


# El manejo territorial de los camélidos en la circumpuna de Atacama desde el Arcaico al Formativo (10.000-2400 aP): Una aproximación isotópica y taxonómica

Patricio López Mendoza , Celeste Samec, Lautaro Núñez, Carlos Carrasco, Rodrigo Loyola e Isabel Cartajena

*En este trabajo se presentan los resultados de los análisis de isótopos estables ( $\delta^{13}C_{cob}$ ,  $\delta^{15}N_{cob}$ ,  $\delta^{13}C_{apa}$  y  $\delta^{18}O_{apa}$ ) realizados en huesos de camélidos de sitios de Puripica, Tulán y Salar de Punta Negra (Región de Antofagasta, Chile), dentro de una secuencia que abarca desde el Arcaico temprano hasta el Formativo temprano. Estos datos se cotejaron con datos osteométricos y genéticos de camélidos silvestres y domésticos con el objetivo de comprender el uso de los espacios de caza y pastoreo. Los resultados correspondientes a las muestras de los periodos Arcaico temprano y medio (10.000-5300 aP) obedecen a las características ambientales registradas durante dicho lapso temporal en el área. Para el Arcaico tardío (5300-4000 aP) y el Formativo temprano (3100-2400 aP) se observa una distribución de valores isotópicos relativamente similar. Sin embargo, debido a la alta variabilidad de tamaños dentro de los camélidos domésticos, no es posible definir el uso de ciertas áreas de pastura sobre otras. Al mismo tiempo, los valores isotópicos de carbono y nitrógeno de la fase Tarajne (3700-3200 aP) se muestran poco variables, patrón que se explica por el uso de áreas acotadas para la caza de animales silvestres y/o el pastoreo de animales domésticos.*

**Palabras clave:** Desierto de Atacama, pastoreo, caza, Arcaico tardío, fase Tarajne, Formativo temprano

*We present the results of the stable isotope analyses ( $\delta^{13}C_{cob}$ ,  $\delta^{15}N_{cob}$ ,  $\delta^{13}C_{apa}$ , and  $\delta^{18}O_{apa}$ ) carried out on the camelid bone remains from sites at Puripica, Tulán, and Salar de Punta Negra (Antofagasta Region, Chile), within a sequence that spans from the Early Archaic to the Early Formative. This information is discussed together with osteometric and genetic data from wild and domesticated camelids to understand the use of different hunting and herding areas. The results show changes in the isotopic values dated to the Early and Middle Archaic (10,000–5300 years BP), associated with the environmental transformations registered within the study area. For the Late Archaic (5300–4000 years BP) and the Early Formative (3100–2400 years BP) the isotopic values show a similar distribution. Nevertheless, it is impossible to establish the use of specific herding areas due to the high size variability identified within the large size camelid group, which comprises llamas and guanacos. At the same time, the carbon and nitrogen stable isotope compositions measured on the materials dated to the Tarajne phase (3700–3200 years BP) show little variability, a pattern that can be explained due to the use of delimited areas for wild camelid hunting and domestic camelid herding.*

**Keywords:** Atacama Desert, herding, hunting, Late Archaic, Tarajne phase, Early Formative

**Patricio López Mendoza** ([patriciolopezmend@gmail.com](mailto:patriciolopezmend@gmail.com), autor de contacto) ■ Investigador independiente, Santiago, Chile  
**Celeste Samec** ([celestesamec@gmail.com](mailto:celestesamec@gmail.com)) ■ Instituto de Ciencias Naturales Alexander von Humboldt, Universidad de Antofagasta, Av. Universidad de Antofagasta 02800, 1271155, Antofagasta, Chile; Instituto de Geocronología y Geología Isotópica, CONICET-Universidad de Buenos Aires, Pabellón INGEIS Ciudad Universitaria, C1428EHA, Buenos Aires, Argentina; Max-Planck-Institut für Menschheitsgeschichte, Kahlaische Strasse 10, 07745, Jena, Alemania\*  
**Lautaro Núñez** ([lautaro.nunez@hotmail.com](mailto:lautaro.nunez@hotmail.com)) y **Rodrigo Loyola** ([rodarkeo@gmail.com](mailto:rodarkeo@gmail.com)) ■ Instituto de Arqueología y Antropología, Universidad Católica del Norte, Calle Gustavo Le Paige n° 380, San Pedro de Atacama, Chile  
**Carlos Carrasco** ([carcag@gmail.com](mailto:carcag@gmail.com)) ■ Colegio de Arqueólogos A.G., Santiago, Chile  
**Isabel Cartajena** ([icartaje@uchile.cl](mailto:icartaje@uchile.cl)) ■ Departamento de Antropología, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Chile, Ignacio Carrera Pinto 1045, Ñuñoa, Santiago, Chile

\*This article has been amended since its original publication to correct an affiliation error. See doi:[10.1017/laq.2021.93](https://doi.org/10.1017/laq.2021.93)

*Latin American Antiquity* 33(3), 2022, pp. 575–595

Copyright © The Author(s), 2021. Published by Cambridge University Press  
on behalf of the Society for American Archaeology

doi:[10.1017/laq.2021.66](https://doi.org/10.1017/laq.2021.66)

La domesticación de los camélidos sudamericanos tuvo lugar a mitad del Holoceno en la región andina y revolucionó el modo en el que las sociedades interactuaban con su entorno (Moore 2016). Tal como muestran las evidencias zooarqueológicas, el proceso de domesticación generó modificaciones fenotípicas en las poblaciones de camélidos, entre las que se encuentra un cambio en sus tallas. Es precisamente la existencia de un gradiente de tamaño (llama > guanaco norandino > alpaca > vicuña) el que ha permitido estudiar el proceso de domesticación en la región, aunque con importantes limitaciones debido a la superposición de los tamaños al interior de dos grandes grupos (Cartajena et al. 2007). Los estudios osteométricos realizados sobre los conjuntos recuperados en sitios arqueológicos de la región han permitido identificar dos grupos de tamaño: uno denominado “grupo de tamaño grande” (GTG en adelante), integrado por una especie silvestre —*Lama guanicoe*— y una doméstica —*L. glama*— y otro llamado “grupo de tamaño pequeño” (GTP en adelante), integrado también por una especie silvestre —*Vicugna vicugna*— y una doméstica —*V. pacos*, presente en otras áreas andinas— (Cartajena et al. 2007).

En el Desierto de Atacama (18°-29°S) el proceso de domesticación derivó en nuevas formas de articular el espacio y modificó notablemente la relación entre los grupos humanos y la naturaleza. Las investigaciones arqueológicas realizadas en esta área —específicamente en el Salar de Atacama— han enfatizado la identificación taxonómica de restos de camélidos mediante análisis morfológicos, osteométricos, de identificación de fibras y, en años recientes, a través de estudios genéticos y de isótopos estables (Cartajena et al. 2007, 2009; Díaz-Maroto et al. 2021; Hesse 1982a; López et al. 2017). Estos análisis se llevaron a cabo en dos áreas con trayectorias culturales similares: las quebradas de Puripica y Tulán. La primera se encuentra emplazada al norte del Salar de Atacama, mientras que la segunda se localiza al sur, y sus cabeceras se conectan a través de las tierras altas y los pisos de oasis asociados al salar (Núñez 1999; Núñez et al. 2005, 2017a). Los primeros trabajos zooarqueológicos realizados en ambas quebradas permitieron identificar

el inicio del control humano sobre las poblaciones de camélidos durante el Arcaico tardío (5300-4000 aP) mediante datos osteométricos (Hesse 1982a, 1982b). Estos primeros estudios fueron retomados por Cartajena y colaboradores (2007), quienes identificaron una gran heterogeneidad en el tamaño de los camélidos durante el Arcaico tardío, el cual se reduce durante el Formativo temprano, fenómeno atribuido a la consolidación de las prácticas de domesticación. En ambas quebradas, los procesos de complejización social acaecidos durante la transición entre el Arcaico y el Formativo tienen como corolario el afianzamiento en el control de los camélidos dentro de un modo de subsistencia que privilegió la recolección por sobre la horticultura-agricultura, manteniendo prácticas regulares de caza (Núñez et al. 2017b). Por ello, Tulán y Puripica resultan claves para estudiar la extensión espacial del manejo pastoril y reevaluar las interpretaciones propuestas en trabajos anteriores, donde se planteaba la existencia de prácticas pastoriles confinadas a los espacios de las quebradas durante el Arcaico tardío, que luego se expanden a un territorio más amplio a comienzos del Formativo (López et al. 2017).

Para el presente trabajo, el objetivo principal consistió en profundizar el estudio de la domesticación de los camélidos sudamericanos en los sitios arcaicos y formativos de Tulán y Puripica —teniendo al Salar de Punta Negra como referencia para fines del Pleistoceno y principios del Holoceno— a partir de la discusión de los resultados provistos por distintas líneas de evidencia. Para ello se realizaron análisis de isótopos estables de carbono, nitrógeno y oxígeno en huesos de camélidos de sitios arqueológicos fechados durante el Arcaico temprano (10.000-7500 aP), el Arcaico medio (7500-5300 aP), el Arcaico tardío (5300-4000 aP), la fase Tarajne (3700-3200 aP) y el Formativo temprano (3100-2400 aP). Estos resultados son discutidos de forma integrada con datos osteométricos y genéticos obtenidos sobre un conjunto menor de las mismas muestras, a fin de avanzar el estudio del tránsito de la domesticación arcaica hacia la ganadería formativa dentro de marcos socioeconómicos y territoriales específicos para la circumpuna de Atacama, entendiendo a este espacio como un nodo que conecta a la alta

puna, ubicada sobre los 3.800 m snm con oasis, vegas y quebradas localizados desde los 2.300 m snm. Así, las preguntas que guían a este trabajo señalan: ¿se registra un cambio en la dieta y la territorialidad de los camélidos en las quebradas de Puripica y Tulán debido al inicio del manejo humano que llevará a la domesticación?, ¿qué cambios se observan en los patrones de uso de las áreas de pastura entre el Arcaico temprano y el Formativo temprano? y ¿cómo se relaciona esto con la transición de una economía eminentemente cazadora a otra que integró el pastoreo?

### Contexto arqueológico

La secuencia cronológica estudiada en este trabajo se inicia con la ocupación humana del Salar de Punta Negra, sitio en el que se recuperaron restos líticos y óseos asignados a *V. vicugna* fechados durante la transición Pleistoceno-Holoceno (Grosjean et al. 2005; ver fechas en la Tabla Suplementaria 1). Durante el Holoceno, se destacan las ocupaciones humanas en las quebradas de Tulán y Puripica, sectores que operaron como refugios ecológicos para los grupos arcaicos durante el periodo de mayor aridez regional registrado en el Holoceno medio (Núñez et al. 2006a), aridez discutida en base a diversos indicadores ambientales (Tully et al. 2019).

Tulán posee un arroyo de aproximadamente 30 km que fluye hacia el oasis de Tilomonte, mientras que Puripica exhibe una fuente de agua permanente que formó terrazas, ofreciendo áreas óptimas para el asentamiento humano (Núñez et al. 2005). Ambas quebradas se conectan directamente con las tierras altas andinas a través de pasos que fueron recurrentemente transitados por caravanas de llamas abocadas al intercambio con áreas distantes desde el Holoceno tardío (Núñez et al. 2017a). Es en este escenario donde tuvo lugar la transición de un modo de vida fundamentalmente cazador-recolector hacia uno que incorporó el manejo y el pastoreo de camélidos durante la transición entre el Arcaico tardío y el Formativo temprano. Esta transición, denominada fase Tarajne a partir de las evidencias del sitio TU-94, involucró profundos cambios sociales vinculados a los patrones

de asentamiento, la ritualidad y la interacción con otras áreas del mundo andino (Núñez et al. 2006a).

Los resultados de los análisis osteométricos junto a los fanéreos sugieren la aparición de camélidos domésticos a partir del Arcaico tardío en Tulán y Puripica (Cartajena et al. 2009). Cartajena y colaboradores (2007) señalaron que a partir del Arcaico temprano el tamaño del GTG disminuye tanto en Puripica como en Tulán, aunque las muestras medidas son escasas y probablemente no representan toda la variabilidad, mientras que en el Arcaico tardío se registra una disminución en la mediana de los tamaños, al tiempo que se incrementa la variación en relación con los periodos precedentes y posteriores. Para el Formativo temprano, el rango superior de tamaño aumenta comparado con los sitios del Arcaico tardío, aspecto que llevó a sugerir la presencia de camélidos domésticos a partir de dicho periodo (Cartajena et al. 2007). A su vez, dentro del GTP no se identificaron cambios de tamaños a lo largo de la secuencia, descartándose así la domesticación local de la alpaca (Cartajena et al. 2007). A partir de este análisis, es posible extraer cuatro tendencias sobre los tamaños de los camélidos a lo largo de la secuencia en Puripica y Tulán: (a) durante el Arcaico temprano no existen cambios de tamaño asociados al proceso de domesticación dentro del GTG, por lo que las muestras deben ser asignadas a *L. guanicoe*; (b) para el Arcaico medio la disminución del tamaño y el aumento de la variabilidad podría estar relacionado con el proceso de domesticación (Cartajena 2013), pero la asignación específica dentro del GTG sólo a partir de análisis osteométricos resulta compleja; (c) lo mismo se aplica al Arcaico tardío, aunque con evidencias más sólidas de intervención humana, debido a que tanto los especímenes que están por encima y por debajo de la mediana de tamaño del GTG pueden representar animales bajo selección artificial, siendo posible clasificar las muestras mediante tendencias generales (i.e., Camelidae grande); (d) por último, durante el Formativo temprano y la fase Tarajne, los especímenes ubicados en el extremo superior del rango de tamaño del GTG probablemente correspondan a *L. glama* bajo una selección cultural más dirigida, mientras que los restos situados en el

rango inferior del GTG corresponderían a *L. guanicoe* (Cartajena et al. 2007). Uno de los problemas que presenta el análisis osteométrico es que no discrimina claramente los cambios de tamaño producto de la manipulación antrópica respecto de aquellos originados por los fenómenos ambientales documentados durante el Holoceno (Cartajena 2013). Asimismo, el estudio osteométrico no permite una asignación taxonómica a cada espécimen durante las fases iniciales de la domesticación, debido a la gran diversidad de tamaños de los animales bajo selección humana, los cuales se solapan con las tallas de animales silvestres.

Independientemente de los antecedentes osteométricos y las expectativas vinculadas a ellos, pueden plantearse una serie de interrogantes respecto de la organización territorial y el uso del espacio en relación con las estrategias de subsistencia considerando la posición intermedia de las quebradas de Puripica y Tulán entre los oasis de Tilomonte y San Pedro de Atacama y la alta puna (Figura 1). La elevada frecuencia de restos de vicuñas en los conjuntos zooarqueológicos del Arcaico tardío y el Formativo temprano refleja cacerías frecuentes (Cartajena et al. 2007), surgiendo la interrogante sobre la localización de los cotos utilizados por los grupos asentados en ambas quebradas. La heterogeneidad en el tamaño de los camélidos asignados al GTG y la aparición de patologías óseas ligadas al cautiverio durante el Arcaico tardío indican el inicio de la intervención humana sobre la territorialidad y reproducción de los camélidos (Cartajena et al. 2007), dirigiendo nuestras interrogantes por las áreas de pastoreo que fueron utilizadas en esta etapa inicial de la domesticación, así como las posteriores. En este sentido, cabría esperar un cambio en la dieta de las poblaciones de camélidos sujetas a manejo humano al inicio del proceso de amansamiento y domesticación durante el Arcaico tardío. En trabajos anteriores se planteó como hipótesis que la movilidad asociada a la crianza de camélidos habría sido más limitada durante el Arcaico tardío en comparación al Formativo temprano (López et al. 2017), y los resultados de los análisis isotópicos sugerían movimientos más restringidos para el Arcaico, mientras que para el Formativo temprano los valores de

$\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  se mostraban más heterogéneos. Estos antecedentes ya planteaban la dificultad de distinguir camélidos domésticos y silvestres a partir de los análisis osteométricos, aspecto que aquí será tratado mediante la combinación de análisis de isótopos estables, osteométricos y estudios genéticos realizados sobre muestras provenientes de Tulán (Díaz-Maroto et al. 2021).

#### *Diferencias y similitudes en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ , $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{18}\text{O}$ en el Desierto de Atacama*

El Desierto de Atacama abarca el área que se extiende entre los 18° y los 29° de latitud sur desde el Océano Pacífico hasta las tierras altas de los Andes. Está disectado por cadenas montañosas de orientación norte-sur que alcanzan sus picos máximos hacia el oriente (>5.000 m snm). Debido a que los Andes operan como una barrera que retiene la humedad, la lluvia es muy escasa y tiene lugar mayormente en la costa —bajo los 1.500 m snm— y en las tierras altas, por encima de los 3.000 m snm (Quade et al. 2007). En contraste, la franja de territorio localizada entre los 1.500 y 3.000 m snm permanece prácticamente libre de lluvias durante todo el año (Quade et al. 2007).

La composición isotópica de la vegetación del área de estudio se conoce a partir de las transectas realizadas en la costa y tierras altas (Díaz et al. 2016; Ehleringer et al. 1998; Quade et al. 2007). Ehleringer y colaboradores (1998) realizaron una serie de transectas en el sector de Paposo (25°S-70°O, 50-1.010 m snm) donde relevaron mayormente plantas de tipo  $\text{C}_3$  con un valor promedio de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  de  $-24,7\%$  y *Cistanthe* spp. (CAM facultativas) con un valor promedio de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  de  $-19,9\%$ . Por su parte, Quade y colaboradores (2007) efectuaron tres transectas que en conjunto abarcaron un amplio rango desde el nivel del mar hasta los 4.100 m snm, identificando plantas de tipo  $\text{C}_3$  que promedian valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  de  $-23,1\%$ , junto a plantas CAM y CAM facultativas con valores medios de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  de  $-16,4\%$  y algunas  $\text{C}_4$  del género *Atriplex* con valores promedio de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  de  $-14,9\%$ . De acuerdo con estos autores, la transecta realizada en el Paso Jama (22°S-67°O, 3.475-4.070 m snm) reveló un predominio de plantas  $\text{C}_3$  con un valor promedio de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$

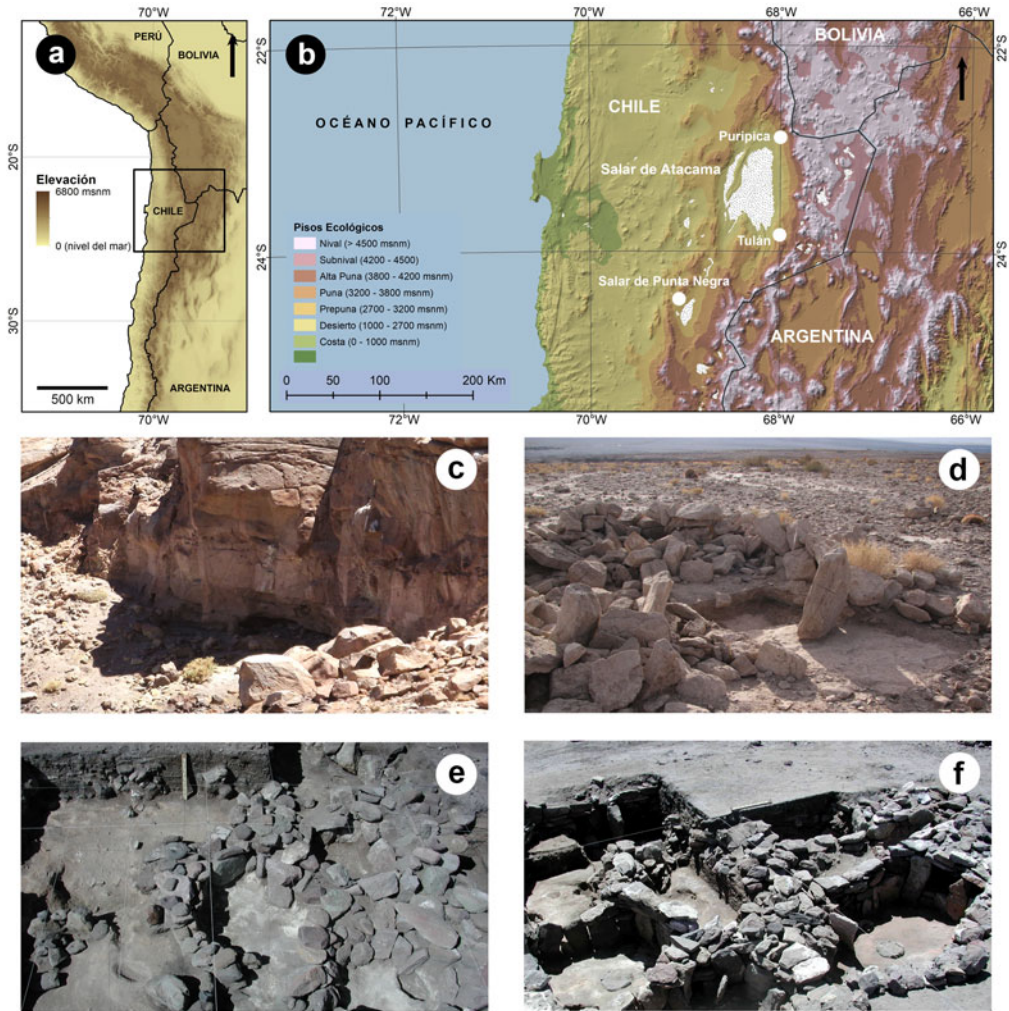


Figura 1. (a) Ubicación del área de estudio; (b) ubicación de las quebradas Puripica y Tulán y Salar de Punta Negra; (c) vista general del sitio TU-109; (d) sitio TU-122; (e) sitio TU-52; y (f) vista general del templete TU-54. Fotografías tomadas por Lautaro Núñez.

de  $-21,9\%$ , y escasas plantas de tipo CAM (*Opuntia* sp.) y  $C_4$  (*Atriplex imbricata*) con valores de  $\delta^{13}C_{VPDB}$  de  $-14,8\%$  y  $-14,1\%$  respectivamente. Por otro lado, en la transecta de Socompa ( $24^{\circ}12'S-68^{\circ}32'O$ , 3.123-4.000 m snm) el valor promedio de  $\delta^{13}C_{VPDB}$  para las plantas  $C_3$  es de  $-23,0\%$  y se encuentra una única especie  $C_4$  (*Atriplex imbricata*) con un valor de  $\delta^{13}C_{VPDB}$  de  $-15,2\%$  (Quade et al. 2007). Tal como muestran los antecedentes relevados hasta aquí, las plantas de vía fotosintética  $C_3$  son las más abundantes en todas las localidades estudiadas en la actualidad (Ehleringer et al.

1998; Quade et al. 2007). Los mayores porcentajes de cobertura vegetal se encuentran en el tolar (3.200-4.000 m snm), donde abundan plantas de tipo  $C_3$  como *Baccharis* spp., *Fabiana* spp. y *Parastrephia* spp., y en la estepa altoandina (4.000-4.500 m snm) donde predominan gramíneas  $C_3$  como *Stipa* spp. y *Festuca* spp. (Quade et al. 2007). A nivel arqueológico, la presencia de *Zea mays* ( $C_4$ ) en los sitios de Puripica y Tulán es escasa y el poco material registrado corresponde a granos y almidones, lo que ha llevado a plantear que el ingreso de esta especie se produjo gracias al intercambio con

Tabla 1. Estándares métricos, tomados de von den Driesch (1999), para el análisis osteométrico de falanges, tarsos, carpos y astrágalos.

Código	Falanges
Bp	Ancho máximo de la epífisis proximal (Medida 9; Gasco et al. 2014)
Dp	Altura máxima de la epífisis proximal (Medida 12; Gasco et al. 2014)
BFp	Ancho máximo de la superficie articular proximal (Medida 8; Gasco et al. 2014)
DFp	Altura máxima de la superficie articular proximal (Medida 11; Gasco et al. 2014)
Bd	Ancho máximo de la epífisis distal (Medida 13; Gasco et al. 2014)
Dd	Altura máxima de la epífisis distal (Medida 14; Gasco et al. 2014)
Tarsos / Carpos	
GB	Ancho máximo
GH	Altura máxima
GD	Profundidad máxima
Astrágalos	
GLm	Longitud máxima de la superficie medial
GLl	Longitud máxima de la superficie lateral
Dm	Profundidad máxima de la superficie medial
DI	Profundidad máxima de la superficie lateral
Bd	Ancho máximo del extremo distal

Nota: Los rangos de las falanges corresponden a los estándares métricos de Gasco y colaboradores (Gasco et al. 2014:Figuras 1–3).

áreas aledañas como el Noroeste Argentino (Núñez et al. 2009, 2017a).

Por otro lado, las investigaciones llevadas a cabo por Díaz y colaboradores (2016) en la margen oriental del salar de Atacama muestran que las plantas situadas entre los 2.870 y los 4.480 m snm presentan valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  que varían entre  $-27,1$  y  $-11,5\%$  y valores de  $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$  entre  $-2,0$  y  $8,8\%$ . Los autores destacan que los valores de  $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$  medidos sobre suelos y plantas en este sector muestran una correlación significativa e inversa con la elevación, de forma que las plantas se encuentran enriquecidas en  $^{15}\text{N}$  entre los 2.700 y 3.500 m snm y empobrecidas en  $^{15}\text{N}$  entre los 3.500 y 4.000 m snm (Díaz et al. 2016).

Por último, Quade y colaboradores (2007) presentan valores de  $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$  de agua de lluvia para los distintos sectores del Desierto de Atacama, los cuales se ubican entre  $-16,8$  y  $-5,6\%$ , de forma que los valores más bajos se registran en las tierras altas y los más altos sobre la costa. Vale destacar que el agua consumida por humanos y animales no se reduce únicamente a aquella que cae en forma de lluvia, sino que involucra también a aguas de deshielo y de manantiales, por lo que estos recursos

constituyen fuentes potenciales de oxígeno para los tejidos humanos y animales (Knudson 2009). A nivel local, se obtuvo una muestra del curso de agua de la quebrada Tulán en el sector aledaño al sitio TU-54 durante el mes de enero de 2017 y su resultado fue de  $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$  de  $-8,8\%$ .

### Materiales y metodología de análisis

En relación con los aspectos taxonómicos tratados en este estudio, hemos considerado una aproximación en la que los especímenes óseos del GTG de los periodos Arcaico tardío, fase Tarajne y Formativo temprano no fueron asignados a *L. guanicoe* o *L. glama*. Para los especímenes afines a ese grupo de tamaño, se utilizó la clasificación “Camelidae grande” debido a la complejidad de distinguir especies a partir de criterios métricos durante los periodos mencionados y los antecedentes expuestos. Cabe mencionar también que los resultados de los análisis genéticos de las muestras de Tulán no se condicen en todos los casos con lo esperado en función del análisis osteométrico, aspecto que complica aún más la asignación taxonómica (Díaz-Maroto et al. 2021). En cuanto a los especímenes del GTP, estos se clasificaron como *V. vicugna* en su

totalidad, puesto que no hay registros de *V. pacos* en el área de estudio (Cartajena et al. 2007).

### Análisis osteométrico

Se utilizaron los estándares de von den Driesch (1999; Tabla 1). Las muestras medidas fueron primeras y segundas falanges, astrágalo, carpo y tarso y son detalladas en las Tablas Suplementarias 2a, 2b, 2c y 2d. La totalidad de las falanges presentan la fusión completa de sus epífisis proximales, mientras que los astrágalo, carpo y tarso medidos fueron seleccionados por su desarrollo óseo más denso y bordes redondeados que sugieren una edad adulta. Las falanges fueron separadas en anteriores (delanteras) y posteriores (traseras) en base a los criterios morfológicos detallados en Cartajena (2002). Todas las medidas —expresadas en mm— fueron tomadas tres veces mediante calibre digital con precisión de 0,01 mm y los valores fueron promediados. Cada medida fue estandarizada a valores logarítmicos (Del Papa 2020). Los especímenes muestreados isotópicamente corresponden a fragmentos de metapodios, huesos largos como fémures y húmeros, junto a vértebras clasificadas según sus tendencias de tamaño.

Los análisis osteométricos se realizaron considerando muestras de referencia de las especies *L. glama*, *L. guanicoe*, *V. pacos* y *V. vicugna* de la colección del Departamento de Antropología de la Universidad de Chile, junto a una *V. vicugna* del Salar de Punta Negra y especímenes de esta última especie y *L. glama* medidos por Cartajena (2002) y detallados en la Tabla 2. Vale aclarar que las medidas de referencia de llamas corresponden a morfotipos cargueiros, siendo las de mayor tamaño dentro del GTG, mientras que los guanacos de referencia provienen del área del Alto Maipo en la cordillera de Chile central (33°S). Esta elección obedece al hecho de que no se dispone de especímenes medidos de esta especie del área de estudio que cumplan con los requisitos de contar con los estándares métricos Bp, BFp, Dp y DFp y que resulten comparables con los datos arqueológicos. Estas medidas son relevantes para nuestro caso ya que la mayor parte de las falanges arqueológicas de Tulán y Puripica corresponden a epífisis y metáfisis proximales (Cartajena 2002, 2013; Cartajena et al. 2007). Estudios previos

señalan que los guanacos norandinos son los más pequeños, seguidos por los de zonas de latitudes intermedias como San Juan (31°S, Argentina) y por último los patagónicos (Izeta et al. 2009). Las muestras de guanaco de Alto Maipo poseen una talla levemente superior a especímenes más septentrionales en su longitud (GL) con tamaños cercanos a los ejemplares de San Juan y Córdoba (31°S) en la actual Argentina (Figura 2a). Esto implica que las medidas de los guanacos de referencia de Chile central son potencialmente de una talla levemente mayor a los guanacos de la circumpuna de Atacama.

El problema que presentan estas muestras es que no dan cuenta de la amplia variabilidad de tamaños de camélidos domésticos y las potenciales diferencias de talla entre los guanacos del norte árido y Chile central. Para evaluar esta variabilidad, derivada en parte por las diferentes latitudes de donde provienen las muestras actuales, se compararon las medidas de primeras falanges anteriores de distintas localidades que abarcan de los 24° a 53°S publicados por Izeta y colaboradores (2009) y Costa y Barri (2018), junto a ejemplares de referencia de guanacos de Chile central —utilizadas como base comparativa en el presente trabajo— y los especímenes arqueológicos de Tulán y Puripica (Tabla Suplementaria 2e).

La evaluación osteométrica estadística de los conjuntos se realizó a través de un análisis de componentes principales (ACP) y un análisis de conglomerados (UPGMA: *unweighted pair group using arithmetical averages*), con el fin de abordar la dispersión y agrupamientos de los tamaños, principalmente en falanges y astrágalo, siguiendo metodologías utilizadas en estudios previos (Del Papa 2020). Para el UPGMA se empleó la unidad de distancia Euclidiana y ambos análisis se realizaron mediante el software estadístico PAST (Hammer et al. 2001).

Por último, y como complemento al análisis osteométrico, se compararon estos resultados con los datos obtenidos a partir de la extracción de ADN antiguo en 10 especímenes del Arcaico tardío ( $n = 1$ ) y el Formativo temprano ( $n = 9$ ) llevada a cabo por Díaz-Maroto (2019) en el Center for Geogenetics (University of Copenhagen, Dinamarca). Los datos obtenidos a partir del

Tabla 2. Ejemplares de camélidos actuales utilizados como referencia.

Taxa	Código de depósito	Ejemplares medidos	Localidad	Latitud S	Depósito-Referencia
<i>L. glama</i>	DA-4	Falanges, astrágalo, cuarto tarsiano	Localidad indeterminada, Región de Antofagasta	23°	Departamento de Antropología, Universidad de Chile
<i>L. glama</i>	DA-6	Falanges, astrágalo, cuarto tarsiano	Localidad indeterminada, Región de Antofagasta	23°	Departamento de Antropología, Universidad de Chile
<i>L. glama</i>	DA-43	Falanges, astrágalo, cuarto tarsiano	San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta	22°	Departamento de Antropología, Universidad de Chile
<i>L. glama</i>	APSM/L.I.12	Cuarto carpiano	Zoológico Berlín, Alemania	—	Cartajena 2002
<i>L. glama</i>	ZSM/1957/131	Cuarto carpiano	Zoológico Berlín, Alemania	—	Cartajena 2002
<i>L. guanicoe</i>	DA-61	Falanges, astrágalo, cuarto tarsiano	Cajón del Maipo, Región Metropolitana	33°	Departamento de Antropología, Universidad de Chile
<i>L. guanicoe</i>	DA-60	Falanges, astrágalo, cuarto tarsiano	Cajón del Maipo, Región Metropolitana	33°	Departamento de Antropología, Universidad de Chile
<i>L. guanicoe</i>	DA-62	Falanges, astrágalo, cuarto tarsiano	Cajón del Maipo, Región Metropolitana	33°	Departamento de Antropología, Universidad de Chile
<i>L. guanicoe</i>	DA-20	Falanges, astrágalo, cuarto tarsiano	Cajón del Maipo, Región Metropolitana	33°	Departamento de Antropología, Universidad de Chile
<i>L. guanicoe</i>	DA-22	Falanges, astrágalo, cuarto tarsiano	Cajón del Maipo, Región Metropolitana	33°	Departamento de Antropología, Universidad de Chile
<i>V. pacos</i>	DA-11	Falanges, astrágalo, cuarto tarsiano	Arica, Región de Arica y Parinacota	18°	Departamento de Antropología, Universidad de Chile
<i>V. pacos</i>	DA-2	Falanges, astrágalo, cuarto tarsiano	Arica, Región de Arica y Parinacota	18°	Departamento de Antropología, Universidad de Chile
<i>V. vicugna</i>	DA-12	Falanges, astrágalo, cuarto tarsiano	Arica, Región de Arica y Parinacota	18°	Departamento de Antropología, Universidad de Chile
<i>V. vicugna</i>	Sin código	Falanges y cuarto carpiano	Salar Punta Negra, Región de Antofagasta	24°	Colección privada (Patricio López)
<i>V. vicugna</i>	NHM/1861/1/18/3	Cuarto carpiano	Zoológico Berlín, Alemania	—	Cartajena 2002



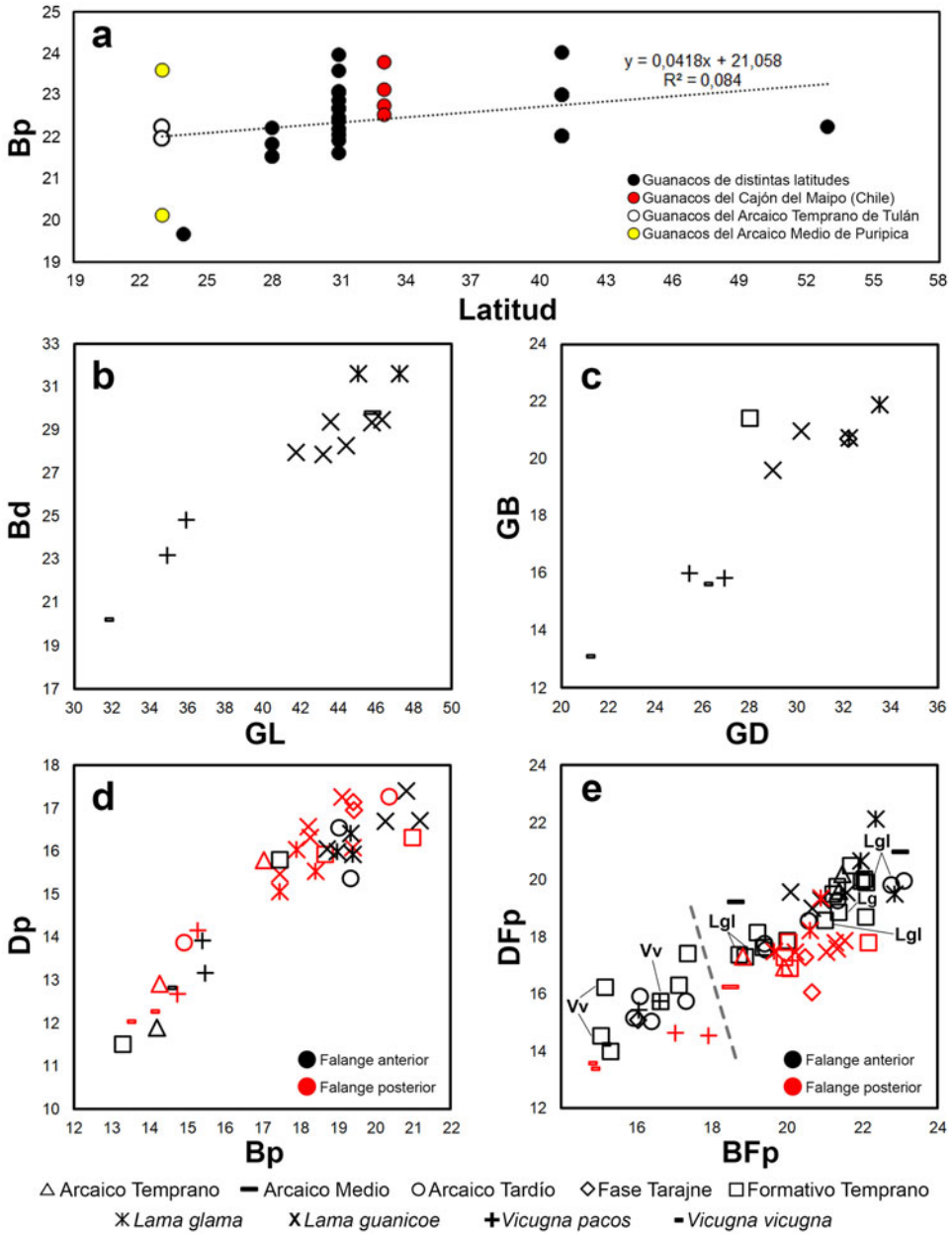


Figura 2. (a) Distribución latitudinal de medidas (mm) Bp de primeras falanges anteriores de guanacos de Alto Maipo (Chile), comparadas con ejemplares del Arcaico temprano y Arcaico medio de Tulán y Puripica y guanacos actuales de localidades emplazadas entre los 24° y 53°S (Costa y Barri 2018; Izeta et al. 2009). Dispersión bivalente de medidas (mm) de los especímenes arqueológicos respecto de los ejemplares de referencia: (b) astrágalos; (c) cuarto carpiano; (d) segundas falanges anteriores y posteriores; y (e) primeras falanges anteriores y posteriores. Lgl. Clado 1 y Clado 3: *Lama glama-Vicugna pacos*; Lg. Clado 2: *Lama guanicoe*; y Vv. Clado 4: *Vicugna vicugna*. (Color en la versión electrónica)

análisis genético hacen referencia a los siguientes clados identificados: Lgl (Clado 1 y Clado 3: *L. glama-V. pacos*), Vv (Clado 4: *V. vicugna*) y Lg (Clado 2: *L. guanicoe*) (Díaz-Maroto 2019).

*Análisis isotópico*

La selección de los materiales óseos para realizar los análisis isotópicos guardó semejanzas con los criterios de selección empleados en el análisis

osteométrico. En primera instancia, se prestó especial atención a la procedencia del material, además de su asignación esquelética, lateralidad y estado de fusión de cada espécimen a fin de evitar la repetición de mediciones sobre el mismo individuo. Se privilegió la selección de animales maduros cuya edad de muerte fuera determinada en función del estadio de fusión. En todos los casos se seleccionaron huesos con bajos niveles de exposición a condiciones subaéreas y sin alteraciones térmicas. Finalmente, se tomaron muestras de los tejidos densos de las piezas seleccionadas, preferentemente diáfisis, evitando la utilización del tejido esponjoso debido a la mayor posibilidad de contaminación a partir del entrapamiento de sedimentos u otras partículas exógenas al tejido analizado.

Un total de 70 muestras fueron analizadas en el Center for Applied Isotope Studies (CAIS) de la University of Georgia, mientras que nueve muestras se analizaron en Beta Analytic. Los valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  y  $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$  medidos sobre colágeno óseo y los valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  y  $\delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}}$  estimados sobre carbonato de apatita ósea son reportados en partes por mil (‰) en relación con los estándares internacionales VPDB y AIR según sea el caso. La relación C: N de las muestras de colágeno fue comparada con el rango aceptado en la literatura (2,9-3,6), a fin de descartar los resultados afectados por degradación y/o contaminación (De Niro 1985).

Se estimó la contribución de vegetales  $\text{C}_3$ ,  $\text{C}_4$  y CAM a la dieta de los camélidos de los distintos periodos a partir del uso del software FRUITS (Fernandes et al. 2014). Para ello se calculó la media y la desviación estándar de los valores publicados por Díaz y colaboradores (2016) de los vegetales  $\text{C}_3$  por un lado y los vegetales  $\text{C}_4$  y CAM por otro. Los valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  fueron corregidos en 1,5‰ para contrarrestar el efecto Suess y se utilizaron los siguientes factores de discriminación: 5‰ para los valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  medidos sobre colágeno, 12,5‰ para los valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  medidos sobre apatita y 3‰ para los valores de  $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$  medidos sobre colágeno. Por último, se aplicaron las ecuaciones publicadas por Goepfert y colaboradores (2013) para estimar el valor de  $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$  del agua ingerida en parte de las muestras estudiadas.

## Resultados

### *Determinación taxonómica*

Los resultados osteométricos se expresaron a través de gráficos de dispersión de las medidas obtenidas en relación con los estándares actuales para las distintas especies de camélidos, con el objetivo de visualizar las diferencias de tamaño de las muestras arqueológicas según los periodos cronológicos considerados. En los gráficos bivariados de las medidas del astrágalo, el carpo, el tarso, primeras y segundas falanges se distinguen claramente dos grupos de tamaño: (a) las medidas del único astrágalo considerado aquí, asignado al Arcaico medio y que se agrupa con las de los guanacos de referencia, lo cual es coherente con lo esperado en función de la cronología (Figura 2b); (b) las medidas del cuarto carpiano, correspondiente al Formativo temprano, las cuales se acercan a las medidas obtenidas sobre especímenes del GTG, particularmente a las del guanaco (Figura 2c).

Si se consideran las muestras de guanaco del Arcaico temprano de quebrada de Tulán, específicamente del sitio TU-67, estas en su medida BP son más pequeñas a las muestras de Alto Maipo. Sin embargo, dentro de los guanacos del Arcaico medio de Puripica, uno de los valores se acerca al rango de los especímenes de Chile central, mientras que otro se aleja, siendo uno de los guanacos con menor anchura de la epífisis proximal (Figura 2a). Esto refleja una diversidad de tallas que complejiza la selección de una muestra de referencia actual más allá de las diferencias esperables a cambios de talla en gradientes altitudinales como latitudinales.

Por otro lado, las segundas falanges del Arcaico temprano se sitúan en la parte inferior de las medidas BP y Dp cercanas al grupo de las llamas actuales, mientras que las muestras del Arcaico tardío alcanzan una mayor talla junto a las muestras de la Fase Tarajne, exceptuando unos pocos casos para ambos periodos. Las dos muestras del Formativo temprano se distribuyen en la parte inferior para el caso de las falanges anteriores y al centro y en la parte superior de las muestras arqueológicas de las falanges posteriores, relacionándose con las muestras de llamas y guanacos actuales respectivamente (Figura 2d). No obstante, son las primeras

falanges las de mayor interés por cuanto concentran la totalidad de los análisis genéticos. Las falanges del Arcaico tardío y el Formativo temprano asignadas a partir del análisis genético a los Clados 1 y 3 (*L. glama-V. pacos*) se ubican a lo largo de toda la dispersión de los puntos correspondientes al GTG (Figura 2e). Estos antecedentes indican que no sólo los especímenes ubicados en el extremo superior deben ser asignados potencialmente a llama, debido a que esta especie se distribuye a lo largo de toda la gradiente de tamaños. Al mismo tiempo, si se consideran las muestras del Arcaico temprano y medio asumidas *a priori* como guanacos, estas se distribuyen tanto en la parte alta como baja de la dispersión de puntos, por lo que una asignación específica a partir de los gráficos bivariados es compleja.

El ACP de las primeras falanges muestra un grupo de tamaño intermedio (entre vicuñas-alpacas y llamas-guanacos) en el cual se hallan dos especímenes asignados genéticamente a *L. glama* (TU-85/2 y TU-85/11). Si se considera que el primer componente representa una estimación del tamaño, parte del conjunto de falanges del Arcaico tardío y Formativo temprano se agrupan con *L. glama* (TU-52/3, TU-54/9 y TU-54/10), mientras que las muestras de guanacos actuales se separan del resto del conjunto. Vale destacar que uno de los especímenes del Formativo (TU-54/8), que se agrupa con las llamas actuales, fue identificada genéticamente como guanaco (Figura 3).

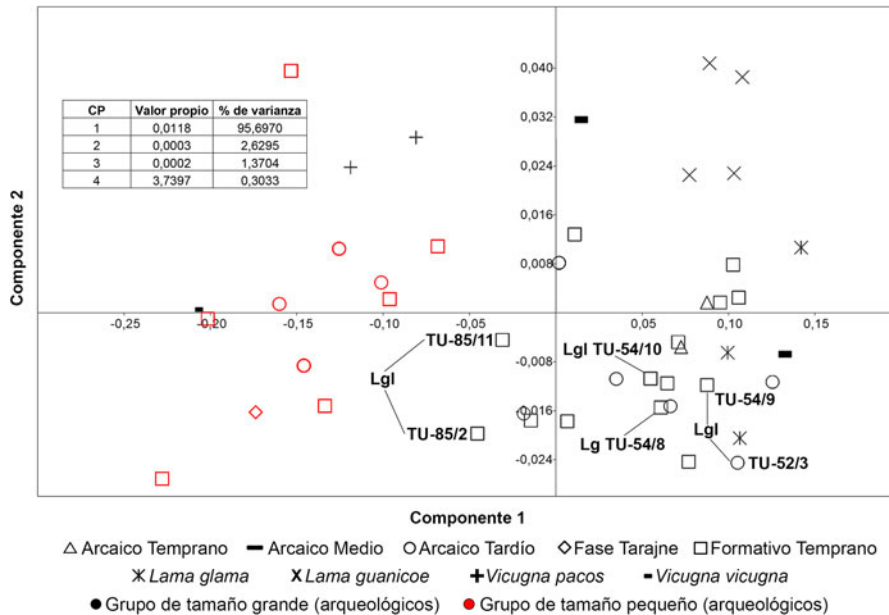
El análisis de conglomerados de las primeras falanges anteriores permite diferenciar claramente el GTG. Este grupo se comporta de forma similar a los resultados exhibidos en el ACP ya que se observa un conjunto de falanges arqueológicas del Arcaico tardío y Formativo temprano (TU-52/3, TU-54/9 y TU-54/10) agrupadas con las llamas actuales de referencia, al tiempo que otro de los agrupamientos incluye a los dos especímenes arqueológicos asignados genéticamente a *L. glama* (TU-85/2 y TU-85/11; Figura 4). En base a estos análisis, es posible distinguir para el Formativo temprano dos subgrupos de tamaños de camélidos identificados genéticamente como *L. glama*. Estos subgrupos se ubican en ambos extremos de tamaño del GTG, lo que no se ajusta completamente a las

expectativas planteadas inicialmente para este periodo (Cartajena et al. 2007). Estos resultados coinciden con lo observado por Yacobaccio (2010) en poblaciones actuales de llamas de la Puna Jujeña (Argentina), donde el grupo llama-guanaco de tamaño más pequeño se superpone con las tallas de los guanacos. Los resultados de los análisis osteométricos y genéticos realizados en Tulán nos alertan sobre la posibilidad de que dos tipos especializados de llamas estuvieran presentes durante el Formativo temprano. Esto podría tener un correlato isotópico, puesto que se espera una dieta más diversa para aquellos camélidos utilizados como animales de carga en función de su mayor movilidad en comparación a las formas más pequeñas.

#### Valores de $\delta^{13}C$ , $\delta^{15}N$ y $\delta^{18}O$

La muestra analizada corresponde a 79 especímenes óseos, de los cuales 21 presentaron una mala preservación de colágeno con resultados C:N fuera del rango aceptado, por lo que sus valores de  $\delta^{13}C_{VPDB}$  y  $\delta^{15}N_{AIR}$  fueron excluidos del análisis posterior (Tabla Suplementaria 3a). Considerando la totalidad de las muestras analizadas, la media de los valores de  $\delta^{13}C_{VPDB}$  medidos sobre la fracción apatita es de  $-8,8\text{‰}$ , mientras que la media de los valores de  $\delta^{18}O_{VPDB}$  es de  $1,9\text{‰}$ . En el caso de los valores medidos sobre el colágeno, y excluyendo aquellas muestras con relaciones de C:N inaceptables, se reporta una media de  $-16,1\text{‰}$  para  $\delta^{13}C_{VPDB}$  y otra de  $9,9\text{‰}$  para  $\delta^{15}N_{AIR}$ . Al mismo tiempo, los valores de  $\delta^{18}O_{VPDB}$  medidos sobre la apatita exhiben la mayor varianza, mientras que los valores de  $\delta^{13}C_{VPDB}$  medidos sobre esa misma fracción son los que presentan una varianza menor (Tabla suplementaria 3b).

La Figura 5a muestra la distribución de los valores de  $\delta^{13}C_{VPDB}$  y  $\delta^{15}N_{AIR}$  medidos sobre colágeno, donde se insinúa un patrón en el agrupamiento de las muestras asignadas a Camelidae grande (con valores más altos) y las correspondientes a la especie *V. vicugna* (con valores más bajos), al tiempo que se distinguen algunos *outliers* correspondientes al Arcaico (temprano y tardío) y al Formativo temprano. Por otro lado, la Figura 5b representa la distribución de los valores de  $\delta^{13}C_{VPDB}$  y  $\delta^{18}O_{VPDB}$  medidos sobre la apatita, observándose una mayor superposición



**Figura 3.** Análisis de componentes principales de las primeras falanges anteriores. Medidas empleadas: Bp, Dp, BFp y DFp. Lgl. Clado 1 y Clado 3: *Lama glama*-*Vicugna pacos*; Lg. Clado 2: *Lama guanicoe*; y Vv. Clado 4: *Vicugna vicugna*. (Color en la versión electrónica)

entre los valores asignados al grupo Camelidae grande y aquellos correspondientes a las vicuñas, con algunos *outliers* del Formativo temprano, la fase Tarajne y el Arcaico medio.

Al agrupar los datos isotópicos según los periodos cronológicos, los valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  medidos sobre colágeno parecen experimentar un incremento leve del Arcaico temprano a la fase Tarajne, cayendo luego durante el Formativo temprano, aunque exhibiendo una dispersión mayor que los dos periodos anteriores (Tabla Suplementaria 3b; Figura 6a). Por otro lado, la composición isotópica del nitrógeno medida sobre la fracción de colágeno también exhibe cierta tendencia a un incremento de los valores desde el Arcaico temprano a la fase Tarajne, disminuyendo luego en el Formativo temprano. En este caso se registra una amplia dispersión de los valores de  $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$  en todos los periodos, a excepción de la fase Tarajne (Figura 6b; Tabla Suplementaria 3b).

La composición isotópica del carbono en la fracción de apatita muestra una disminución de la mediana y un incremento de la variación en los valores correspondientes al Arcaico medio coincidente con el periodo de mayor aridez

(Núñez et al. 2005). Los otros periodos tienen un comportamiento relativamente similar a lo observado para la fracción de colágeno, verificándose una tendencia hacia valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  más bajos y variables durante el Formativo temprano (Figura 6c). Los valores de  $\delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}}$  medidos sobre la apatita son los que presentan mayor variabilidad al interior y entre periodos. A nivel cronológico resulta notable la disminución de los valores durante el Arcaico medio y el incremento de la variabilidad de estos durante el Formativo temprano en comparación al Arcaico tardío y la fase Tarajne (Figura 6d).

Los resultados de los análisis de isótopos estables se compararon con los valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  y  $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$  medidos sobre plantas del sector del Salar de Atacama emplazadas entre los 2.670 y 4.480 m snm (Díaz et al. 2016). A partir de ello, en la Figura 7 se observa un mayor aporte de vegetales  $\text{C}_3$  en la dieta de la especie *V. vicugna* en comparación con los especímenes de Camelidae grande a lo largo de todos los periodos considerados. Al mismo tiempo, los valores de  $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$  correspondientes al GTG exhiben valores medios elevados con respecto

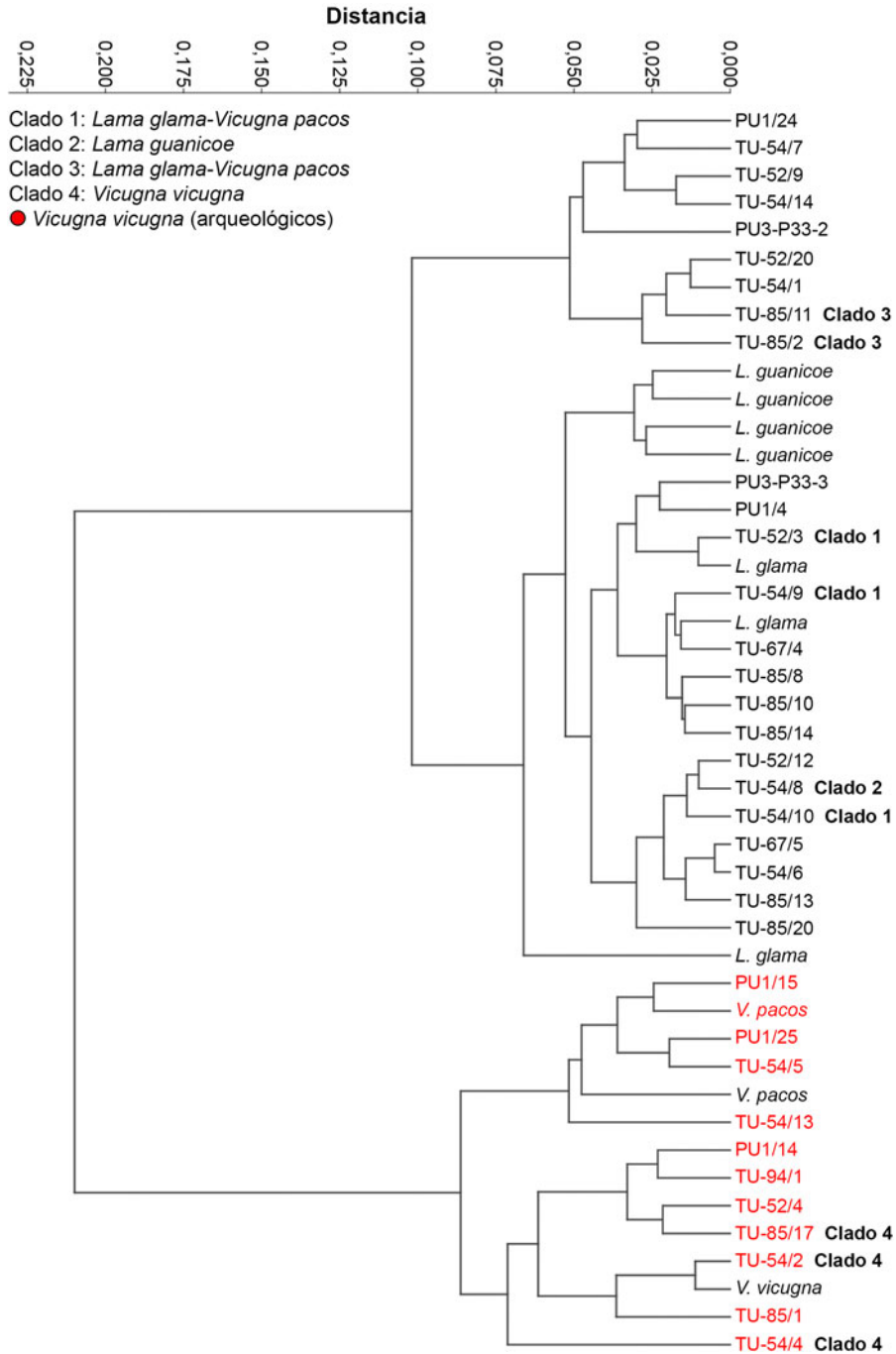


Figura 4. Análisis de conglomerados (UPGMA) de las primeras falanges anteriores arqueológicas (TU-N°, PU1-N° y PU3N°) y de muestras de referencia actuales (*L. guanicoe*, *L. glama*, *V. vicugna* y *V. pacos*), utilizando la distancia Euclidiana. Medidas empleadas: Bp, Dp, BFP y DFP. (Color en la versión electrónica)

a los especímenes de vicuñas para casi todos los periodos —a excepción de la fase Tarajne donde la cantidad de muestras consideradas es más

pequeña— en consonancia con lo que sucede en el sector oriental de la Puna de Atacama (Samec et al. 2018).

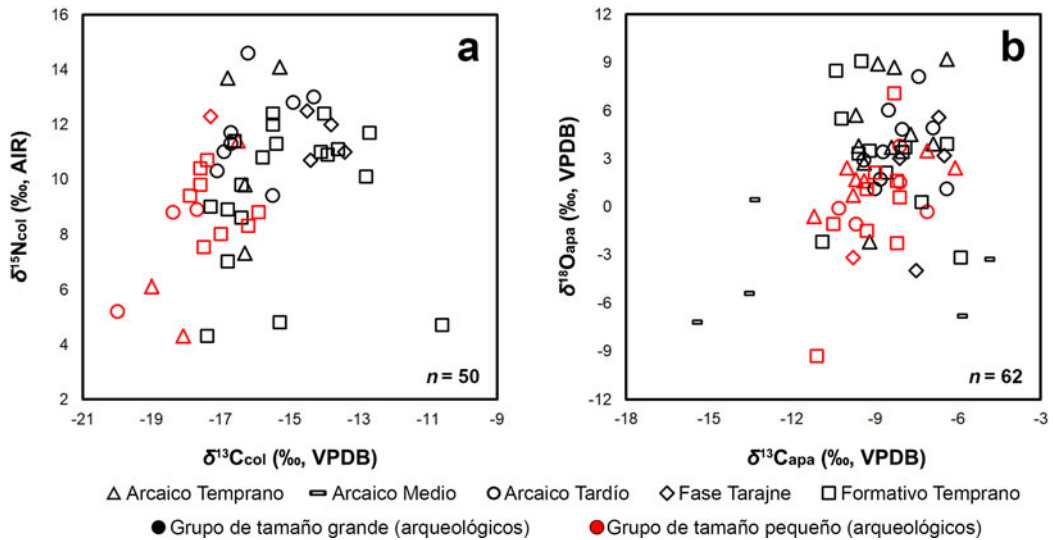


Figura 5. (a) Dispersión de los valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  y  $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$  medidos sobre colágeno; (b) dispersión de los valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  y  $\delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}}$  medidos sobre apatita. (Color en la versión electrónica)

A partir de los datos publicados por Díaz y colaboradores (2016), se calculó la contribución de vegetales  $\text{C}_3$ ,  $\text{C}_4$  y CAM a la dieta de los camélidos de los distintos periodos estudiados. De las 37 muestras sobre las que se midieron estas tres señales sin problemas de preservación de colágeno, se infiere un aporte promedio de un 15% de vegetales  $\text{C}_4$  y CAM a lo largo de todos los periodos. Se observa un aporte de un 11% durante el Arcaico temprano de este tipo de vegetales, seguido por un 13% durante el Arcaico tardío, en relación con lo esperado en función de la disponibilidad de especies  $\text{C}_4$  durante los momentos de mayor aridez registrados para el Holoceno medio. Posteriormente, el aporte de vegetales  $\text{C}_4$  en la dieta de los camélidos se incrementa, registrando un 22% durante la fase Tarajne y luego disminuye a un 15% durante el Formativo temprano.

Los valores de  $\delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}}$  medidos sobre apatita se muestran extremadamente variables, abarcando una amplitud de casi 20‰ tomando todos los periodos estudiados. Este amplio rango de valores puede ser producto de la variabilidad natural de la multiplicidad de fuentes de agua consumidas por los camélidos, sujetas a diferentes procesos durante los distintos escenarios ambientales que se sucedieron durante el Holoceno (Núñez et al. 2005). Aplicando las

ecuaciones correspondientes para estimar el valor de  $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$  del agua ingerida, vemos una variabilidad que abarca desde un valor medio de  $-7,2\text{‰}$  para el Arcaico medio hasta un valor de  $1,7\text{‰}$  para el Arcaico temprano, abarcando un espectro de fuentes posibles que contemplaría desde aguas meteóricas (lluvia y nieve) hasta acumulaciones de agua superficial sujetas a elevada evaporación (Alpers y Whittemore 1990; Quade et al. 2007). Sin embargo, cabe mencionar la posibilidad de que el carbonato de las apatitas no haya preservado la señal isotópica original, en especial en el caso de las muestras más tempranas.

#### Isótopos e identificación taxonómica

Para abordar las diferencias y similitudes entre los datos osteométricos-genéticos y los valores isotópicos, decidimos enfocarnos en los especímenes del GTG a fin de comprender las consecuencias de la intervención humana en la dieta y la territorialidad de estos animales en la circumpuna de Atacama. Entonces, dentro de los valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  medidos sobre colágeno, se observa una baja diversidad durante el Arcaico temprano que aumenta hacia el Arcaico tardío con un espécimen genéticamente asignado a *L. glama* (TU-52/3) cuyo valor de carbono se encuentra en el extremo superior del conjunto

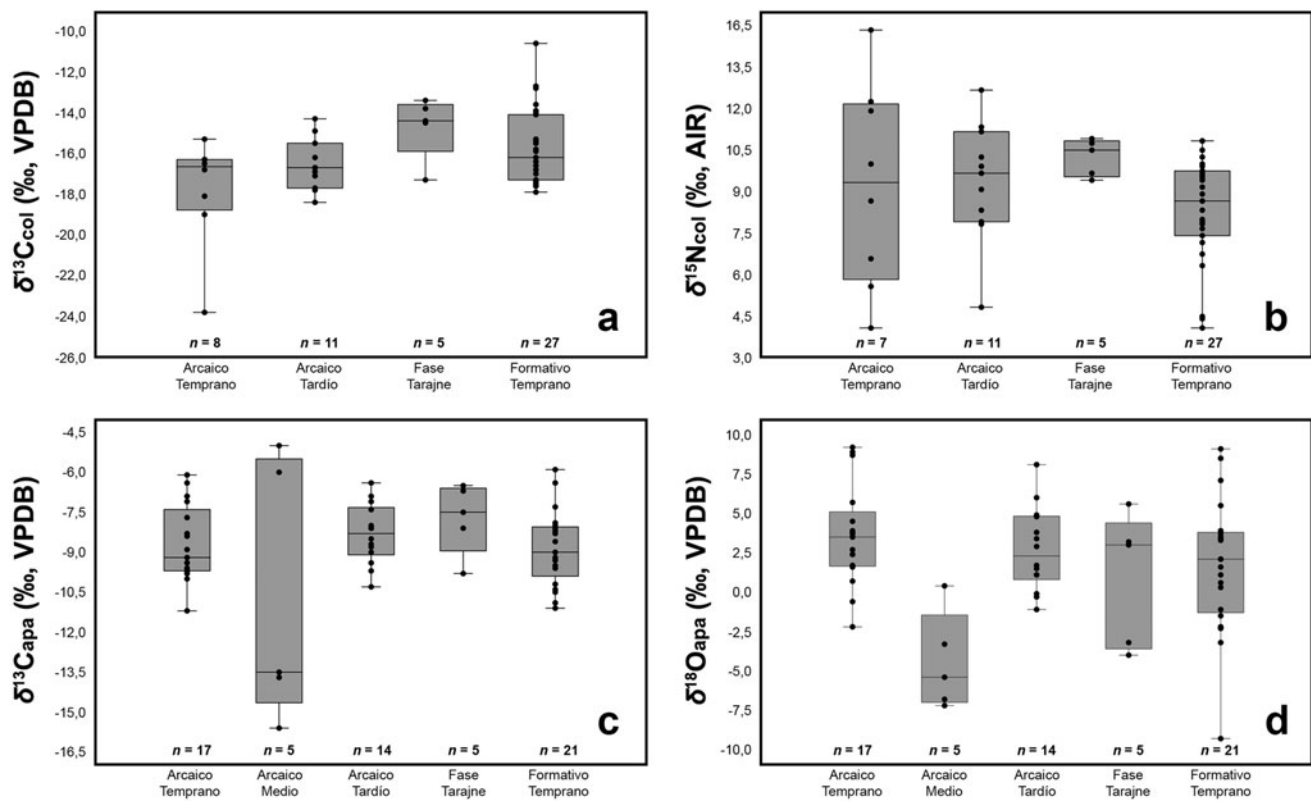


Figura 6. Gráficos de caja y bigote de los valores distribuidos por periodos: (a)  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$ ; (b)  $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$ ; (c)  $\delta^{13}\text{C}_{\text{capa}}$ ; y (d)  $\delta^{18}\text{O}_{\text{apa}}$ .

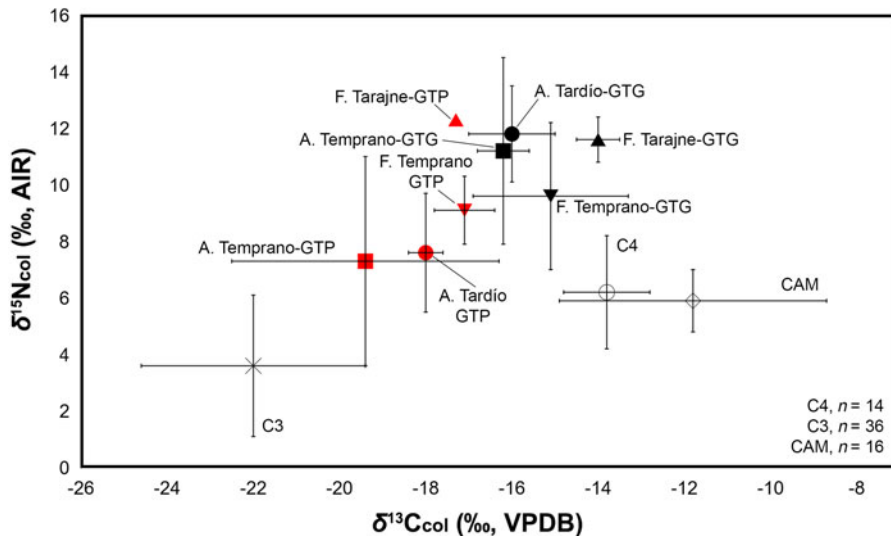


Figura 7. Valores  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  y  $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$  (medias y desviación estándar) de los camélidos del Arcaico temprano, Arcaico tardío, fase Tarajne y Formativo temprano de Salar de Punta Negra y quebradas Tulán y Puripica comparados con los valores de plantas actuales (Díaz et al. 2016). Los valores modernos de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  fueron corregidos +1,5‰ para contrarrestar el efecto Suess. (Color en la versión electrónica)

durante este periodo. Para la fase Tarajne la diversidad disminuye notablemente, aunque los valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  se incrementan en comparación con el periodo precedente. Hacia inicios del Formativo la variabilidad de los valores se incrementan, con una muestra de *L. glama* (TU-54/10) en la parte baja del grupo junto a una falange asignada genéticamente a *L. guanicoe* (TU-54/8). Un segundo ejemplar, identificado genéticamente como *L. glama* (TU-85/2), se emplaza en la parte media de la dispersión de puntos para este periodo y corresponde a una de las llamas del subgrupo de tamaño más pequeño. A su vez, dentro del conjunto asignado al Formativo, se destaca un ejemplar con un valor de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  elevado, el cual proviene del interior del templete de TU-54 y que no fue posible de medir por corresponder a un fragmento de radio-ulna (Figura 8a). Al considerar los valores de  $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$  medidos sobre colágeno de especímenes del GTG no se observa una tendencia temporal muy clara, aunque llama la atención la escasa diversidad de los valores de nitrógeno de los camélidos de la fase Tarajne en comparación con los demás periodos considerados, y en especial el Formativo temprano, momento en el que la variabilidad se incrementa notablemente (Figura 8b). Durante este periodo, los valores

que exhiben los especímenes asignados genéticamente a *L. glama-V. pacos* son similares y se distancian levemente del guanaco.

En cuanto a los valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  medidos en apatita, con la inclusión de muestras del Arcaico medio, periodo árido en la zona, se observan valores extremos que dan cuenta de estas condiciones ambientales. Para el resto de los periodos críticos dentro del proceso de domesticación, la distribución de los valores es similar a la observada para el caso del colágeno. En el Formativo temprano, la muestra TU-85/11 asignada al Clado 3 (*L. glama-V. pacos*) del subgrupo pequeño se distancia del ejemplar TU-54/10 también asignado al mismo taxón, pero dentro del subgrupo grande (Figura 8c). Por último, tal como se observa en la Figura 8d, los valores de  $\delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}}$  correspondientes al Arcaico medio se diferencian de los periodos anterior y posterior, indicando la influencia de eventos ambientales que difieren en comparación con el resto de la secuencia. Finalmente, cabe destacar la amplia variabilidad que presentan los valores de  $\delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}}$  correspondientes a la fase Tarajne y al Formativo temprano, aspecto que podría indicar grandes oscilaciones ambientales hacia el interior de ambos periodos y/o la utilización de diversos pisos altitudinales en simultáneo,



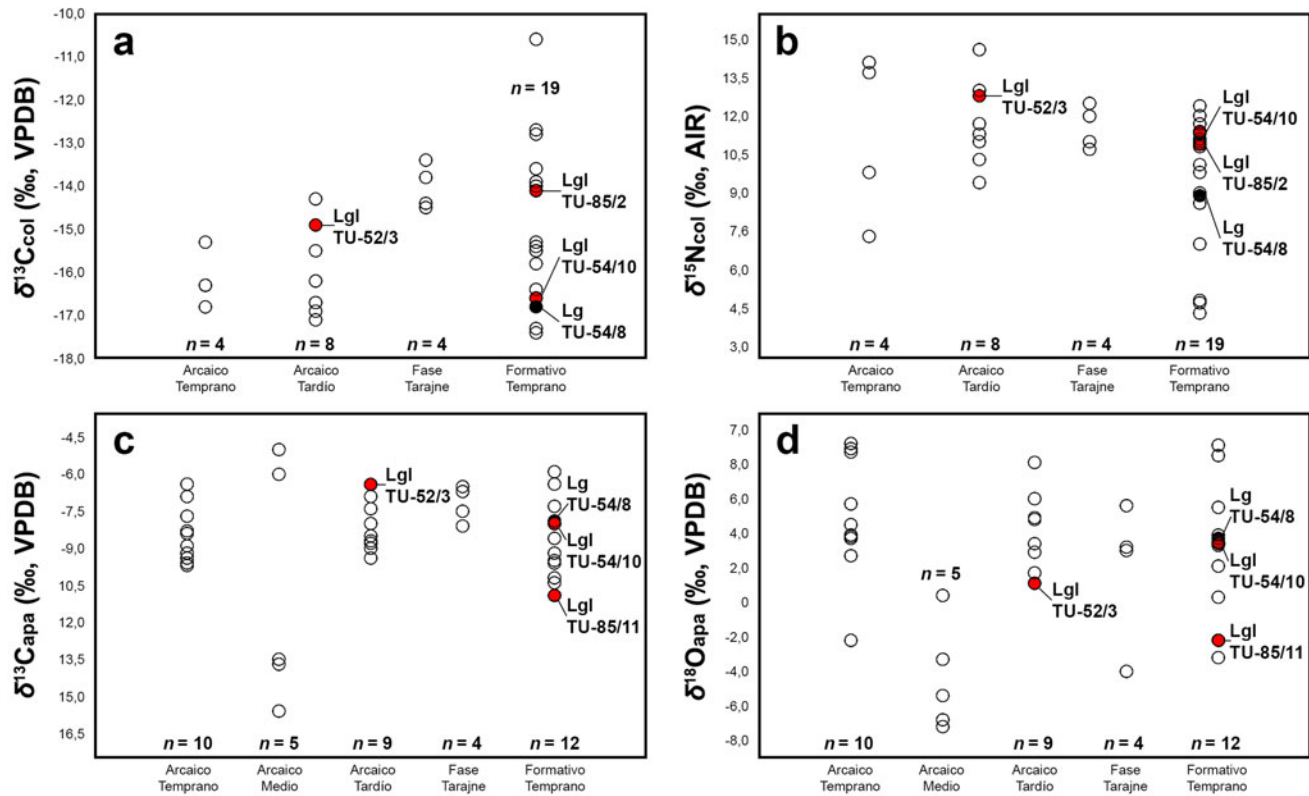


Figura 8. Distribución de valores isotópicos del GTG por periodos: (a)  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$ ; (b)  $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$ ; (c)  $\delta^{13}\text{C}_{\text{apa}}$ ; y (d)  $\delta^{18}\text{O}_{\text{apa}}$ . Lgl. Clado 1 y Clado 3: *L. glama-V. pacos* (círculos rojos); Lg. Clado 2: *L. guanicoe* (círculos negros). (Color en la versión electrónica)

especialmente durante el Formativo temprano (González-Silvestre et al. 2013).

### Discusión y conclusiones

Los resultados del análisis osteométrico y su combinación con los datos genéticos no se ajustan completamente a las expectativas formuladas para el Formativo temprano en estudios previos (Cartajena et al. 2007). Los resultados de los análisis genéticos permitieron identificar dos tipos de llamas según su tamaño: un tipo de talla grande y un tipo más pequeño de talla intermedia entre vicuñas-alpacas y llamas-guanacos, por lo que la combinación de los datos osteométricos y genéticos evidencia la complejidad de trabajar únicamente con medidas que reducen ampliamente la diversidad posible de las formas domésticas. Los resultados obtenidos sobre las muestras del Formativo temprano reflejan esta diversidad al identificarse dos tipos de llamas asociadas a los Clados 1 y 3. A su vez, estos tipos podrían relacionarse hipotéticamente a usos diferenciados: el fenotipo carguero para el transporte de carga y formas ligadas a la producción de lana y carne. Estos tipos se ajustan a lo conocido para el Formativo temprano en la quebrada Tulán, donde hay indicadores de contactos con áreas distantes como la costa del Océano Pacífico y el Noroeste de Argentina a través del uso de las llamas como animales de carga, al tiempo que se registra la presencia de fibras de camélidos domésticos (Cartajena et al. 2009; Núñez et al. 2017a).

A nivel contextual, los dos grupos de tamaño de *L. glama* se relacionan con distintos sitios situados en la quebrada de Tulán. Las llamas pequeñas fueron recuperadas en TU-85, sitio emplazado en el borde del salar (2.318 m snm), mientras que las llamas grandes fueron halladas en TU-54, contexto ubicado en la parte alta de la quebrada (2.952 m snm). El primer sitio posee un montículo central formado por el descarte de actividades de manufactura, procesamiento y consumo, asociadas a estructuras domésticas con formas circulares y subcirculares aglomeradas (Núñez et al. 2006b). Por su parte, TU-54 corresponde a un templete que concentró actividades rituales ligadas al sacrificio de llamas, orientadas a afianzar la cohesión social de

los grupos durante inicios del Formativo (Núñez et al. 2017a). Estas diferencias en el uso de espacios con ocupaciones sincrónicas pueden explicar las diferencias osteométricas e isotópicas observadas en las muestras estudiadas, especialmente si hipotetizamos que la selección de las llamas sacrificadas debió estar mediatizada por rasgos particulares como el tamaño, color o función como animales de carga.

En relación con los resultados del análisis isotópico, un aspecto interesante a discutir en la circumpuna de Atacama son los cambios en la dieta y territorialidad de los camélidos durante las fases iniciales y avanzadas de la domesticación. Considerando la trayectoria cultural del área, Núñez y colaboradores (2006b) plantearon que tanto en Tulán como en Puripica se asentaron grupos que dieron lugar a ocupaciones más estables hacia fines del Arcaico, articulando la diversidad ambiental de las quebradas en un escenario que favoreció la emergencia de grupos con una alta circunscripción social. Estos autores plantearon el desarrollo de una marcada agregación cultural durante el Arcaico tardío, lo cual, junto a la recuperación de condiciones más húmedas hacia el final de este periodo, habría posibilitado la consolidación de las prácticas pastoristas. Este escenario y los resultados isotópicos presentados aquí sugieren que la ampliación de la cobertura vegetal colaboró en la configuración de un patrón de asentamiento de tipo estanciero, con bases residenciales de uso recurrente —aunque no permanente— y múltiples campamentos dispersos aún no estudiados.

Lo anterior tiene alcances en la interpretación de la conformación social de las poblaciones humanas de fines del Arcaico y una posible desagregación social que habría concluido con el abandono de TU-52. Así proponemos que durante la fase Tarajne las poblaciones se dispersaron en grupos o comunidades pastoriles independientes y utilizando otros ambientes, lo que explica la baja frecuencia de elementos culturales registrados para este periodo en las quebradas estudiadas. Este proceso se evidencia en una menor variabilidad de los valores isotópicos medidos sobre el colágeno durante la fase Tarajne en comparación con el Arcaico tardío y el Formativo temprano. Estos cambios podrían estar asociados a una disminución de la

movilidad humana durante la fase Tarajne, aunque cabe mencionar que la cantidad de muestras analizadas para esta fase es escasa. Este patrón no se repite al observar la composición isotópica del oxígeno medida sobre la fracción de apatita.

Para el Formativo temprano, la desagregación social habría generado la necesidad de (re)construir comunidad, adquiriendo importancia factores como la ancestralidad, la filiación parental y la memoria social para la activación de las relaciones sociales a través de materialidades y prácticas específicas. Por consiguiente, el Formativo se desarrollaría con ritmos de ocupación diferenciados, alternando episodios y procesos de agregación y fisión social, a partir de la práctica de un pastoralismo trashumante, pero manteniendo actividades de crianza cerca de los sitios domésticos como TU-85 en la base del salar, y en ambientes cercanos muy estables para el forrajeo como el oasis de Tilomonte (López et al. 2013). En este sentido, vale mencionar que el patrón estacional vertical es propio de los pastores andinos y supone la existencia de sitios residenciales ocupados durante gran parte del año, los cuales se encuentran articulados con asentamientos temporarios (estancias) emplazados en áreas aptas para el forrajeo (Yacobaccio et al. 2009). En el caso de Puripica y Tulán pensamos que estas áreas corresponden a quebradas y vegas altoandinas localizadas por sobre los 3.800 m snm, así como lagunas altas como Miscanti (4.120 m snm). Estos asentamientos aún no han sido estudiados en profundidad hasta la fecha y es uno de los trabajos por realizar en el futuro. Lo anterior permitirá generar un panorama más completo de las prácticas pastoriles en sociedades en las que los camélidos tuvieron un rol central en su desarrollo socioeconómico y simbólico.

*Agradecimientos.* Trabajo financiado por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo de Chile (ANID) a través de los proyectos FONDECYT N° 1130917 y FONDECYT posdoctoral N° 3190566. Agradecemos a todo el equipo de trabajo, especialmente a la Comunidad Atacameña de Peine y al colega Pablo Gómez por su aporte en el análisis estadístico. Patricio López M. agradece el apoyo de Elvira Latorre Blanco durante todo el proceso de investigación. Por último, agradecemos los comentarios de los(as) evaluadores(as) y editores (as) cuyas observaciones permitieron mejorar una versión inicial del manuscrito.

*Declaración de disponibilidad.* Los materiales analizados en este trabajo se encuentran disponibles en el Departamento

de Antropología de la Universidad de Chile. Los especímenes utilizados tanto para el análisis isotópico como genético, por su volumen fueron procesados en su totalidad. Toda la información está disponible previa solicitud a los autores(as), y los datos osteométricos e isotópicos se adjuntan en los materiales suplementarios.

*Material suplementario.* Para acceder al material suplementario que acompaña este artículo, visitar [www.journals.cambridge.org/\[Journal\]](http://www.journals.cambridge.org/[Journal]) <https://doi.org/10.1017/laq.2021.66>.

Tabla Suplementaria 1. Fechas calibradas de los sitios estudiados. Calibración realizada mediante OxCal v4.3.2 (Bronk Ramsey 2017) y la curva SHCal20 (Hogg et al. 2020).

Tabla Suplementaria 2. Medidas de elementos óseos: (a) primeras y segundas falanges anteriores y posteriores; (b) cuarto carpiano; (c) cuarto tarsiano; (d) astrágalo; (e) primeras falanges anteriores utilizadas para la Figura 2a.

Tabla Suplementaria 3. Valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{apa}}$ ,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{apa}}$ ,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$ ,  $\delta^{15}\text{N}_{\text{col}}$ , %C, %N y C:N de muestras de sitios arqueológicos de Tulán, Puripica y Salar de Punta Negra. Los valores con mala preservación de colágeno están marcados en negro en la última columna, mientras que los especímenes que no aportaron datos métricos están identificados en gris en la primera columna. Se detalla también el grupo de tamaño y asignación taxonómica de cada muestra a partir del análisis osteométrico, tendencias de tamaño y análisis genético.

Tabla Suplementaria 4. Síntesis de los valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  y  $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$  medidos sobre colágeno y los valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  y  $\delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}}$  medidos sobre apatita de restos óseos de camélidos de sitios arqueológicos de Tulán, Puripica y Salar de Punta Negra según periodo cronológico. Los valores con mala preservación de colágeno (relación C:N fuera del rango 2,9-3,6) fueron excluidos del cálculo de los estadísticos presentados.

## Referencias citadas

- Alpers, Charles y Donald Whittetmore  
1990 Hydrogeochemistry and Stable Isotopes of Ground and Surface Waters from Two Adjacent Closed Basins, Atacama Desert, Northern Chile. *Applied Geochemistry* 5:719–734.
- Bronk Ramsey, Christopher  
2017 Methods for Summarizing Radiocarbon Database. *Radiocarbon* 59:1809–1833.
- Cartajena, Isabel  
2002 Los conjuntos arqueofaunísticos del Arcaico temprano en la Puna de Atacama, Norte de Chile. Tesis doctoral, Freie Universität Berlin, Department of History and Cultural Studies, ABESY Vertriebs GMBH, Alemania.
- 2013 Faunal Assemblages from the Middle Holocene: Environmental and Cultural Variability in the Western Slope of the Puna de Atacama. *Quaternary International* 307:31–37.
- Cartajena, Isabel, María A. Benavente, Lautaro Núñez y Carlos Thomas  
2009 La utilización de los camélidos durante el Formativo temprano: Una comparación entre la cuenca del Loa Medio y el Salar de Atacama. En *Zooarqueología y Tafonomía en el Confin del Mundo*, editado por Patricio López, Isabel Cartajena, Christian García y

- Francisco Mena, pp. 181–198. Ediciones Universidad Internacional SEK-Chile, Santiago.
- Cartajena, Isabel, Lautaro Núñez y Martin Grosjean  
2007 Camelid Domestication in the Western Slope of the Puna de Atacama, Northern Chile. *Anthropozoologica* 42:155–173.
- Costa, Thiago y Fernando Barri  
2018 *Lama guanicoe* Remains from the Chaco Ecoregion (Córdoba, Argentina): An Osteological Approach to the Characterization of a Relict Wild Population. *PLoS ONE* 13(4):e0194727. DOI:10.1371/journal.pone.0194727.
- Del Papa, Luis  
2020 Diferenciación de camélidos en la región Chaco-Santiagueña (Argentina) para el período Agroalfarero (350-1550 dC). *Latin American Antiquity* 31:375–391.
- De Niro, Michael  
1985 Postmortem Preservation and Alteration of in Vivo Bone Collagen Isotope Ratios in Relation to Paleodietary Reconstruction. *Nature* 317:806–809.
- Díaz, Francisca, Matías Frugone, Rodrigo Gutiérrez y Claudio Latorre  
2016 Nitrogen Cycling in an Extreme Hyperarid Environment Inferred from  $\delta^{15}\text{N}$  Analyses of Plants, Soils and Herbivore Diet. *Scientific Reports* 6:22226. DOI:10.1038/srep22226.
- Díaz-Maroto, Paloma  
2019 ADN antiguo y los genes reguladores del color: Un aporte metodológico para la determinación de especies de camélidos durante la fase Tilocalar (3200-2300 aP) en los sitios Tulán-54 y Tulán-85, Norte. Tesis doctoral, Departamento de Antropología, Universidad de Tarapacá, Arica y Instituto de Arqueología y Antropología, Universidad Católica del Norte, San Pedro de Atacama, Chile.
- Díaz-Maroto, Paloma, Alba Rey-Iglesia, Isabel Cartajena, Lautaro Núñez, Michael Westbury, Valeria Varas, Mauricio Moraga, et al.  
2021 Ancient DNA Reveals the Lost Domestication History of South American Camelids in Northern Chile and Across the Andes. *eLife* 10:e63390. DOI:10.7554/eLife.63390.
- Ehleringer, James, Philip Rundel, Beatriz Palma y Harold Mooney  
1998 Carbon Isotope Ratios of Atacama Desert Plants Reflect Hyperaridity of Region in Northern Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 71:79–86.
- Fernandes, Ricardo, Andrew Millard, Marek Brabec, Marie-Josée Nadeau y Pieter Grootes  
2014 Food Reconstruction Using Isotopic Transferred Signals (FRUITS): A Bayesian Model for Diet Reconstruction. *PLoS ONE* 9(2):e87436. DOI:10.1371/journal.pone.0087436.
- Gasco, Alejandra, Erik Marsh y Jonathan Kent  
2014 Clarificando variables osteométricas para la primera falange de camélidos sudamericanos. *Intersecciones en Antropología* 15:131–138.
- Goepfert, Nicolas, Elise Dufour, Belkys Gutiérrez y Claude Chauchat  
2013 Origen geográfico de camélidos en el período Mochica (100-800 AD) y análisis isotópico secuencial del esmalte dentario: Enfoque metodológico y aportes preliminares. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines* 42:25–48.
- González-Silvestre, Leticia, Antonio Maldonado, Lautaro Núñez, Isabel Cartajena, Carlos Carrasco y Patricio de Souza  
2013 Condiciones paleovegetacionales y asentamientos humanos durante el Formativo temprano: Análisis de polen del sitio Tulán-85 (1530/1260-460/420 años cal. aC), cuenca del Salar de Atacama. *Chungara Revista de Antropología Chilena* 45:387–410.
- Grosjean, Martin, Lautaro Núñez e Isabel Cartajena  
2005 Palaeoindian Occupation of the Atacama Desert, Northern Chile. *Journal of Quaternary Science* 20:643–653.
- Hammer, Øyvind, David Harper y Paul D. Ryan  
2001 PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4:4.
- Hesse, Brian  
1982a Archaeological Evidence of Camelid Exploitation in the Chilean Andes. *Säugetierkundliche Mitteilungen* 30:201–211.  
1982b Animal Domestication and Oscillating Climates. *Journal of Ethnobiology* 2:1–15.
- Hogg, Alan, Timothy Heaton, Quan Hua, Jonathan Palmer, Chris Turney, John Southon, Alex Bayliss, et al.  
2020 SHCal20 Southern Hemisphere Calibration, 0-55,000 Years cal BP. *Radiocarbon* 62:759–778.
- Izeta, Andres, Clara Otaola y Alejandra Gasco  
2009 Osteometría de falanges proximales de camélidos sudamericanos modernos: Variabilidad, estándares métricos y su importancia como conjunto comparativo para la interpretación de restos hallados en contextos arqueológicos. *Revista del Museo de Antropología* 2:169–180.
- Knudson, Kelly  
2009 Oxygen Isotope Analysis in a Land of Environmental Extremes: The Complexities of Isotopic Work in the Andes. *International Journal of Osteoarchaeology* 19:171–191.
- López, Patricio, Isabel Cartajena, Rodrigo Loyola, Lautaro Núñez y Carlos Carrasco  
2017 The Use of Hunting and Livestock Space Inferred by Stable Isotopes Analyses on Camelids During the Early Formative (Tilocalar Phase) in Tulan Transect (Puna de Atacama, Chile). *International Journal of Osteoarchaeology* 27:1059–1069.
- López, Patricio, Isabel Cartajena y Lautaro Núñez  
2013 Primeras aproximaciones al estudio de isótopos estables en camélidos del Formativo temprano de la puna de Atacama (ca. 3100-2400 aP) de Quebrada Tulán (II Región-Chile). *Chungara Revista de Antropología Chilena* 45:237–247.
- Moore, Katherine  
2016 Early Domesticated Camelids in the Andes. En *The Archaeology of Andean Pastoralism*, editado por José Capriles y Nicholas Tripcevich, pp. 17–38. University of New Mexico Press, Albuquerque.
- Núñez, Lautaro  
1999 Fase Tilocalar: Nuevas evidencias formativas en la Puna de Atacama (norte de Chile). En *Formativo sudamericano: Una reevaluación*, editado por Paulina Lederberger-Crespo, pp. 227–242. ABYAYALA, Cuenca.
- Núñez, Lautaro, Isabel Cartajena, Carlos Carrasco y Patricio de Souza  
2006a El templete de Tulán de la Puna de Atacama: Emergencia de complejidad ritual durante el Formativo temprano (norte de Chile). *Latin American Antiquity* 17:445–473.
- Núñez, Lautaro, Isabel Cartajena, Carlos Carrasco, Patricio de Souza y Martin Grosjean

- 2006b Emergencia de comunidades pastoralistas formativas en el sureste de la Puna de Atacama. *Estudios Atacameños* 32:93–117.
- Núñez, Lautaro, Isabel Cartajena, Carlos Carrasco, Patricio López, Francisco Rivera, Patricio de Souza, Boris Santander y Rodrigo Loyola
- 2017a Presencia de un centro ceremonial Formativo en la circumpuna de Atacama. *Chungara Revista de Antropología Chilena* 49:3–33.
- 2017b The Temple of TU-54: New Insights Concerning Ceremonial Architecture of the Early Formative in the Atacama Desert. *Antiquity* 91:901–915.
- Núñez, Lautaro, Martin Grosjean e Isabel Cartajena
- 2005 *Ocupaciones humanas y paleoambientales en la Puna de Atacama*. Taraxacum, Universidad Católica del Norte, San Pedro de Atacama.
- Núñez, Lautaro, Virginia McRostie e Isabel Cartajena
- 2009 Consideraciones sobre la recolección vegetal y la horticultura durante el Formativo temprano en el sureste de la cuenca de Atacama. *Darwiniana* 47:56–75.
- Quade, Jay, Jason Rech, Claudio Latorre, Julio Betancourt, Erin Gleeson y Mary Kalin
- 2007 Soils at the Hyperarid Margin: The Isotopic Composition of Soil Carbonate from the Atacama Desert, Northern Chile. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 71:3772–3795.
- Samec, Celeste, Hugo Yacobaccio y Héctor Panarello
- 2018 Stable Isotope Compositions of South American Camelids in the Dry Puna of Argentina: A Frame of Reference for the Study of Prehistoric Herding and Hunting Strategies. *Journal of Archaeological Science: Reports* 18:628–636.
- Tully, Craig, Jason Rech, T. Race Workman, Calogero Santoro, José Capriles, Eugenia Gayó y Claudio Latorre
- 2019 In-Stream Wetland Deposits, Mega-Droughts, and Cultural Change in the Atacama Desert, Chile. *Quaternary Research* 91:63–80.
- von den Driesch, Angela
- 1999 *A Guide to Measurement of Animal Bones from Archaeological Sites*. Peabody Museum Bulletin 1. Harvard University, Cambridge, Massachusetts.
- Yacobaccio, Hugo D.
- 2010 Osteometría de llamas (*Lama glama* L.) y sus consecuencias arqueológicas. En *Zoarqueología a principios del siglo XXI: Aportes teóricos, metodológicos y casos de estudio*, editado por María Gutiérrez, Mariana De Nigris, Pablo Fernández, Miguel Giardina, Adolfo Gil, Andrés Izeta, Gustavo Neme y Hugo Yacobaccio, pp. 65–75. Ediciones del Espinillo, Buenos Aires.
- Yacobaccio, Hugo, Marcelo Morales y Celeste Samec
- 2009 Towards an Isotopic Ecology of Herbivory in the Puna Ecosystem: New Results and Patterns on *Lama glama*. *International Journal of Osteoarchaeology* 19:144–155.

---

Submitted February 5, 2020; Revised November 5, 2020;  
Accepted June 28, 2021