

# Degradación y formación de vegas puneñas (900-150 años AP), Puna Austral (26°S) ¿Respuesta del paisaje al clima o al hombre?

Tchilinguirian, Pablo; Olivera, Daniel Enzo

CONICET, Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano (INAPL). Universidad de Buenos Aires (UBA). pabloguirian@gmail.com

► **Resumen** — En la Puna sur Argentina hay evidencias de una reciente degradación física de humedales llamados vegas. Se plantea el interrogante acerca de la edad y las causas de su degradación. Por lo tanto, el objeto de este trabajo es estudiar las causas de la degradación y si éstas están asociadas a los eventos paleoclimáticos conocidos o a la acción antrópica. Las dataciones de paleosuelos en vegas degradadas se distribuyen en dos grupos de edades: *ca.* 700-600 años AP y entre *ca.* 300-150 años AP. Los resultados indican que la degradación se presenta en todos los humedales e independientemente del uso arqueológico del suelo que tuvo la cuenca. En las vegas fluviales, la degradación se localiza frecuentemente en el extremo distal, es decir pendiente debajo de las vegas activas. Además, la degradación posee mayor extensión e intensidad en las vegas amplias y con cuencas de drenaje poco extensas (menor a 25 km<sup>2</sup>) ubicadas por encima de los 4500 m.s.n.m. El estudio demuestra que la degradación de las vegas es un aspecto que al menos ocurrió tres veces en los últimos 1000 años y donde la última retracción fue de edad histórica (menos de 150 años AP). La degradación estaría relacionada con el descenso e inestabilidad de la capa freática propiciado por el aumento de las condiciones de aridez de la Puna Austral. Las vegas con cuencas de drenaje de baja altitud (menor a 4500 m.s.n.m.) y de menor extensión habrían sido las más susceptibles a la degradación por ser los sectores con mayor valor de evapotranspiración.

**Palabras clave:** Degradación, desertificación, Puna, vegas, geoarqueología.

► **Abstract** — "Degradation and formation of Puna vegas (900-150 years BP), southern Puna (26°S). Landscape response to climate or man?". In the southern Puna of Argentina there are evidences of recent physical degradation of wetlands called "vegas". The question arises about the age and causes of degradation. Therefore, the purpose of this paper is to study the causes of degradation and whether these are associated with known palaeoclimatic events or human actions. The dating of four paleosoils in degraded vegas are distributed in two age groups: *ca.* 700-600 years BP and *ca.* 300-150 years BP. The results indicate soil degradation is found in all wetlands regardless of the archeological and geomorphic settings. Degradation is mainly located at the distal end of the vegas, where evapotranspiration is higher. In addition, soil wetland erosion is greater in extent and intensity in broad vegas with small catchment areas (less than 25 km<sup>2</sup>) located above 4500 m.a.s.l. The study shows that the degradation of the vegas occurred at least three times in the last 1000 years and the last retreat occurred during historical time (less than 150 years BP). Degradation could be related to the decline and instability of the groundwater table due to an increase in aridity. The low-altitude (less than 4500 m.a.s.l.) and smaller area catchment basins would have been the most susceptible to degradation.

**Keywords:** Degradation, Puna, wetlands, geoarchaeology.

## INTRODUCCIÓN

La desertificación es la degradación de tierras en las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, y este proceso es el resultado de la interacción de diferentes y complejos facto-

res derivados de las actividades humanas y las variaciones climáticas. La degradación de las tierras se relaciona con la pérdida de la capacidad productiva del territorio como consecuencia de la actividad humana no adaptada al uso óptimo de la tierra.

En la Argentina los ambientes semiáridos y áridos ocupan un 75 % del territorio nacio-

nal y los problemas de desertificación afectan una gran parte del mismo.

La Puna es parte de los ambientes semiáridos y áridos de la Argentina y los estudios antecedentes referidos a la desertificación de esta región son escasos y fueron elaborados a una escala regional (Navone, 1998, Macagno *et al.*, 2005). Estos estudios indican que las causas de la desertificación están relacionadas con la acción antrópica, la cual contribuye a acelerar y sinergizar los procesos naturales de degradación (erosión, salinización, etc.). Entre las causas que mejor explican la desertificación se destaca el alto porcentaje de pequeños predios con explotaciones ganaderas y el escaso número de propietarios de la tierra. Este último aspecto determina un acceso limitado al crédito para efectuar medidas de mitigación contra la desertificación lo que termina agravando el proceso (Macagno *et al.*, 2005). A esto se le suman otras tres importantes acciones: 1- una carga ganadera que supera ampliamente la carga animal óptima del territorio, 2- el uso de especies ganaderas poco adaptadas a la zona árida y 3- la disminución progresiva de la cobertura vegetal por la extracción de especies leñosas para su utilización como combustible (Navone, 1998).

Los estudios citados analizan la degradación sin discriminar las diferentes unidades de vegetación de la Puna como son las vegas (humedales), el Campo-Tolar formado por una comunidad de arbustos y el pastizal de coirón (Cabrera, 1976). Estas tres unidades de vegetación poseen una variabilidad significativa en cuanto a sus componentes y funcionalidades hidrológicas, biofísicas y económicas, por lo cual su desertificación tiene diferente impacto en los aspectos productivos y en la interacción geoecológica. Este trabajo se enfoca en el estudio de la degradación física de las vegas de la región de Antofagasta de la Sierra, ubicada en la Puna Sur Argentina (figuras 1 y 2). Las vegas son ecosistemas ribereños o humedales de altura que tienen plantas tolerantes al agua o hidrofílicas con una elevada productividad primaria (de 2540 a 1100 KgM.S./Ha, Alzérreca *et al.*, 2001). Además, constituyen el hábitat de una gran variedad de flora y

fauna, muchas veces endémicas. Su importancia económica reside en que son la fuente del sustento de la actividad ganadera (pastoreo) debido a sus forrajes altamente nutritivos que pueden soportar una fuerte carga animal. Por otro lado, son parte principal del hábitat de los camélidos sudamericanos y constituyen un elemento clave de su ciclo de alimentación. Ocupan un reducido porcentaje areal de la matriz desértica de la Puna y forman pequeños parches vinculados a los cuerpos de agua de régimen permanente, razón por la cual son ambientes singulares y de vital importancia socio-económica local.

Poco se sabe sobre el comportamiento espacial y temporal de las vegas y su relación con la degradación. La clasificación y estudio de estos ambientes fue aplicada a las dominadas por el género *Sphagnum* del hemisferio norte y en la Patagonia Austral (Roig y Roig, 2004). Sin embargo, en la Puna están dominadas por otros géneros como *Oxychloe* y distintos tipos de la familia de las *Cyperaceae* (ej.: *Scirpus atacamenensis*, *Juncus depauperatus*, *Hypsella* spp., *Plantago* spp., etc.). Por lo tanto, los principios que controlan las turberas de *Sphagnum* no pueden ser aplicados, a priori, en las vegas Altoandinas y Puneñas.

Hay otros factores que controlan su formación, su degradación y sus características. Estos se vinculan a aspectos hidrogeológicos, hidrológicos, hidroquímicos, climáticos, geomorfológicos, geológicos y biológicos (tipo de vegetación) que operan a escala de la cuenca de drenaje y a escala local del sitio.

Entre los aspectos hidrogeológicos se destaca la profundidad de la capa freática. Capas freáticas aflorantes forman vegas con cuerpos de agua con vegetación acuática, ciperáceas y macrofitas donde se forman suelos orgánicos. Vegas con capas freáticas a 5 a 20 cm de profundidad tienen pasto-vega (gramíneas), mientras que en zonas con freáticas a más de 100 cm de profundidad la vegetación de vega desaparece y es reemplazada por arbustos freatofíticos («Tolas»). La variación estacional de la capa también es un factor de peso en la formación de vegas,

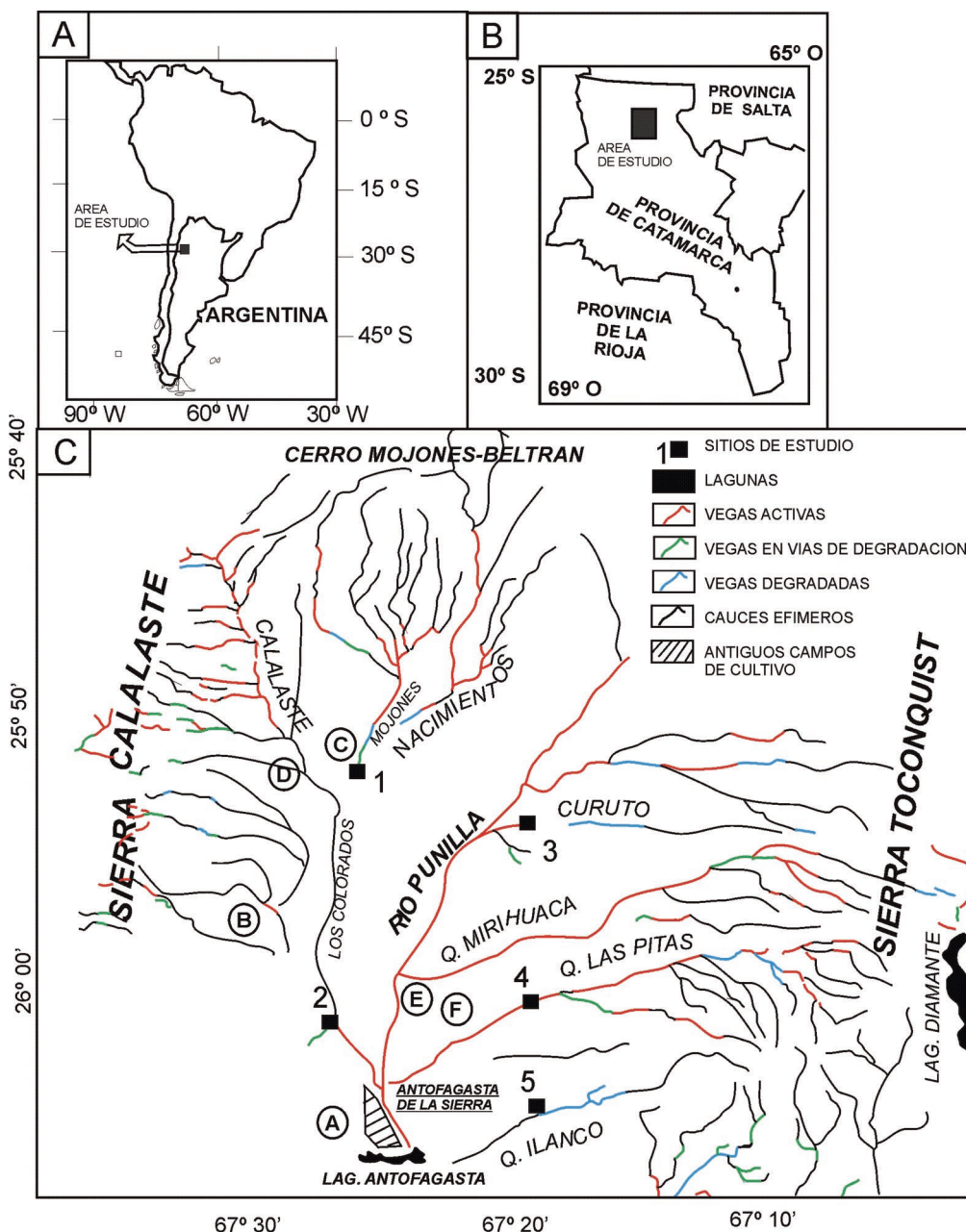


**Figura 1.** Mapa de la zona de estudio; a, área de estudio en Argentina; b, área de estudio en la provincia de Catamarca; c, cuenca del río Punilla, 1: Corral Grande y Punta Calalaste, 2: Arroyo Los Colorados y Salar Laguna Colorada, 3: Quebrada de Curuto, 4: Quebrada de Las Pitas, 5: Quebrada de Ilanco en Peña de La Cruz; Antiguos campos de cultivo: A: Bajo del Coypar, B: Campo Cortaderas, C: Corral Grande, D: Punta Calalaste, E: Desembocadura Mirihuaca, F: Mirihuaca sur y Mirihuaca norte. Vega bien desarrollada: vega activa, en crecimiento, con suelos orgánicos, vegetación hidrófila y freática somera y permanente. Vega en vías de degradación: vega en retracción, con evidencias de erosión leve, freática oscilante, agua intermitente, suelos minerales u orgánicos secos. Vega degradada: vega fósil, con paleosuelos, con vegetación freatofítica, freática profunda y drenaje efímero.

así porque cuando mayor es la variación estacional de la capa freática las vegas serán menos estables para desarrollar vegetación hidrófila y formar suelos orgánicos e hidromórficos.

Esta dependencia de la agradación orgánica y formación de la vega con el nivel de agua freático determina que la capa freática actúe como un nivel de base local (Bryan, 1941, Antevs, 1954; Haynes, 1968, Hall, 1990, Waters and Haynes, 2001, Quade *et al.*, 2008, Chepstow-Lusty *et al.*, 2005). En este sentido, cuando el nivel de base local es más alto que el perfil de equilibrio hay agradación orgánica, caso contrario hay degradación.

La degradación física de las vegas se manifiesta en diferentes formas. Algunas de ellas son la formación de cárcavas, de hoyos de subsidencia por secado de los suelos y la

sedimentación de la vega por materiales aluviales y/o coluviales. Otros rasgos erosivos presentes son el desarrollo de terrazas fluviales pares y de pedestales de erosión compuestos por paleosuelos orgánicos y diatomitas (Figura 3). La degradación vinculada a los procesos eólicos son los hoyos de deflación, los rasgos de abrasión eólica y las dunas que cubren las vegas. Finalmente, otro rasgo asociado a la degradación física es la formación de eflorescencias salinas que disminuyen la cohesión del suelo.

Como mencionáramos, la degradación de las vegas origina diversos impactos en la actividad socio-económica. El más destacado se vincula con la desaparición de la zona saturada de agua que se aloja en sus sedimentos como resultado de la profundización o desaparición de la capa freática. Este proceso origina la disminución de las reservas de



**Figura 2.** Vega activa en Corral Grande con buen desarrollo de la vegetación hidrófila y de los suelos orgánicos. Zonas húmedas debido a la existencia de capa freática somera permanente y con escasa oscilación en su profundidad.

agua dulce en la cuenca (Tchilinguirian *et al.*, 2008 y Tchilinguirian y Olivera, 2010a) y el cambio del régimen de humedad de los suelos de la vega, lo que deriva en el reemplazo de la comunidad vegetal acuática y de pasturas por la vegetación xerófila y halófila. Este proceso degradativo se asocia al decrecimiento del valor forrajero y de la capacidad óptima de carga ganadera de la vega.

La degradación de vegas no es un proceso que ocurre solamente en la actualidad, sino también en el pasado reciente. Esto se evidencia a partir de la existencia de numerosos paleosuelos orgánicos y minerales recientemente enterrados y decapitados que se localizan en las riberas de la red de drenaje de la Puna. Los estudios referentes a los paleohumedales andinos citan varias causas asociadas a su formación y su degradación.

Por ejemplo, en la región de Atacama se infiere que la formación y degradación de paleohumedales del Holoceno temprano y medio estuvo asociado a un factor paleoclimático (Rech *et al.*, 2002, 2003, Nester *et al.*, 2007). Por su parte, Servant y Servant Vildary (2003) indican que los paleohumedales fluviales en la región del desierto de Atacama, en el NO de Chile, se formaron en climas con precipitaciones no muy intensas regularmente distribuidas en el año. Este fenómeno habría favorecido la infiltración y la recarga del acuífero que luego descargaba sus aguas en forma permanente y alimentaba las antiguas vegas. Sin embargo, también existen las interpretaciones no climáticas en lo que respecta a la formación de vegas en el desierto. Grosjean *et al.* (2001) interpretan que la formación de paleohumeda-



**Figura 3.** Vega degradada en Corral Grande. Se observan pedestales de erosión en paleosuelos orgánicos y erosión hídrica en cauces efímeros que transportan gravas y arenas. La capa freática está ausente y no hay desarrollo de suelos orgánicos. La vegetación dominante son freatofitas y está ausente la vegetación hidrófila.

les es controlado por factores locales como ser procesos geomorfológicos que dan origen a freáticas elevadas, por ejemplo endicamientos del curso de agua por algún aluvión, o por la presencia de sustratos impermeables.

La paleodegradación de vegas en la Puna se presenta en una variabilidad de contextos que llama la atención, ya que se extiende en cuencas con diferentes características geológicas, geomorfológicas y de uso del suelo. Esta variabilidad de contextos plantea varios interrogantes acerca de las causas de la paleodegradación y de los procesos e interacciones que ocurrieron entre los diferentes componentes del medio biofísico-humano para llevar a cabo el inicio de su degradación. Aunque existe un amplio consenso en cuanto a que la degradación de las tierras es consecuencia conjunta de la acción humana y de factores climáticos, queda la duda acerca de la importancia relativa de ambas en la época arqueológica-histórica. Por lo tanto, el objeto de este trabajo es estudiar las causas y procesos de formación y degradación de las vegas de la región de Antofagasta de la Sierra en los últimos 1000 años.

#### EL CONTEXTO MEDIOAMBIENTAL

El río Punilla es el principal colector de la Puna sur y posee varios cursos afluentes entre los que se destacan los arroyos Concha Argolla, Curuto, Mirihauca, Las Pitas y Los Colorados. Este último a su vez lo componen las subcuencas de los ríos Calalaste, Mojones y Nacimientos (Figura 1c).

Las nacientes se extienden entre cordones montañosos como la sierra de Calalaste (5433 m.s.n.m), ubicada al oeste del área, y grandes macizos volcánicos de edad Pliocena como el cerro Mojones-Beltrán (5666 m.s.n.m) al norte del área. Al oriente se hallan las Cumbres del Toconquis (5120 m.s.n.m.) que corresponden al borde de la mega-caldera volcánica del cerro Galán (5600 m.s.n.m).

El clima del área se caracteriza por una elevada radiación solar y baja presión atmosférica debido a la elevada altitud de la

Puna. Las precipitaciones están relacionadas con los vientos húmedos del norte y noreste, provenientes del anticiclón del Atlántico (Barros *et al.*, 2000). Los datos de precipitación para la región fueron obtenidos de la localidad de Antofagasta de la Sierra para el período 1999-2006 (Tabla 3). Los valores de precipitación no nivales alcanzaron los 127 mm/año. El 97% de la precipitación ocurrió básicamente en los meses de verano (Diciembre a Marzo) y el 3% restante en invierno (Tabla 3). La variabilidad anual de la precipitación es muy acentuada (80%) lo que también se registra a escala estacional (90-120%) y mensual (80-240%). La variabilidad de las precipitaciones y del número de días de lluvia aumenta en la estación más seca (variabilidad precipitación invernal: 144-200%) lo cual sugiere que la distribución de lluvias es más impredecible cuando aumentan las condiciones de aridez (Tabla 3). La temperatura media anual es de 10°C aproximadamente, siendo enero el mes más cálido, con temperatura máxima media de 21°, mientras que el mes más frío corresponde a agosto con 0°C de temperatura media. Durante el invierno y parte del otoño y la primavera, las heladas son frecuentes y se produce congelamiento del agua. El valor de evapotranspiración potencial (550 mm/año) es siempre superior al valor de la precipitación y en consecuencia el balance hídrico es negativo durante todo el año (Tchilinguirian 2009). Las lagunas permanentes más importantes tienen escasa profundidad (menor a 2 m) y poseen aguas salinas (e.g., Laguna Antofagasta) o hipersalinas (e.g., Lagunas Cavi, Diamante y Carachipampa) (Tchilinguirian 2009).

La vegetación está distribuida en diferentes pisos altitudinales. A menos de 3800 m.s.n.m. aparecen las comunidades de arbustos conocida como Tolar, compuestas por la familia de las *Asteraceae* (i.e. *Fabiana* spp., *Bacharis boliviensis*, *Adesmia* spp., etc.). Entre los 4000 a 5000 m.s.n.m se extiende el Pajonal (estepa de altura), compuesto por la familia de las *Poaceae*, principalmente representada por *Festuca* spp. y *Stipa* spp. Entre el Pajonal y el piso de Tolar -

entre 3900/4000 m.s.n.m.- hay una zona de ecotono con una comunidad mixta de arbustos y estepa. Estos pisos constituyen el 99% de la matriz del desierto, el restante 1% está ocupado por los humedales conocidos como vegas (Tchilinguirian y Olivera, 2009). Estos ambientes contrastan fuertemente con el paisaje aledaño ya sea en el sentido de la diversidad, abundancia, cobertura vegetal, productividad primaria y disponibilidad de agua, como así también en la generación de biomasa.

En la Puna Sur el archivo paleoclimático más cercano es la laguna El Peinado, ubicado a 82 km al SO. En ella se efectuaron estudios paleolimnológicos (Valero Garcés *et al.*, 2003) que detectaron que antes del siglo XVII el nivel de las aguas fue inestable con secado y que después de los 1680 AD el nivel medio de las aguas fue mayor. Otros estudios están descriptos en la tabla 4 y corresponden los efectuados por Robdell (1992), Thompson *et al.* (2003), Valero Garcés *et al.* (2003), Liu *et al.* (2005), Latorre *et al.* (2006), Solomina *et al.* (2007) y Rabatell *et al.* (2008).

#### EL CONTEXTO ARQUEOLÓGICO

La ocupación humana en la Puna sur fue un proceso complejo (Olivera y Vigliani, 2000; Olivera *et al.* 2006, 2007) que comenzó hace ca. 10000 años con el establecimiento de grupos cazadores-recolectores. Las primeras ocupaciones humanas se remontan a ca. 9800 AP (Aschero y Martínez, 2001). Son cinco los sitios arqueológicos que cuentan con evidencias datadas dentro del lapso 10000-7000 AP: Quebrada Seca 3, Peñas de la Cruz 1.1, Cueva Salamanca 1, Punta de la Peña 4 y Peñas de las Trampas 1.1 (Martínez, 2007).

Durante el Holoceno Temprano y Medio, la principal actividad de subsistencia fue la caza sistemática de camélidos silvestres: *Lama guanicoe* y *Vicugna vicugna*, principalmente esta última (Elkin, 1996). Sin embargo, en algún momento a partir de ca. 5000-4500 años AP se habrían incorporado los primeros camélidos domesticados (*Lama gla-*

*ma*), producto incluso de un posible proceso de domesticación regional, mientras que el pastoreo estaría ya bien establecido hacia ca. 3000 años AP (Olivera 1997, 1998).

El registro arqueobotánico indica, para el lapso ca. 10000-3000 años AP, un uso intensivo de plantas silvestres tanto locales como no locales con diversos fines: alimentación, combustible, funebria, preparación de pisos y confección de artefactos (Rodríguez y Aschero, 2007). Hacia los 3000 años AP hay evidencia de la introducción de plantas domesticadas, aunque sigue siendo preponderante la caza en las altas cuencas y el pastoreo de llamas. Alrededor de los 2500 años AP un pequeño poblado, Casa Chávez Montículos (CChM), se instaló en la desembocadura del río Punilla, cerca de la localidad de Antofagasta de la Sierra, con evidencias de agricultura y especialmente de ganadería (Olivera 1997, 1998). Otro asentamiento similar, denominado Las Escondidas, se localizó en la cuenca inferior del río Mirihauca (Escola *et al.*, 2011).

Alrededor de los 2000 años AP se agregan a CChM nuevos asentamientos más pequeños, ubicados en las cuencas bajas y medias de las quebradas de los arroyos laterales (e.g., Curuto, Miriguaca y Las Pitás). En estos sitios continúa el registro del pastoreo y caza de camélidos, pero asociados a mayores evidencias de agricultura y a materiales arqueológicos provenientes de otras regiones bioclimáticas (valles mesotermiales y Yungas). En estos sitios, las antiguas parcelas de riego son pequeñas y no superan los 2000 m<sup>2</sup>, por lo que se estima que el impacto en el balance hídrico de la vega no debía ser muy significativo (Tchilinguirian y Olivera, 2011).

Así, para los momentos ca. 2500 a 2000 años AP se propuso un modelo logístico de *pastoreo con agricultura* (Olivera, 1998), donde el pastoreo era el eje económico productivo, mientras que a partir de ca. 2000 años AP se produciría un incremento de las prácticas agrícolas acompañado de un aumento de la demografía (Olivera y Podestá, 1995; Olivera, 2006).

Desde los 1100 años AP los asentamien-

tos más importantes se desplazaron a la cuenca inferior del río Punilla, pero aprovechando la terraza del río Punilla y el sector inferior de la colada de los volcanes Antofagasta y La Alumbra (Olivera y Vigliani, 2000). Los sitios más importantes son Bajo del Coypar I y II y La Alumbra. En estos asentamientos aparecen estructuras vinculadas a la introducción de nueva tecnología para el riego y la actividad agrícola comienza a ocupar una importante extensión en las zonas aledañas al río Punilla. Al mismo tiempo cambiaron los componentes culturales representados por la cerámica (cerámica Belén, durante toda la cronología, y en menor medida cerámica Inca y Santa María, hacia las épocas finales). Entre los 1100 a los 450 años AP, los sitios aumentaron sus dimensiones, especialmente La Alumbra que llegó a ocupar 25 Ha y Bajo del Coypar, que tiene 540 Ha de campos de cultivo con canales de riego de diferente jerarquía (Tchilinguirian y Olivera, 2011). Probablemente hacia momentos tardíos y finales de la ocupación, aparecieron nuevos asentamientos agrícolas periféricos en la cuenca del río Punilla como Miriguaca (35 Ha), Curuto (8 Ha), Mojones (Corral Grande: 9 Ha), Punta Calalaste (2,3 Ha) y Campo Cortaderas (5,3 Ha) (Tchilinguirian y Olivera, 2011). Cerca de los 450 años AP, los incas reorganizaron el espacio y la arquitectura e introdujeron nuevos cambios en la estructura de las redes de riego, ampliando las zonas de cultivo con canales elevados y andenes/terrazas de cultivo en ladera. En los tiempos históricos, posconquista europea, la mayoría de los asentamientos fueron abandonados. Actualmente, sólo una pequeña parte de las tierras (35 Ha) es cultivada con alfalfa (especie introducida del viejo mundo luego de la llegada de los europeos) para pastura y el agua disponible se consume básicamente en la localidad de Antofagasta de la Sierra, ubicada cerca de la desembocadura del sistema de drenaje.

#### METODOLOGÍA

El estudio se planteó en las vegas de la cuenca del río Punilla, ubicada en la Puna

sur Argentina (Provincia de Catamarca, Departamento de Antofagasta de la Sierra). Concretamente se estudiaron las degradaciones en las vegas de la cuenca inferior de los arroyos Calalaste (25°50'S, 67°28'O, paraje Punta Calalaste), Ilanco (26°5'S, 67°18'O, paraje Peña de La Cruz), Mojones (25°51'S 67°25'O, paraje de Corral Grande) y en la cuenca media del arroyo Las Pitas, a la altura de los parajes de Punta de la Peña y Peñas Chicas (26°2'S, 67°21'O) (Figura 1c). Adicionalmente, se incluyeron las vegas aledañas al salar Carachipampa (26°25'S, 67°29'O).

En este trabajo se aborda el estudio de la degradación de las vegas desde una perspectiva geoarqueológica y paleoambiental. Este método ha sido poco utilizado en estudios referentes a la degradación y su elemento principal es comparar las edades de formación y destrucción de las paleovegas con la información referente a la variabilidad paleoclimática y el uso del espacio en tiempos arqueológicos e históricos.

El primer paso consistió en elaborar la cartografía de las vegas a partir del procesamiento de imágenes satelitales ASTER. Se efectuó una zonificación de las mismas según su estado de degradación y en base a los criterios aportados por Soil Survey Staff (1993). Además se delimitaron las cuencas de drenaje utilizando el modelo digital del terreno SRTM (Shuttle Radar Topography Mission, año 2000) y se calculó la hipsometría de las cuencas por medio del procesamiento de los modelos digitales del terreno con el programa Arcview 3.2.

Las tareas de campo incluyeron el relevamiento del estado de degradación de los suelos en 5 vegas degradadas a partir del relevamiento de distintos indicadores morfológicos como pedestales de erosión, terrazas, surcos, agrietamientos y subsidencias de turbas secas. Se determinó el tipo de régimen hidrológico de la red de drenaje según sea permanente, intermitente o efímera. Este relevamiento se efectuó a partir de las imágenes satelitales de Google Earth (fecha 19-06-2002) y de las visitas de campo efectuadas en abril de 2000, 2002, 2003, 2010 y setiem-

**Tabla 1.** Edades radiocarbónicas obtenidas en el área de estudio.

| Lab Cod.  | Lugar                 | Muestra | Material         | Edad 14C medida<br>(años AP) | $\delta^{13}C$ |
|-----------|-----------------------|---------|------------------|------------------------------|----------------|
| AA78534   | Q. Las Pitas          | 55/04   | Materia orgánica | 152 $\pm$ 43                 | -27.1          |
| AA78546   | Q. Las Pitas          | 53/04   | Materia orgánica | 115 $\pm$ 37                 | -27.4          |
| AA78537   | Q. Las Pitas          | 55/04   | Materia orgánica | 202 $\pm$ 38                 | -26.5          |
| UGA 15108 | Q. Las Pitas          | 53/04   | Materia orgánica | 200 $\pm$ 35                 | -26.4          |
| AA78535   | Corral Grande         | 96/05   | Materia orgánica | 305 $\pm$ 43                 | -26.7          |
| AA78538   | Corral Grande         | 96/05   | Materia orgánica | 241 $\pm$ 38                 | -28.0          |
| AA78540   | Salar<br>Carachipampa | 101/05  | Materia orgánica | 644 $\pm$ 43                 | -24.9          |
| UGA 15107 | Q. Ilanco             | 85/04   | Materia orgánica | 695 $\pm$ 30                 | -25.8          |

bre de 1998 a 2010. Se estudiaron los suelos a partir de calicatas y perfiles efectuados en las vegas según los criterios de Soil Survey Division Staff (1993). Con esta información se diferenciaron las vegas con Entisoles y con Histosoles. Se analizó el uso del espacio en tiempos actuales, históricos y arqueológicos mediante el relevamiento a partir de imágenes satelitales de alta resolución brindadas por el Google Earth (año 2009) de los puestos y los corrales activos e inactivos y las estructuras arqueológicas. Con esta información se delimitaron las cuencas con mayor y menor densidad de ocupación humana. También se realizó el sondeo y relevamiento de perfiles sedimentarios en las vegas. En estos perfiles se analizó la textura, las estructuras sedimentarias, el color y la continuidad lateral de las diferentes capas de sedimentos. Con especial énfasis se relevaron los paleosuelos y las discontinuidades erosivas con el fin de determinar las fases de pedogénesis, de erosión y de acumulación de sedimentos. Se efectuaron ocho dataciones radiocarbónicas AMS en paleosuelos orgánicos en The National Science Foundation - Arizona AMS Laboratory (Universidad de Arizona) (Tabla 1). Se descarta el efecto reservorio debido a que las paleoturbas data- das tienen diatomeas que indican paleoecologías de aguas con escasa salinidad (Grana com.per., 2008). Asimismo, no existen afloramientos de calizas o rocas calcáreas que

puedan aportar carbonato en la cuenca de drenaje.

Por último se efectuaron análisis de conductividad en las aguas de las vegas activas y degradadas con equipo de campo. Los análisis químicos de aguas incluyeron el pH y los elementos mayoritarios. Los mismos fueron efectuados por el equipo del Laboratorio de Suelos (Facultad de Agronomía) de la UNCA.

Los datos climáticos se obtuvieron de la estación meteorológica Antofagasta de la Sierra. Esta estación cuenta con casilla para termómetro, pluviómetro y freátímetro. Los datos de temperatura se recolectaron a partir de un termómetro de lectura visual que registra los valores mínimos y máximos en una casilla ubicada a 1,3 m del suelo. Las observaciones se realizaron a las 9 hs. y 16 hs. todos los días, entre los años 1998 al 2007, por parte del personal de la Dirección de Ganadería de la Provincia de Catamarca. Los datos de precipitación se midieron en un pluviómetro de 20 cm de diámetro colocado a 1 m de altura. Los valores de la profundidad de la capa freática se obtuvieron con un freátímetro de PVC reforzado colocado a 2 m de profundidad y ranurado entre 0,5 a 2 m, localizado a 50 m del curso del río Punilla cerca de la localidad de Antofagasta de la Sierra en el predio de la Dirección Provincial de Ganadería. La medición de la profundidad de la capa se realizó cada 5 días a lo

largo de 10 años (1997-2007) con cinta métrica.

Se analizaron los isótopos  $2\text{H}$ ,  $18\text{O}$  y  $3\text{H}$  en la vertiente del arroyo Los Colorados ( $26,031^{\circ}\text{S}$ ,  $67,448^{\circ}\text{O}$ ,  $3421\text{ m.s.n.m.}$ ) y en el río Las Pitas ( $26,028^{\circ}\text{S}$ ,  $67,343^{\circ}\text{O}$ ,  $3581\text{ m.s.n.m.}$ ) con el objetivo de determinar el origen, altitud y edad de las aguas de las vegas y con ello poder hacer inferencias hidrológicas-hidrogeológicas. Los análisis de isótopos estables fueron realizados en los laboratorios del Instituto Nacional de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS-CONICET, Buenos Aires) siguiendo las técnicas de Coleman *et al.* (1982) y Panarello y Parica (1984) para  $2\text{H}$  y  $18\text{O}$ , respectivamente. La determinación de la concentración de Tritio Ambiental en Muestras de Agua fue efectuada por el Método de Enriquecimiento Electrolítico, y un Equipo Contador/Espectrómetro de Centelleo Líquido «Packard TriCarb 3170 TR/SL Low Level». Dicho ensayo acreditado/reactificado por el OAA según Normas ISO/IEC 17025 (IRAM 301) desde el año 2004 hasta el presente.

La información paleoclimática fue obtenida de estudios regionales de los Andes Tropicales del noroeste Argentino, el norte de Chile, Bolivia y el sur del Perú (Robdell, 1992, Thompson *et al.*, 2003, Valero Garcés *et al.*, 2003, Liu *et al.*, 2005, Solomina *et al.*, 2007; Latorre *et al.* 2006; Rabatell *et al.*, 2008).

## RESULTADOS

En el presente estudio se comprueba que las vegas tienen diferentes características en cuanto a tipo de vegetación, suelos, régimen hidrológico y procesos geomorfológicos a lo largo de su perfil longitudinal (Figura 4). En este sentido, se distinguieron tres tipos de vega: la vega activa (Figura 2), la vega en vías de degradación y la vega degradada o relictica (Figura 3). Hay cuencas que no poseen vegas como así tampoco paleovegas, sino que tienen solamente cursos de régimen efímero. Estas cuencas tienen la característica de ser pequeñas (menor a  $25\text{ km}^2$ ) y/o de baja altitud (menor a  $4000\text{ m}$ ).

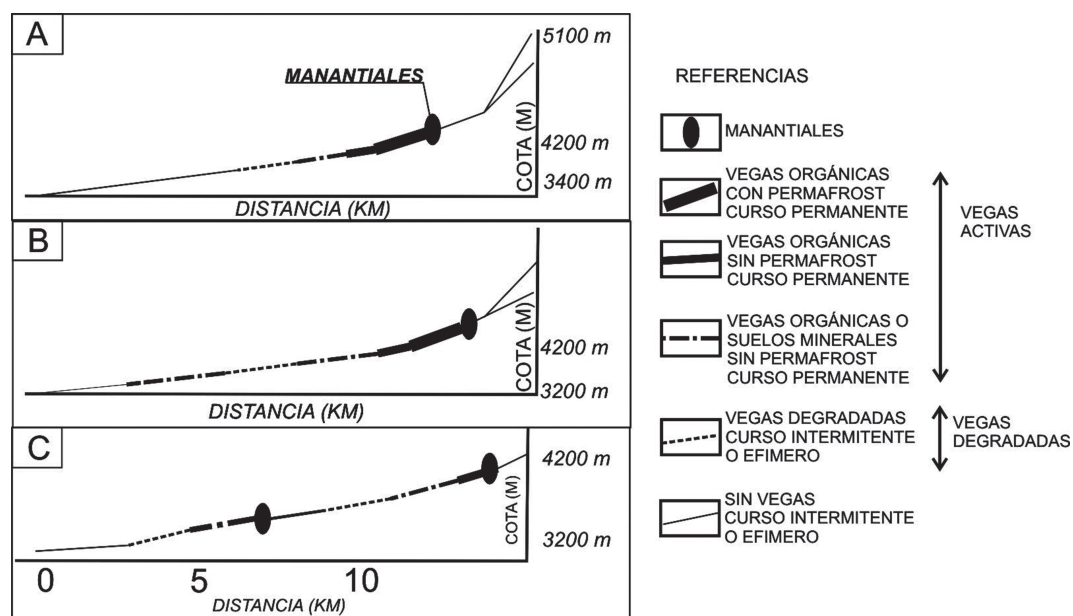


**Figura 4.** Distintos tipos de vegas a lo largo del perfil longitudinal de un río; a, vega del río Mojones; b, vega del río Las Pitas; c, vega del río Mirihuaca.

## VEGAS ACTIVAS

Las vegas activas se las divide en dos tipos: aquellas ubicadas entre 5000 a 4200 m.s.n.m., denominadas vegas Altoandinas, y aquellas localizadas a menos de 4200 m.s.n.m., que denominaremos vegas Puneñas. Las primeras se localizan en las cabecezas de los arroyos y se componen principalmente de *Oxychloe* sp. Sus suelos tienen congelamiento estacional y discontinuo y son preferentemente orgánicos (Cryofolist típico, Cryohemist típico, Borohemist hídrico) o minerales (Torrifluvente acúico, Haploborol ácuico o fluvéntico). En estos tramos la vega tiene impresa una fuerte microtopografía caracterizada por montículos y depresiones con forma de «cojines» o «camas» formados por un enraizamiento denso de la vegetación. El montículo está saturado y posee hiello intersticial. Estas microformas son periglaciales y están vinculadas al crecimiento de los cojines de *Oxychloe*. En muchos casos, el crecimiento de los cojines de vegetación y montículos terminan por «embeber» y ocultar al cauce en la vega formando conductos subterráneos (túneles de drenaje). Si la acción fluvial es dominante a la acción periglacial, se desarrollan cauces someros (en general < 1 m de profundidad) con un hábito de drenaje multicanal separados por islas de cojines de *Oxychloe* (Tchilinguirian, 2009). En los cauces la velocidad del flujo es lenta (menor a 0,2-0,4 m/seg) y aparecen encharcamientos de 2 a 500 m<sup>2</sup> de superficie y 0,1 a 0,5 m de profundidad. Los suelos orgánicos (Histosoles) tienen entre 0,4 a 2 m de profundidad y se componen enteramente de fibras vegetales poco descompuestas de color castaño o gris claro. Este material cohesiona fuertemente el sustrato y por este motivo los humedales se forman hasta pendientes inclinadas de 10° sin que se erosionen. Estos ecosistemas serían semejantes a los «Bofedales Andinos» que se desarrollan en Perú, Bolivia y el norte de Chile (Alzérreca *et al.*, 2001).

A menos de 4200 m de altura las vegas son dominadas por otro tipo de vegetación. La vegetación presente está formada básicamente por la familia de las *Cyperaceae* (v.g.

*Scirpus atacamensis*, *Juncus depauperatus*, *Hypsella* spp., *Plantago* spp.). Los montículos de permafrost no se desarrollan, aunque pueden aparecer en algunos sectores donde la umbría es muy marcada. Los cauces tienen un hábito sinuoso y son de 1 a 3 m de ancho y 0,4 a 0,9 m de profundidad. La velocidad del flujo es mayor a 0,4 m/seg y el cauce generalmente se encuentra cubierto de macrofitas y algas que reducen la erosión del lecho y de sus riberas. La pendiente longitudinal es de 3° a 5°. En la llanura de inundación hay suelos minerales con espesores entre 0,4 a 0,6 m (Torrifluvente acúico) y las freáticas son someras (0,1-0,4 m).

Las vegas activas tienen cuencas de drenaje que superan los 4500 m.s.n.m de altitud. En cuencas con altitud menor a los 4500 m.s.n.m. los cursos de agua son de régimen efímero o inactivo y no hay vegas (extremo inferior izquierdo de la Figura 5). La longitud de la vega activa es proporcional al área de la cuenca de drenaje ( $R: 0,99$   $p < 0,001$ , Figura 5). Por lo tanto las vegas serán más largas (borde derecho superior de la Figura 5) si el tamaño de las cuencas ubicadas en el intervalo altitudinal 4500-5000 m es mayor.

Se efectuó un análisis multivariado (PCA) de 40 cuencas de drenaje con y sin vegas donde se analizó la superficie en km<sup>2</sup> en diferentes intervalos altitudinales como ser entre 4000 a 4500 m, entre 4500 a 5000 m, a más de 4000 m, a menos de 4000 m y a más de 5000 m altitudinales (Figura 6). El PCA distingue dos grupos de cuencas, las cuencas sin vegas se ubican a la izquierda del gráfico y las cuencas que tienen vegas en la derecha del mismo. La variabilidad del Análisis de Componentes Principales es explicada en un 94% por el eje 1 el cual está relacionado en mayor medida con la variable de «vegas cuyas cuencas de drenaje se localizan entre los 4000 y 5000 m de altitud» (Figura 6).

VEGAS EN VÍAS  
DE DEGRADACIÓN

Por lo general, las vegas en vías de degradación se hallan pendiente abajo o pendien-

te arriba de las vegas activas. Se caracterizan por tener evidencias suaves de erosión y de falta de agua en el perfil del suelo. Tienen un drenaje de régimen intermitente que es activo durante el invierno cuando el valor de evapotranspiración es menor. Además, la capa freática está entre 0,6 a 2 m de profundidad lo que origina que los suelos no estén saturados y se mantengan secos en su sección superior. Esto hace que la vegetación acuática o hidrófila sea reemplazada por arbustos más adaptados a las condiciones de sequedad como son las *Asteraceae* f. Los suelos pueden ser minerales u orgánicos, al igual que los presentes en los tramos superiores pero con la salvedad que su régimen edafoclimático es más árido. Los suelos orgánicos tienen grietas de contracción de 2 m de profundidad y en la superficie hay hoyos de subsidencia de 0,05 a 0,30 m de profundidad producto del secado diferencial. Todos los fenómenos comentados hasta aquí estarían indicando una etapa temprana de degradación del humedal debido al descenso de la capa freática y la pérdida generalizada de la humedad.

#### VEGAS DEGRADADAS

Las vegas degradadas se caracterizan por haber perdido los componentes y la funcionalidad de un humedal. A lo largo del recorrido de un arroyo puede haber varios tramos donde se intercalan vegas activas y degradadas, aunque generalmente esta última se localiza con mayor frecuencia y extensión en la cuenca inferior de los distintos arroyos (Figura 1c y Figura 4).

En las vegas degradadas el drenaje tiene un régimen efímero o intermitente y la capa freática está a más de 2 m de profundidad. La falta de agua en los suelos es permanente y los mismos se hallan totalmente secos. Los rasgos erosivos son conspicuos y tienen buena expresión morfológica. Entre ellos se destacan los surcos de erosión de 1,2 a 2 m de profundidad y las terrazas fluviales pares con un desnivel entre 0,2 a 2 m respecto al nivel del lecho. Estas son terrazas de relleno y están compuestas por paleosuelos orgánicos o material orgánico integrado por fragmentos de epidermis de *Cyperaceae* que se hallan orientados y laminados con diatomeas. También se presentan paleosuelos mi-

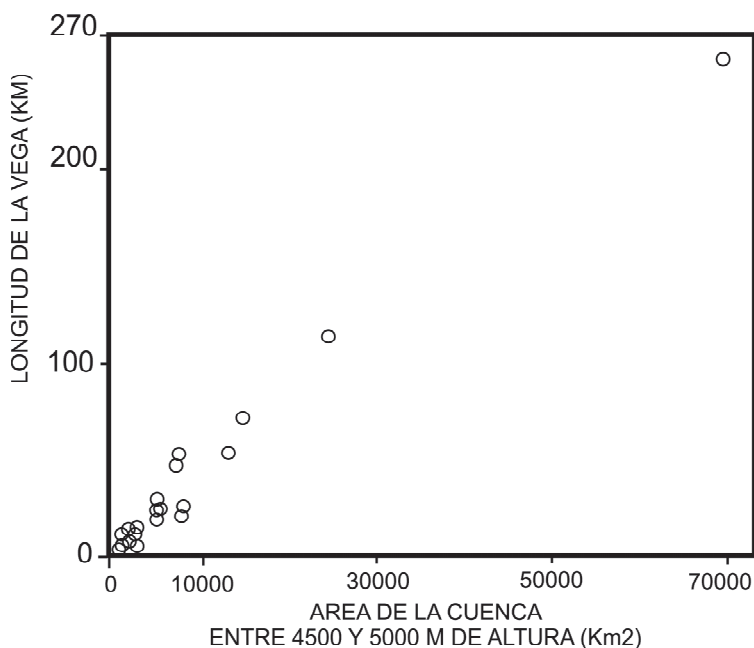


**Figura 5.** Correlación positiva entre longitud de vegas y área de las cuencas de drenaje situadas entre 4500-5000 m s.n.m. Vegas más grandes son aquellas que tienen cuencas extensas en el intervalo altitudinal de 4500 a 5000 m.

nerales con gran cantidad de moteados y concreciones de óxidos producto de la oxidación de los antiguos suelos hidromórficos. La acción eólica también juega un papel importante en los procesos de degradación de las vegas. A este agente es atribuible la formación de hoyos de deflación semicirculares de 1 a 10 m de diámetro (e.g. en la zona del Salar Laguna Colorada) o de superficies de abrasión eólica en los sedimentos turbosos (e.g. en la zona de Carachipampa). Otros rasgos son los vuelcos y deslizamientos de suelos que se localizan en las riberas de las cárcavas o en las escarpas de los hoyos de deflación o subsidencia. La remoción en masa es propiciada por el socavamiento basal provocado por la acción hídrica, durante las eventuales crecientes, o por la acción eólica (Figura 3). Los planos verticales formados a partir de la contracción de la vega seca fomentan la aparición de superficies de despegue o superficies de patinaje donde tienen lugar los vuelcos y deslizamientos.

Es frecuente que las vegas degradadas se ubiquen en secciones de valles amplios en vez que en secciones estrechas. También se localizan en valles con elevado aporte lateral de sedimentos coluviales o con fuerte sedimentación eólica. En estos casos, es común observar paleosuelos orgánicos tapados por material coluvial o por médanos (Tchilingirian 2009).

Las vegas degradadas también suelen ubicarse en las zonas donde afloran sustratos muy permeables como ser los sedimentos pedemontanos o que componen las terrazas fluviales.

Aguas abajo de las vegas degradadas, se extienden los cauces de régimen efímero con lechos de grava y arena y de hábito entrelazado. En éstos la vegetación dominante son arbustos de «Tola». A ambos lados del cauce hay terrazas fluviales de edad Holocena en cuyos depósitos no hay paleosuelos orgánicos de edad reciente (< 700 años A.P.).

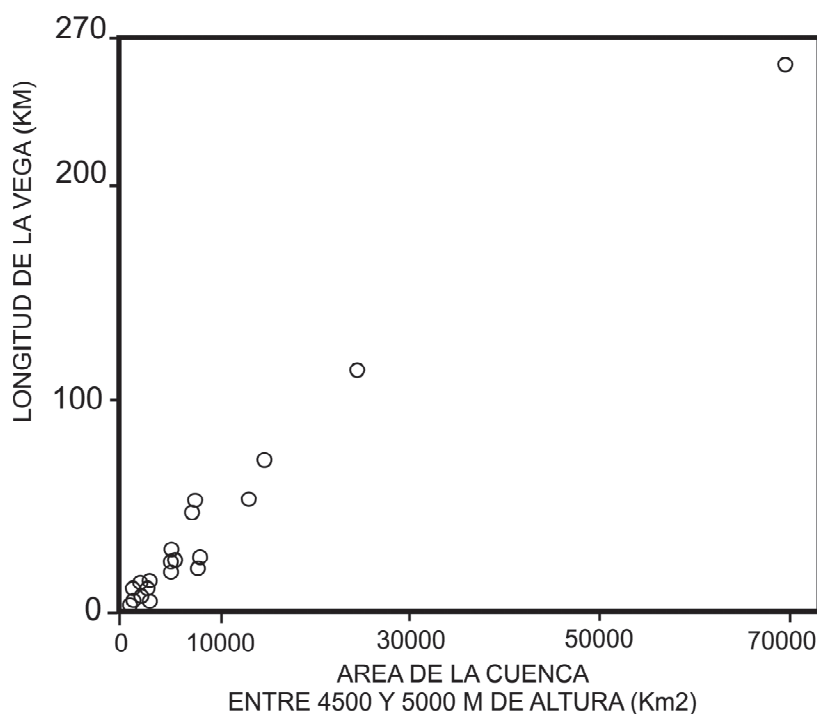


**Figura 6.** Análisis multivariado (PCA) en cuencas con vegas y en cuencas sin vegas; CP1, eje 1 del componente principal que explica el 94% de la variabilidad.

### DATACIONES

Las dataciones radiocarbónicas efectuadas en los paleosuelos de las vegas severamente degradadas registran edades entre ca. 700 y 150 años AP (tabla 1). En las vegas de Corral Grande las edades se hallan entre  $305 \pm 43$  y  $241 \pm 38$  años AP, en quebrada Las Pitas en el paraje Punta de la Peña y de Peñas Chicas las edades son de  $152 \pm 43$ ,  $115 \pm 37$ ;  $202 \pm 37$  y  $200 \pm 35$  años AP, en quebrada de Ilanco  $695 \pm 30$  años AP y en el borde norte del Salar de Carachipampa  $644 \pm 43$  años AP. Estas edades indican la edad de la formación de los suelos orgánicos, es decir cuando la vega era activa, estaba bien desarrollada y la capa freática afloraba o se hallaba en forma muy somera. En la Figura 7 se ilustra la distribución de las edades radiocarbónicas de los paleosuelos en las diferentes vegas degradadas.

### QUÍMICA E ISÓTOPOS DE AGUAS

Los datos químicos de las aguas en vegas activas indican que las mismas tienen escasa conductividad (200 a 400 microsiemens),

bajos valores de RAS (Relación Absorción de Sodio: 0,75-1,3) y pH neutros a levemente alcalinos (6,5 a 8,4). Estas condiciones químicas permiten que la vegetación de la vega pueda desarrollarse sin impedimentos.

Los valores isotópicos de oxígeno ( $^{18}\text{O}$ :  $-6,6 \pm 0,2$ ), deuterio ( $^2\text{H}$ :  $-50 \pm 1$ ) y tritio (Unidades tritio:  $0,0 \pm 0,6$ ) de las aguas superficiales del río Las Pitas y Los Colorados tienen improntas isotópicas semejantes (Tabla 2).

### HIDROLOGÍA DE LA VEGA ACTIVA

La capa freática en el curso inferior del colector regional (río Punilla) fue más somera en invierno respecto al verano. La variación relativa de la profundidad de la capa freática fue escasa y alcanzó valores del 9% al 11% entre invierno y verano. Esta variación estaría asociada al menor valor de la evapotranspiración durante invierno-otoño y no a las lluvias, las cuales denotan el mínimo valor en esta estación (tabla 3). Las nacientes de la cuenca del río Punilla no tienen nieves permanentes y los deshielos ocurren en primavera (nevadas invernales) o en

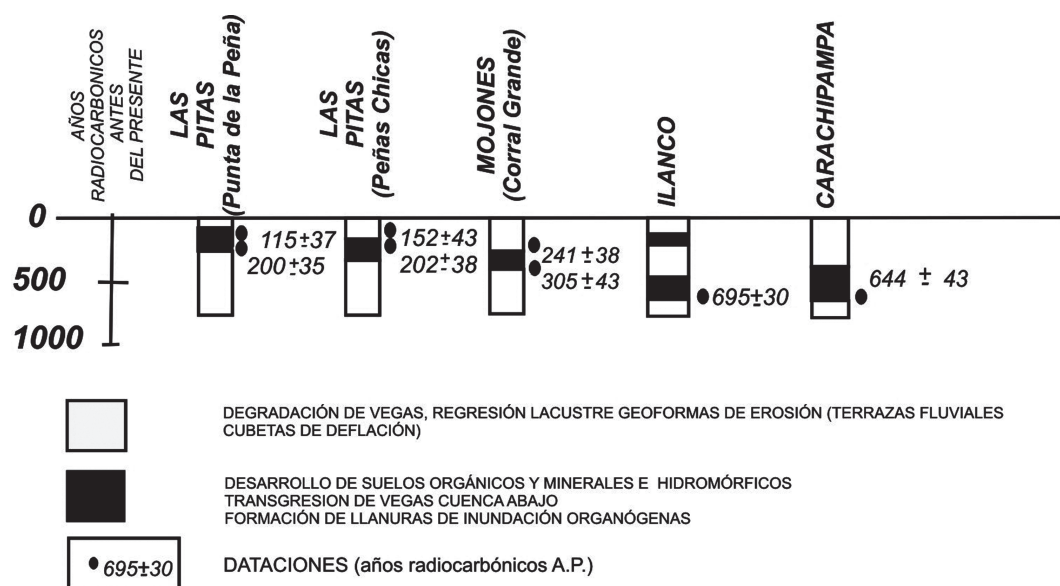


**Figura 7.** Dataciones radiocarbónicas obtenidas y procesos pedogenéticos y geomórficos presentes a lo largo del tiempo. Se observa la existencia de dos fases de formación de suelos orgánicos y expansión de vegas.

**Tabla 2.** Datos analíticos de concentración de tritio e isótopos de oxígeno.

| Muestra | Sitio                            | Latitud  | Longitud | Relación de enriquecimiento | Concentración Tritio U.T <sup>1</sup> | $\delta^{18}O$ ( $\pm 0,2$ ) | $\delta^2H$ ( $\pm 1$ ) |
|---------|----------------------------------|----------|----------|-----------------------------|---------------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| 14579   | Vertiente Los Colorados (3421 m) | -26,031° | -67,448° | 9,7                         | 0,0 $\pm$ 0,6                         | -6,6                         | -48                     |
| 14580   | Río Las Pitas (3581 m)           | -26,028° | -67,343° | 9,7                         | 0,0 $\pm$ 0,6                         | -6,3                         | -51                     |

<sup>1</sup> Concentración corregida por decaimiento a la fecha de 2011.

verano (nevadas de verano). Por lo tanto, la ausencia de aumentos significativos del caudal del río Punilla en primavera o luego de las nevadas veraniegas, permite suponer que la cobertura nival se evapora o se infiltra, luego de fundirse. Otro aspecto hidrogeológico que le imprime estabilidad a la vega se refiere a la escasa variación de la profundidad de la capa freática a lo largo de los años (9% al 15%), lo que implica que el caudal del río Punilla se mantuvo prácticamente constante e independiente del valor de las lluvias anuales (tabla 3).

El 100% del agua de las vegas es alimentado a partir de vertientes que se localizan, en el 95% de los casos, en la cuenca superior y que se localizan a lo largo de fallas con evidencias neotectónicas. Las fallas son de tipo inverso y montan un bloque rocoso impermeable sobre los sedimentos cuaternarios más permeables. En consecuencia, el bloque elevado actúa como un obstáculo al escurrimiento subterráneo y las aguas afloran formando vertientes. El 5% restante de los manantiales se encuentran en el contacto entre rocas de diferente permeabilidad como las vulcanitas y las sedimentitas terciarias subyacentes más impermeables.

#### RELACIÓN ENTRE LAS VEGAS Y EL HOMBRE

Por último, está la acción del hombre como creador de vegas. El hombre riega e inunda en forma artificial terrenos aledaños a la vega natural lo que termina generando una vega artificial aledaña a la primera. Pero, si el suelo se seca por falta de riego las plantas se secan rápidamente y la vega se

degrada. En el área de estudio, las vegas artificiales se localizan adyacentes a vegas naturales y sus suelos orgánicos raramente superan los 5 a 7 cm de profundidad.

La acción del hombre como agente de degradación de las vegas se vincula a: 1- la extracción de agua para riego o consumo, situación que hoy en día se presenta en la localidad de Antofagasta de la Sierra; 2- la pérdida de vegetación hidrófila de agua dulce por la salinización de los suelos de la vega. Las sales se acumulan por la evaporación de anegamientos originados por el riego excesivo de vegas con drenaje pobre y suelos de texturas finas. En estos casos, la conductividad eléctrica del agua de la vega tiene hasta 3000 a 4000 microsimens, es decir hasta 10 veces más que las aguas de las vegas de los sitios estudiados. La salinización de los suelos se presenta actualmente en la confluencia del río Punilla y Los Colorados; 3- la construcción y excavación de canales rectilíneos en la vega. Esta acción origina un aumento de la escorrentía junto con la erosión y un descenso local de la capa freática. La construcción de canales origina impactos puntuales, de reducida extensión y limitado a los canales artificiales. Además, el impacto es reversible ya que el canal se colmata rápidamente de vegetación y sedimentos.

En las cuencas de drenaje ubicadas aguas arriba de las vegas degradadas no se encuentran ocupaciones arqueológicas o históricas que puedan haber originado impactos significativos en las vegas. No hay campos de cultivo o canales de riego de edad Tardía (Belén o Inka) que indiquen una anti-

gua extracción de agua. Los campos de cultivo más extensos (Bajo del Coypar: 500/600 Ha; Figura 1c), se localizan en la cuenca inferior del río Punilla, lejos de los sitios estudiados. En Corral Grande (río Mojones) se ubicaron canales de riego y corrales históricos aguas abajo de la vega degradada, lo que implicaría que en épocas históricas la vega fue activa y se extendió en estos corrales. Los fechados de los paleosuelos de la vega degradada de Corral Grande (ca. 200 a 152 años AP) son consistentes con la edad de los corrales históricos. En este caso se interpreta que los corrales históricos fueron abandonados por falta de agua en la vega y no porque se extrajo agua de ellas. En el río Calalaste ocurre una situación similar, el sitio agrícola de edad tardía «Punta Calalaste» (Figura 1 c) se alimentaba de canales de riego ubicados aguas abajo de la vega degradada por lo cual la antigua extracción de agua para riego no impactó en la degradación de la vega. En el salar de Carachipampa no se han ubicado sitios arqueológicos e históricos con campos de cultivo, como así tampoco en la quebrada de Ilanco (Figura 1 c).

## DISCUSIÓN

La relativa estabilidad del caudal y la profundidad de la capa freática es uno de los aspectos que sobresalen en las vegas activas. Esto es interpretado porque el régimen hidrológico está regulado por el flujo de agua subterránea, la cual aflora en numerosas vertientes. Los valores de los isótopos del agua superficial estarían indicando que las mismas provienen de precipitaciones acontecidas a más de 4500 m de altura y que no corresponden a valores estacionales recientes, sino estimadamente de más de 60 años de antigüedad.

Otro aspecto relacionado con las vegas activas es la buena calidad química de sus aguas, las cuales están prácticamente libres de sales. Por el contrario, en las vegas degradadas las aguas tienen fuerte salinidad y alcalinidad lo que inhibe el desarrollo de la vegetación hidrófila propia de estos ambientes.

El clima parece ser otro de los factores de peso que condicionan el desarrollo de las vegas activas ya que influencia el balance hídrico del agua y los procesos de paludización y humificación. Las cabeceras de las

**Tabla 3.** Valores medios de precipitación y su variabilidad anual y mensual y valor medio de la profundidad anual de la capa freática y variabilidad anual (fuente: Dirección Provincial de Ganadería).

| Mes                        | 1999<br>(mm) | 2000<br>(mm) | 2001<br>(mm) | 2002<br>(mm) | 2003<br>(mm) | 2004<br>(mm) | 2005<br>(mm) | 2006<br>(mm) | Pro-<br>medio<br>(mm) | Desvío<br>ST<br>(mm) | Varia-<br>bilidad<br>(%) |
|----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------|----------------------|--------------------------|
| Ene                        | 5            | 126          | 130          | 15           | 11           | 13           | 29,5         | 41           | 52,9                  | 51,6                 | 97,6                     |
| Feb                        | 41           | 0            | 66,5         | 46           | 12           | 17           | 9,5          | 0            | 27,42                 | 24,3                 | 88,6                     |
| Mar                        | 57           | 0            | 108,1        | 62           | 0            | 0            | 0            | 0            | 32,4                  | 41,9                 | 129,3                    |
| Abr                        | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 1,5          | 0            | 0,21                  | 0,5                  | 247,4                    |
| May                        | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                     | 0                    | -                        |
| Jun                        | 2            | 9            | 0            | 5,5          | 0            | 0            | 0            | 0            | 2,35                  | 3,4                  | 144,5                    |
| Jul                        | 1,5          | 0            | 0            | 6,4          | 0            | 0            | 0            | 0            | 1,1                   | 2,2                  | 199,2                    |
| Ago                        | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                     | 0                    | -                        |
| Oct                        | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                     | 0                    | -                        |
| Set                        | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                     | 0                    | -                        |
| Nov                        | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 2,5          | 0            | 0,3 6                 | 0,8                  | 247,4                    |
| Dic                        | 37           | 5,5          | 25           | 0            | 0            | 0            | 0            | 6            | 10,5                  | 14,0 5               | 133,9                    |
| Anual                      | 143,5        | 140,5        | 329,6        | 134,9        | 23           | 30           | 43           | 47           | 127,3                 | 102,3                | 80                       |
| Freática<br>anual<br>(dcm) | 11.18        | 12.52        | 12.50        | 12.81        | 12.44        | 12.53        | 13.89        | 13.18        | 12.6                  | 0,76                 | 6                        |

vegas se localizan con mayor frecuencia entre las cotas 4000-4700 m, donde hay mayor frecuencia de precipitaciones (reflejado por el piso de vegetación altoandino y la mayor densidad de vertientes) respecto a las cotas más bajas y altas. Por otra parte, a partir de los 4000 m de altura es donde se halla la isoterma de 0°C y donde los procesos de oxidación de la materia orgánica se minimizan. Similar zonificación altitudinal de la precipitación y temperatura es descripta por Latorre *et al.* (2006) al oeste del Salar de Atacama, donde se nota un descenso de -0,7° cada 100 m y mayores valores de precipitación a 4320 m (140 mm/año) con respecto a menores cotas (2524 m, precipitación: 6,1 mm/año) por lluvias del cuadrante Atlántico.

La inestabilidad del caudal y de la profundidad de la capa freática son los aspectos que sobresalen en las vegas degradadas. Los restantes factores (topografía, sustrato, sección del valle) favorecen o disminuyen la intensidad de la degradación. En este sentido, la degradación de las vegas fluviales se localiza frecuentemente en la cuenca inferior y aguas debajo de la vega activa (Figura 1c). Además, la degradación posee mayor extensión e intensidad en las vegas amplias (mayor a 100 m de ancho) y de escasa pendiente (menor a 2°), posiblemente debido a que son sectores con mayor evapotranspiración y pérdida de agua. También se presenta con mayor intensidad en las cuencas poco extensas (menores a 25 km<sup>2</sup>) en el intervalo altitudinal mayor a 4500 m posiblemente asociado a la menor ganancia de agua por lluvias orográficas (Figura 6).

El inicio de la degradación de las vegas es explicado por la profundización de la capa freática. La profundización de la capa trae aparejado dos fenómenos. Por un lado, el material orgánico se seca completamente y pierde peso, cohesión y densidad. Estos cambios físicos del sustrato son importantes porque juegan un rol en la disminución de la resistencia a la erosión ante la acción hídrica y eólica. Por otro lado, el descenso del nivel freático origina que el nivel de base local descienda y el curso de agua forme

surcos y cárcavas. Este fenómeno origina una mayor evacuación del agua de la vega y el aumento de la erosión encauzada. La deflación también entra en juego, ya que arrasa el suelo orgánico seco y poco denso, desarrollando superficies de abrasión hasta un sustrato duro o hasta el nivel freático. Cuando el proceso de degradación es muy intenso, el material orgánico de la antigua vega se erosiona completamente y solamente quedan escasos remanentes de erosión que forman pedestales.

Las dataciones de los 8 paleosuelos en vegas degradadas se distribuyen en dos grupos de edades: ca. 700-600 años AP y entre ca. 300-150 años AP. Esto indicaría que la erosión de las vegas ocurrió en tres oportunidades en los últimos 1000 años; antes de los 700 años AP, entre los 600 y los 300 años y luego de los 150 años.

Los resultados indican que la degradación se presenta en todos los humedales e independientemente del impacto antrópico, como ser extracción de agua para cultivo o riego. No se han encontrado evidencias de sitios arqueológicos de edad tardía con campos de cultivo o canales de riego aguas arriba de las paleodegradaciones, lo que apoya la hipótesis que la degradación es de origen climático.

Otra evidencia a favor del control climático es la coincidencia de las edades de los paleosuelos con la edad de las fases paleoclimáticas más húmedas reconocidas a nivel local (laguna Peinado, Valero Garcés *et al.* 2003) y, adicionalmente, por otros estudios efectuados en los Andes Tropicales (tabla 4). Aunque los eventos secos y húmedos no coinciden exactamente en todos los estudios, queda evidenciado que existió una variabilidad hidrológica y climática en los Andes tropicales en los últimos 1000 años que afectó el balance hídrico de las cuencas.

## CONCLUSIONES

Los factores y procesos de formación de las vegas pueden ser resumidos en dos ecuaciones de balance hídrico (1) y geoecológico (2):

**Tabla 4.** Estudios paleoclimáticos del período tardío en los Andes Centrales, en cercanía a la zona de estudio.

| Autores                              | Lugar                                                                    | Proxy                                               | Edad (años AP)                                                     |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Robdell (1992)                       | Cordillera Blanca, Perú;<br>(8°40'-9°40'S; 77°00'-77°40'W)               | Liquenometría en morenas                            | Húmedo: 1250 and 400 años AP                                       |
| Thompson <i>et al.</i> (1986 y 2003) | Glaciar Quelccaya (18° 7'S, 68° 53'W) y Huascarán (9°06'S 77°36'W), Perú | Isótopos de oxígeno en burbujas de aire en el hielo | Húmedo entre 1500 a 1720 AD<br>Árido entre 1720 a 1860 AD          |
| Valero Garcés <i>et al.</i> (2003)   | Laguna Peinado, (26°29'S, 68°05'W)                                       | Geoquímica de sedimentos y palinología              | Árido antes de 1680 AD<br>Húmedo posterior a 1680 AD               |
| Chepstow-Lusty <i>et al.</i> (2005)  | Marcacocha, sur del Perú                                                 | Paleolimnología (sedimentos)                        | Húmedo: 900 a 1800 AD                                              |
| Liu <i>et al.</i> (2005)             | Sajama (18°06'S, 68° 53'W) y Huascarán (9°06'S, 77°36'W)                 | Polen en testigo de hielo                           | Húmedo: 1500 to 1700 AD<br>Árido: 1700 to 1880 AD                  |
| Solomina <i>et al.</i> (2007)        | Cordillera Blanca, Perú (8°-10°S, 77°00'-77°40'W)                        | Liquenometría en morenas                            | Húmedo: 1590 a 1720 y entre 1780 y 1880 AD                         |
| Latorre <i>et al.</i> (2006)         | Atacama (22°S, 69°W)                                                     | Polen en excremento de roedores                     | 800 años cal. AP                                                   |
| Nester <i>et al.</i> (2007)          | Atacama (22° a 26°S a 69°W)                                              | Paleosuelos en terrazas fluviales                   | 1070-700 años cal AP                                               |
| Rabatell <i>et al.</i> (2008)        | Andes de Bolivia                                                         | Liquenometría en morenas                            | Húmedo Segunda mitad del siglo 17<br>Árido: comienzos del siglo 18 |

*Entrada de agua = Evapotranspiración + Retención superficial + Percolación + Extracción antrópica + cambio en la reserva. (1)*

*Incorporación de materia orgánica = aporte de sedimentos inorgánicos (sales y detritos) + erosión + descomposición de materia orgánica. (2)*

Para que las vegas se formen, crezcan y se expandan en una cuenca de drenaje tiene que haber un balance positivo de las ecuaciones (1) y (2). Para que esto suceda tiene que existir una somerización del nivel de la capa freática junto con un proceso de paludización. En caso contrario (balance negativo en las dos ecuaciones) las vegas se degradan. En otras palabras, la degradación ocurre asociada al descenso de la capa freática ya sea por el aumento de la pérdida de agua

in situ (evapotranspiración) o ex situ (menor entrada de agua). Además, al analizar la ecuación (2), se interpreta que la degradación ocurre también cuando la intensidad de los procesos erosivos y/o acumulativos (detritos o sales) y la pérdida de materia orgánica es mayor que la ganancia de la materia orgánica.

Las dataciones de los ocho paleosuelos en vegas degradadas se distribuyeron en dos grupos de edades: ca. 700-600 años AP y entre ca. 300-150 años AP. Esto indicaría que las vegas tuvieron dos momentos de crecimiento y expansión en sus cuencas de drenaje y tres fases de degradación en los últimos 1000 años. El control de su formación y degradación sería de origen climático, y fue independiente de la acción del hombre.

A modo general, la respuesta de las vegas a las variaciones climáticas depende de la

intensidad y duración de la fluctuación climática y de la naturaleza de la propia vega. El equilibrio entre la ganancia/pérdida del agua y de la materia orgánica es crítico, determinando si la vega avanza, permanece o retrocede en el tiempo.

#### AGRADECIMIENTOS

El estudio fue posible gracias al apoyo económico del CONICET (PMT-PICT 0267, PIP 6333 y PIP 03173), ANPCyT (PICT 00614 y 26023) y UBA (Programa UBACyT F182/04, F122/08) y al apoyo logístico brindado por el INAPL y la Dirección de Ganadería de la Provincia de Catamarca. Se aprecian los comentarios efectuados por Pedro Salminci y Lorena Grana, integrantes del equipo de investigación que opera en la zona.

#### BIBLIOGRAFÍA

- Alzérreca, H. A.; G. C. Prieto; J. C. Laura; D. Ch. Luna y S. B. Laguna. 2001. Características y distribución de los bofedales en el ámbito boliviano. Asociación Integral de Ganaderos en camélidos de los Andes Altos. Informe final. La Paz, Bolivia. 176 pp.
- Antevs, E. 1954. Geochronology of the Deglacial and Neothermal Ages: A Reply. *Journal of Geology* 62 (5):516-521.
- Aschero, C. A. & J. G. Martínez. 2001. Técnicas de Caza en Antofagasta de la Sierra, Puna Meridional Argentina. En *Relaciones XXVI*: 215-241. Revista de la Sociedad Argentina de Antropología. Buenos Aires.
- Barros, V. *et al.* 2000. Influence of the SACZ and S. Atlantic SST on interannual summer rainfall variability in Southeastern South America. *Theor. and Appl. Meteor.* v.67, p. 123-133.
- Bryan, K. 1941. Geologic Antiquity of Man in America. *Science* 93 (2422): 505-14.
- Cabrera, A. L. 1976. Regiones fitogeográficas Argentinas. En: Parodi, L. R. (Ed.), *Enciclopedia Argentina de agricultura y jardinería*, 2 edición 2 (1): 1-85. Editorial Acme, Buenos Aires.
- Caziani, S. M. y D. J. Derlindati. 1999. Humedales Altoandinos del Noroeste de Argentina. Su contribución a la biodiversidad regional. En: Malbares, A.I. (Ed), *Tópicos sobre Humedales Subtropicales y Templados de Sudamérica*: 1-15. MAB. Montevideo, Uruguay.
- Chepstow-Lusty, A.; M. B. Bush; M. R. Frogley; P. A. Baker; S. C. Fritz y J. Aronson. 2005. Vegetation and climate change on the Bolivian Altiplano between 108000 and 18000 yr ago. *Quaternary Research* 63 (1): 90-98.
- Coleman, M. L.; T. J. Sheperd; J. J. Durham; J. E. Rouse y F. R. Moore. 1982. A rapid and precise technique for reduction of water with Zinc for Hydrogen isotope analysis. *Analytical Chemistry* 54: 993-995.
- Elkin, D. 1996. *Arqueozoología de Quebrada Seca 3: indicadores de subsistencia humana temprana en la Puna Meridional Argentina*. Tesis de Doctorado en Arqueología. Facultad de Filosofía y Letras. UBA.
- Escola, P., S. López Campeny, A. Martel, A. Romano, S. Hocsman y C. Somonte, 2011. Re-conociendo un espacio. Prospecciones en la quebrada de Miriguaca (Antofagasta de la Sierra, Catamarca). Trabajo aceptado par su publicación en la revista Andes. ISSN 0327-1676. CEPIHA. Facultad de Humanidades. UNSa.
- Grosjean M., 2001. Mid-Holocene climate in the south-central Andes: Humid or dry? *Science* 292: 2391-2392.
- Hall, S. A. 1990. Channel trenching and climate change in the southern United States Great Plains. *Geology* 18: 342-345.
- Haynes Jr., C. V. 1968. Geochronology of late Quaternary alluvium, En: R.B. Morrison and H.E. Wright, (Eds.), *Means of correlation of Quaternary successions*: Salt Lake City. Utah, University of Utah Press, 591-631.
- Latorre, C.; J. L. Betancourt y M. T. K. Arroyo. 2006. Late Quaternary vegetation and climate history of a perennial river canyon in the Río Salado basin (22°S) of Northern Chile. *Quaternary Research* 65 (3): 450-466.
- Liu, K. B.; C. A. Reese y L. G. Thompson. 2005. Ice-core pollen record of climatic changes in the central Andes during the last 400 yr. *Quaternary Research* 64 (2): 272-278.
- Macagno, P.; S. Parada; V. Trajano; F. Brzovic; J. E. Faúndez. 2005. Pobreza, desertificación y degradación de los recursos naturales. En: C. Morales y S. Parada (Eds.), *Proceso de consulta local sobre desertificación e indicadores*: 151-211. CEPAL-GTZ, Santiago, Chile, 273 pp.
- Martínez, J. G. 2007. Ocupaciones humanas tempranas y tecnología de caza en Antofagasta de la Sierra, Puna Meridional Argentina (10000-7000 AP). En *Cazadores-Recolectores del Cono Sur*. Revista de Arqueología. Volumen 2: 129-150. Editorial Universitaria de Mar del Plata.
- Nester P.L., Gayo E., Latorre C., Jordan T.E. y Blanco N., 2007. Perennial stream discharge in the hyperarid Atacama Desert of northern Chile during the latest Pleistocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104: 19724-19729.
- Navone, S. M. 1998. «Assesment of thematic mapper imagery for desertification in the Puna region (Argentina)». *Symposium of resource and environmental monitoring*. Viena, Austria 32: 382-391.

- Olivera, D. 1997. La importancia del Recurso *Camelidae* en la Puna de Atacama entre los 10.000 y 500 años A.P. En: *Estudios Atacameños Tomo Especial dedicado al II Taller Binacional de Interacción entre el NOA y el Norte Chileno*, 14: 29-41. San Pedro de Atacama, Chile.
- Olivera, D. 1998. Cazadores y Pastores Tempranos de la Puna Argentina. En: *Past and Present in Andean Prehistory and Early History*, editado por S. Ahlgren, A. Muñoz, S. Sjödin y P. Stenborg, Etnologiska Studier 42: 153-180. Etnografiska Museer, Göteborg.
- Olivera, D. 2006. Recursos bióticos y subsistencia en sociedades agropastoriles de la Puna Meridional Argentina. *Comechingonia* 9: 19-47.
- Olivera, D. y M. Podestá. 1995. Art Resources: Rock Art and Formative Settlement-Subsistence Systems in the Argentine Meridional Puna.. In: *Andean Art: Visual Expression and its Relation to Andean Beliefs and Values*, edited by Penny Dransart. Glasgow: Worldwide Archaeology Series, p. 265-301.
- Olivera, D. y S. Vigliani., 2000. Proceso cultural, uso del espacio y producción agrícola en la Puna meridional argentina. Cuadernos del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano 19: 459-481.
- Olivera, D.; P. Tchilinguirian y M. J. de Aguirre. 2006. Cultural and enviromental evolution in the meridional sector of the Puna of Atacama during the Holocene. Change in the Andes: Origins of Social Complexity Pastoralism and Agriculture. Actas 14 th UISPP Congress: 1-7. BAR. UK.Evitar el uso de siglas
- Olivera, D.; A. M. Elías; P. Salminci; P. Tchilinguirian; L. G. Grana; J. Grant y P. Miranda. 2008. Nuevas evidencias del proceso sociocultural en Antofagasta de la Sierra. Informe de campaña año 2007. Revista La Zaranda de Ideas 4: 119-140. Buenos Aires.
- Panarello, H. O. y C. A. Parica. 1984. Isótopos del oxígeno en hidrogeología e hidrología. Primeros valores en aguas de lluvia de Buenos Aires. Asociación Geológica Argentina, Revista 39 (1-2): 3-11.
- Quade J., J. A. Rech, J. L. Betancourt, C. Latorre, B. Quade, Rylander K.A y Fisher T. 2008. Paleowetlands and regional climate change in the central Atacama Desert, northern Chile. *Quaternary Research* 69: 343-36.
- Rabatel, A.; B. Francou; V. Jomelli; P. Naveau; D. Grancher. 2008. A chronology of the Little Ice Age in the tropical Andes of Bolivia (16°S) and its implications for climate reconstruction. *Quaternary Research* 70 (2): 198-212.
- Rech, J. A.; J. Quade; J. Betancourt. 2002. Late quaternary paleohydrology of the Central Andes (22-24°S), Chile. *Geological Society of America Bulletin* 114: 334-348.
- Rech, J.; J. S. Pigati; J. Quade; L. Betancourt. 2003. Re-evaluation of mid-Holocene deposits at Quebrada Piripica, northern Chile. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 194: 207-222.
- Rodbell, D. T. 1992. Lichenometric and radiocarbon dating of Holocene glaciation, Cordillera Blanca, Peru. *The Holocene* 2: 19-29.
- Rodríguez, F. y C. Aschero. 2007. Archaeological evidence of Zea mays L. (Poaceae) in the Southern Argentinean Puna (Antofagasta de La Sierra, Catamarca). *Journal of Ethnobiology* 27 (2): 256-271.
- Roig, C. y F. A. Roig. 2004. Consideraciones generales. Capítulo 1. (5-21). En: D. E. Blanco y M. de la Blaze (Eds.), Los Turbales de Patagonia. Bases para su inventario y la conservación de su biodiversidad. Wetlands Internacional Publicación 19, 149 pp. Buenos Aires.
- Servant M. y Servant-Vildary S., 2003. Holocene precipitation and atmospheric changes inferred from river paleowetlands in the Bolivian Andes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 194: 187-206.
- Soil Survey Division Staff. 1993. Soil survey manual. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18.
- Solomina, O.; V. Jomelli; G. Kaser; A. Ames; B. Berger; B. Pouyaud. 2007. Lichenometry in the Cordillera Blanca, Peru: «Little Ice Age» moraine chronology. *Global and Planetary Change* 59 (1-4): 225-235.
- Tchilinguirian, P.; D. E. Olivera y L. Grana. 2008. Expansiones y retrocesos de humedales de altura durante el holoceno, Puna austral, Argentina. Implicancias ambientales. XVII Congreso Geológico Argentino, Jujuy. Simposio Paleoclima durante el Cenozoico Tardío.
- Tchilinguirian, P. y D. E. Olivera. 2009. Paleoambientes y geoarqueología: sitios Corral Grande y Arroyo Las Pitas. Antofagasta de la Sierra (Prov. de Catamarca, Puna Meridional Argentina). *Arqueometría Latinoamericana* (2do. Congreso Nacional de Arqueometría y 1ro. Latinoamericano), 2: 544-553. CONEA, Buenos Aires, Argentina.
- Tchilinguirian, P. 2009. Paleoambientes Holocenos en la Puna Austral, Provincia de Catamarca (27°S): Implicancias geoarqueológicas. Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias Geológicas. 287 pp.
- Tchilinguirian, P. y D. Olivera. 2010a. Evolution and human land management during Holocene in Southern Altiplano Desert Argentina (26°S). En: Pandi, Z. (Ed.), *Land Degradation and Desertification: Assessment, Mitigation and Remediation*, 400-410. Springer: 490 p.
- Tchilinguirian, P. y Olivera, D.E. 2011. Agricultura, ambiente y sustentabilidad agrícola en el desierto: El caso Antofagasta de la Sierra (Puna Argentina, 26°s) En: *Arqueología de la Agricultura:*

- Casos de Estudio en la Región Andina Argentina* (M.A. Korstanje y M. Quesada Eds.). Capítulo 4: 104-129, Ediciones Magna, Tucumán.
- Thompson, L.G., Mosley-Thompson, E., Dansgaard, W., Grootes, P.M., 1986. The Little Ice Age as recorded in the stratigraphy of the tropical Quelccaya Ice Cap. *Science* 234, 361-364.
- Thompson, L.G., E. Mosley-Thompson, M.E. Davis, P.-N. Lin, K. Henderson, T.A. Mashiotta, 2003. Tropical glacier and ice core evidence of climate change on annual to millennial time scales. *Climatic Change* 59, 137-155.
- Valero Garces Blas, L.; A. Delgado-Huertas; A. Navas; L. Edwards; A. Schwalb y N. Ratto. 2003. Patterns of regional hydrological variability in centraisouthern Altiplano (18°S-26°S) lakes during the last 500 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 194: 319-338.
- Waters, M. R. y C. Vance Haynes. 2001. Late Quaternary arroyo formation and climate change in the American Southwest. *Geology* 29 (5): 399-402.