

ARQUEOLOGÍA DEL SUR DE MENDOZA:
LÍNEAS DE EVIDENCIA EN PERSPECTIVA BIOGEOGRÁFICA

ARQUEOLOGÍA DEL SUR DE MENDOZA:
LÍNEAS DE EVIDENCIA EN PERSPECTIVA
BIOGEOGRÁFICA

Gustavo A. Neme y Adolfo F. Gil (Compiladores)

Buenos Aires
2022



SOCIEDAD
ARGENTINA DE
ANTROPOLOGIA

Arqueología del sur de Mendoza : líneas de evidencia en perspectiva biogeográfica / Gustavo A. Neme ... [et al.]; compilación de Gustavo A. Neme; Adolfo F. Gil. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Sociedad Argentina de Antropología, 2022. 200 p.; 24 x 17 cm. - (Publicaciones de la SAA / María Florencia Becerra; María Eugenia De Feo)

ISBN 978-987-1280-57-5

I. Arqueología. I. Neme, Gustavo A., comp. II. Gil, Adolfo F., comp.
CDD 930.10982

Publicaciones de la Sociedad Argentina de Antropología

Responsables:

Dra. María Florencia Becerra. CONICET, Instituto de Arqueología. Facultad de Filosofía y Letras (Universidad de Buenos Aires).

Dra. María Eugenia De Feo. CONICET, División Arqueología, Museo de La Plata, Facultad de Ciencias Naturales y Museo (Universidad Nacional de La Plata).
edicionessaa@gmail.com

Comité Asesor:

Lic. Carlos A. Aschero (CONICET / Instituto de Arqueología, Universidad de Tucumán)

Dr. Billie R. Dewalt (Musical Instrument Museum)

Dra. Dominique Legoupil (CNRS / Universidad de La Sorbona)

Dra. Lidia R. Nacuzzi (CONICET / Universidad de Buenos Aires)

Dra. Mónica Quijada (CSIC / Centro de Humanidades del Instituto de Historia, Madrid)

Dra. Alcida R. Ramos (Departamento de Antropología, Universidad de Brasilia)

Dra. Alejandra Siffredi (CONICET / Universidad de Buenos Aires)

Dra. Myriam Tarragó (CONICET / Universidad de Buenos Aires)

Dr. Hugo D. Yacobaccio (CONICET / Universidad de Buenos Aires)

Diseño de tapa, armado y diagramación: Beatriz Bellelli
bbellelli@yahoo.com.ar

© 2022, by Sociedad Argentina de Antropología

Sociedad Argentina de Antropología
Moreno 350. (1091) Ciudad Autónoma de Buenos Aires

www.saanropologia.com.ar

ISBN 978-987-1280-57-5

Queda hecho el depósito que marca la ley 11.723
Impreso en Argentina – Printed in Argentina

Este libro es una Publicación de la Sociedad Argentina de Antropología. Los Compiladores asumen toda la responsabilidad del mismo, desligando a la Sociedad de las acciones civiles y penales que pudieran surgir por la publicación de su obra. Declara que el Libro es de la exclusiva autoría de los autores de cada capítulo, por lo que ellos serán los únicos responsables ante cualquier reclamo de terceros y cualquier acción civil o penal que surja con motivo de la edición y/o publicación de su obra por motivos de su contenido, plagio o paternidad de la obra, coautoría, injurias, etc. y, en general, ante cualquiera de las responsabilidades establecidas en la legislación sobre propiedad intelectual y normas reglamentarias, asumiendo frente a la Editorial todos los daños y perjuicios que pudieren ocasionarle por tales motivos.

ÍNDICE

Los autores y evaluadores	7
Introducción	
<i>Gustavo A. Neme y Adolfo F. Gil</i>	9
Itinerario ambiental y climático en el territorio de la provincia de Mendoza: desde la última glaciación al presente	
<i>Marcelo Zárate y Ricardo Villalba</i>	13
Estructura de los recursos de subsistencia y su dinámica temporal	
<i>Miguel Giardina, Clara Otaola, José Manuel López, Darío Soria, Cinthia Abbona, Adolfo F. Gil y Gustavo A. Neme</i>	35
Recursos líticos y movilidad en el sur de Mendoza: un abordaje biogeográfico desde la tecnología de puntas de proyectil	
<i>María Laura Salgán, Fernando Franchetti y María de la Paz Pompei</i>	59
Estructura ambiental y dinámica poblacional humana en el sur de Mendoza	
<i>Adolfo F. Gil, Eva A. Peralta, Fernando R. Franchetti y Gustavo A. Neme</i>	95
Subsistencia humana en el sur de Mendoza durante el Holoceno tardío. Integrando líneas de evidencias	
<i>Clara Otaola, Miguel Giardina, Eva Peralta, Armando Dauverné, Gisela Quiroga y Martín Luna</i>	125
Movilidad y rangos de acción en perspectiva biogeográfica	
<i>Gustavo A. Neme, Dánae Fiore, Nuria Sugrañes, María Laura Salgán, María de la Paz Pompei, Agustín Acevedo y Hugo Tucker</i>	147
“Luces rojas” en el estudio de la arqueología del sur de Mendoza	
<i>Luis A. Borrero</i>	177

LOS AUTORES Y EVALUADORES

Cinthia ABBONA
(IDEVEA; Universidad de Mendoza); abbonacinthia@gmail.com

Agustín ACEVEDO
(CONICET-IDEVEA); agustinacevedo2009@gmail.com

Luis A. BORRERO
(CONICET-IMHICIHU); laborrero2014@gmail.com

Armando DAUVERNÉ
(CONICET-IDEVEA; UTN FRSR); adauverne@gmail.com

Danae FIORE
(CONICET-AIA); danae_fiore@yahoo.es

Fernando FRANCHETTI
(CONICET-IDEVEA; UNCuyo); ferfranchetti@gmail.com

Miguel GIARDINA
(CONICET-IDEVEA); mgiardina@mendoza-conicet.gob.ar

Adolfo F. GIL
(CONICET-IDEVEA; UNCuyo); agil@mendoza-conicet.gob.ar

Gisela QUIROGA
(CONICET-IDEVEA; UNCuyo); gquiroga@mendoza-conicet.gob.ar

José Manuel LÓPEZ
(CONICET-IADIZA; UNCuyo); mlopez@mendoza-conicet.gob.ar

Martín LUNA
(CONICET-IDEVEA); mluna@mendoza-conicet.gob.ar

Gustavo A. NEME
(CONICET-IDEVEA; UNCuyo); gneme@mendoza-conicet.gob.ar

María de la Paz POMPEI
(CONICET-Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo UNT);
mpompei@mendoza-conicet.gob.ar

María Laura SALGÁN
(CONICET-IDEVEA; UNCuyo); msalgan@mendoza-conicet.gob.ar

Nuria SUGRAÑES
(CONICET-IDEVEA; UNCuyo); nsugranes@mendoza-conicet.gob.ar

Clara OTAOLA
(CONICET-IDEVEA; UNCuyo); claraotaola@gmail.com

Eva PERALTA
(CONICET-IDEVEA); evaailenperalta@gmail.com

Nelson Darío SORIA
(CONICET-IDEVEA); ndsoria@mendoza-conicet.gob.ar

Hugo TUCKER
(Dirección de Turismo-Municipalidad de Malargue); tuckerhugo@gmail.com

Ricardo VILLALBA
(CONICET-IANIGLA); ricardo@mendoza-conicet.gob.ar

Marcelo ZÁRATE
(CONICET-INCITAP); marcelozarate55@yahoo.com.ar

EVALUADORES EXTERNOS

Juan Bautista BELARDI
(CONICET-Centro de Investigaciones y Transferencia de Santa Cruz)

Guillermo HEIDER
(CONICET-Universidad Nacional de San Luis)

Gustavo MARTÍNEZ
(CONICET-INCUIAPA)

Matías MEDINA
(CONICET-Universidad Nacional de La Plata)

Luciano PRATES
(CONICET-Universidad Nacional de La Plata)

Diego RIVERO
(CONICET-Instituto de Estudios Históricos)

ITINERARIO AMBIENTAL Y CLIMÁTICO EN EL TERRITORIO DE LA PROVINCIA DE MENDOZA: DESDE LA ÚLTIMA GLACIACIÓN AL PRESENTE

MARCELO ZÁRATE Y RICARDO VILLALBA

INTRODUCCIÓN

La provincia de Mendoza, ubicada en la región centro oeste de Argentina (figura 1), se caracteriza por una alta diversidad de condiciones ambientales, lo que la convierte en un territorio propicio para reconstruir la historia climática de las últimas decenas de miles de años. Es un lapso crucial para comprender la dinámica del clima y, por lo tanto, para evaluar el alcance de los cambios climáticos proyectados para la región durante el siglo XXI por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2013), entendiéndose como tales las variaciones estadísticamente significativas, ya sea de las condiciones climáticas medias o de su variabilidad durante un período prolongado (generalmente durante decenios o por más tiempo). Las causas del cambio climático pueden atribuirse a procesos naturales internos del sistema terrestre y las interacciones entre sus componentes (atmósfera, tierra, océanos, criósfera, biósfera), el forzamiento externo (variaciones en la radiación solar) o bien, a cambios de origen antrópico con efectos duraderos en la composición de la atmósfera y en el uso de la tierra (IPCC 2013).

Si bien la trascendencia del cambio climático en la agenda científica se ha incrementado aceleradamente durante las últimas décadas, la pregunta convocante a escala global es cómo impactará en los diversos ambientes y actividades socio-económicas; esto genera un considerable número de interrogantes. Entre otros, necesitamos saber ¿qué consecuencias traerían estos cambios climáticos en los ambientes urbanos, particularmente en las grandes metrópolis? ¿Cómo debería orientarse el manejo de los recursos naturales renovables y no renovables? ¿Qué lineamiento deberíamos tomar en relación con la conservación de áreas naturales protegidas? ¿Cuáles serían las técnicas de conservación y manejo más adecuados para los suelos que se cultivan? ¿Sobre qué bases deberían fundamentarse la planificación de los recursos hídricos? Si enfocamos esta problemática en Mendoza, deberíamos considerar que la gran mayoría de la población se concentra en oasis de cultivos desarrollados en ambientes dominados por la dinámica de

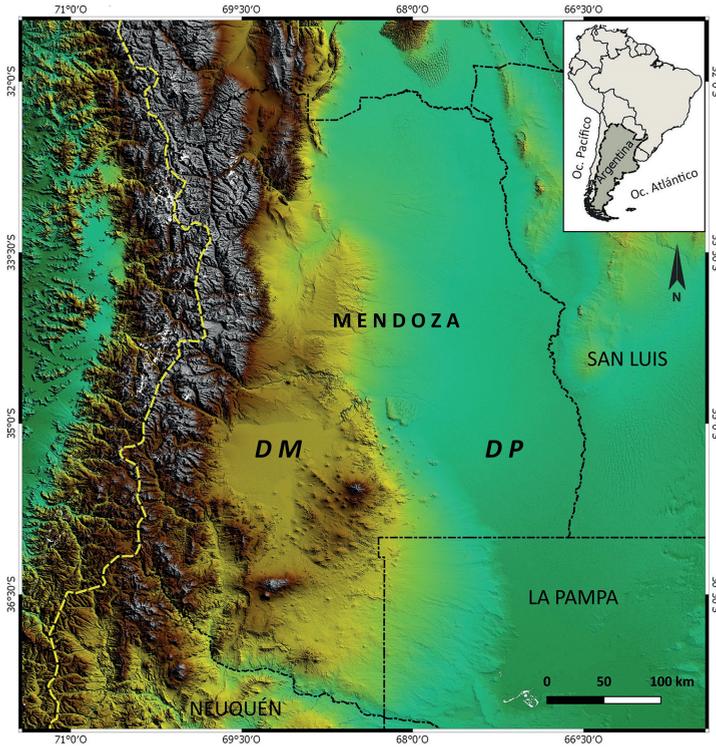


FIGURA 1. Ubicación general de la provincia de Mendoza: (DM) Dominio Montañoso; (DP) Dominio de la Planicie Oriental. DEM (SRTM 90 m.: (Shuttle Radar Topography Mission) digital elevation <https://earthexplorer.usgs.gov/>).

los sistemas fluviales que drenan la cordillera. ¿Qué rumbo tomaría el desarrollo de los oasis de cultivo y las áreas urbanas mendocinas debido al cambio climático? ¿Habría suficiente generación de caudales fluviales si las condiciones se tornan más cálidas y disminuyen las precipitaciones en la cordillera? ¿Cómo impactarían los aspectos sociales, culturales y económicos en los cambios inferidos? ¿Qué acciones deberían implementarse para morigerar las posibles consecuencias? Un diagnóstico más ajustado y de mayor precisión de lo que podría suceder, así como las posibles respuestas del ambiente al cambio climático, pueden obtenerse a partir de un mayor conocimiento del comportamiento del clima del pasado y, a partir de ello, contribuir con la elaboración de escenarios ambientales sólidos para el siglo XXI.

El estudio del paleoclima, el clima del pasado, revela que este no es estable a lo largo del tiempo. Por el contrario, la historia de la Tierra se ha caracterizado por numerosos cambios, fluctuaciones, oscilaciones y variaciones climáticas acaecidas en lapsos que van desde millones de años hasta pocos decenios, inclusive entre años o estaciones de un mismo año. Por tal motivo, resulta interesante analizar situaciones climáticas del pasado de la Tierra que puedan mostrar posibles analogías con las condiciones actuales o futuras, para conocer los mecanismos que las

generaron y las consecuentes respuestas de los ambientes naturales. Por ello, desde hace ya más de medio siglo, pero sobre todo durante los últimos cuatro decenios, el estudio del paleoclima es el tema de investigación de nutridos grupos de científicos, lo que ha resultado en un aumento exponencial de las contribuciones globales en la temática. El territorio mendocino no ha sido la excepción; en los últimos diez años, se ha generado una cantidad importante de información que ha contribuido con reconstrucciones cada vez más ajustadas del pasado ambiental y climático.

En las últimas décadas, se ha incrementado notoriamente el número de investigadores y, por lo tanto, las contribuciones que han sumado nuevos temas y metodologías al estudio del clima del pasado en la provincia de Mendoza. Al respecto, a comienzos de la década del 2000, se realizó una síntesis de los resultados obtenidos sobre paleoclimas y paleoambientes (Zárate 2002), a la que continuó otra, unos diez años después (Zárate *et al.* 2010), con la finalidad de brindar un marco de referencia contextual a las investigaciones, particularmente las arqueológicas. La primera síntesis (Zárate 2002) resumió los resultados obtenidos, escasos para los ambientes del este mendocino en aquel momento. La siguiente (Zárate *et al.* 2010) sintetizó lo analizado en determinados sectores (por ej. valle de Uco, cuenca del Atuel) y discutió la evolución inferida del paisaje, así como su alcance en las investigaciones arqueológicas. Se examinaron, por ejemplo, aspectos tales como la planificación de las prospecciones según los ambientes seleccionados, la variabilidad de la disponibilidad de recursos naturales en el pasado y la posible influencia de las fluctuaciones climáticas en la dinámica cultural de los grupos humanos.

La contribución de la paleoclimatología de alta resolución, que permite inferencias sobre los cambios y variabilidad climática en escalas estacionales a multi-decenales ha seguido un proceso similar a los estudios de las variaciones ambientales de largo plazo. Enfocada principalmente en el sector cordillerano, las primeras apreciaciones sobre las fluctuaciones interanuales en el caudal del río Atuel se elaboraron en la década de 1980 (Cobos y Boninsegna 1983). Más recientemente estas reconstrucciones de la variabilidad hidroclimatológica andina, basada principalmente en registros históricos y dendrocronológicos, se han extendido espacialmente a otros sectores de la región oeste de Argentina, así como temporalmente para cubrir el clima del último milenio (Boninsegna *et al.* 2009; Prieto y García Herrera 2009; Villalba *et al.* 2009). Basados en estos registros de alta resolución, en los últimos años se ha elaborado un *Atlas de Sequías para América del Sur* que provee información sobre la ocurrencia de eventos secos y lluviosos en todo el territorio que va desde los S22° hasta el extremo sur del continente (Morales *et al.* 2020).

El objetivo de este capítulo es presentar una reconstrucción general de la historia ambiental y climática mendocina durante los últimos 50 mil años en función de los grandes ambientes del territorio. El lapso seleccionado está caracterizado por cambios sustanciales que explican una parte importante de los rasgos sobresalientes del paisaje actual. Permite, además, inferir la dinámica climática con una profundidad temporal suficiente para comprender el comportamiento del

clima presente y contribuir a su posible evolución. El propósito no es realizar una síntesis exhaustiva de toda la información existente, sino que nos referiremos a determinadas contribuciones consideradas de interés para el objetivo general propuesto.

PAISAJES Y CLIMAS DE MENDOZA

La diversidad de los paisajes mendocinos que incluyen cadenas montañosas, valles intramontanos, hemibolsones, planicies, volcanes, mesetas, es el producto de una historia geológica compleja que se inicia hace unos 450 millones de años (Ramos y Aleman 2000; Charrier *et al.* 2014). Para entonces, el sector centro oriental de la provincia formaba parte de un supercontinente (Gondwana), anterior a la apertura del océano Atlántico sur. El registro estratigráfico revela una historia resultante de la acreción de placas continentales, algunas procedentes de otros continentes (por ej. Laurasia) a ese primitivo margen occidental de Gondwana. Las suturas entre esas placas se han comportado como líneas de debilidad estructural, reactivadas en repetidas oportunidades; se manifiestan claramente en el paisaje, pues controlan frentes de cadenas montañosas o bien la localización de algunos ríos. Posteriormente, hace unos 250 a 300 millones de años, en ese margen occidental se desarrolló una cadena de montañas de características tectónicas similares a la Cordillera de los Andes (Charrier *et al.* 2014). Sin embargo, el período clave responsable de los grandes rasgos morfológicos mendocinos es el lapso de los últimos veinte millones de años aproximadamente, que representa el intervalo más reciente del ciclo de formación de montañas que generó los Andes (ciclo orogénico andino *sensu* Ramos 1999). A su vez, los aspectos más destacables del paisaje actual son producto de la dinámica tectónica andina de los últimos cinco/seis millones de años (Mioceno tardío-Plio/Pleistoceno; Ramos *et al.* 2002; Sepúlveda *et al.* 2014 y referencias allí citadas).

Las formas de paisaje resultantes de la historia geológica integran dos unidades geomorfológicas mayores, el Dominio Montañoso y el Dominio de la Planicie Oriental (figura 1). El Dominio Montañoso incluye cadenas orográficas, hemibolsones y mesetas de altura (meseta del Guadal). Cordillera principal, cordillera frontal y precordillera, son las cadenas montañosas de mayores relieves relativos. Hacia el este de estas, se desarrolla la depresión de los Huarpes (*sensu* Polanski 1963), una extensa cuenca elongada en sentido meridiano con varios miles de metros de sedimentos acumulados desde el Mioceno; es la zona del valle de Uco al norte y la depresión de Llanquanelo al sur. La primera, está limitada hacia el este por una meseta elevada en el Neógeno (meseta del Guadal). Hacia el sur, a partir de los S34°, se encuentra otra área elevada, el bloque de San Rafael de cumbre aplanada y de menor altura relativa que las cadenas del oeste (Polanski 1963). Una característica del bloque de San Rafael es la intensa actividad volcánica cuaternaria con formación de numerosos aparatos volcánicos (por ej. Cerro Nevado, el más destacado por su altura, 3.700 msnm, Cerro Negro, en cercanías de San Rafael, entre otros). Hacia el sur, la actividad volcánica fue de tal magnitud que ha

originado un relieve dominado por mesetas de lava y volcanes (Payunia), algunos producto de actividad neógena; los aparatos volcánicos más conspicuos (por ej. Payún Matrú, Payún Liso) se formaron en los últimos dos millones de años (Risso *et al.* 2009).

El Dominio de la Planicie Oriental conforma un dilatado piedemonte distal andino. Se desarrolla en el ámbito de una extensa cuenca sedimentaria de naturaleza compleja (cuenca de Cuyo), compuesta por subcuencas, en las que se han acumulados miles de metros de sedimentos desde el Triásico; hacia el este, las subcuencas y, por ende, la planicie oriental, está limitada por los bloques elevados de las Sierras Pampeanas de San Luis (Criado Roque e Ibañez 1979; Spalletti 2001).

Las dos unidades geomorfológicas del territorio mendocino (Dominio de Montaña y Dominio de Planicie) son drenadas por los sistemas fluviales de los ríos Mendoza, Tunuyán, Diamante y Atuel, tributarios del Desaguadero-Salado, curso colector troncal situado en el extremo oriental de la planicie; conforma, a su vez, la mayor subcuenca hídrica tributaria del río Colorado. Por otro lado, el tramo de la cordillera principal del sur mendocino es drenado por el río Grande, afluente también del Colorado. A estos ríos, se suman un sinnúmero de cursos efímeros que drenan los piedemontes del bloque de San Rafael, la meseta del Guadal y los flancos de la precordillera, por citar los principales. Los sistemas fluviales principales tienen sus cabeceras en la cordillera principal, han elaborado profundos valles que atraviesan los cordones serranos y los sedimentos transportados se han acumulado en los hemi-bolsones serranos (valle de Uco, Llanquanelo) y en la planicie oriental. En este último dominio, la actividad eólica ha jugado un papel destacado en la elaboración de formas de acumulación (dunas) a partir del retrabajamiento de los depósitos fluviales. El resultado ha sido la formación de campos de dunas (por ej. Telteca, La Varita, Los Naranjos) que cubren amplios sectores de la planicie (González Díaz y Fauqué 1993)

La cordillera, por otro lado, ejerce un fuerte control en las características climáticas del territorio mendocino y representa una barrera para la circulación general de los vientos en el hemisferio sur (Garreaud 2009; Viale *et al.* 2019). Básicamente, las precipitaciones son estacionales en respuesta a los movimientos latitudinales de los anticiclones del Pacífico y del Atlántico y la formación de la circulación monzónica sobre la cuenca Amazónica en verano. Las precipitaciones provenientes del Pacífico son invernales, aumentan en dirección norte sur y se limitan principalmente a la alta montaña (cordillera principal, cordillera frontal). Las precipitaciones del Atlántico, en cambio, se concentran en los meses estivales; son mayormente producto de tormentas convectivas, alcanzando valores variables entre 100 y 300 mm y afectan, sobre todo, el Dominio de la Planicie hasta las laderas y sectores orientales del frente montañoso. Así también, los contrastes geomorfológicos de los dos Dominios (la planicie y la zona montañoso), dan lugar a diferencias marcadas en las temperaturas, las mayores en la planicie y un fuerte gradiente térmico por cambios de altitud en las montañas. De acuerdo con la clasificación de Köppen (1948), según consigna Norte (2000), el resultado es el predominio de clima seco en la mayor parte del territorio mendocino que abarca

la precordillera, el bloque de San Rafael, los valles de Uco y la depresión de Llanacanelo, así como la planicie que incluye un amplio sector de clima tipo desértico. Por su parte, en la alta cordillera (cordillera principal, cordillera frontal) predomina un clima frío de Tundra a Glacial (Köppen 1948).

La diversidad geomorfológica y climática se refleja en las distintas comunidades de vegetación. En relación con ello, el territorio es atravesado por la Diagonal Árida (Bruniard 1982), franja ecotonal entre dos unidades fitogeográficas, el Dominio Andino (provincia Patagónica) que abarca la zona de montaña (Dominio geomorfológico montañoso) y el Dominio Chaqueño (provincia del Monte) extendido sobre todo en la planicie oriental (Cabrera 1971; Bruniard 1982).

AMBIENTES Y CLIMAS DE LOS ÚLTIMOS 50 MIL AÑOS

El sistema climático global está integrado por cinco componentes o subsistemas, la criósfera, la biósfera, la atmósfera, la litósfera y la oceanósfera (Bradley 2015). Un cambio en alguno de ellos induce alteraciones de diversa índole en el resto, que finalmente se manifiestan en modificaciones de las condiciones climáticas en diferentes escalas temporales y espaciales. En primer lugar, los ciclos de formación y fragmentación de supercontinentes (la dinámica de la litósfera), conduce a cambios mayores en la posición de las masas continentales y de los océanos. Es un proceso que acontece en escalas de centenas de millones de años. Los ciclos de formación de montañas (elevación de cadenas montañosas), vinculados con los de la formación y fragmentación de supercontinentes, generan modificaciones en la circulación atmosférica, en las tasas de meteorización, erosión y acumulación de sedimentos, e incluso en la cantidad de dióxido de carbono (CO_2), uno de los gases de efecto invernadero. Además, los incrementos notorios de la actividad volcánica, asociada con los procesos de fragmentación de los continentes (deriva continental), genera una mayor emisión de CO_2 . Estos procesos geológicos han actuado a lo largo de la historia de la Tierra, que, por lo tanto, ha transitado por condiciones de climas extremadamente contrastantes. Periodos gélidos con un planeta englazado hasta las zonas ecuatoriales hacia fines del Proterozoico (Banik 2016) han variado a otros de condiciones muy cálidas y húmedas, tal como el lapso Cretácico (~93-89 Ma) del Mesozoico (Wilson *et al.* 2002).

En la escala de tiempo geológico, las condiciones ambientales y climáticas actuales son el resultado de un proceso general de enfriamiento que se inicia hacia fines del Cretácico, conocido como Enfriamiento Post Cretácico (Wilson *et al.* 2002). Los climas cálidos imperantes fueron reemplazados por condiciones cada vez más frías, a medida que los continentes se desplazaban hacia posiciones latitudinales más polares, los océanos se ampliaban, disminuía la emisión volcánica de CO_2 y se producía posteriormente el levantamiento de las cadenas de montañas (Andes, Alpes, Himalaya). Sumado a ello y relacionado con la dinámica del sistema solar, las variaciones de los parámetros orbitales (excentricidad, oblicuidad, precesión) comenzaron a tener una influencia decisiva en el clima, sobre todo a partir de unos 2,6 Ma, el comienzo del período Cuaternario. Los cambios cíclicos

de los parámetros orbitales producen variaciones en la cantidad y localización geográfica de la radiación solar que llega a la superficie de la Tierra. La consecuencia ha sido la alternancia de periodos fríos (glaciaciones) separados por intervalos de condiciones de mayor temperatura (interglaciales), reiterados cíclicamente en escalas de decenas de miles de años. Así, durante los últimos 800 mil años, la Tierra experimentó ocho ciclos de glaciaciones de unos 100 mil años cada uno y otros tantos intervalos interglaciales de menor duración, aunque alguno de ellos se prolongó más que el resto, durante varias decenas de miles de años (lapso entre 375-420 ka). Por otro lado, los climas de los ciclos glaciales-interglaciales han estado marcados por cambios, variaciones y fluctuaciones de decenas, centenas o miles de años. Durante el último ciclo de glaciación, los registros de sedimentos del fondo oceánico del Atlántico norte y los testigos de hielo de Groenlandia han permitido inferir la existencia de cambios marcados de la temperatura, de pocas decenas a centenas de años, interpretados como consecuencia de la dinámica interna del sistema climático (Bond *et al.* 1992 y referencias allí citadas; Wilson *et al.* 2000). El máximo enfriamiento y extensión de las masas glaciales aconteció entre ~24-21 ka, lapso conocido como el Último Máximo Glacial. A los ~11.700 años AP se inicia el interglacial actual llamado Holoceno. Por lo tanto, el cambio climático de la actualidad acontece entonces en un periodo interglacial que comenzó hace casi 12 ka. Sin embargo, el rasgo singular que diferencia el interglacial actual de los precedentes, es la profunda modificación generada por las actividades humanas a escala global durante los últimos siglos. Si bien la aparición de nuestra especie data de hace unos 300 mil años y, por lo tanto, ha sido partícipe de ciclos de glaciación-interglaciación anteriores, las transformaciones ambientales antrópicas acaecidas en estos ~12 ka son de gran magnitud. Han producido cambios sustanciales en las formas de paisaje, los suelos, la composición de la atmósfera y de los océanos con consecuencias en el clima que determinan lo que llamamos el Cambio Climático. De tal manera, el término Cambio Climático Global da cuenta de los cambios en el clima atribuidos directa o indirectamente a las actividades humanas que alteran la composición global de la atmósfera (gases de tipo invernadero) y se superponen a la variabilidad climática natural registrada sobre comparables períodos de tiempo. El Cambio Climático Global es, a su vez, un componente del Cambio Global, el que da cuenta de todas las alteraciones de origen antrópico que ocurren en nuestro planeta y no sólo en el sistema climático.

EL CLIMA Y LOS AMBIENTES MENDOCINOS DE LOS ÚLTIMOS 50 MIL AÑOS

De acuerdo con lo expuesto, la historia climática y ambiental mendocina de los últimos 50.000 años forma parte del último ciclo de glaciación que experimentó la Tierra e incluye la transición hacia las condiciones climáticas del interglacial actual. Una de las mayores limitaciones para reconstruir esa historia, tanto en Mendoza como en el resto de Argentina y gran parte de Sudamérica, es la obtención de edades numéricas que permitan calibrar la cronología de los registros paleoambientales estudiados. Así, aunque hoy se dispone de una mayor cantidad

de dataciones para el lapso analizado, aún son escasas, de manera que las edades de las condiciones climáticas del pasado en la región son aproximaciones que responden a modelos cronológicos sujetos a ajustes futuros.

En el Dominio Montañoso, los tramos superiores de los valles de los principales sistemas fluviales con cabeceras en cordillera principal y cordillera frontal, fueron remodelados por el desarrollo de glaciares durante la última glaciación; los flujos de las masas de hielo generaron formas erosivas (por ej. circos, artesas glaciarias) y formas de acumulación (morenas). Testimonian, por lo tanto, la existencia de glaciares mucho más extensos que los escasos y restringidos de la actualidad. Varios autores (por ej. Wayne y Corte 1983; Espizúa 1999) analizaron esas geoformas para interpretar la dinámica glacial durante la última glaciación en los Andes mendocinos. Trabajos posteriores (Espizúa 2004; Moreiras *et al.* 2016), señalan que los glaciares alcanzaron sus máximos hace ~40-35 ka. En el tramo andino entre S22-41°, Zech *et al.* (2017) brindan un modelo cronológico de los avances y retrocesos glaciales, a partir de la utilización de isótopos cosmogénicos (Walker 2005). En el tramo estudiado señalan un avance glacial extenso a ~40 ka en ambas vertientes andinas. En Mendoza, estos autores estudiaron los depósitos glaciarios (morenas) del valle de Las Leñas; según sus resultados, habría ocurrido un avance hace $\sim 50 \pm 5$ ka; señalan además que, durante el máximo de la última glaciación global, el avance más extenso de Las Leñas se produjo hace $21,9 \pm 1,8$ ka. Finalmente, concluyen que, a lo largo de todo el segmento andino estudiado, la deglaciación comenzó alrededor de $18,8 \pm 1,9$ ka. Los avances glaciarios de hace 40 ka habrían estado relacionados con un incremento de precipitaciones; aquellos acaecidos durante el máximo de la última glaciación se vincularían con un incremento de la precipitación en combinación con un descenso de la temperatura (Wäger 2009). En la zona de montaña, estos cambios de temperatura y precipitación deben haber influido también en la extensión del área afectada por criogénesis, el permafrost por ejemplo, estudiado en detalle en varias localidades del Cordón del Plata, cordillera frontal (Trombotto 2009 y referencias allí citadas). Avances glaciarios holocenos fueron reportados por Espizúa (2005) en el valle del río Valenzuela, tributario de la cuenca superior del río Grande. Las dataciones del registro analizado sugieren avances a ~5700 y 4700-4300 años AP en el valle del Azufre, y aproximadamente a ~4400 años AP en el valle El Peñón. Un segundo avance neoglacial alcanzó su máxima extensión hacia los 2500-2200 años AP, en tanto que un tercer avance neoglacial asociado con la Pequeña Edad de Hielo, ocurrió entre los años 1550 y 1720 A.D., con un avance menor alrededor de 1830 A.D. (Espizúa y Pitte 2009).

El número de estudios glaciológicos en los Andes Centrales ha aumentado considerablemente en los últimos años, pero aún son pocas las variaciones anteriores al siglo XX que se han estudiado en detalle. El análisis regional indica que los glaciares en ambas vertientes de los Andes han estado retrocediendo en forma generalizada durante el último siglo, con algunas pequeñas interrupciones en esta tendencia o muy pequeños avances (Masiokas *et al.* 2009). Hay una gran carencia de registros climáticos largos y de buena calidad en la Cordillera de los Andes, pero el retroceso de los glaciares observado en los Andes Centrales desde

mediados del siglo XX parece haber sido impulsado principalmente por el calentamiento regional combinado con una reducción a largo plazo de las precipitaciones invernales (Masiokas *et al.* 2019).

Los sistemas fluviales de los ríos Mendoza, Tunuyán, Atuel, Diamante funcionaron como canales de descarga del agua proveniente de la nieve acumulada y el derretimiento de los glaciares presentes en los tramos superiores de las cuencas. Sus caudales fueron el producto no sólo de las condiciones climáticas, sino además de la dinámica de las masas de hielo en las cabeceras. De tal manera, durante los episodios de glaciación y sobre todo durante la deglaciación, los caudales deben haberse incrementado ostensiblemente. La capacidad de transporte de sedimentos fue mayor; consecuentemente, transportaron mayor volumen de sedimentos y de mayor tamaño, que se fue acumulando en los hemi-bolsones intramontanos y en los sectores proximales de la planicie oriental. Así, se originaron potentes sucesiones de conglomerados expuestas en las barrancas de los ríos principales. Los ejemplos más claros y sobresalientes son los depósitos de los ríos Mendoza, Tunuyán, Diamante y Atuel, en la actualidad aflorantes en las barrancas de las terrazas fluviales, en las zonas apicales, próximas a los frentes montañosos.

En el arroyo Las Tunas, afluente del Tunuyán (valle de Uco) hay varias terrazas fluviales en la zona apical, próxima al frente montañoso de la cordillera frontal. La agradación de los depósitos se vincularía con condiciones de glaciación. En las secciones más superiores de las dos terrazas de menor altura se obtuvieron edades (isótopos cosmogénicos) de 15.500 ± 700 y 20.000 ± 800 años AP; sus respectivas incisiones se interpretaron como resultado de los cambios climáticos (deglaciación) hacia el final de la última glaciación (Pepin 2010; Pepin *et al.* 2013). Por otro lado, la agradación aluvial de sedimentos areno-limosos dominó en el sector medio distal del valle de Uco, por lo menos desde hace 50 ka. En el arroyo La Estacada, este ciclo de agradación fue interrumpido por un episodio de incisión en algún momento del Holoceno medio temprano (Zárate *et al.* 2014). Hacia el sur, sobre la base de dataciones cosmogénicas, la agradación de los depósitos que componen las terrazas fluviales del río Diamante, situadas entre cordillera frontal y el bloque de San Rafael, se vinculó también con condiciones glaciales (Baker *et al.* 2009).

Hacia el este, en el Dominio de la planicie oriental, los sistemas fluviales formaron abanicos aluviales que abarcan decenas de kilómetros de extensión constituyéndose en verdaderos mega abanicos (por ej. Lorenzo 2019). La relevancia de estas extensas formas de acumulación fluvial radica en que constituyen los sectores de desarrollo de los oasis de cultivo mendocino. Los análisis sedimentológicos de los depósitos que integran el mega abanico del Atuel-Diamante, sugieren el desarrollo de una planicie de inundación en condiciones de aridez. Los niveles inferiores, sin base expuesta, acumulados en el Holoceno temprano, forman parte de un ciclo de agradación que continuó hasta aproximadamente el Holoceno medio-tardío. Las características generales de los depósitos señalan condiciones progresivamente más secas en relación con las que imperaron durante la transición Pleistoceno-Holoceno (Mehl *et al.* 2022).

En el territorio mendocino el análisis de indicadores biológicos para inferir condiciones ambientales y climáticas abarca sólo algunas áreas; dada la escasa conservación de los registros biológicos, amplios sectores carecen todavía de estudios detallados. La mayoría de los registros estudiados no tienen resolución cronológica adecuada, en general son sucesiones sedimentarias discontinuas con *hiatus* estratigráficos; además, se restringen a algunos de los diversos ambientes que caracterizan a la provincia. La cronología de los cambios interpretados suele presentar diacronismos atribuibles, probablemente, a tiempos de respuesta diferente según el ambiente considerado, la naturaleza del material datado, el método de datación empleado, cuestiones que deben considerarse al interpretar las variaciones inferidas a partir de los registros analizados. Así, resulta difícil establecer si los cambios registrados: 1) son el resultado de variaciones ambientales locales de los sistemas estudiados, 2) responden a condiciones climáticas generales, o 3) se ubican en ambientes sensibles a los cambios/fluctuaciones climáticas.

Los trabajos de D'Antoni (1983) y Markgraf (1983) vinculados con el análisis de registros polínicos son contribuciones medulares que sentaron las bases del conocimiento general sobre los cambios climáticos de los últimos 12.000-14.000 años en la provincia de Mendoza. Los estudios posteriores han ajustado y ampliado esas interpretaciones. En general, concuerdan esencialmente con las propuestas climáticas de D'Antoni y Markgraf. Navarro *et al.* (2012) realizaron una síntesis de las condiciones climático-ambientales holocenas de Mendoza a partir de los registros de polen, moluscos y diatomeas (tabla 1); los autores correlacionan los escenarios paleoecológicos inferidos con los de regiones vecinas (por ej. Chile Central, Andes del norte de la Patagonia) y la Salina del Bebedero (San Luis), que ha sido parte integrante de la cuenca del Desaguadero-Colorado en determinados intervalos del pasado. Recientemente, en el valle del Peñón, Rojo *et al.* (2022) analizaron el registro palinológico y sedimentológico de una sección estratigráfica que se inicia hacia ~5700 años AP y continúa hasta la actualidad. Inferen cambios ambientales y de vegetación en respuesta a un cambio de condiciones frías a más cálidas ocurrido hacia los 3700 años AP, así como un lapso de condiciones más frías (800 y < 600 años cal AP), quizás asociados con la Pequeña Edad de Hielo. Según los autores, el registro palinológico sugeriría cambios asociados con actividades humanas en los últimos 250 años cal AP (tabla 1).

En los últimos años, varias contribuciones se concentraron en la cuenca del Atuel incluyendo la depresión de la laguna de Llancanelo. El análisis sedimentológico de las sucesiones aflorantes en las barrancas de la cuenca inferior del Atuel, por ejemplo, evidencia una tendencia a la disminución de la disponibilidad de agua y condiciones progresivamente más secas durante el Holoceno (Mehl *et al.* 2022). La depresión de la laguna de Llancanelo ha sido objeto de estudios paleoambientales, entre otros, el de D'Ambrosio (2014), que incluyeron estudios de testigos de sedimentos. Los resultados permitieron inferir la existencia de una laguna somera y condiciones climáticas semiáridas entre los ~32-24 ka. Una disminución de la temperatura habría ocurrido durante el Máximo de la Última Glaciación (~24-19 ka), seguida de un incremento de la temperatura entre los ~17,5-12,5 ka, período durante el cual la laguna se habría profundizado y la salinidad

Tabla 1. Síntesis de las condiciones climático-ambientales inferidas para localidades del dominio montañoso y de la planicie oriental según Navarro *et al.* (2012) y Rojo *et al.* (2022)

Geocronología	Síntesis de condiciones climático-ambientales en diferentes localidades
Holoceno tardío	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Valle de Uco (Arroyo La Estacada)</u>: taxa locales > disponibilidad de agua, vegetación borde canal (intervalo 5,30; 4,7-4 ka; 3,2 ka). Monte < disponibilidad de agua (desde 3,2 ka). • <u>Cordillera Frontal (Salado, cabeceras del Arroyo Yaucha)</u>: 4-7-3,8 ka > escorrentía superficial y temperaturas < a las actuales (intervalo 3-8-actual): desarrollo de vegas similares a las actuales, estepas arbustivas alto-andinas. • <u>Valle del Peñón</u>: cambio de condiciones frías a más cálidas ~3700 años cal AP; 800- < 600 años cal AP (condiciones más frías); disturbios antrópicos en los últimos 250 años. • <u>Cordillera Frontal (rio Atuel, Agua Buena)</u>: comunidades similares piso Patagónico superior (actualmente > 2.200 msnm), condiciones más húmedas y frías (intervalo 4-1-2,8 ka) > aporte de agua por > precipitaciones y/o en las temperaturas durante la estación de deshielo, condiciones semejantes a las actuales de humedad y temperatura (intervalo 2,8-2,3 ka). • <u>Gruta del Indio (pedemonte proximal oriental Bloque San Rafael)</u>: comunidad de Monte actual con posterioridad a los 4,1 ka, reemplazo por comunidades halófilas ~2000 años ¹⁴C AP.
Holoceno medio	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Valle del Peñón</u>: entre ca. 5700 y ca. 3700 cal. condiciones más frías y húmedas • <u>Precordillera (Agua de la Cueva)</u>: comunidades arbustivas andino-patagónicas y patagónico-puneñas, condiciones similares a las actuales (intervalo 8,5-5,8 ka). • <u>Ladera occidental valle Uspallata (Salina 2)</u>: precipitaciones en Cordillera y condiciones más húmedas. • <u>Laguna El Sosneado</u>: mayores dimensiones de la laguna (6-4 ka); desarrollo de estepas arbustivas patagónicas similares a las que están en el límite piso de vegetación alto andino (2.600-2.200 msnm) desde los 5 ka condiciones más húmedas y frías que las actuales.
Holoceno temprano	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Precordillera (Agua de la Cueva)</u>: comunidades gramíneas y arbustivas andino-patagónicas y puneñas: condiciones más frías que las actuales (intervalo 13-9 ka). • <u>Valle de Uco, Arroyo La Estacada</u>: comunidades locales de planicie de inundación, ambientes palustres, paleosuelos (intervalo 11-10 ka-8,6 ka); comunidades de Monte a partir de 10-9 ka. • <u>Piedemonte proximal oriental Bloque San Rafael, Gruta del Indio</u>: condiciones de transición (13,7-8,9 ka), vegetación afinidad patagónica con precipitaciones de invierno y temperaturas bajas hacia dominancia de elementos de Monte (condiciones similares a las actuales), precipitaciones de verano y mayores temperaturas, gramíneas (Cortaderas) y <i>Prosopis</i> en planicie de inundación. • <u>Piedemonte proximal oriental Bloque San Rafael, río Atuel (La Guevarina)</u>: comunidad de Monte anterior a 10,3 ka (ver también Mehl <i>et al.</i> 2022).

habría sido menor. En el lapso ~12-4 ka se registran condiciones áridas, mientras que durante los últimos ~4.000 años hasta la actualidad, la laguna es somera, consistente con condiciones semiáridas. Trabajos recientes, han estimado a partir de imágenes satelitales las variaciones del tamaño de la laguna Llanquanelo durante los últimos treinta años (Bianchi *et al.* 2017). Los resultados indican que la laguna Llanquanelo recoge la escorrentía regional compuesta por el agua transportada por masas de aire originadas en los océanos Pacífico y Atlántico. Los manantiales en la parte alta de la cuenca del río Malargüe se alimentan de las precipitaciones procedentes de las masas de aire del Pacífico que chocan con la Cordillera de los Andes en otoño e invierno. Las precipitaciones en la cuenca baja son traídas por masas de aire subtropical del Atlántico en verano. Al integrar estos diferentes componentes a lo largo de la cuenca, las variaciones en el tamaño de la laguna Llanquanelo proporcionan una mejor indicación del balance hídrico regional que las estimaciones derivadas de los registros basados únicamente en las precipitaciones de la cuenca superior o inferior (Bianchi *et al.* 2017).

El Dominio de la Planicie Oriental ha sido analizado, en particular, en la cuenca del Atuel-Diamante (Mehl *et al.* 2022) y en la zona de la planicie del Desaguadero (Ojeda *et al.* 2013). El aspecto destacable de esta amplia unidad geomorfológica es la presencia de extensos campos de dunas (por ej. Telteca, Los Naranjos, Picardo) producto de la reelaboración eólica de los sedimentos aluviales de los cursos cordilleranos tributarios del Desaguadero (Mendoza, Tunuyán, Atuel, Diamante) y de los sistemas efímeros que drenan el bloque de San Rafael, la meseta del Guadal y el flanco oriental de la precordillera. La sedimentación de arenas eólicas en la planicie oriental se produjo, principalmente, desde el Máximo de la Última Glaciación y durante el Holoceno, cuyo registro eólico en el centro de Argentina indica condiciones secas para el lapso del Holoceno medio y tardío (Tripaldi y Zárate 2014 y referencias allí citadas).

LOS ÚLTIMOS 1000 AÑOS

Registros de alta resolución basados en anillos de árboles y documentos históricos han sido desarrollados para ambas vertientes de los Andes. La reconstrucción de la precipitación en Chile Central durante el último milenio, basada en registros dendrocronológicos de la región, muestra la ocurrencia de dos periodos extensos con escasas precipitaciones centrados en los intervalos 1020-1130 y 1250-1350 años A.D. (figura 2; Garreaud *et al.* 2017). Estos eventos secos de largo plazo asociados con pobres nevadas en la cordillera, fueron concurrentes con sequías extremas en el suroeste de América del Norte, región que al igual que los Andes Centrales de Chile y Argentina (S30-37°), está fuertemente afectada por los cambios en la temperatura del océano Pacífico tropical (Baek *et al.* 2019). Estas prolongadas sequías fueron concurrentes con un periodo cálido conocido como Óptimo Climático Medieval en el hemisferio norte, para el cual se han documentado enfriamientos en el océano Pacífico tropical asociados con condiciones persistentes de eventos tipo La Niña y, por lo tanto, años de muy escasas precipi-

taciones en los Andes (Masiokas *et al.* 2006; Villalba *et al.* 2016). Los dos períodos seculares con más alta precipitación en Chile Central durante el último milenio están centrados a fines del siglo XIV-comienzos del siglo XV, y más recientemente en la primera mitad del siglo XIX. Este evento, el más húmedo de los últimos 1000 años, da paso a una marcada y sostenida disminución de las precipitaciones, alcanzando desde mediados del siglo XX los valores más bajos del último milenio, particularmente durante la mega sequía en los Andes Centrales de Argentina y Chile a partir del año 2010 (Masiokas *et al.* 2019; Garreaud *et al.* 2020).

Si bien no existen cronologías de anillos de árboles de larga extensión en el sector este de la cordillera mendocina, nuevas técnicas multivariadas basadas en más de 250 cronologías de anillos de árboles han permitido reconstruir la precipitación en toda América del Sur desde los S12° a los S55° durante los últimos 600 años (Morales *et al.* 2020). En las planicies al este de los Andes entre los S32° y 36° (figura 2), el periodo seco más extenso reconstruido ocurrió en el siglo XVI, coincidente con la reactivación de médanos alrededor de 400 años AP reportada por Tripaldi y Forman (2007). Por el contrario, los periodos más húmedos documentados desde 1400 años A.D. están centrados en la primera mitad del siglo XV (1620-1700 años A.D.) y en los 50 años más recientes. Este registro dendrocronológico es consistente con documentación histórica recopilada desde comienzos del siglo XVII que muestra la ausencia de sequías extremas entre 1630 y 1670 años A.D. y un periodo excepcionalmente húmedo a partir de mediados de 1970 (Prieto *et al.* 2000; Neukom *et al.* 2009).

Consistente con estas reconstrucciones de alta resolución, los registros instrumentales más extensos disponibles entre los S30° y S35° muestran tendencias de largo plazo en las precipitaciones opuestas en ambas pendientes de los Andes. Así, una disminución de largo plazo durante los últimos 120-140 años en los registros de La Serena (-51 mm/100 años, $p < 0,01$) y Santiago de Chile (-58 mm/100 años, $p < 0,05$), contrastan con incrementos graduales en las lluvias en San Juan (17mm/100 años, $p < 0,05$) y Mendoza (74 mm/100 años, $p < 0,01$) durante este mismo periodo. En la figura 3, se muestran las variaciones interanuales en registros grillados de precipitación provenientes de la base mundial de datos elaborado por el *Climatic Research Unit* (CRU) de la Universidad de East Anglia. Estos registros, que se inician a comienzos del siglo XX muestran tendencias negativas de la precipitación en la alta cordillera frente a Mendoza (S32-33°, O70-71°) y frente a San Rafael (S34-35°, O70-71°), que contrastan con aumentos moderados de las lluvias en las planicies cercanas a las ciudades de Mendoza (S32-33°, O68.5-69.5°) y San Rafael (S34-35°, O68-69°) durante los últimos 120 años.

El análisis comparativo de registros paleoclimáticos e instrumentales en diferentes escalas temporales provee evidencias de interacciones de largo plazo en los forzantes de las variaciones hidroclimáticas en diferentes sectores de la provincia de Mendoza. Durante el último milenio, los periodos secos en las altas montañas contrastarían con condiciones relativamente húmedas en el piedemonte y las planicies al este de los Andes. Consecuentemente, la expansión de los Oestes hacia más bajas latitudes, incrementando la precipitación sobre el sector andino entre los S30° y S35°, parecería estar acompañada por una retracción de la influencia

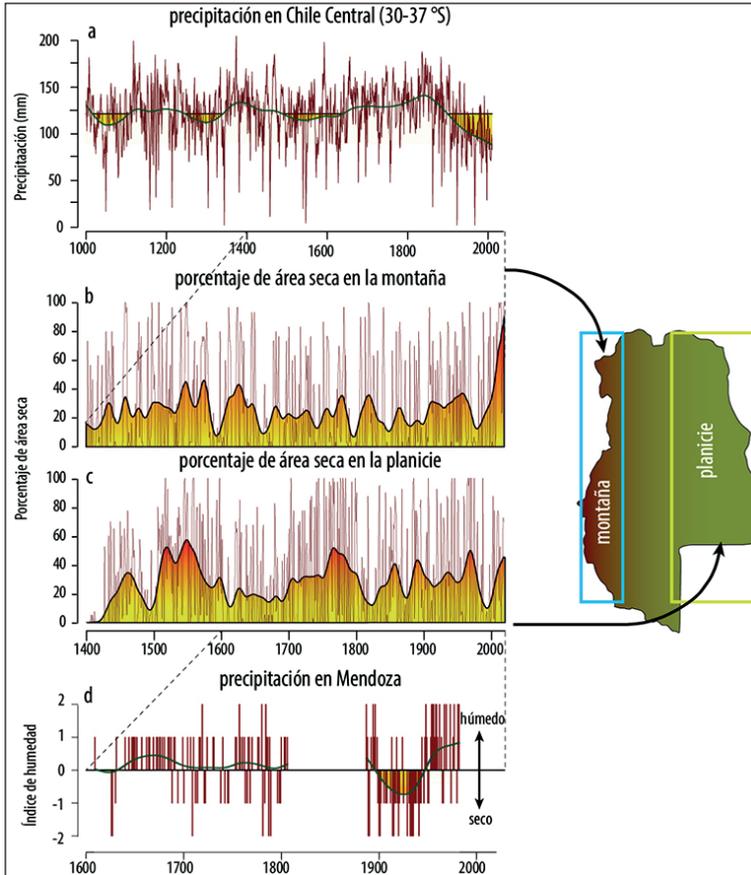


FIGURA 2. Variaciones en la disponibilidad hídrica en la alta montaña y la planicie mendocinas durante el último milenio: (a) Precipitación en Chile Central, directamente vinculada a las precipitaciones nievales en la cordillera (Garreaud et al. 2017); (b) Variaciones en el porcentaje del área de alta montaña (recuadro celeste en el mapa provincial a la derecha) presentando condiciones de sequía durante los últimos 600 años; (c) Variaciones en el porcentaje del área de las planicies (recuadro verde claro en el mapa provincial a la derecha) presentando condiciones de sequía durante los últimos 600 años; (d) Variabilidad de las precipitaciones en el piedemonte mendocino desde el año 1600 inferida a partir de registros históricos (categorías de la escala: 2 = Muy húmedo, 1 = Húmedo, 0 = Normal, -1 = Seco, -2 = Muy seco; Prieto et al. 2000, Neukom et al. 2009). Las figuras (b) y (c) fueron derivadas de información disponible en el Atlas de Sequías de América del Sur (Morales et al. 2000; <https://www.cr2.cl/datos-dendro-sada/>). Cuanto más altos son los porcentajes de áreas secas, una proporción mayor del área de la alta montaña o de la planicie (los rectángulos celeste y verde del mapa, respectivamente) presentó situaciones severas de déficit hídrico. Se destaca la situación actual de sequía extrema en la Cordillera con hasta el 90% de las áreas de montaña con déficit hídrico. Por el contrario, las planicies mendocinas muestran las condiciones más húmedas del pasado a fines del siglo XX y relativamente húmedas en la actualidad con menos del 40% mostrando condiciones de sequía. En todas las figuras, los datos se presentan con resolución anual y suavizados (spline con una ventana de 50 años) para enfatizar los periodos secos o húmedos de largo plazo.

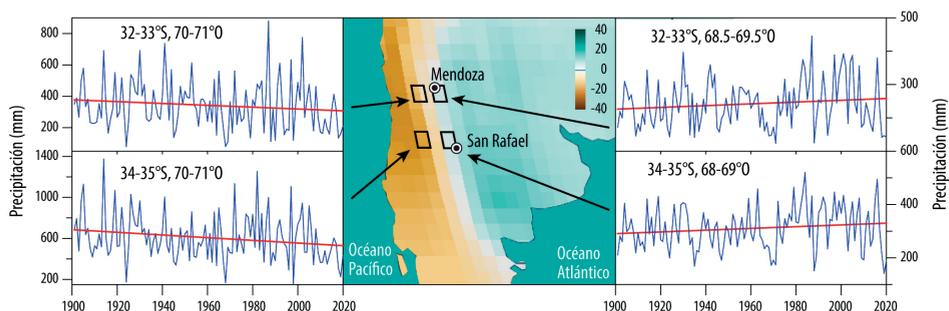


FIGURA 3. Tendencias de largo plazo de la precipitación en la alta montaña y la planicie mendocina desde comienzos del siglo XX. Los registros de precipitación, de 120 años de extensión, provienen de la base global grillada (resolución 0.5° latitud \times 0.5° longitud) del Climatic Research Unit (CRU) de la Universidad de East Anglia, Reino Unido. Las dos grillas seleccionadas sobre la Cordillera (izquierda) frente a las ciudades de Mendoza (arriba) y San Rafael (abajo) muestran tendencias negativas de largo plazo en la precipitación (líneas rojas). Por el contrario, los registros provenientes de las grillas en el sector del piedemonte y las planicies vecinas a las ciudades de Mendoza y San Rafael (derecha) muestran aumentos graduales en las lluvias (tendencias positivas en líneas rojas). La figura central muestra las proyecciones futuras de la precipitación anual usando los modelos de circulación general de la atmósfera CMIP6 (IPCC 2021) empleados por el IPCC, asumiendo un calentamiento global de 2°C para el futuro medio (o mitad del siglo, 2041-2060) bajo el escenario de emisión SSP8.5. Sorprende la similitud entre las tendencias que se vienen registrando en la precipitación desde comienzos del siglo XX y las proyectadas para el siglo XXI: disminución de la precipitación en la alta montaña y aumento de verano en las planicies.

tropical-subtropical al este de la cordillera, consistente con un incremento de las condiciones secas sobre esta región. La situación actual refleja este contraste entre las condiciones climáticas dominantes en la alta cordillera (posiblemente los inviernos más secos en los últimos 1000 años) y aquellas imperantes en las planicies de Mendoza (veranos particularmente húmedos desde mediados de la década de 1970).

En las últimas décadas del siglo XX y comienzos del siglo XXI se han acelerado las modificaciones en el ambiente en respuesta al crecimiento de la población y la intensificación de actividades agrícolas y extractivas en la provincia de Mendoza. Estos procesos asociados con el deterioro de los oasis de cultivo (salinización y contaminación con agroquímicos) y la concentración de la población en centros periurbanos (con demandas ciudadanas insatisfechas) conduce a modificaciones ambientales sustantivas, muchas de ellas irreversibles. La necesidad de una distribución más eficiente del agua de riego proveniente de ríos y arroyos, la seguridad en el abastecimiento de agua a las poblaciones, la demanda creciente de la generación de energía hidroeléctrica y el tratamiento adecuado de los desechos urbanos imponen fuertes presiones que conspiran con la conservación de los ambientes. Los oasis de cultivo mendocinos se desarrollan sobre los mega abanicos aluviales del dominio geomorfológico de la planicie oriental y en los valles intermontanos vinculados con los sistemas fluviales (valle de Uco, depresión de Malargüe-Llancanelo). Los materiales parentales de los suelos agrícolas son los sedimentos aluviales cuspidales de estos abanicos fluviales, así como eólicos, es-

estructuras poco estables frente a los cambios climáticos y los rápidos, y frecuentemente irreversibles, impactos de origen antrópico. Los recursos vitales de la provincia de Mendoza como el agua, la vegetación y los suelos están sujetos a una nueva dinámica sedimentaria e hidrológica donde se superponen las alteraciones inducidas por el cambio climático de naturaleza global con los impactos antrópicos de escala regional o local. En estos momentos en los cuales las actividades humanas representan el principal factor de cambios en el ambiente, es menester implementar políticas que aseguren el manejo sostenible de los recursos naturales para que brinden los servicios ecosistémicos estratégicos que han acompañado históricamente el crecimiento regional.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la invitación para participar de este libro a Gustavo Neme y Adolfo Gil así como por las sugerencias recibidas durante su elaboración; los comentarios editoriales contribuyeron a mejorar la calidad del capítulo. Así también, se reconoce la gentil colaboración de Florencia Lorenzo en la confección de una de las figuras.

BIBLIOGRAFÍA

- Baek, S. H., N. J. Steiger, J. E. Smerdon y R. Seager
2019. Oceanic drivers of widespread summer droughts in the United States over the Common Era. *Geophysical Research Letters* 46: 8271-8280. <https://doi.org/10.1029/2019GL082838>
- Baker, S. E., J. C. Gosse, E. V. Mc Donald, E. B. Evenson y O. Martinez
2009. Quaternary history of the piedmont reach of Río Diamante, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 28: 54-73. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2009.01.001>
- Banik, I.
2016. Snowball Earth. *Journal of Astrobiology and Outreach* 4(2): 153. <http://dx.doi.org/10.4172/2332-2519.1000153>
- Bianchi, L. O., J. A. Rivera, F. Rojas, M. Britos Navarro y R. Villalba
2017. A regional water balance indicator inferred from satellite images of an Andean endorheic basin in central-western Argentina. *Hydrological Sciences Journal* 62(4): 533-545. <https://doi.org/10.1080/02626667.2016.1247210>
- Bond G., H. Hartmut, W. Broecker, L. Labeyrie, J. McManus, J. Andrews, S. Huon, R. Jantschik, S. Clasen, C. Simet, K. Tedesco, M. Klas, G. Bonani y S. Ivy
1992. Evidence for massive discharge of icebergs into the glacial North Atlantic. *Nature* 360: 245-249.

Boninsegna, J. A., J. Argollo, J. C. Aravena, J. Barichivich, D. Christie, M. E. Ferrero, A. Lara, C. Le Quesne, B. H. Luckman, M. Masiokas, M. Morales, J. M. Oliveira, F. Roig, A. Srur y R. Villalba

2009. Dendroclimatological reconstructions in South America: a review. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281: 210-228.

Bradley, R.

2015 *Paleoclimatology: Reconstructing Climates of the Quaternary*. Amsterdam, Elsevier.

Bruniard, E. D.

1982. La diagonal árida argentina: un límite climático real. *Revista Geográfica* 95: 5-20.

Cabrera, A.

1971. Fitogeografía de la República Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* XIV(1-2): 1-50.

Charrier, R., V. A. Ramos, F. Tapia y L. Sagripanti

2014. Tectono-stratigraphic evolution of the Andean Orogen between 31 and 37S (Chile and Western Argentina). *Geological Society, London, Special Publications* 399(1): 13. <https://doi.org/10.1144/SP399.20>

Cobos, O. R. y J. A. Boninsegna

1983. Fluctuations of some glaciers in the upper Atuel River basin, Mendoza, Argentina. En J. Rabassa (ed.), *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, volume 1: 61-82. Rotterdam, A. A. Balkema.

Criado Roque, P. y G. Ibáñez

1979. Provincia Geológica Sanrafaelino-Pampeana. En J. C. M. Turner (ed.), *Segundo Simposio de Geología Regional Argentina*: 837-869. Córdoba, Academia Nacional de Ciencias.

D'Ambrosio, D. S.

2014. Reconstrucción paleolimnológica de la Laguna Llanquanelo (Mendoza, Argentina) a través del estudio de ostrácodos del Cuaternario. Tesis Doctoral inédita, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de la Plata.

D'Antoni, H.

1983. Pollen analysis of Gruta del Indio. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula* 1: 83-104.

Espizúa, L. E.

1999. Chronology of late Pleistocene glacier advances in the rio Mendoza valley, Argentina. *Global Planetary Change* 22: 193-200.

2004. Pleistocene glaciations in the Mendoza Andes, Argentina. En J. Ehlers y P. L. Gibbard (eds.), *Quaternary Glaciations - Extent and Chronology. Part III: South America, Asia, Africa, Australasia, Antarctica*: 69-73. Cambridge, Elsevier.

2005. Holocene glacier chronology of Valenzuela Valley, Mendoza Andes, Argentina. *The Holocene* 15(7): 1079-1085.

- Espizúa, L. y P. Pitte
2009. The Little Ice Age glacier advance in the Central Andes (35°S), Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281: 345-350.
- Garreaud, R. D.
2009. The Andes climate and weather. *Advances in Geosciences* 22: 3-11. <https://doi.org/10.5194/adgeo-22-3-2009>
- Garreaud, R. D., C. Alvarez-Garretón, J. Barichivich, J. P. Boisier, D. Christie, M. Galleguillos, C. Le Quesne, J. McPhee y M. Zambrano-Bigiarini
2017. The 2010-2015 megadrought in Central Chile: impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrology and Earth System Sciences* 21: 6307-6327. <https://doi.org/10.5194/hess-21-6307-2017>
- Garreaud, R. D., J. P. Boisier, R. Rondanelli, A. Montecinos, H. H. Sepúlveda y D. Veloso-Aguila
2020. The Central Chile Mega Drought (2010–2018): A climate dynamics perspective. *International Journal of Climatology* 40: 421-439. <https://doi.org/10.1002/joc.6219>
- González Díaz, E. y L. E. Fauqué
1993. Geomorfología. En V. A. Ramos (ed.), *Geología y Recursos Naturales de Mendoza Relatorio del XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos*: 217-234. Buenos Aires.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)
2013. Glosario [Planton, S. (ed.)]. En T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P. M. Midgley (eds.), *Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*: 185-203. Cambridge y Nueva York, Cambridge University Press.
2021. Atlas. En *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*: 1927–2058. Cambridge y Nueva York, Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.021>.
- Köppen, W.
1948. *Climatología: con un estudio de los climas de la tierra*. México, Fondo de Cultura Económica.
- Lorenzo, F.
2019. Evolución Geológica de la cuenca inferior del río Atuel durante el Holoceno (provincia de Mendoza y La Pampa). Tesis Doctoral inédita, Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales, Universidad Nacional de San Luis.
- Markgraf, V.
1983. Late and postglacial vegetational and paleoclimatic changes in subantarctic, temperate and arid environments in Argentina. *Palynology* 7: 43-70.
- Masiokas, M. H., R. Villalba, B. H. Luckman, C. Le Quesne y J. C. Aravena
2006. Snowpack variations in the central Andes of Argentina and Chile, 1951-2005:

- Large-scale atmospheric influences and implications for water resources in the region. *Journal of Climate* 19: 6334-6352.
- Masiokas, M. H., A. Rivera, L. E. Espizua, R. Villalba, S. Delgado y J. C. Aravena
2009. Glacier fluctuations in extratropical South America during the past 1000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281: 242-268.
- Masiokas, M. H., L. Cara, R. Villalba, P. Pitte, B. L. Luckman, E. Toum, D. A. Christie, C. Le Quesne y S. Mauget
2019. Streamflow variations across the Andes (18°–55°S) during the instrumental era. *Scientific Reports* 9: 17879. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53981-x>
- Mehl, A., F. Lorenzo, A. Guerci, L. Rojo y M. Zárate
2022. Paleoenvironmental inferences and vegetation history at the Early to Mid Holocene the Atuel-Diamante distributary fluvial system San Rafael plain, Mendoza, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 118: 103904. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103904>
- Morales, M. S., E. R. Cook, J. Barichivich, D. A. Christie, R. Villalba, C. LeQuesne, A. M. Srur, M. A. Ferrero, A. González-Reyes, F. Couvreur, V. Matskovsky, J. C. Aravena, A. Lara, I. A. Mundo, F. Rojas, M. R. Prieto, J. E. Smerdon, L. O. Bianchi, M. H. Masiokas, R. Urrutia-Jalabert, M. Rodríguez-Catón, A. A. Muñoz, M. Rojas-Badilla, C. Alvarez, L. Lopez, B. H. Luckman, D. Lister, I. Harris, P. D. Jones, A. P. Williams, G. Velazquez, D. Aliste, I. Aguilera-Betti, E. Marcotti, F. Flores, T. Muñoz, E. Cuq y J. A. Boninsegna
2020. Six hundred years of South American tree rings reveal an increase in severe hydroclimatic events since mid-20th century. *Proceedings of the National Academy of Sciences*: 16816-16823. <https://doi.org/10.1073/pnas.2002411117>
- Moreiras, S. M., M. S. Páez, C. Lauro y P. Jeanneret
2016. First cosmogenic ages for glacial deposits from the Plata range (33°S): New inferences for Quaternary landscape evolution in the Central Andes. *Quaternary International* 438(a): 50-64. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.08.041>
- Navarro, D., L. D. Rojo, C. G. De Francesco y G. S. Hassan
2012. Paleoeología y reconstrucciones paleoambientales en Mendoza durante el Holoceno. En G. Neme y A. Gil (comps.), *Paleoecología humana en el sur de Mendoza: perspectivas arqueológicas*: 17-57. Buenos Aires, Sociedad Argentina de Antropología.
- Neukom, R., M. R. Prieto, R. Moyano, J. Luterbacher, C. Pfister, R. Villalba, P. D. Jones y H. Wanner
2009. An extended network of documentary data from South America and its potential for quantitative precipitation reconstructions back to the 16th century. *Geophysical Research Letters* 36: L12703. <https://doi.org/10.1029/2009GL038351>
- Norte, F.
2000. Mapa climático de Mendoza. Catálogo de Recursos Humanos e Información relacionada con la temática ambiental en la región andina argentina. <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/ladyot/catalogo/cdandes/start.htm> (1 de agosto de 2022).

- Ojeda, G., J. O. Chiesa y D. H. Gómez
2013. Los depósitos eólicos asociados a la planicie aluvial del río Desaguadero, provincia de Mendoza, Argentina. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 20(2): 105-128.
- Pepin, E.
2010. Interactions géomorphologiques et sédimentaires entre bassin versant et piémont alluvial. Modélisation numérique et exemples naturels dans les Andes. Tesis Doctoral inédita, Universidad de Toulouse.
- Pepin, E., S. Carretier, G. Hérail, V. Regard, R. Charrier, M. Farías, V. García y L. Giambiagi
2013. Pleistocene landscape entrenchment: a geomorphological mountain to foreland field case, the Las Tunas system, Argentina. *Basin Research* 25(5): 613-637. <http://dx.doi.org/10.1111/bre.12019>
- Polanski, J.
1963. Estratigrafía, neotectónica y geomorfología del Pleistoceno pedemontano entre los ríos Diamante y Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 17: 127-349.
- Prieto, M. R., R. Herrera y P. Dussel
2000. Archival evidence for some aspects of historical climate variability in Argentina and Bolivia during the 17th and 18th centuries. En W. Volkheimer y P. Smolka (eds.), *Southern Hemisphere Paleo- and Neoclimates*: 127-142. Berlin-Heidelberg, Springer-Verlag.
- Prieto, M. R. y R. Garcia Herrera
2009. Documentary sources from South America: Potential for climate reconstruction. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281: 196-209
- Ramos, V. R.
1999. Rasgos estructurales del territorio argentino. 1. Evolución tectónica de la Argentina. *Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales* 29(24): 715-784.
- Ramos, V. A. y A. Aleman
2000. Tectonic Evolution of the Andes. En U. G. Cordani, E. J. Milani, A. Thomaz Filho y D. A. Campos (eds.), *Tectonic evolution of South America. Rio de Janeiro - 31 International Geological Congress*: 635-685. Rio de Janeiro, In-Fólio - Produção Editorial.
- Ramos, V., E. Cristallini y D. Pérez
2002. The Pampean flat slab. *Journal of South American Earth Sciences* 15: 59-78. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(02\)00006-8](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(02)00006-8)
- Risso, C., K. Németh y F. Nullo
2009. Guía de Campo a los campos volcánicos de Payún Matru y Llanquanelo, Malargüe-Mendoza. En *3IMC. 3º Conferencia Internacional sobre Maars*: 14-17. Buenos Aires, Taller 4.
- Rojo, L., A. Mehl, M. Pietrelli, V. Durán y R. Barberena
2022. Mid- to Late Holocene Environmental Evolution of a High Mountain Wetland in the Subtropical Andes Cordillera of Argentina. *Wetlands* 42: 32. <https://doi.org/10.1007/s13157-022-01549-3>

- Sepúlveda, S. A., L. B. Giambiagi, S. M. Moreira, L. Pinto, M. Tunik, G. Hoke y M. Farías
2014. Geodynamic processes in the Andes of Central Chile and Argentina: an introduction. En S. A. Sepúlveda, L. B. Giambiagi, S. M. Moreira, L. Pinto, M. Tunik, G. Hoke y M. Farías (eds.), *Geodynamic Processes in the Andes of Central Chile and Argentina*. Geological Society, London, Special Publications 399. <http://dx.doi.org/10.1144/SP399.21>
- Spalletti, L.
2001. Evolución de las cuencas sedimentarias. En A. Artabe, E. Morel y A. Zamuner (eds.), *El Sistema triásico en la Argentina*: 81-101. La Plata, Fundación del Museo de La Plata.
- Tripaldi, A. y S. Forman
2007. Geomorphology and chronology of Late Quaternary dune fields of western Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 251 (2): 300-320.
- Tripaldi, A. y M. A. Zárate
2014. A review of Late Quaternary inland dune systems of South America east of the Andes. *Quaternary International* 410:96-110. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2014.06.069>
- Trombotto, D.
2009. Indicators of present global warming through changes in active layer-thickness, estimation of thermal diffusivity and geomorphological observations in the Morenas Coloradas rockglacier, Central Andes of Mendoza, Argentina. *Cold Regions Science and Technology* 55: 321-330.
- Viale, M., E. Bianchi, L. Cara, L. E. Ruiz, R. Villalba, P. Pitte, M. Masiokas, J. Rivera y L. Zalazar
2019. Contrasting Climates at Both Sides of the Andes in Argentina and Chile. *Frontiers in Environmental Sciences* 7: 69. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00069>
- Villalba, R., M. Grosjean y T. Kiefer
2009. Long-term multi-proxy climate reconstructions and dynamics in South America (LOTRED-SA): State of the art and perspectives. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281: 175-179.
- Villalba, R., J. A. Boninsegna, M. H. Masiokas, L. Cara, M. Salomon y P. Pozzoli
2016. Cambios Climáticos y Recursos Hídricos: El caso de las tierras secas del oeste argentino. *Ciencia Hoy* 45: 49-55.
- Wäger, P.
2009. Glacier-climate modelling in Las Leñas, Central Andes of Argentina. Tesis de Maestría inédita, Facultad de Ciencias, Universidad de Bern.
- Walker, M.
2005. *Quaternary dating methods*. Chichester, John Wiley & Sons.

- Wayne, W. J. y A. E. Corte
1983. Multiple glaciations of the Cordón del Plata, Mendoza, Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 42(1-2): 185-209.
- Wilson, P. A., R. D. Norris y M. J. Cooper
2002. Testing the Cretaceous greenhouse hypothesis using glassy foraminiferal calcite from the core of the Turonian tropics on Demerara rise. *Geology* 30(7): 607-610.
- Wilson, R. C. L., S. A. Drury y J. L. Chapman
2000. *The Great Ice Age Climate. Change and Life*. Thames, Routledge.
- Zárate, M. A.
2002. Los ambientes del Tardiglacial y Holoceno en Mendoza. En A. Gil y G. Neme (eds.), *Entre desiertos y montañas. Arqueología del sur de Mendoza*: 9-42. Buenos Aires, Sociedad Argentina de Antropología.
- Zárate, M., A. Gil y G. Neme
2010. Integrando los registros: generalizaciones, alcances y limitaciones. En M. Zárate, G. Neme y A. Gil (comps.), *Paleoambientes y ocupaciones humanas del centro-oeste de Argentina durante la transición Pleistoceno-Holoceno y Holoceno*: 309-330. Buenos Aires, Sociedad Argentina de Antropología.
- Zárate, M. A., A. Mehl y L. Perucca
2014. Quaternary evolution of the Cordillera Frontal piedmont between c. 33° and 34° S Mendoza, Argentina. En S. A. Sepúlveda, L. B. Giambiagi, S. M. Moreira, L. Pinto, M. Tunik, G. Hoke y M. Farías (eds.), *Geodynamic Processes in the Andes of Central Chile and Argentina. Geological Society, London, Special Publications* 399: 293-310. <http://dx.doi.org/10.1144/SP399.21>
- Zech, J., C. Terrizano, E. García-Morabito, H. Veit y R. Zech
2017. Timing and extent of Late Pleistocene glaciation in the arid central Andes of Argentina and Chile (22°-41°S). *Cuadernos de Investigación Geográfica* 43. <http://doi.org/10.18172/cig.3235>