de Chile central (Lamy et al. 1999) muestran también, a partir de los 4.000 años AP, un aumento de humedad bajo condiciones de alta variabilidad climática, condiciones que son corroboradas en el mismo registro por los ensambles de foraminíferos (Marchant et al. 1999). La recuperación del bosque pantanoso en Palo Colorado durante el Holoceno tardío, es consistente con el término de una fase árida registrada en Laguna Aculeo y el comienzo de condiciones húmedas con períodos de alta variabilidad en las precipitaciones hasta el presente (Jenny et al. 2002). Así mismo, el registro del bosque pantanoso Quintero muestra la instauración del actual bosque pantanoso a los 1600 años AP (Villagrán & Varela 1990) y a los 1.950 años AP en el registro de Quintero II (Villa-Martínez & Villagrán 1997).

### **Registros Paleoclimáticos al Norte de la Región de Atacama**

La reconstrucción de las condiciones climáticas al norte de la Región de Atacama desde el período glacial hasta la actualidad ha sido foco de múltiples investigaciones, principalmente utilizando análisis sedimentológicos (Grosjean et al. 2001, Valero-Garcés et al. 1996, Bobst et al. 2001) y en los últimos años análisis de paleomadrigueras de roedores (Betancourt et al. 2000, Latorre et al. 2002, 2003, Maldonado et al. 2005). Así durante el Último Máximo Glacial, los estudios palinológicos y sedimentológicos realizados en la Laguna Miscanti (~23°S) sugieren condiciones frías y secas entre los 25.000 y los 14.500 años AP (Grosjean et al. 2001), de igual manera, los análisis de macrorrestos vegetales en paleomadrigueras de roedores colectadas entre los 18-24°S sugieren condiciones frías y secas entre 40.000 y ~16.000 años AP (Betancourt et al. 2000, Latorre et al. 2002, Rech et al. 2001). Más al sur el registro de Qda. del Chaco (25°30'S), ubicado en el límite entre las regiones de Atacama y Antofagasta sugiere condiciones húmedas durante el período previo (40.000-33.000 años AP) y durante el Último Máximo Glacial, extendiéndose hasta finales del Pleistoceno, entre 24.000-10.000 años AP (Maldonado et al. 2005).

La mayoría de los registros, tanto sedimentológicos como biológicos, que abarcan el período glacial tardío, son concordantes al indicar durante 14.500 y

11.000 a 9.000 años AP, condiciones de máxima pluviosidad en la zona de Atacama central (Geyh et al. 1999, Betancourt et al. 2000, Grosjean et al. 2001, Rech et al. 2002, Latorre et al. 2002, 2003), con desplazamientos estimados de hasta 1.000 m de altitud de los pisos de vegetación, en la parte sur de la región (Maldonado et al. 2005).

Este período de alta humedad efectiva es observado también en los registros del Altiplano Boliviano, donde se documentan condiciones húmedas entre los 14.000-10.500 años AP (Argollo & Mourguiart 2000, Kull et al. 2008). También se registra un aumento en los niveles del Lago Titicaca hacia los 13.000 años AP, mientras que se ha documentado un máximo desarrollo de bosque entre los ~14.500 y 11.500 años AP en la zona del bosque nublado de la cordillera de Bolivia (Mourguiart & Ledru 2003).

Durante los inicios del Holoceno parecen haber prevalecido las condiciones del periodo Glacial tardío, hasta 9.000 años AP, posteriormente las condiciones climáticas del periodo Holoceno medio, en Atacama central (22-24°S), han sido motivo de importantes discusiones en la literatura científica, así los registros de paleomadrigueras y paleovertientes sugieren condiciones de mayor humedad entre los 8.000 y los 3.000 años AP (Betancourt et al. 2000, Latorre et al. 2002, Quade et al. 2001, Rech et al. 2002), lo cual es apoyado por el registro de Salar de Atacama que sugiere condiciones húmedas entre ~6.200-3500 años AP (Bobst et al. 2001). Por otro lado, en los estudios de sedimentos lacustres en Laguna Miscanti (23°S) y Quebrada Puripica (~22°40'S) se han inferido condiciones áridas durante este período (Grosjean et al. 1997, Grosjean 2001, Valero-Garcés et al. 1996). Pese a que aún no hay un real acuerdo entre estas posiciones, una visión integrada sugiere condiciones áridas en promedio, pero con pulsos de humedad en la escala de centurias durante este periodo (Grosjean et al. 2003). Por otro lado, otra posible explicación para esta discrepancia incluye el considerar los efectos de evaporación por aumento de temperatura durante este periodo, la variación geográfica de los registros y la fuente de las precipitaciones (Latorre et al. 2003, 2005).

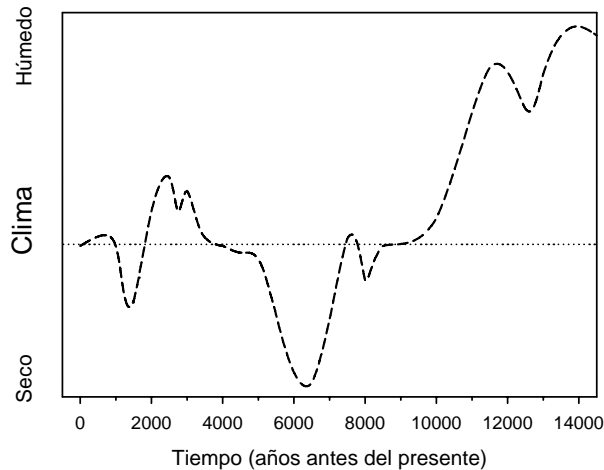
Así, para la parte sur del altiplano chileno (25°30'S), los análisis de polen en paleomadrigueras indican condiciones áridas durante casi todo el Holoceno, entre 9.000-1.500 años AP, sugiriendo que la vegetación en la zona fue exclusivamente restringida a vegas, las que habrían funcionado como oasis en un ambiente extremadamente árido, mostrando de esta manera que los pulsos húmedos registrados en la región de Antofagasta durante el Holoceno medio no habrían alcanzado el sur del altiplano chileno, posteriormente este registro muestra un aumento de humedad (Maldonado et al. 2005, Latorre et al. 2005).

## DISCUSIÓN

Considerando los registros exclusivos de la región de Atacama se ha elaborado un esquema sintetizando la información disponible, teniendo en cuenta la poca información paleoclimática de la región, se ha trabajado sobre una sola curva cualitativa y preliminar, en la que no se considera el mosaico climático que incluye la región de estudio. Con esta información y el análisis conjunto de los registros de las regiones adyacentes es posible especular a cerca del origen de los cambios.

Los registros paleoambientales ubicados en la Región de Atacama y regiones adyacentes, muestran ciertas señales comunes y otras disímiles, posiblemente estas últimas se deban a diferente grado de sensibilidad entre un tipo de indicador y otro, diferencias geográficas y por último diferencias en las

interpretaciones de ciertos eventos. Pese a estas diferencias, es posible establecer ciertas condiciones paleoambientales generales.



**Fig. 3.** Reconstrucción climática cualitativa para la Región de Atacama durante los últimos 14.000 años AP, basada en la integración de los datos existentes.

Dentro de los registros más antiguos que cubren el Pleistoceno final, parece haber consenso en que las condiciones del máximo glacial han sido húmedas y frías, desde el sur de la región de Antofagasta hasta el sur del área analizada, de acuerdo a la distribución geográfica, lo más probable es que el aporte de humedad de este evento se deba a un desplazamiento hacia el norte del Cinturón de Vientos del Oeste a través de sus sistemas frontales asociados. En contraposición para los registros al norte del área analizada, los antecedentes sugieren condiciones secas, posiblemente asociadas a un debilitamiento del Cinturón de Vientos Alisios del Este durante este periodo.

En el tardiglacial (deglaciación) se muestra una clara tendencia de disminución de la humedad respecto a los tiempos del Último Máximo Glacial. Este patrón es claro en los registros continuos que cubren el periodo desde la Región de Atacama al sur. Sin embargo, los registros de la alta cordillera de las regiones de Atacama y Coquimbo muestran avances glaciares importantes en torno a los 14.000 y 11.000 años AP, lo cual es concordante con los registros ubicados al norte de la Región de Atacama. En efecto, la mayoría de los registros al norte de esta zona sugieren condiciones húmedas entre al menos 14.000 y 10.000 años AP, extendiendo este rango en algunos registros hasta 16.000 y 9.000 años AP. El patrón temporal y espacial descrito implica un aumento en la influencia del sistema de los Alisios en la vertiente pacífica de Los Andes, la cual podría haber llegado incluso hasta la latitud 31°S, como lo sugieren los avances glaciares en la cordillera de Doña Rosa. Los registros cordilleranos de Quebrada del Chaco (Maldonado et al. 2005), Valle del Encierro (Zech et al. 2006) y Cordón de Doña Rosa (Zech et al. 2007), sugieren que durante este periodo la alta cordillera del sur de la Región de Antofagasta, Región de Atacama y norte de la Región de Coquimbo pueden haber tenido influencia en el aporte de precipitaciones tanto de la fuente extratropical del Oeste, durante el periodo del Último Máximo Glacial como de la fuente amazónica de los alisios, durante el periodo Tardiglacial.

En general el Holoceno ha sido un periodo descrito como más cálido y seco que el periodo glacial, sin embargo dentro de este contexto, también es posible



identificar periodos de mayor o menor humedad, así para inicios del Holoceno la mayoría de los registros sugieren condiciones ambientales relativamente húmedas tanto en el norte como en el sur de la Región de Atacama, las que habrían prevalecido hasta aproximadamente 9.000 años AP, con un último pulso de humedad a los ~7.500 años AP, en el norte de la Región de Atacama. Para la Región de Atacama y el sur de ésta, los registros muestran también el cambio desde condiciones relativamente húmedas a condiciones de extrema aridez, sin embargo el inicio de esta fase no tiene una sola fecha en los distintos registros, lo cual puede estar asociado a una disminución paulatina de la humedad como lo sugiere el registro de Palo Colorado, con una primera disminución de humedad a los 8.600 años AP y la entrada a la fase más árida del Holoceno a los 7.700 años AP (Maldonado & Villagrán 2006). El periodo más árido del Holoceno, parece haber estado centrado entre 7.500 y 6.000 años AP, para el cual se han estimado aumentos de temperaturas del orden de 3°C (Kim et al. 2002, Veit 1996). En términos de precipitaciones, este evento implica un fuerte debilitamiento del sistema de lluvias frontales asociadas al Cinturón de Vientos del Oeste y/o una mayor influencia del Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur, ya sea por una expansión latitudinal de su área de influencia, o por un desplazamiento en este mismo sentido.

Para la zona al norte de la Región de Atacama, las condiciones ambientales del Holoceno, aún son tema de discusión entre los investigadores, infiriéndose condiciones ambientales opuestas para el mismo periodo (Grosjean 2001, Quade et al. 2001), lo cual puede tener relación con las distintas escalas temporales que pueden registrar los indicadores utilizados, las cuales pueden hacer responder de manera más rápida a un tipo de indicador respecto a otro, o con diferentes efectos de la relación temperatura-precipitación de los distintos indicadores paleoclimáticos.

Durante el Holoceno tardío, los registros de la zona al sur de la Región de Atacama sugieren condiciones ambientales más favorables, las que parecen haberse recuperado de manera paulatina, así lo muestran los registros del sur de la Región de Coquimbo, con pulsos de aumento de humedad a los 6.200, 5.700 y 4.000 años AP (Maldonado & Villagrán 2002, 2006).

Para la Región de Atacama, los registros también muestran pulsos de humedad centrados en 3.000-2.600 años AP (Grosjean et al. 1998, Grosjean et al. 1997, Veit 1996) y hacia el final del Holoceno a partir de 1.500-1.000 años AP (Earle et al. 2003, Squeo et al. 2006), en particular este último pulso parece haber tenido una expresión geográfica algo más amplia ya que también es registrado en el sur de la Región de Antofagasta (Maldonado et al. 2005). Así la evidencia sugiere que la variabilidad registrada en el Holoceno tardío desde la Región de Atacama al sur, parece haber estado exclusivamente ligada a la interacción entre el Cinturón de Vientos del Oeste y el Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur.

Otro factor a considerar es la influencia que pudo haber tenido el sistema El Niño - Oscilación del Sur (ENOS) sobre el clima del Holoceno. Algunos autores postulan una baja o nula influencia de eventos ENOS durante el Holoceno temprano (Jenny et al. 2002b, Marchant et al. 1999, Moy et al. 2002, Riedinger et al. 2002, Rodbell et al. 1999). La cual habría aumentado llegando a su dinámica actual, en torno a 3.200 años AP (Marchant et al. 1999, Sandweiss et al. 2001), o posteriormente (Jenny et al. 2002a, Moy et al. 2002, Riedinger et al. 2002, Villa-Martínez et al. 2004)

Durante los dos últimos milenios el registro del bosque pantanoso de Palo Colorado muestra altos valores en los indicadores de humedad, pero también asociados a alta variabilidad, sugiriendo un incremento en la frecuencia y/o intensidad de los eventos El Niño (Maldonado & Villagrán 2006), lo cual ha sido descrito en otros registros de Sudamérica (Jenny et al. 2002a, Moy et al. 2002, Riedinger et al. 2002).

Considerando la simplificación del sistema climático hecha en la elaboración de las interpretaciones paleoclimáticas y sin considerar mayormente factores como la estacionalidad, relación entre temperatura y precipitaciones, torrencialidad de las precipitaciones, entre otras, queda de manifiesto la necesidad de seguir abordando este tema en futuras investigaciones de manera de poder refinar esta mirada. Sin embargo, pese a estas limitaciones se debe considerar como factores primordiales en los cambios climáticos pasados la interacción entre los grandes cinturones de vientos, asociados a las precipitaciones, tanto invernales como estivales y el Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur.

### AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado por los Proyectos FONDECYT 1.060.496 y 11.070.016 (A. Maldonado). E. Rozas es becario de postgrado de un proyecto de investigación financiado por Compañía Minera Nevada.

### REFERENCIAS

- ARGOLLO J & P MOURGUIART (2000) Late Quaternary climate history of the Bolivian Altiplano. *Quaternary International* 72: 37-51.
- BETANCOURT JL, C LATORRE, JA RECH, J QUADE & KA RYLANDER (2000) A 22,000-Year Record of Monsoonal Precipitation from Northern Chile's Atacama Desert. *Science* 289: 1542-1546.
- BOBST AL, TK LOWENSTEIN, TE JORDAN, LV GODFREY, T-L KU & S LUO (2001) A 106 ka paleoclimate record from drill core of the Salar de Atacama, northern Chile. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 173: 21-42.
- EARLE LR, BG WARNER & R ARAVENA (2003) Rapid development of an unusual peat-accumulating ecosystem in the Chilean Altiplano. *Quaternary Res.* 59: 2-11.
- GEYH MA, M GROSJEAN, L NÚÑEZ & U SCHOTTERER (1999) Radiocarbon reservoir effect and the timing of the late-Glacial/Early Holocene humid phase in the Atacama Desert (northern Chile). *Quaternary Research* 52: 143-153.
- GROSJEAN M (2001) Mid-Holocene Climate in the South-Central Andes: Humid or Dry? *Science* 292: 2391a.
- GROSJEAN M, MA GEYH, B MESSERLI, H SCHREIER & H VEIT (1998) A late-Holocene (<2600 BP) glacial advance in the south-central Andes (29°S), northern Chile. *The Holocene* 4: 473-479.
- GROSJEAN M, I CARTAJENA, MA GEYH & L NUNEZ (2003) From proxy data to paleoclimate interpretation: the mid-Holocene paradox of the Atacama Desert, northern Chile. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 194: 247-258.
- GROSJEAN M, BL VALERO-GARCÉS, MA GEYH, B MESSERLI, U SCHOTTERER, H SCHREIER & K KELTS (1997) Mid-and late-Holocene limnogeology of Laguna del Negro Francisco, northern Chile, and its palaeoclimatic implications. *The Holocene* 7: 151-159.
- GROSJEAN M, JFN VAN LEEUWEN, WO VAN DER KNAAP, MA GEYH, B AMMANN, W TANNER, B MESSERLI, L NÚÑEZ, BL VALERO-GARCÉS & H VEIT (2001) A 22,000 14C year BP sediment and pollen record of climate change from Laguna Miscanti (23°S), northern Chile. *Global and Planetary Change* 28: 35-51.
- HERVÉ F, A ENCINAS, R VILLA-MARTÍNEZ, N SVEN, K FINGER & D PETERSON. (2003) Registro sedimentológico de la transgresión marina del Holoceno Medio en el área de Algarrobo (33°22'S), Chile Central. Implicaciones tectónicas y

- paleoecológicas, 10<sup>o</sup> Congreso Geológico Chileno. Universidad de Concepción, Concepción, Chile
- HEUSSER CJ (1981) Palynology of the Last Interglacial-Glacial Cycle in midlatitudes of Southern Chile. *Quaternary Research* 16: 293-321.
- HEUSSER CJ (1983) Quaternary pollen record from Laguna de Tagua Tagua, Chile. *Science* 219: 1429-1431.
- HEUSSER CJ (1990) Ice age vegetation and climate of subtropical Chile. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Paleoecology* 80: 107-127.
- JENNY B, BL VALERO-GARCÉS, R URRUTIA, K KELTS, H VEIT, PG APPLEBY & M GEYH (2002a) Moisture changes and fluctuations of the Westerlies in Mediterranean Central Chile during the last 2000 years: The Laguna Aculeo record (33°50'S). *Quaternary Research* 58: 3-18.
- JENNY B, BL VALERO-GARCÉS, R VILLA-MARTÍNEZ, R URRUTIA, MA GEYH & H VEIT (2002b) Early to Mid-Holocene Aridity in Central Chile and the Southern Westerlies: The Laguna Aculeo Record (34°S). *Quaternary Research* 58: 160-170.
- KIM J-H, RR SCHNEIDER, D HEBBELN, PJ MÜLLER & G WEFER (2002) Last deglacial sea-surface temperature evolution in the Southeast Pacific compared to climate changes on the South American continent. *Quaternary Science Reviews* 21: 2085-2097.
- KULL C, M GROSJEAN & H VEIT (2002) Modeling Modern and Late Pleistocene glacioclimatological conditions in the North Chilean Andes (29°S-30°S). *Climate Change* 52: 359-381.
- LAMY F, D HEBBELN & G WEFER (1998) Late quaternary precessional cycles of terrigenous sediment input off the Norte Chico, Chile (27.5 degrees S) and palaeoclimatic implications. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 140: 233-244.
- LAMY F, D HEBBELN & G WEFER (1999) High-resolution marine record of climatic change in mid-latitude Chile during the last 28,000 years based on terrigenous sediment parameters. *Quaternary Research* 51: 83-93.
- LAMY F, J KLUMP, D HEBBELN & G WEFER (2000) Late Quaternary rapid climate change in northern Chile. *Terra Nova* 12: 8-13.
- LATORRE C, JL BETANCOURT, J QUADE, JA RECH, C HOLMGREN, C PLACZEK, A MALDONADO, M VUILLE & KA RYLANDER (2005) Late Quaternary History of the Atacama Desert. En: (M Smith & P Hess, eds) *23° South: The Archaeology and Environmental History of the Southern Deserts*. Nat. M. Australia Press, Canberra.
- LATORRE C, JL BETANCOURT, KA RYLANDER & J QUADE (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: 349-366.
- LATORRE C, JL BETANCOURT, KA RYLANDER, J QUADE & O MATTHEI (2003) A vegetation history from the arid prepuna of northern Chile (22-23° S) over the last 13,500 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 194: 223-246.
- MALDONADO A, JL BETANCOURT, C LATORRE & C VILLAGRAN (2005) Pollen analyses from a 50 000-yr rodent midden series in the southern Atacama Desert (25°30' S). *Journal of Quaternary Science* 20: 493-507.
- MALDONADO A & C VILLAGRÁN (2002) Paleoenvironmental changes in the semiarid coast of Chile (~32°S) during the last 6200 cal years inferred from a swamp-forest pollen record. *Quaternary Research* 58: 130-138.
- MALDONADO A & C VILLAGRÁN (2006) Climate variability over the last 9900 cal yr BP from a swamp forest pollen record along the semiarid coast of Chile. *Quaternary Research* 66: 246-258.
- MARCHANT M, D HEBBELN & G WEFER (1999) High resolution planktic foraminiferal record of the last 13,300 years from the upwelling area off Chile. *Marine Geology* 161: 115-128.
- MOURGUIART P & M-P LEDRU (2003) Last Glacial Maximum in an Andean cloud forest environment (Eastern Cordillera, Bolivia). *Geology* 31: 195-198.
- MOY CM, GO SELTZER, DT RODBELL & DM ANDERSON (2002) Variability of El Niño/Southern Oscillation activity at millennial timescales during the Holocene epoch. *Nature* 420: 162-165.

- OTA Y & R PASKOFF (1993) Holocene Deposits on the Coast of North-Central Chile: Radiocarbon Ages and Implications for Coastal Changes. *Revista Geológica de Chile* 20: 25-32.
- QUADE J, JA RECH, JL BETANCOURT & C LATORRE (2001) Mid-Holocene Climate in the South-Central Andes: Humid or Dry?. *Response. Science* 292: 2391a.
- RECH JA, J QUADE & JL BETANCOURT (2001) Paleoclimatic reconstruction of the Atacama Desert (18-26 S): Evidence from paleowetland deposits. En *Proceedings, PEPI Workshop on the Paleoclimatology of the Central Andes*, Tucson, Arizona. [en línea] <<http://www.paztcn.wt.usgs.gov/pcaaw>> [consulta: 15 enero 2008].
- RECH JA, J QUADE & JL BETANCOURT (2002) Late Quaternary paleohydrology of the central Atacama Desert. *Geological Society of America Bulletin* 114: 334-348.
- RIEDINGER MA, M STEINITZ-KANNAN, WM LAST & M BRENNER (2002) A 6100 14C yr record of El Niño activity from the Galápagos Islands. *Journal of Paleolimnology* 27:1-7.
- RODBELL DT, GO SELTZER, DM ANDERSON, MB ABBOTT, DB ENFIELD & JH NEWMAN (1999) An ~15,000-year record of El Niño-Driven Alluviation in Southwestern Ecuador. *Science* 283: 516-520.
- SANDWEISS DH, KA MAASCH, RL BURGER, JB RICHARDSON III, HB ROLLINS & A CLEMENT (2001) Variation in Holocene El Niño frequencies: Climate records and cultural consequences in ancient Peru. *Geology* 29: 603-606.
- SQUEO FA, BG WARNER, R ARAVENA & D ESPINOZA (2006) Bofedales: high altitude peatlands of the central Andes. *Revista Chilena de Historia Natural* 79: 245-255.
- STUUT JBW & F LAMY (2004) Climate variability at the southern boundaries of the Namib (Southwestern Africa) and Atacama (northern Chile) coastal deserts during the last 120,000 yr. *Quaternary Research* 62: 301-309.
- VALERO-GARCÉS BL, M GROSJEAN, A SCHWALB, M GEYH, B MESSERLI & K KELTS (1996) Limnogeology of Laguna Miscanti: evidence for mid to late Holocene moisture changes in the Atacama Altiplano (Northern Chile). *Journal of Paleolimnology* 16: 1-21.
- VALERO-GARCÉS BL, B JENNY, M RONDANELLI, A DELGADO-HUERTAS, SJ BURNS, H VEIT & A MORENO (2005) Palaeohydrology of Laguna de Tagua Tagua (34° 30' S) and moisture fluctuations in Central Chile for the last 46 000 yr. *Journal of Quaternary Science* 20: 625-641.
- 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* 123:107-119.
- VILLA-MARTÍNEZ R & C VILLAGRÁN (1997) Historia de la vegetación de bosques pantanosos de la costa de Chile central durante el Holoceno medio y tardío. *Revista Chilena de Historia Natural* 70: 391-401.
- VILLA-MARTÍNEZ R, C VILLAGRÁN & B JENNY (2003) The last 7500 cal yr B.P. of westerly rainfall in Central Chile inferred from a high-resolution pollen record from Laguna Aculeo (34°S). *Quaternary Research* 60: 284-293.
- VILLA-MARTINEZ R, C VILLAGRAN & B JENNY (2004) Pollen evidence for late-Holocene climatic variability at Laguna de Aculeo, Central Chile (34°S). *Holocene* 14: 361-367.
- VILLAGRÁN C & J VARELA (1990) Palynological Evidence for Increased Aridity on the Central Chilean Coast during the Holocene. *Quaternary Research* 34: 198-207.
- VILLAVICENCIO NA, C LATORRE & A MALDONADO (2007). Cambios vegetacionales durante los últimos 11.000 años en la Quebrada Doña Inés Chica, III Región de Atacama (26°S). III Reunión Binacional de Ecología 30 Sept-4 Oct., La Serena.
- ZECH R, C KULL, PW KUBIK & H VEIT (2007) Exposure dating of Late Glacial and pre-LGM moraines in Cordon de Doña Rosa, Northern/Central Chile (31° S). *Climate of the Past* 3: 623-635.
- ZECH R, C KULL & H VEIT (2006) Late Quaternary glacial history in the Encierro Valley, northern Chile (29 degrees S), deduced from Be-10 surface exposure dating. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 234: 277-286.