

Meteorización ósea en restos de guanaco y ñandú

 María A. Gutiérrez*, Mariela E. González**, María C. Álvarez***, Agustina Massigoge**** y Cristian A. Kaufmann*****

Recibido:
15 de marzo de 2015

Aceptado:
24 de noviembre de 2016

Resumen

La meteorización es una variable ampliamente utilizada en los análisis zooarqueológicos y tafonómicos, dada su utilidad para evaluar la integridad y el contexto de depositación de los materiales arqueológicos. En este artículo presentamos los resultados de un estudio experimental de largo plazo sobre huesos de guanaco de tres categorías etarias y de un ñandú adulto luego de ocho años de exposición. El objetivo de este trabajo es evaluar si la meteorización afecta diferencialmente a los huesos de estos dos taxones, a las categorías etarias y a los distintos elementos del esqueleto. En términos generales nuestros resultados indican que la mayoría de los huesos del ñandú adulto se meteorizan más rápido que los del guanaco de la misma edad; los individuos inmaduros de guanaco registran tasas más altas de meteorización que el adulto; todos los huesos de los guanacos presentan algún grado de meteorización a los dos años de exposición; cráneos y dientes fueron los elementos más afectados por la meteorización para los guanacos de las tres clases de edad; y el esqueleto axial de guanaco presenta estadios de meteorización ligeramente superiores al del apendicular a medida que aumenta el tiempo de exposición. Estos resultados preliminares contribuyen a mejorar nuestro entendimiento sobre la complejidad del proceso de meteorización, así como a la conformación de un cuerpo de información relevante para la generación de expectativas arqueológicas.

Palabras clave

Meteorización
Estudio experimental
Guanaco
Ñandú
Desarrollo ontogénico

* INCUAPA-CONICET, Facultad de Ciencias Sociales, UNICEN. Av. del Valle 5737 (CP 7400) Olavarría, Buenos Aires, Argentina. E-mail: mgutierr@soc.unicen.edu.ar

** INCUAPA-CONICET, Facultad de Ciencias Sociales, UNICEN. Av. del Valle 5737 (CP 7400) Olavarría, Buenos Aires, Argentina. E-mail: mgonzalez@soc.unicen.edu.ar

*** INCUAPA-CONICET, Facultad de Ciencias Sociales, UNICEN. Av. del Valle 5737 (CP 7400) Olavarría, Buenos Aires, Argentina. E-mail: malvarez@soc.unicen.edu.ar

**** INCUAPA-CONICET, Facultad de Ciencias Sociales, UNICEN. Av. del Valle 5737 (CP 7400) Olavarría, Buenos Aires, Argentina. E-mail: amassigo@soc.unicen.edu.ar

***** INCUAPA-CONICET, Facultad de Ciencias Sociales, UNICEN. Av. del Valle 5737 (CP 7400) Olavarría, Buenos Aires, Argentina. E-mail: ckaufman@soc.unicen.edu.ar

Bone weathering in guanaco and Greater Rhea

Abstract

Keywords

Weathering
Experimental study
Guanaco
Greater Rhea
Ontogenetic development

Bone weathering has been widely used in taphonomic and zooarchaeological analyses given its importance in assessing the integrity and the depositional context of archaeological materials. In this paper we present the results of a long-term experimental study undertaken on bones from guanacos of three different age classes, as well as an adult Greater Rhea, at eight years of exposure. The aim of this research was to evaluate if weathering differentially affected bones from both species, across the different age classes, and on diverse skeletal parts from the same carcass. Our results indicated that, in general terms, rhea bones weathered faster than the skeletal parts of guanaco belonging to the same age group. Likewise, guanaco bones belonging to immature individuals showed higher weathering rates than those from the adult, and after two years of exposure all the skeletal parts of the three guanacos presented some degree of weathering. Furthermore, guanaco skulls and teeth were the most affected elements across all three age classes. Finally, under increased exposure time, the axial skeleton showed slightly higher weathering stages than the appendicular skeleton. These preliminary results contribute to improving our understanding of the complexity inherent to the weathering process, while also building a more solid taphonomic database against which to model our archaeological expectations.

Introducción

Durante el período de tiempo que se extiende entre la muerte de un vertebrado y el enterramiento de sus restos, diferentes agentes tafonómicos interactúan e inciden en distinto modo e intensidad en la preservación así como en la destrucción de sus huesos. Uno de los procesos más ampliamente conocidos es la meteorización, definida como el proceso por el cual los componentes microscópicos orgánicos e inorgánicos del hueso son separados unos de otros y destruidos por agentes físicos y químicos que operan sobre el hueso *in situ*, ya sea sobre la superficie o dentro de la zona del suelo (Behrensmeyer 1978:153). Sobre la base de observaciones naturalistas realizadas en la sabana africana, esta autora propuso un esquema de seis estadios que describen el deterioro progresivo de los huesos de mamíferos > 5kg causado por la meteorización, desde su estado fresco hasta la destrucción total de los mismos. Este trabajo también indica que la meteorización puede seguir patrones de cambios morfológicos similares en distintos ambientes, por lo cual los estadios descriptivos de meteorización resultan de utilidad para comparar conjuntos fósiles y recientes de distintos contextos (Behrensmeyer 1978; Behrensmeyer y Miller 2012).

El estadio de meteorización alcanzado por un hueso expresa tanto el tiempo de exposición a los agentes atmosféricos, como la tasa de meteorización (*sensu* Lyman y Fox 1989:294). Esta última puede variar en relación con distintos factores intrínsecos y extrínsecos. Entre las propiedades intrínsecas de importancia pueden mencionarse la forma, el tamaño, el área superficial, la estructura y la densidad mineral de los huesos (Behrensmeyer 1978; Behrensmeyer y Miller 2012; González *et al.* 2012; Lyman 1994; Madgwick y Mulville 2012). Estas propiedades varían notablemente entre distintos taxones y elementos esqueléticos, e incluso sufren cambios a lo largo del desarrollo ontogénico de los individuos, por lo cual se espera que no todos los huesos respondan del mismo modo a la meteorización (Stodder 2008). En cuanto a los factores externos que condicionan la tasa de meteorización, se incluyen el régimen climático (particularmente las fluctuaciones de temperatura y humedad), la radiación solar, el contexto de depositación, el tipo de sustrato y la cubierta vegetal (Behrensmeyer 1978; Behrensmeyer y Miller 2012; Lyman y Fox 1989; Ross y Cunningham 2011; Tuross *et*

al. 1989). Por definición, la meteorización también ocurre de forma sub-superficial, aunque en esta situación su tasa es considerablemente más lenta y son casi inexistentes los estudios experimentales o naturalistas que monitoreen esta condición (Behrensmeyer 1978; Gifford 1977; Lyman y Fox 1989; Ross y Cunningham 2011).

Con escasas excepciones, los conjuntos faunísticos recuperados en los sitios arqueológicos se encuentran afectados por la meteorización. Como arqueólogos interesados en conocer las estrategias de selección y procesamiento humano de los animales así como las condiciones generales del contexto de depositación de los materiales, resulta fundamental estimar en qué grado y de qué modo este proceso tafonómico pudo haber influido en la configuración final de los conjuntos óseos estudiados. Debido a que la tasa de meteorización se encuentra condicionada por las propiedades intrínsecas de los huesos, la acción de este proceso puede ocasionar un sesgo en la representación taxonómica y anatómica y en los perfiles etarios con respecto a los conjuntos originalmente depositados por los humanos (Behrensmeyer 1975, 1978; Brain 1981; Marean 1995; Marean y Cleghorn 2003).

Los estadios de meteorización propuestos por Behrensmeyer (1978) han sido ampliamente utilizados en Argentina en estudios realizados en distintos ambientes para inferir el tiempo relativo de exposición de los restos óseos, el modo de depositación del conjunto (atricional o catastrófico), la integridad del mismo y el grado de asociación de los elementos (e.g., Bonomo 2005; Gutiérrez 2006; Izeta y Scattolin 2006; L'Heureux y Borrero 2002; López 2006; Mengoni Goñalons 1999; Messineo 2003; Mucciolo 2007, entre otros). No obstante, hasta tanto no se realice la calibración de la tasa de meteorización para cada área de estudio y no se conozcan mejor los factores que condicionan dicha tasa, los estadios de meteorización deben emplearse con precaución para estimar el tiempo durante el cual un conjunto óseo estuvo expuesto o para inferir su modo de depositación (Behrensmeyer y Miller 2012; Lyman y Fox 1989; Tappen 1994).

Con el propósito de incrementar el conocimiento de algunos de los factores que generan variabilidad en el proceso de meteorización así como sus consecuencias sobre el registro fósil, desarrollamos un estudio experimental a largo plazo sobre elementos esqueléticos de guanaco (*Lama guanicoe*) y ñandú (*Rhea americana*). El guanaco es un camélido silvestre sudamericano que puede llegar a pesar entre 80 y 100 kg. El ñandú es la mayor ave corredora de Sudamérica y su peso promedio es de 25 kg. Estas especies fueron seleccionadas para nuestra experiencia ya que constituyeron recursos importantes de la dieta de las poblaciones cazadoras-recolectoras que habitaron la región pampeana en momentos prehispánicos y por lo tanto, sus restos se encuentran presentes en la mayoría de los sitios arqueológicos de la región (Martínez y Gutiérrez 2004; Miotti y Salemme 1999; Politis y Salemme 1990; Salemme y Frontini 2011).

El estudio experimental que presentamos en este trabajo tiene como objetivos principales indagar si la meteorización afecta diferencialmente a los huesos de estos dos taxones y evaluar si existen diferencias en la manifestación de este proceso en relación con la edad de los individuos. De manera complementaria, examinamos si la meteorización afecta diferencialmente a los distintos elementos que componen el esqueleto. El conocimiento de las consecuencias que puede tener este proceso tafonómico resulta fundamental para evaluar potenciales sesgos sobre algunas clases taxonómicas y etarias en los conjuntos faunísticos bajo estudio.

En publicaciones previas (González *et al.* 2012; Massigoge *et al.* 2010) presentamos los resultados de la meteorización alcanzada en tres esqueletos de guanaco de distintas edades (un neonato, un juvenil y un adulto) luego de dos y cuatro años de exposición. En este trabajo actualizamos los resultados sobre el proceso de meteorización que experimentaron estos mismos esqueletos luego de ocho años de exposición y describimos por primera vez la meteorización de un esqueleto de ñandú adulto luego de tres

años de observaciones sistemáticas. Además, comparamos los resultados de estos dos taxones entre sí. Es importante aclarar que nuestro estudio se refiere exclusivamente a los efectos de la meteorización superficial.

Distintos investigadores han desarrollado estudios actualísticos sobre meteorización ósea (Andrews 1995; Andrews y Armour-Chelu 1998; Andrews y Cook 1985; Andrews y Whybrow 2005; Behrensmeyer 1978; Borrero 2007; Cruz y Muñoz 2014; Tappen 1994). En su mayoría, estos estudios consisten en el monitoreo a largo plazo de carcasas o huesos depositados naturalmente en diferentes contextos ambientales. Si bien algunos autores han mencionado que los huesos de los animales más jóvenes se meteorizan más rápido que los de los adultos (Behrensmeyer 1978; Behrensmeyer et al. 2003; Fiorillo 1989), son inexistentes los estudios publicados que examinen de manera comparativa y en profundidad la acción diferencial de la meteorización en relación con el desarrollo ontogénico de los individuos. Por otra parte, se han llevado a cabo trabajos que comparan los efectos de la meteorización sobre distintos taxones (Behrensmeyer et al. 2003; Cruz 2007, 2008; Cruz y Muñoz 2014; Gifford 1977; Gifford et al. 1999). Entre las investigaciones que comparan la meteorización entre aves y mamíferos, se encuentran los trabajos realizados en la sabana africana por Behrensmeyer y colegas (2003) y en la estepa patagónica por Cruz (2007, 2008). De acuerdo a Behrensmeyer et al. (2003), los huesos de aves se meteorizan más rápido que los de mamíferos; sin embargo, no cuentan con información del tiempo de exposición de los primeros. Estos investigadores también mencionaron que los huesos de avestruz (aprox. 100 kg) son más resistentes a la meteorización en comparación con los huesos de aves de menor tamaño (< 10 kg). Cruz (2007, 2008), sobre la base de un estudio naturalista, ha comparado los efectos de la meteorización sobre guanaco y choique (*Rhea pennata*; aprox. 25 kg). Esta investigadora coincide en que los huesos de ave se meteorizan más rápido que los de mamífero y en que los huesos de choique se meteorizan más lento que los de las aves voladoras más pequeñas (1 a 5 kg). Agrega además que existe una variación importante en el potencial de preservación de los distintos elementos óseos de choique y que los huesos de las extremidades posteriores son los que permanecen expuestos por mayor tiempo antes de destruirse por la meteorización (Cruz 2007). Es importante destacar que las investigaciones comparativas disponibles hasta el momento sobre meteorización entre aves y mamíferos, no disponen de información sobre el tiempo de muerte de los individuos, en especial de aves. En este sentido, nuestros resultados representan una contribución original para estimar las diferencias en las tasas de meteorización entre estas dos clases comparadas.

Materiales y métodos

La experiencia tafonómica de meteorización comenzó en septiembre de 2006 en el predio de estudios experimentales del INCUAPA, Facultad de Ciencias Sociales (UNICEN). En la primera etapa del desarrollo de esta experiencia se utilizaron tres individuos de guanaco: un neonato (15 días a 3 meses), un juvenil (12 a 19 meses) y un adulto senil (96 a 108 meses). Para cada uno de estos individuos, se expuso gran parte de los elementos que componen la carcasa. En el caso de los huesos pares se seleccionaron sólo los elementos derechos; se eligió una vértebra de cada tipo; una esternona, una costilla, un hueso del carpo (magnum) y dos del tarso (astrágalo y calcáneo). La muestra inicial por individuo estuvo compuesta por 22 elementos completos (las epífisis y diáfisis no fusionadas provenientes del mismo hueso fueron consideradas como un único elemento). En la segunda etapa de esta experiencia, en noviembre de 2011, se expuso una carcasa de un ñandú adulto (N= 31). A diferencia de la metodología implementada para los guanacos, en esta oportunidad se utilizaron los huesos pares de ambas lateralidades.

Antes de dar comienzo a cada experiencia, las piezas esqueléticas de ambos taxones fueron hervidas para eliminar tejidos blandos, con excepción del tejido conectivo de las

suturas craneales. En el hervido no fueron utilizadas sustancias químicas y el tiempo que duró este proceso fue inferior a las cuatro horas. De acuerdo al estudio experimental de Roberts *et al.* (2002), en los huesos hervidos por menos de nueve horas no se registran cambios significativos que afecten la preservación ósea.

El estado inicial de los huesos es un aspecto importante al momento de discutir los resultados alcanzados en esta experimentación y debe ser tenido en cuenta cuando se realizan comparaciones con los resultados sobre meteorización ósea obtenidos en casos naturalistas donde las carcasas estudiadas se encuentran total o parcialmente cubiertas por tejido blando al comienzo de la exposición (Andrews y Whybrow 2005; Behrensmeyer 1978; Borrero 2007; Cruz y Muñoz 2014; Gifford 1977). Si bien las condiciones iniciales de los huesos sometidos a la experimentación no serían homologables a las de los estudios naturalistas mencionados, se acercarían más a las de los restos de animales descartados por humanos, cuyo procesamiento para consumo a menudo involucra el cuereo, descarte y el asado o hervido.

Se realizó un registro detallado de las condiciones iniciales y el relevamiento fotográfico de los elementos óseos. Luego, los huesos fueron depositados al aire libre sobre un sustrato arenoso carente de cobertura vegetal dentro de un sector cercado que restringe el acceso a personas y animales, con excepción de insectos, aves y pequeños roedores. Desde el inicio de esta experiencia se ha controlado el crecimiento de la vegetación para garantizar condiciones similares para todo el conjunto óseo. A pesar de tratarse de un área cercada se registró la pérdida de algunos elementos óseos lo cual podría vincularse a un ocasional enterramiento o transporte generado por roedores, aves, el viento y la lluvia.

Durante los primeros tres años (septiembre 2006-septiembre 2009 para guanaco; noviembre 2011-noviembre 2014 para ñandú) se realizó una observación detallada cada seis meses de la superficie cortical de cada uno de los elementos de los cuatro esqueletos. Se registraron las modificaciones óseas y se asignó un estadio de meteorización (*sensu* Behrensmeyer 1978) a cada una de las caras (expuesta y no expuesta). Luego de este período, las observaciones fueron anuales.

Los criterios que seguimos para la evaluación de los estadios de meteorización para ñandú fueron los mismos que propone Behrensmeyer (1978) para mamíferos. Las observaciones realizadas por Behrensmeyer *et al.* (2003) indican que los huesos de aves (incluyendo avestruz) se meteorizan de modo similar a los de mamíferos. La distinción más significativa entre taxones de igual tamaño de estas dos clases es que en aves, a diferencia de los mamíferos, pueden manifestarse grietas en el tejido cortical antes que exfoliación y agrietamiento superficial y es frecuente que el tejido trabecular quede expuesto en los extremos proximal y distal de los huesos largos a partir de los estadios 1 o 2. Estas diferencias seguramente están vinculadas a la composición ósea estructural de las aves, que presentan un tejido cortical externo delgado pero fuerte, que descansa en su interior sobre el hueso neumático en lugar de un tejido cortical más grueso que apoya sobre el hueso esponjoso en los mamíferos (Behrensmeyer y Miller 2012). Los estadios de meteorización propuestos por Behrensmeyer (1978) constituyen excelentes categorías descriptivas sobre el progresivo debilitamiento de los componentes estructurales de los huesos y, más importante aún, han alcanzado un amplio reconocimiento y aceptación internacional entre los analistas de esta variable. En consecuencia, los estadios descriptivos de meteorización originalmente propuestos para mamíferos pueden ser utilizados con cierto recaudo para realizar comparaciones entre los diferentes taxones de vertebrados (*i.e.*, aves, reptiles, peces óseos) provenientes de distintos ambientes del mundo (Behrensmeyer y Miller 2012). Por otra parte, la cantidad de años necesaria para alcanzar cada estadio de meteorización propuesta por Behrensmeyer (1978) resulta útil sólo para conjuntos de huesos expuestos a condiciones climáticas similares al ecosistema tropical semi-árido donde se llevaron a cabo las investigaciones originales. En conclusión, consideramos

que la aplicación de estos estadios es adecuada cuando cumple una función descriptiva y comparativa e inadecuada cuando se pretende extrapolar a conjuntos óseos de ambientes diferentes el tiempo transcurrido que representa cada estadio. En este sentido, para cada ambiente se necesita ajustar esta última variable teniendo en cuenta los factores climáticos que entran en juego en los diferentes ecosistemas.

El partido de Olavarría (provincia de Buenos Aires), donde se llevó a cabo la experiencia, posee un clima templado-húmedo con influencia oceánica y no presenta estación seca. La precipitación media anual es de 900 mm. El trimestre más lluvioso ocurre durante los meses de febrero, marzo y abril, y el menos lluvioso, en junio, julio y agosto. La temperatura media del mes más cálido es de 21,4° C (enero) y la del mes más frío de 6,9° C (julio). La temperatura media anual es de 13,8° C. El período medio libre de heladas se extiende de principios de octubre a mediados de mayo (Mosciaro y Dimuro 2009). Contamos con datos proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) para la ciudad de Olavarría para los dos primeros años de exposición de los guanacos (Septiembre 2006 – Julio 2008). El registro de la temperatura mensual promedio fue de 15,5° C, con la máxima y mínima promedio de 24,8° C y 5° C, respectivamente. Las precipitaciones mensuales promedio fueron de 61,8 mm y la humedad promedio de 66,9%. Cabe mencionar que en esta investigación se identificaron diferencias notables entre los valores de temperatura ambiental (datos brindados por el SMN) y aquellos registrados por nosotros con un termohigrómetro en el sustrato donde estaban depositados los huesos. Como ejemplo se puede mencionar que los valores de temperatura tomados sobre el sustrato durante enero de 2007 fueron, en promedio, 7,4° C más elevados (Massigoge *et al.* 2010).

Resultados

Evolución de la meteorización en guanaco

Tendencias generales por período

A continuación se sintetizan los principales rasgos de alteración ósea y las tendencias en la manifestación de los estadios de meteorización de la muestra de guanacos en su conjunto, a lo largo de los ocho años de exposición (Tablas 1 y 2). A fin de evitar largas descripciones se resumieron los datos más importantes en tablas. De esta forma sólo se mencionan casos de huesos que ejemplifican algún rasgo o característica de la meteorización que no fue posible reunir en tablas. De lo contrario, se hace referencia a la tabla correspondiente.

Primer año de exposición (Tablas 1 y 2): Luego del primer año de exposición, la mayoría de los elementos se encontraba en el estadio 1 (80,3%), aunque algunos huesos del individuo juvenil alcanzaron el estadio 2 (Tabla 2). Los primeros rasgos de meteorización fueron mayormente las líneas de desecación y la exfoliación incipiente (Figura 1a). Otros rasgos que se registraron son las grietas y la pérdida de las primeras capas del tejido cortical, con exposición en algunos casos de tejido esponjoso (Figura 1e). Los huesos más pequeños, como falanges y articulares, fueron los menos meteorizados (Tabla 2).

Segundo año de exposición (Tablas 1 y 2): Algunos elementos alcanzaron los estadios 3 (3,22%) y 4 (3,22%), todos ellos correspondientes al juvenil (Tabla 2). Sin embargo, la mayoría de los huesos de los tres individuos se encontraban en los estadios 1 (45,17%) y 2 (48,39%). No se observaron huesos en el estadio 0 (Tabla 2). Aparecieron grietas en mosaico en gran parte de los elementos del individuo neonato (*e.g.*, vértebra torácica, hemipelvis, costilla) y en algunos de los huesos de los dos individuos restantes (*e.g.*, pelvis, costillas, radio-ulna) (Figura 1b). Estas grietas se localizan en las superficies de fusión y en los sectores articulares como facetas o carillas.

Estadio	1 año	2 años	3 años	4 años
0	7,58	0	0	0
1	80,3	45,17	14,75	6,35
2	12,12	48,39	49,18	31,75
3	0	3,22	32,79	52,38
4	0	3,22	1,64	7,94
5	0	0	1,64	1,58
Estadio	5 años	6 años	7 años	8 años
0	0	0	0	0
1	3,29	0	0	0
2	22,95	11,86	7,14	5,77
3	54,09	42,38	25	26,92
4	18,03	37,29	60,72	55,77
5	1,64	8,47	7,14	11,54

Tabla 1. Distribución de frecuencias relativas de los estadios de meteorización en guanaco para la muestra total durante los ocho años de exposición.

Tercer año de exposición (Tablas 1 y 2): Además de los rasgos ya mencionados, se registró pérdida ósea (Figura 1d) (*e.g.*, sacro, escápula, fémur del individuo adulto) y textura fibrosa (Figura 1f) (*e.g.*, mandíbula, sacro, tibia del juvenil), mientras que las grietas se tornaron más abundantes al estar presentes en gran parte de los elementos. La mayoría de los elementos exhibieron el estadio 2 (49,18%) y se registró por primera vez el estadio 5 (1,64%; en el esqueleto juvenil). Una gran diversidad de partes esqueléticas se encontraba en los estadios más avanzados (3 a 5) (Tabla 2).

Cuarto y quinto año de exposición (Tablas 1 y 2): El número de elementos en el estadio 3 (52,38%) aumentó considerablemente luego de cuatro años de exposición. Al año siguiente, continuó el predominio de este estadio (54,09%) y se observó un leve incremento de huesos en el estadio 4 (18,03%) (Tabla 2). Para este lapso, las alteraciones predominantes fueron la textura fibrosa, la pérdida ósea y la exposición de tejido esponjoso. Esta última alteración se observó principalmente en los huesos pequeños, como astrágalo, rótula y falanges, así como en las epífisis de los huesos largos.

Sexto a octavo año de exposición (Tablas 1 y 2): Luego del sexto año de exposición se produjo un aumento considerable de elementos en el estadio 4 (37,29%), tendencia que se agudizó al año siguiente (60,72%). Las observaciones efectuadas al finalizar el séptimo y el octavo año no mostraron diferencias importantes en relación con los años anteriores. Sólo se destaca un incremento de huesos en el estadio 5 en el esqueleto juvenil luego del octavo año (Tabla 2). Es importante mencionar que ningún elemento alcanzó este estadio en el esqueleto adulto. La ligera disminución de huesos en el estadio 5 en el esqueleto neonato luego del octavo año de exposición se debe a la desintegración completa de algunos elementos (Tabla 2). En cuanto a las alteraciones producidas por la meteorización, se registró el astillamiento de algunos huesos, como por ejemplo vértebras, hemipelvis, costilla y diáfisis de algunos huesos largos (*e.g.*, radio-ulnas de individuos juvenil y adulto; fémur y tibia de juvenil). También se observó la pérdida ósea en facetas articulares, tuberosidades o apófisis de ciertos elementos, así como la exfoliación avanzada (Figura 1c) (*e.g.*, escápula, esternón, húmero del adulto y en la mayoría de los huesos de los individuos neonato y juvenil). Asimismo, comenzó a manifestarse la pérdida de la morfología original en una escasa cantidad de unidades óseas. Esta condición se registró en algunos casos mediante la presencia de elementos representados sólo por tejido esponjoso, como por ejemplo, epífisis no fusionadas, rótulas o esternón; o a través de la destrucción de más de la mitad del elemento, como

Elemento	Individuo Neonato Años de exposición								Individuo Juvenil Años de exposición								Individuo Adulto Años de exposición							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
Cráneo	1	2	3	4	4	5	D	D	2	4	5	5	5	5	5	5	1	2	2	3	3	4	4	4
Mandíbula	1	2	3	3	4	5	5	D	2	4	4	4	4	5	5	5	1	1	2	2	2	3	3	3
V. cervical	1	2	2	2	3	4	5	D	1	1	2	3	3	4	4	4	1	1	2	3	3	4	4	4
V. torácica	1	2	2	3	3	3	4	4	1	1	2	3	3	4	4	5	1	1	2	2	2	3	3	3
V. lumbar	1	2	2	2	2	3	4	4	1	1	2	3	3	4	4	4	1	1	2	3	4	4	4	4
Sacro	1	2	2	2	3	4	4	4	1	1	2	3	3	4	4	4	1	2	3	4	4	4	4	4
Pelvis	1	2	2	2	3	3	4	4	1	1	3	3	3	4	4	4	1	2	2	3	3	3	3	3
Costillas	1	2	2	2	3	4	4	D	1	1	2	3	3	4	4	4	1	1	2	3	3	3	3	3
Escápula	1	2	3	3	3	3	4	4	2	2	3	3	3	4	4	4	1	2	3	4	4	4	4	4
Esternebra	1	1	1	2	-	-	-	-	1	2	3	3	4	4	4	-	1	1	2	2	3	3	3	3
Húmero	1	2	2	3	3	3	4	5	2	2	3	3	3	3	4	5	1	1	1	2	2	2	3	3
Radio-ulna	1	2	3	3	3	3	4	4	2	2	3	3	4	4	4	4	1	2	2	3	3	3	3	3
Metacarpo	1	2	3	3	3	3	4	4	2	2	3	3	3	3	4	4	1	1	1	2	2	2	3	3
1°Falange	1	1	1	1	2	3	4	4	2	3	3	4	4	4	4	4	1	1	1	1	1	2	2	2
2°Falange	1	1	1	3	3	3	-	-	1	2	2	3	4	3*	-	-	1	1	1	1	1	2	2	2
3°Falange	1	1	1	3	3	3	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	0	1	-	-	-	-	-	-
Fémur	1	2	2	3	3	3	4	4	1	2	3	3	3	3	4	4	1	2	2	2	3	3	3	3
Tibia	1	2	3	3	3	3	4	4	2	2	3	3	3	4	4	4	1	1	2	2	2	3	3	3
Calcáneo	1	2	2	2	2	3	4	4	1	2	2	3	3	4	4	4	1	1	2	2	2	2	3	3
Rótula	0	-	-	-	-	-	-	-	1	3	3	4	4	4	4	5	1	1	3	3	3	3	3	3
Astrágalo	1	1	2	2	2	3	4	4	1	1	3	3	3	3	3	3	1	1	2	2	2	2	2	2
Mágnium	0	1	1	3	3	-	-	-	1	1	1	2	2	2	2	3	0	1	1	1	2	-	-	-

Tabla 2. Distribución de los estadios de meteorización en guanaco para la muestra total durante los ocho años de exposición. Referencias: D: desintegración; -: elemento extraviado; * Este estadio corresponde sólo a la epífisis proximal ya que la diáfisis de la falange no se pudo encontrar más a partir de esta observación.

en algunas vértebras, huesos articulares y el sacro del individuo neonato. El primer caso de disgregación completa de un elemento se registró a los siete años (cráneo) y al año siguiente aumentó levemente el número de elementos disgregados, todos ellos correspondientes al individuo neonato (Tabla 2).

Tendencias generales por categoría etaria en guanaco

Debido a la gran cantidad de observaciones que involucra esta experiencia, en este apartado realizamos una síntesis de las tendencias entre clases de edad hacia la mitad del tiempo de exposición transcurrido (cuatro años) y para el último registro con el que se cuenta hasta el momento (ocho años). Las descripciones de los cambios observados durante los primeros cuatro años ya fueron realizadas en Massigoge *et al.* (2010) y González *et al.* (2012).

A los cuatro años de exposición, no se observaron huesos en el estadio 0 de meteorización en ninguno de los esqueletos (Figura 2; Tabla 2). Para este momento, el juvenil alcanzó los estadios más avanzados, con mayor número de elementos en los estadios 3 (76,19%) y 4 (14,29%), e incluso algunos en el estadio 5. Por otra parte, el perfil de meteorización del esqueleto neonato fue similar al del adulto, con una mayor representación de los estadios 1 y 2 en comparación con el juvenil. La principal diferencia observada entre el neonato y el adulto fue el mayor número de elementos en estadios avanzados (3 y 4) en el primero de ellos (Tabla 2). En cuanto a las alteraciones producidas por la meteorización, los rasgos

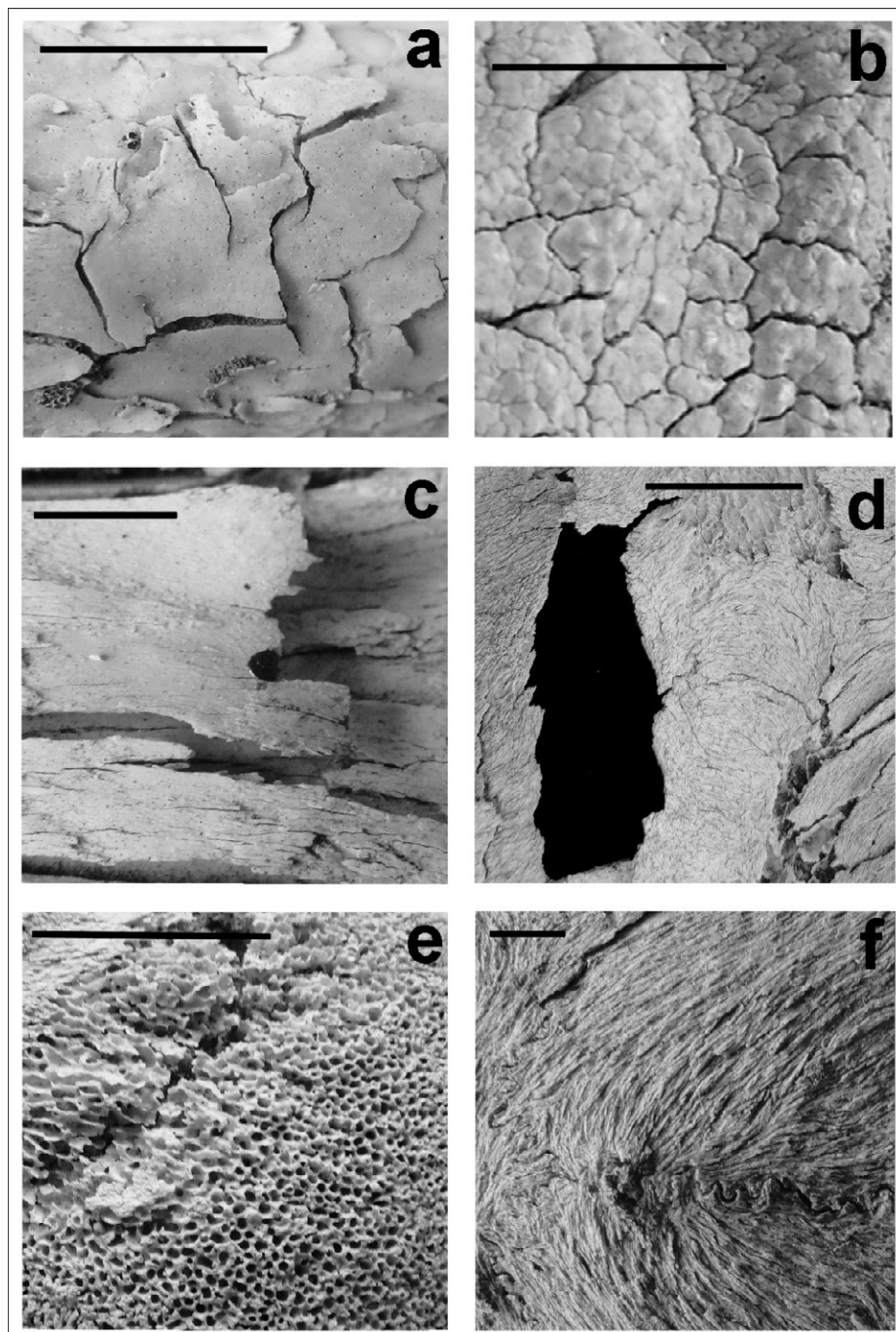


Figura 1. Detalle de los rasgos mencionados en la descripción de la meteorización. a) exfoliación, b) grietas en mosaico, c) exfoliación avanzada, d) pérdida ósea, e) exposición del tejido esponjoso, f) textura fibrosa. Escala=1cm.

más representados para el individuo neonato fueron: la exposición del tejido esponjoso, que primero afectó a las epífisis no fusionadas, pero luego se extendió a otros sectores de los elementos; las grietas y líneas de desecación; la pérdida ósea y la exfoliación incipiente y avanzada (Figura 3). Para el individuo juvenil se observó la exfoliación avanzada, en tanto que la exposición del tejido esponjoso fue menor que en el caso del neonato, pero se registraron más elementos con textura fibrosa; así como gran cantidad de líneas de desecación y grietas (Figura 4). En el adulto prevalecieron las líneas de desecación y las grietas, seguidas por la exfoliación avanzada e intermedia, la exposición del tejido esponjoso y la pérdida ósea (Figura 5).

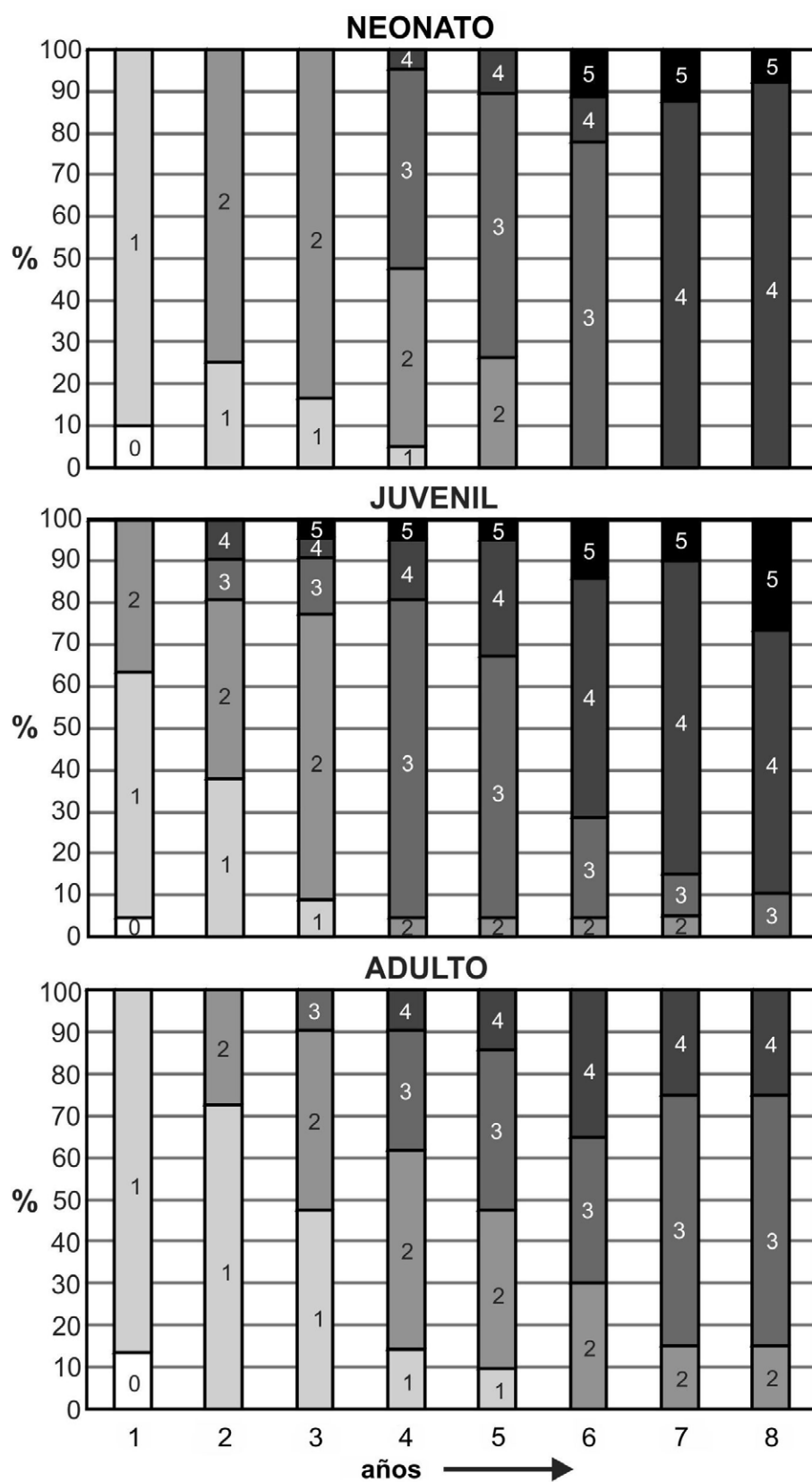


Figura 2. Distribución de frecuencias de los estadios de meteorización en guanaco por categoría etaria durante los ocho años de exposición.

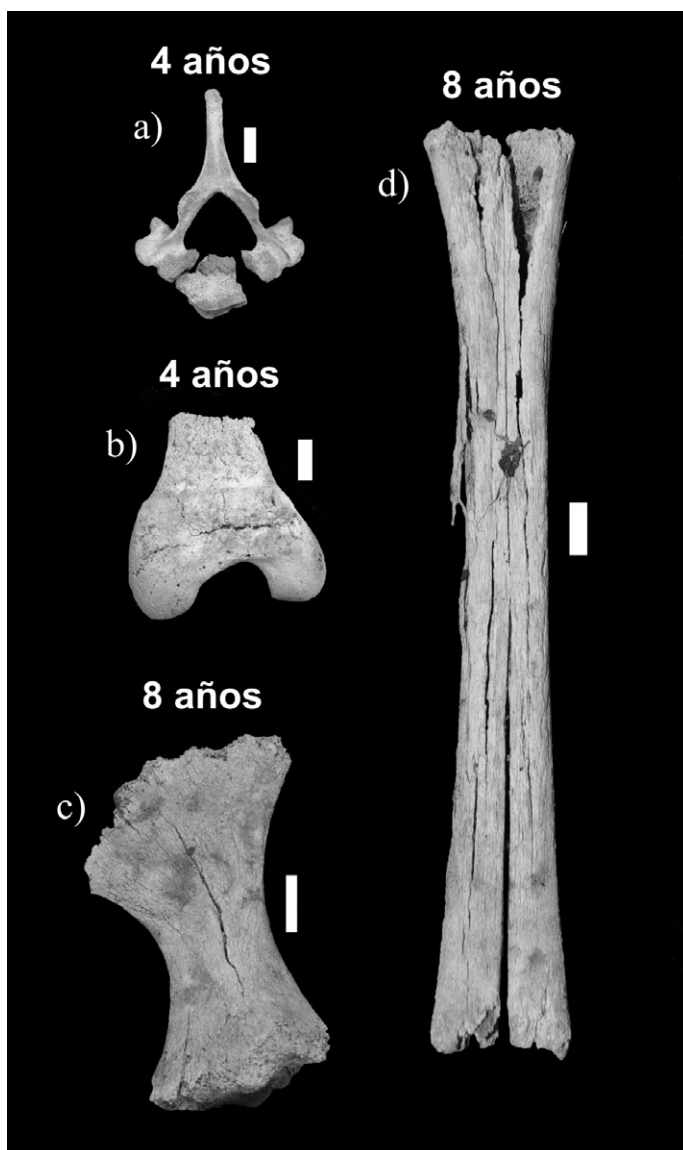


Figura 3. Grado de alteración de elementos del individuo neonato a los cuatro y ocho años de exposición. a) vértebra torácica, b) epífisis distal del fémur, c) ilion, d) metacarpo. Escala: 1 cm.

Después de ocho años de exposición, el estadio 1 no se registró en ninguno de los esqueletos y el estadio 2 solo se observó en el adulto (15%). En este momento, el perfil de meteorización del neonato se asemejó más al del juvenil, con un alto porcentaje de elementos en el estadio 4 (92,3% y 63,16%, respectivamente) y escasos huesos en el estadio 5 (7,7% y 26,32%, respectivamente) (Tabla 2). Algunos elementos del individuo neonato se disgregaron luego de haber alcanzado el estadio 5 de meteorización (Tabla 2), con lo cual no fueron descriptos y cuantificados en los últimos registros. El avance de la meteorización fue menor en el esqueleto adulto, en el cual se observó el predominio de huesos en estadio 3 (60%) y la ausencia de huesos en estadio 5. En cuanto a las alteraciones óseas, se registró en los huesos del neonato el predominio de pérdida ósea, exfoliación avanzada, grietas y, en algunos casos, pérdida de la morfología original (Figura 3). En el caso del juvenil, se observó en mayor medida la textura fibrosa, las grietas, la pérdida ósea y el astillamiento (Figura 4). El individuo adulto compartió la prevalencia de algunos rasgos con los anteriores: textura fibrosa, grietas y pérdida ósea (Figura 5).

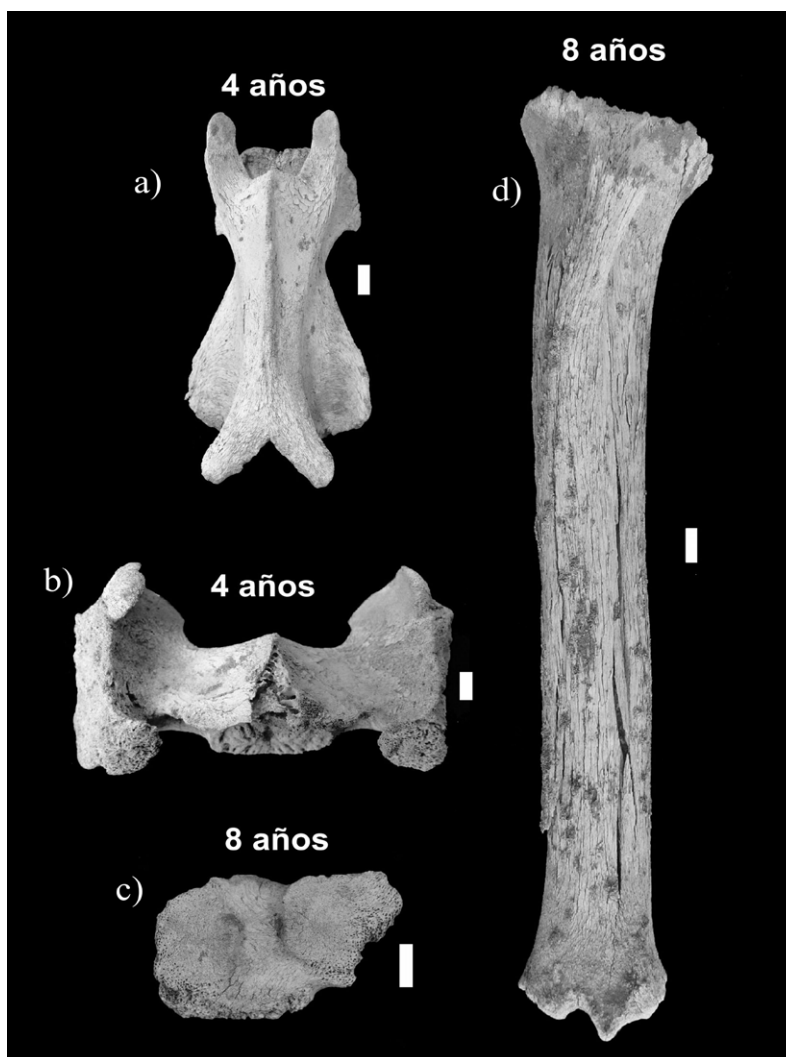


Figura 4. Grado de alteración de elementos del individuo juvenil a los cuatro y ocho años de exposición. a) vértebra cervical, b) 1ra vértebra sacra, c) epífisis proximal de tibia, d) tibia. Escala: 1 cm.

Un aspecto a destacar entre las tendencias observadas en la evolución del proceso de meteorización en nuestra experiencia es la mayor estabilidad que muestran los huesos del individuo adulto. En la última observación (noviembre de 2014), el 85% de los elementos mostraron diferencias en el estadio de meteorización alcanzado en sus caras de exposición. Es importante mencionar que el 15% presentó el estadio 0 en su lado no expuesto. Por el contrario, casi la totalidad de los elementos de los individuos neonato y juvenil presentaron el mismo estadio de meteorización en ambas caras.

Detalle de la meteorización en cráneos

El cráneo y la mandíbula de todos los individuos fueron los elementos más afectados por la meteorización. A continuación se resumen los cambios producidos en el cráneo de los tres individuos (Tabla 2).

Guanaco adulto: A los seis meses se registró el estadio 1 a través de líneas de desecación y escasa exfoliación. Esta última se observó principalmente en la zona de las suturas. Al año, la exfoliación avanzó a los frontales y se mantuvo el grado de meteorización

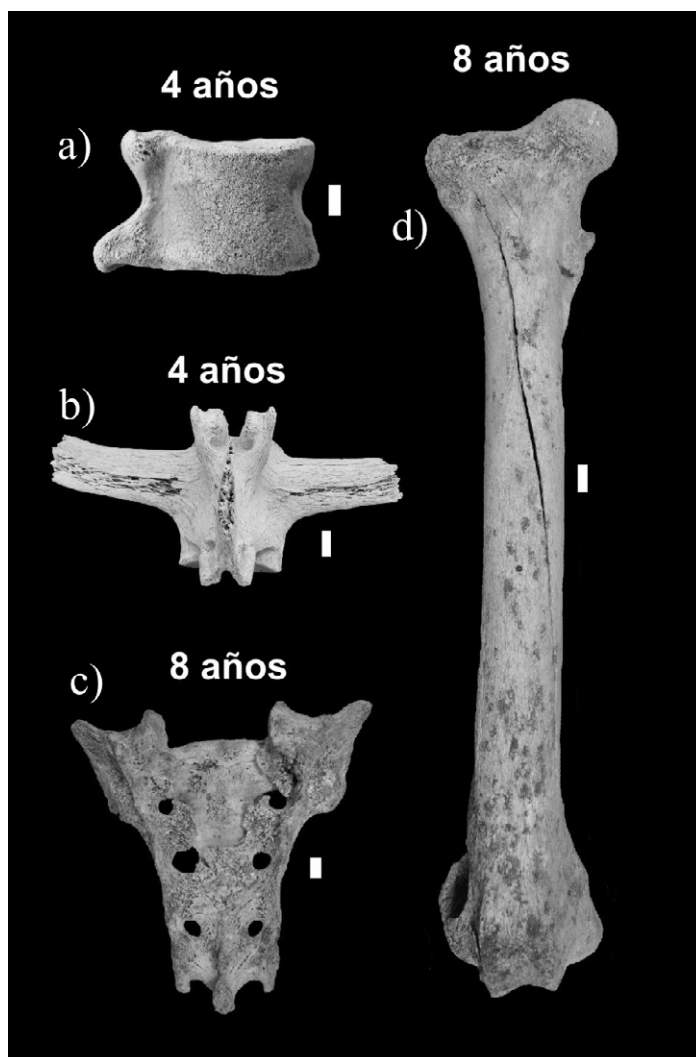


Figura 5. Grado de alteración de elementos del individuo adulto a los cuatro y ocho años de exposición. a) astrágalo, b) vértebra lumbar, c) sacro, d) fémur. Escala: 1 cm.

anterior (Figura 6). Al año y medio se observaron líneas de desecación, exfoliación en frontales y parietales y las suturas temporales comenzaron a abrirse. En un sector de la maxila derecha comenzó a desprenderse tejido cortical. A los dos años, se registró el estadio 2, las líneas de desecación y la exfoliación se observaron mayormente en la zona de las órbitas, en el occipital y en la calota. En este momento, los temporales comenzaron a separarse de la calota. A los tres años, cuando la exfoliación avanzó, los temporales comenzaron a abrirse y las suturas a separarse. A los cuatro años, el hueso alcanzó el estadio 3, con exfoliación avanzada y pérdida ósea en los temporales, que comenzaron a separarse; los frontales y la maxila presentaron grietas y pérdida ósea (Figura 6). Al año siguiente, avanzó la pérdida ósea en los frontales y al sexto año el cráneo alcanzó el estadio 4, con textura fibrosa y pérdida de fragmentos en los huesos frontales, nasales y las maxilas. Además, el premaxilar comenzó a separarse del maxilar y el nasal. A los siete años se observó la destrucción total de los huesos frontales y empezó a desintegrarse el sector lateral de los nasales; se registraron grietas y hundimiento en la maxila. Una de las órbitas y los temporales comenzaron a separarse del cráneo por las suturas y los nasales se abrieron, de manera que quedaron expuestos algunos huesos internos (e.g., cornetes). Se observó textura fibrosa en toda la superficie, pérdida ósea en los bordes del occipital y una pequeña perforación (1 cm de diámetro) en la

calota. En la observación correspondiente al último año se registró el astillamiento y la destrucción de los huesos internos (Figura 6). Hasta el presente, la cara no expuesta (inferior) no mostró rasgos de meteorización.

Guanaco juvenil: En tan solo seis meses de exposición, el cráneo alcanzó el estadio 2 de meteorización. Se observaron grietas, tejido esponjoso expuesto y exfoliación avanzada, principalmente en los frontales. Las suturas comenzaron a abrirse y el occipital se separó del cráneo. Al año, se registró exfoliación avanzada en todas las porciones craneales y grietas en los huesos frontales y maxilares. Se incrementó la separación de los huesos a través de las suturas (2 mm) (Figura 6). Al año y medio el cráneo alcanzó el estadio 4, el hueso nasal y parte del frontal colapsaron; una de las órbitas se astilló y la otra presentó pérdida ósea. Continuó la separación de los huesos y en algunos de ellos (*i.e.*, frontal y parietal) el tejido diploe se dividió en dos capas. Además, se registró exfoliación avanzada en todo el cráneo. A los dos años, el tejido diploe de los huesos frontales se separó aún más y el occipital comenzó a desprenderse del cráneo. Los huesos nasales se desintegraron y avanzó la destrucción de las órbitas. Se profundizó la exfoliación y la separación de los elementos craneales. Hasta este momento, la cara no expuesta no presentó signos de meteorización (Figura 6). Hacia los dos años y medio, los frontales, el occipital y parte de los parietales perdieron su capa externa y los arcos zigomáticos se destruyeron. Al tercer año, el cráneo alcanzó el estadio 5 y la parte central de la bóveda craneana se disgregó. A los cuatro años se observó la pérdida ósea completa de la calota, la separación del maxilar derecho y el desprendimiento de astillas (Figura 6). En el quinto año el occipital presentó textura fibrosa severa y pérdida ósea en los cóndilos; el resto de los huesos mostró exfoliación avanzada, excepto los petrosos cuya preservación fue muy buena. Con respecto a las maxilas, ambas se encontraban separadas del cráneo, presentaban textura fibrosa severa, pérdida ósea y supervivencia exclusivamente del sector de hueso alveolar, con algunos dientes y raíces *in situ*. A los seis años, el cráneo estaba representado por escasos fragmentos dispersos. En los últimos dos años, avanzó el deterioro y sólo se registró un fragmento de occipital, uno de ampolla timpánica y un petroso. Además, en la última observación se recuperaron escasos dientes sueltos (Figura 6).

Guanaco neonato: A los seis meses de exposición se observaron grietas y exfoliación incipiente, así como el comienzo de la separación de los elementos craneales debido a la descomposición del tejido fibroso presente entre las suturas. En este período se alcanzó el estadio 1. Al año, todos los huesos se encontraban separados, los frontales presentaron grietas y comenzó a exponerse el tejido esponjoso en las ampollas timpánicas (Figura 6). A partir del año y medio de exposición se registró el estadio 2, con exfoliación avanzada en algunos sectores de la cara expuesta, mientras que el lado no expuesto permanecía aún sin meteorizar. Si bien los huesos se encontraban desarticulados, ninguno de ellos estaba fracturado y los petrosos se mantenían unidos a las ampollas. Hacia los dos años, uno de los cóndilos occipitales se perdió, se registraron grietas, líneas de desecación y exfoliación en las distintas porciones del cráneo, y en las ampollas timpánicas comenzó a perderse la capa cortical. La cara no expuesta de los distintos elementos craneales comenzó a meteorizarse (estadio 1) y la expuesta continuó en el estadio 2. A los dos años y medio se perdió parte del frontal y del occipital, mientras que el resto de los elementos no mostró cambios. A los tres años, la exfoliación se profundizó en todos los elementos y el cráneo alcanzó el estadio 3 (Figura 6). En el cuarto año se registró el estadio 4, con predominio de pérdida ósea en los frontales y en las maxilas. A los cinco años sólo se conservaban fragmentos aislados con exfoliación avanzada: una porción de órbita, un parietal con pérdida ósea, un fragmento de esfenoides y el cóndilo occipital derecho. En el caso de las maxilas, sólo sobrevivió la porción de los alveolos con algunas de las raíces de los dientes. A los seis años el cráneo alcanzó el estadio 5 y sólo se observaron pequeños fragmentos disgregados (aproximadamente 1 cm de largo), de los cuales los únicos

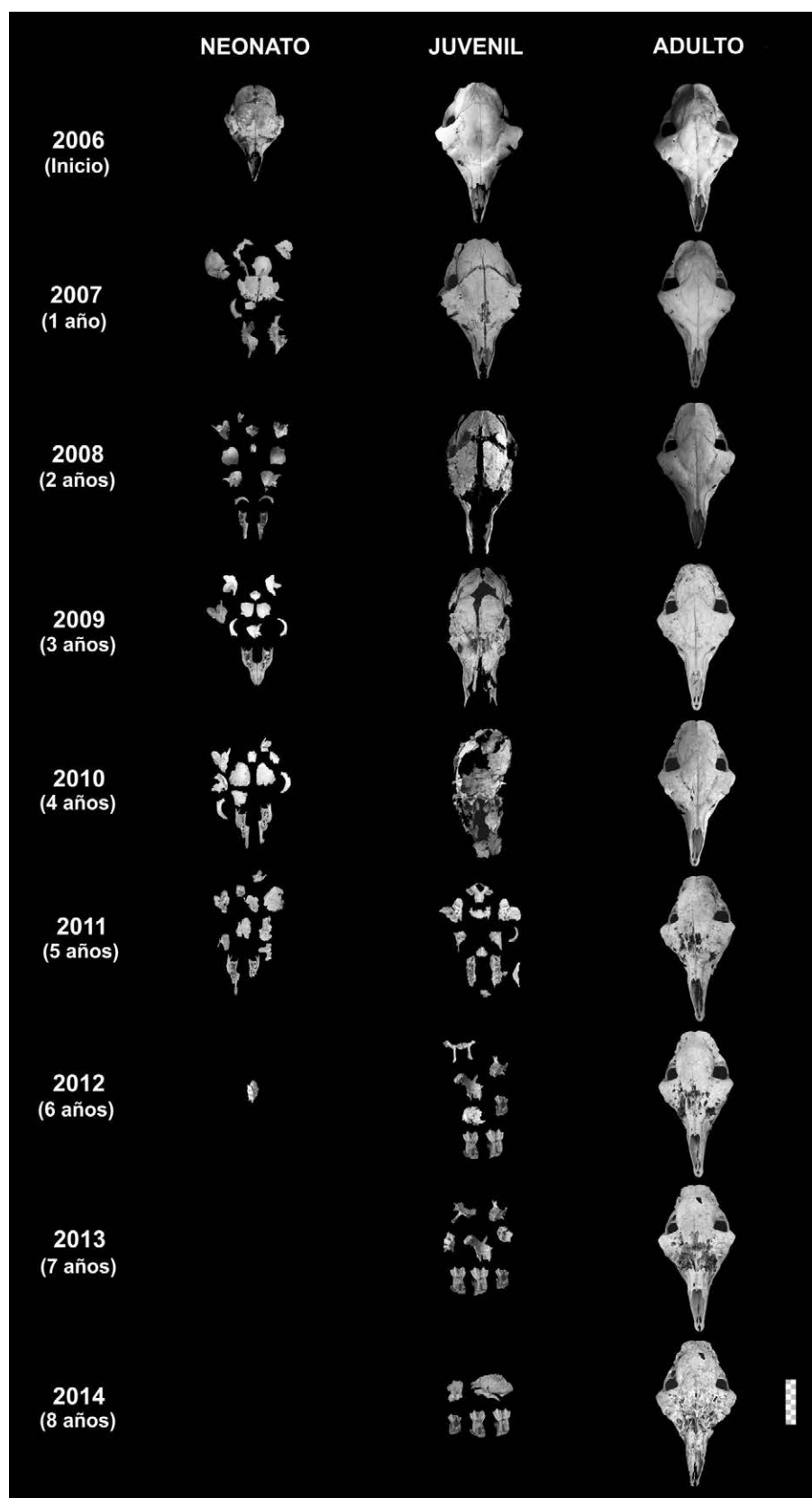


Figura 6. Evolución de la meteorización en los cráneos de los individuos de las tres categorías etarias a lo largo de los ocho años de exposición. Escala: 9 cm.

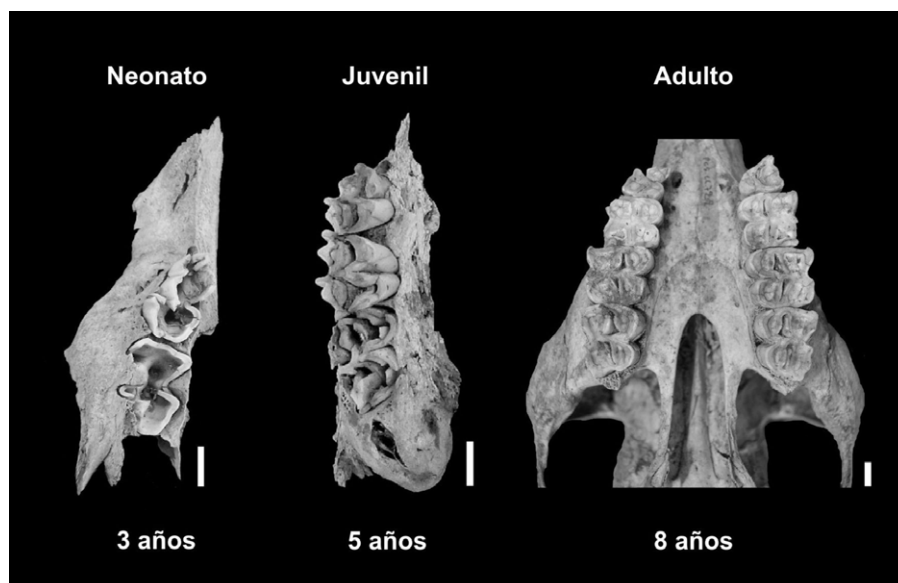


Figura 7. Detalle del estado de los dientes de la maxila para las tres categorías etarias de guanaco en distintos períodos de exposición. Escala: 1 cm.

identificables fueron dos porciones del cóndilo occipital, con textura fibrosa, así como un petroso muy bien preservado (Figura 6). A los siete años ya no se registraron restos óseos del cráneo.

Efectos de la meteorización en dientes

Los dientes presentaron un progreso particular en su deterioro ante su exposición en superficie y resulta interesante describir sus características (Tabla 2), las cuales no han sido abordadas en profundidad en estudios previos. Es necesario destacar que debido a la forma en que se ubicaron las partes esqueléticas sobre el sustrato, los dientes de las maxilas no quedaron directamente expuestos a la radiación solar mientras que los de las mandíbulas sí lo estuvieron.

Guanaco adulto: Luego de seis meses de exposición los dientes de la maxila se encontraban en excelente estado, aunque algunos caninos se desprendieron de sus alveolos. Al año, las coronas de los dientes presentaban grietas, mientras que para el año y medio, todos los caninos estaban fuera de sus alveolos. A los dos años, las raíces de los premolares comenzaron a exponerse en el hueso maxilar debido a la pérdida ósea, en tanto que a los tres años, las raíces de la mayoría de los molares se encontraban expuestas por esta misma causa. Hasta los cinco años, no se observaron avances significativos en la meteorización de los dientes. En la última observación, todos los dientes continuaban en sus alveolos y las coronas presentaban grietas en mosaico (Figura 7).

En el caso de la mandíbula, luego de seis meses de exposición se observó el desprendimiento de un incisivo de su alveolo y en el resto de los dientes comenzaron a desprenderse algunos fragmentos de esmalte. Al año, los dientes presentaban abundantes grietas mientras que para el año y medio casi todos los incisivos y un premolar estaban fuera de sus alveolos. En la siguiente observación (2 años), los caninos también se encontraban fuera de sus cavidades alveolares. Para los tres años, las coronas de los incisivos sueltos comenzaron a fracturarse y en el hueso mandibular avanzó la pérdida ósea sobre el sector alveolar de los incisivos. A los cuatro años, ningún incisivo permanecía en sus alveolos. En el quinto año de exposición sólo los premolares y molares

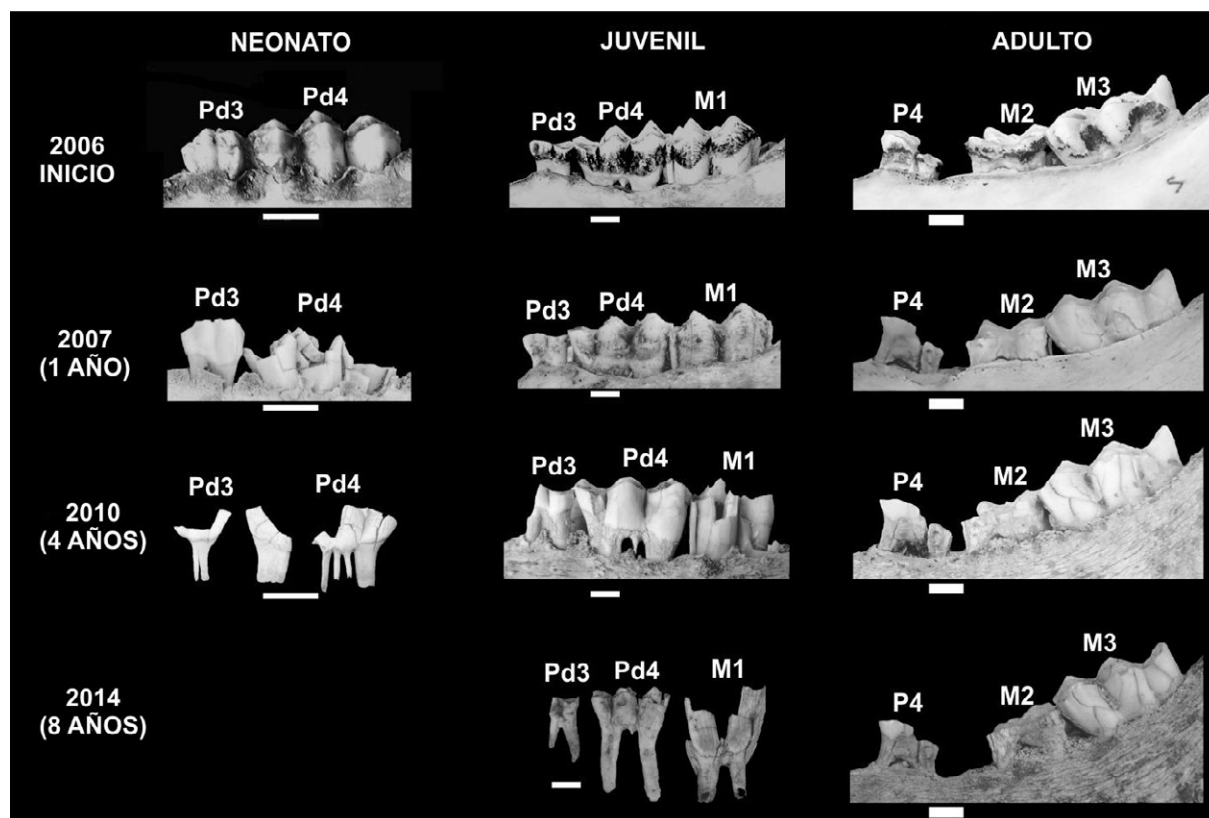


Figura 8. Detalle del estado de los dientes de la mandíbula para las tres categorías etarias de guanaco en distintos periodos de exposición. Escala: 1 cm.

se encontraban en sus alveolos y un molar comenzó a perder fragmentos de corona. Al sexto año, los alveolos de los incisivos y caninos se encontraban destruidos y los incisivos se perdieron. En las dos últimas observaciones no se registraron cambios significativos (Figura 8).

Guanaco juvenil: Para la maxila de este individuo se registraron algunas grietas en los molares al año del inicio de la experiencia. Luego, no se identificaron cambios hasta los dos años y medio, cuando se observaron fracturas en la corona de uno de los molares. A los cuatro años todos los molares y premolares presentaban grietas y comenzaron a exponerse sus raíces por pérdida ósea, aunque permanecían en sus alveolos. A los cinco años algunos molares perdieron por completo sus coronas y sólo quedaban sus raíces agrietadas dentro de los alveolos (Figura 7). Los segundos molares, aún no erupcionados, se encontraban completos, protegidos por el hueso. Para los seis años, sólo se registraron fragmentos de las maxilas con vestigios de molares débilmente adheridos a sus alveolos; las raíces estaban completamente expuestas por la pérdida ósea. Uno de los molares no erupcionados se desprendió del hueso maxilar y se fracturó. Se registraron fragmentos de coronas de molares dispersos. A los ocho años sólo se identificaron algunos premolares y molares sueltos, en general con grietas o con sus coronas fracturadas, así como fragmentos muy pequeños del hueso maxilar adheridos a las raíces sueltas.

Con respecto a la mandíbula, a los seis meses los dientes mostraban grietas y algunos incisivos presentaban sus coronas fracturadas. Al año, se observaron grietas en todas las coronas de los molares (Figura 8) y al año y medio se registró la pérdida de un fragmento de corona en un molar y sólo un incisivo permanecía en su alveolo, aunque

fragmentado. A los dos años y medio, todos los incisivos se encontraban fuera de sus alveolos debido a la avanzada pérdida ósea de este sector del hueso mandibular. Luego de tres años, los premolares y los molares comenzaron a fracturarse y se desprendieron algunos de sus fragmentos, en tanto que los incisivos sueltos también presentaron abundantes fracturas. Para el cuarto año, se destruyó el sector alveolar de los incisivos y se separaron las hemimandíbulas; comenzaron a exponerse las raíces de los segundos molares no erupcionados, que a su vez se encontraban agrietados (Figura 8). En el quinto año sólo se observó el cuerpo de la mandíbula con algunos molares en sus alveolos, pero estos se encontraban muy agrietados y sueltos dentro de las cavidades. A final del octavo año, sólo se registraron dientes sueltos: dos premolares completos, con grietas, dos molares fragmentados y restos de molares indeterminados (Figura 8).

Guanaco neonato: A los seis meses de exposición se observaron grietas en los dientes de las maxilas, las cuales se profundizaron al año. Para el año y medio, todos los dientes se encontraban fragmentados y muchos de los fragmentos se perdieron. En la observación correspondiente a los tres años se registraron todas las coronas muy fracturadas, generalmente a la altura del cuello del diente (Figura 7). A los cinco años, sólo se conservó el hueso alveolar de los molares con fragmentos de raíces en su interior y se registraron fracciones sueltas de coronas de molares. Transcurridos siete años, no se preservó ningún fragmento de diente.

En cuanto a la hemimandíbula, a los seis meses todos los dientes perdieron fragmentos de sus coronas, los incisivos estaban ausentes y se registró pérdida ósea en sus alveolos. A los dos años el único diente *in situ* fue el cuarto premolar. No se registraron cambios hasta los cinco años, momento en el que no se observaron dientes o fragmentos de raíces en sus alveolos; en estos últimos, avanzó la pérdida ósea, principalmente en el sector de los incisivos. Para los seis años, sólo se observaron algunos fragmentos de esmalte y al año siguiente ya no se registró ningún resto de la mandíbula (Figura 8).

Evolución de la meteorización en ñandú

A lo largo de tres años de observaciones sistemáticas, se destacan algunas tendencias generales en la evolución de la meteorización en ñandú (Tabla 3; Figura 9). Para los seis meses de exposición, la mayoría de los huesos se encontraba en el estadio 1 y dos de ellos en el estadio 2 (Tabla 4). Los rasgos que se observaron fueron líneas de desecación y grietas, así como pérdida ósea y exfoliación en los elementos mencionados. Al año y medio aumentó el número de huesos meteorizados; la mandíbula alcanzó el estadio 2 y el esternón y la pelvis el 3. Para los dos años la mayoría de los huesos largos y falanges se encontraban en el estadio 1; aumentó el número de elementos en el estadio 2 y en el 3 (Tabla 4). A los tres años se observaron escasos huesos en el estadio 0 y en el 1 (Tabla 4); dominaban los elementos en el estadio 2 y en el 3 (Tabla 4). Los rasgos de meteorización mencionados previamente se profundizaron (exfoliación, grietas más abiertas) y se observó la presencia de tejido esponjoso expuesto (Figura 10). También es importante mencionar que para esta última observación, el 38,5% de los elementos mostraron diferencias en el estadio de meteorización alcanzado en sus caras de exposición y el 19,2% presentó su cara no expuesta sin meteorizar.

Efectos de la meteorización en los distintos elementos óseos

En relación con la meteorización entre los distintos elementos que componen el esqueleto, pudimos observar algunas tendencias generales que resumimos a continuación. Las mismas fueron descriptas cada dos años de exposición para cada categoría etaria de guanaco y por año para el ñandú.

Estadio	1 año	2 años	3 años
0	36,67	10,71	8
1	56,67	46,43	12
2	6,67	32,14	48
3	0	10,71	32
4	0	0	0

Tabla 3. Distribución de frecuencias relativas de los estadios de meteorización en ñandú durante los tres años de exposición.

Elementos	Ñandú adulto Años de exposición			
	1	1,6	2	3
Cráneo	0	1	3	3
Mandíbula	1	2	2	-
V. cervical	1	1	2	3
V. torácica	1	1	2	2
Costillas	1	1	2	2
Esternón	2	3	3	3
Cintura pélvica	2	3	3	3
Esc.- corac. D	0	1	2	3
Esc.- corac. I	0	1	1	3
Húmero D	1	1	1	2
Húmero I	1	1	1	2
Radio D	1	1	-	-
Radio I	1	1	1	2
Ulna D	1	1	1	2
Ulna I	1	1	1	1
Carpomet. D	0	0	3	3
Carpomet. I	0	0	0	3
Fémur D	1	1	2	2
Fémur I	1	1	2	2
Tibiotarso D	1	1	1	2
Tibiotarso I	1	1	1	2
Fíbula D	1	1	1	2
Fíbula I	1	1	1	2
Tarsomet. D	1	1	2	2
Tarsomet. I	1	1	2	2
Falange 1ra D	0	0	0	0
Falange 1ra I	0	0	0	0
Falange 2da D	0	0	1	1
Falange 2da I	0	0	1	1
Falange 3ra D	0	0	1	1
Falange 3ra I	0	0	-	-

Tabla 4. Estadios de meteorización de los distintos elementos óseos del ñandú por año de exposición.
Referencias: - elemento extraviado; D: derecho; I: izquierdo; V: vértebra; Esc. corac.: escápula-coracoides; Carpomet.: carpometacarpo; Tarsomet.: tarsometatarso.

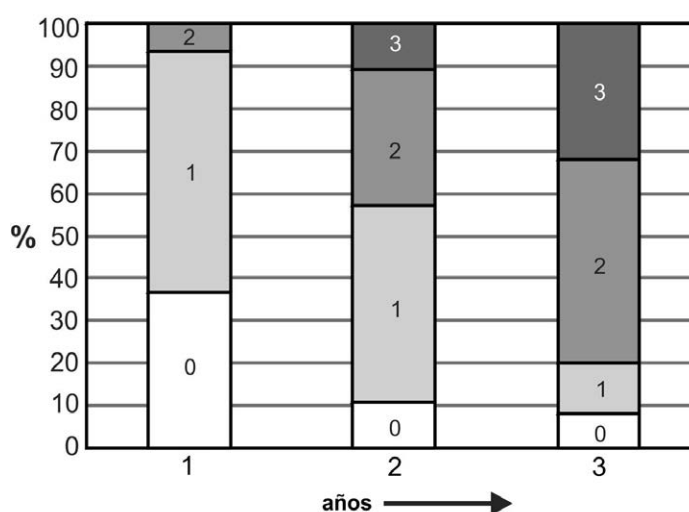


Figura 9. Distribución de frecuencias de los estadios de meteorización para ñandú durante los tres años de exposición.

Guanaco adulto (Tabla 2): Transcurridos dos años de exposición, la mayoría de los elementos se encontraba en el estadio 1, mientras que algunos huesos largos y axiales, así como el cráneo, se hallaban en el 2. A los cuatro años se registró una importante diversidad de estadios, desde el 1 al 4. Para los seis años, escasos huesos permanecían en el estadio 2; gran parte se hallaba en el estadio 3 y el cráneo, varios elementos axiales y la escápula en el estadio 4. En el octavo año sólo tres elementos se encontraban en el estadio 2, gran parte en el estadio 3 y algunos en el 4.

Guanaco juvenil (Tabla 2): A los dos años los huesos presentaban una gran variabilidad de estadios; el esqueleto axial postcraneal estaba en el estadio 1, el esqueleto apendicular en el estadio 2 y escasos elementos en los estadios 3 y 4. A los cuatro años, el cráneo se encontraba en el estadio 5, sólo dos elementos en el 4 y el resto se agrupaba en el estadio 3. En el sexto año, el cráneo, la mandíbula y la vértebra cervical se hallaban en el estadio más avanzado, la mayoría de los elementos restantes en el 4 y unos pocos huesos en el estadio 3. Para los ocho años, además de los huesos mencionados, sólo el húmero alcanzó el estadio 5, en tanto que el resto se encontraba en el estadio 4 y únicamente el astrágalo permanecía en el estadio 3.

Guanaco neonato (Tabla 2): A los dos años los estadios de meteorización registrados fueron similares para la mayoría de los elementos (estadio 2). Al cuarto año se observó la mayor variabilidad entre los elementos; se registraron los estadios desde el 1 al 4. A los seis años de exposición la mayoría de los elementos alcanzaron el estadio 3, en tanto que algunos huesos axiales estaban en el estadio 4 y el cráneo y la mandíbula en el estadio 5. Para los ocho años la mayoría de los huesos se encontraba en el estadio 4 y los restantes en el 5.

Ñandú (Tabla 4): Al año de exposición observamos que el esternón y la cintura pélvica fueron los huesos más afectados (estadio 2). Por otro lado, a diferencia del guanaco, el cráneo fue uno de los elementos que no presentó meteorización, junto con las escápulas-coracoides y los carpo-metacarpos. El resto de los elementos se encontraba en el estadio 1. A diferencia de la observación anterior, a los dos años de exposición el cráneo fue uno de los huesos más meteorizados (estadio 3), junto con el esternón y la cintura pélvica. En este momento, unos pocos huesos no presentaron meteorización, mientras que algunos se encontraban en el estadio 1. A su vez, la mayoría del esqueleto

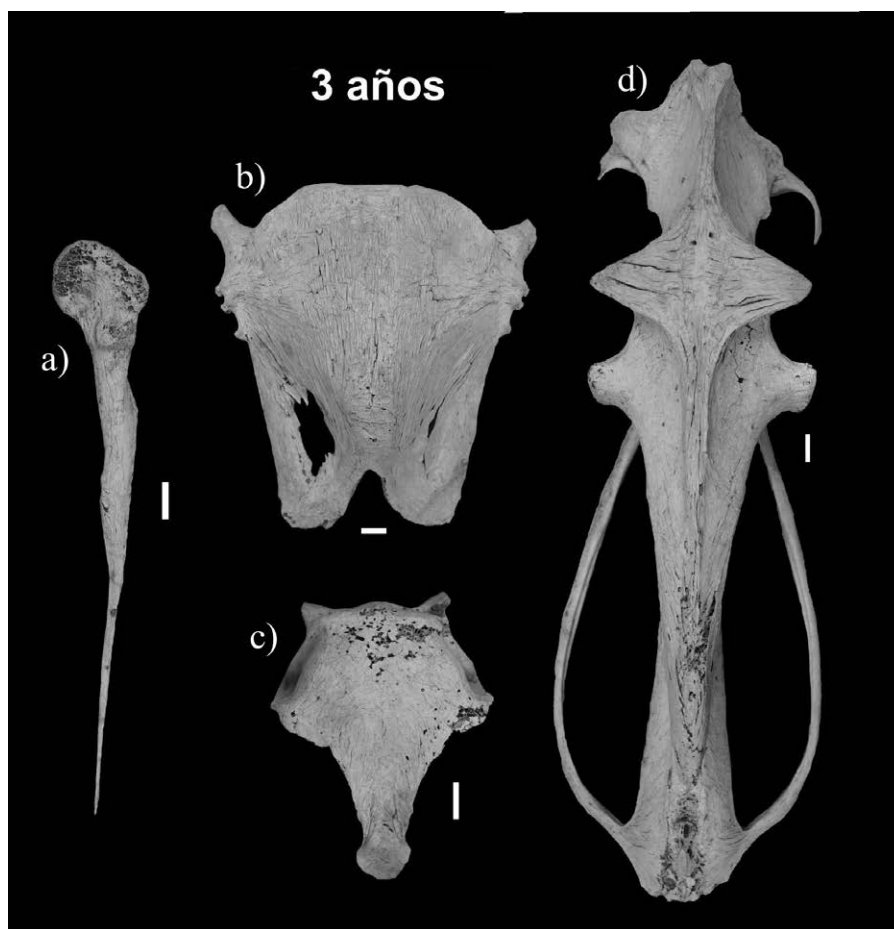


Figura 10. Grado de alteración de elementos del individuo adulto de ñandú a los tres años de exposición. a) fíbula, b) esternón, c) bóveda craneana, d) cintura pélvica. Escala: 1 cm.

axial, junto con los fémures y los tarso-metatarsos se encontraba en el estadio 2. A los tres años de iniciada la experiencia sólo algunas falanges no presentaban meteorización y otras se encontraban en el estadio 1. Gran parte de los huesos largos y las vértebras torácicas estaban en el estadio 2 y el resto de los elementos en el estadio 3.

Discusión

Sobre la base de los escasos estudios comparativos disponibles (Behrensmeyer *et al.* 2003; Cruz 2007, 2008), nuestra expectativa era que la tasa de meteorización del esqueleto de ñandú sería más alta que la del guanaco. Luego de tres años de exposición, observamos diferencias en las tasas de meteorización de los dos individuos adultos de estas dos especies. El máximo estadio de meteorización alcanzado por ambas carcasas fue el 3, aunque el ñandú presentó un mayor número de elementos en este estadio. Asimismo, si se compara la evolución del perfil de meteorización de ñandú y guanaco a lo largo de los primeros tres años, se observa que el primero alcanzó los estadios 2 y 3 antes que el segundo (primer y segundo año, respectivamente). Estos datos se ajustan a la expectativa inicial; no obstante, la presencia de algunos huesos del ave en el estadio 0 a los tres años de exposición y su ausencia en el caso del guanaco no concuerdan con la misma. Por lo tanto, hasta el momento no contamos con evidencia que permita afirmar que los huesos de ñandú adulto se meteorizan más rápido que los de guanaco de la misma categoría de edad.

Al comparar el ñandú con las otras categorías etarias de guanaco, también se observan diferencias. Transcurridos tres años de exposición, el guanaco neonato no alcanzó el máximo estadio registrado en el ñandú (estadio 3), mientras que en el juvenil se observaron huesos no sólo en este estadio sino también en el 4 y el 5. Entonces, de acuerdo a estos primeros resultados, la tasa de meteorización del ñandú adulto sería más alta que la del guanaco neonato pero más baja que la del juvenil. No obstante, como ya fue discutido anteriormente (Massigoge *et al.*, 2010), no puede descartarse la incidencia de factores anómalos (*e.g.*, dieta, patologías no determinadas, etc.) en el guanaco juvenil que podrían haber acelerado su tasa de meteorización.

El conocimiento generado hasta el momento sugiere que los huesos de animales de distintas edades responden de manera diferencial al proceso de meteorización. En este sentido, Beherensmeyer (1978) señaló que los huesos de los individuos subadultos difieren con respecto a los de los adultos en los rasgos y tasas de meteorización. Como evidencia de esta observación señala que los huesos de animales muy jóvenes o fetales usualmente presentaban una meteorización más avanzada (en uno o dos estadios) que aquellos de la madre con los que estaban asociados. También indica que la ausencia de elementos de individuos inmaduros en los estadios 4 y 5 en su muestra naturalista podría deberse a su destrucción y consecuente pérdida de identificabilidad (Beherensmeyer 1978). Esta investigadora agrega que en experimentos -aún no publicados- de monitoreo de carcasas de mamíferos, los huesos de los juveniles se meteorizan más rápido que los de los adultos y no sobreviven en los estadios avanzados de meteorización (Behrensemeyer *et al.* 2003). Asimismo, Fiorillo (1989:63) observó en las carcasas involucradas en su estudio que un esqueleto correspondiente a una vaca (*Bos taurus*) subadulto (3-4 años) presentó meteorización más avanzada que una adulta (10 años) con el mismo tiempo de exposición (7 a 8 años). Los resultados alcanzados hasta el momento en nuestro estudio experimental apoyan la idea que los huesos de los animales inmaduros se meteorizan a una tasa más alta que la de los adultos. Transcurridos ocho años de exposición, las dos carcasas de los individuos subadultos, alcanzaron el estadio 5 de meteorización, a diferencia del adulto. Este estadio se manifestó al tercer año de exposición en el individuo juvenil y al sexto en el neonato. Los perfiles de meteorización de los individuos subadultos muestran un claro predominio de huesos en los estadios 4 y 5, mientras que en el del adulto prevalecen los estadios 3 y 4. Es importante destacar que luego de alcanzar el estadio 5, algunos elementos del neonato se destruyeron completamente (cráneo, mandíbula, vértebra cervical y costilla).

En cuanto a las modificaciones óseas producidas por la meteorización, se observaron los mismos tipos de rasgos en los tres esqueletos. No obstante, se pudieron identificar diferencias en el tiempo de aparición y en la extensión de los mismos sobre los elementos de cada categoría etaria. Tal es el caso de la exposición del tejido esponjoso y la exfoliación, que ya en momentos tempranos, afectaron gran parte de los elementos de los individuos inmaduros. Estas alteraciones se presentaron principalmente en aquellos elementos con tejido cortical delgado, tales como vértebras, sacro, pelvis, costillas, esternones y epífisis no fusionadas de los huesos largos. La profundización de estos efectos con el paso del tiempo, condujo a la pérdida total del tejido cortical y, como resultado, a la alteración de la morfología original del hueso y la eliminación de los rasgos anatómicos diagnósticos que permiten su identificación. En el caso de los huesos del adulto, si bien se encuentran presentes las modificaciones previamente mencionadas, éstas se manifestaron con menor intensidad y, luego de ocho años de exposición, no condujeron a una alteración significativa de su morfología y/o su destrucción. En el último año se destaca el predominio de grietas y textura fibrosa en sectores restringidos de los mismos.

Otra de las diferencias observadas en los efectos de la meteorización entre las categorías etarias es el deterioro más acelerado de los cráneos, mandíbulas y dientes de los

individuos inmaduros. Mientras que el cráneo, la mandíbula y los dientes del individuo adulto aún mantienen una elevada integridad luego de ocho años de exposición, aquellos correspondientes a los subadultos colapsaron en momentos tempranos de esta experiencia. El cráneo y la mandíbula del neonato se destruyeron completamente luego de seis años de exposición, mientras que los dientes comenzaron a fracturarse y perder fragmentos de la corona al primer año de la experiencia y desaparecieron completamente en el quinto. En cuanto al juvenil, el cráneo perdió su morfología al cuarto año de exposición y dos años después sólo estaban presentes escasos fragmentos dispersos; mientras que el cuerpo mandibular se destruyó luego de siete años de exposición. Las coronas de algunos dientes se fracturaron por completo al quinto año; sin embargo, a los ocho años, a diferencia del neonato, aún se podían identificar algunos premolares y molares sueltos.

Los efectos diferenciales de la meteorización sobre los esqueletos de las distintas clases de edad tienen importantes implicancias al momento de interpretar los perfiles de mortalidad en zooarqueología (Klein y Cruz-Urbe 1984; Stiner 1990). Nuestros resultados indican claramente que el impacto de la meteorización fue mayor sobre los huesos y dientes de los individuos inmaduros, conduciendo a su destrucción y en consecuencia, provocando la subrepresentación de esta clase de edad con respecto al conjunto originalmente depositado. Es importante destacar que la acción diferencial de la meteorización se observa incluso en modo acentuado en algunos de los elementos más utilizados en arqueología para la construcción de los perfiles de mortalidad, como son los dientes del cráneo y de la mandíbula.

Con respecto a la variabilidad en los estadios de meteorización alcanzados por los distintos tipos de elementos que componen el esqueleto, para el caso del guanaco existen antecedentes de estudios naturalistas en Patagonia que mencionan la existencia de diferencias. Borrero (2007) señala que huesos axiales y apendiculares exhiben distintos estadios para un mismo lapso de exposición superficial; transcurridos siete años y medio después de la muerte, vértebras y costillas estaban altamente meteorizadas mientras que huesos largos no alcanzaban esos estadios. Cruz y Muñoz (2010) remarcan que huesos largos se meteorizan más rápidamente que los compactos y que las superficies planas de algunos huesos. Para el caso del ñandú, Cruz (2007) menciona que los elementos de extremidades posteriores se meteorizan más lentamente que el resto del esqueleto. Cabe destacar que los antecedentes mencionados son estudios naturalistas donde las condiciones iniciales y las características de la exposición aérea de los huesos han sido muy distintas a las del estudio experimental que presentamos en este trabajo. Por otro lado, las características climáticas y ambientales de Patagonia difieren de aquellas de nuestra área de estudio. En nuestra experiencia, donde además registramos la variación en la meteorización para huesos del esqueleto en distintas clases de edad, se destaca como tendencia general la manifestación de estadios más avanzados para el cráneo en las tres categorías etarias de guanaco, así como en el ñandú. En el resto de los elementos óseos, se observa que en los individuos inmaduros el esqueleto apendicular tiende a presentar estadios de meteorización más altos que el axial hasta los cuatro años, en tanto que hacia los seis años esta tendencia se invierte y son los huesos axiales los que se encuentran más afectados. En relación con el individuo adulto, el esqueleto axial presenta una mayor meteorización que el apendicular hacia los seis años, pero en momentos previos no se registra una tendencia como la observada para los subadultos. Por otro lado, para el ñandú no se observa una tendencia en relación con los elementos axiales o apendiculares durante estos tres primeros años de la experiencia. En el tercer año, los elementos con estadios más avanzados son tanto axiales como apendiculares.

Un aspecto que ha sido registrado en los antecedentes naturalistas mencionados así como en nuestra investigación es que estas tendencias en las tasas y ritmos de meteorización no son estables a lo largo del tiempo sino que varían durante toda la trayectoria

de exposición de los huesos, llegando en algunos casos a equipararse los estadios para los distintos elementos. En términos generales, los guanacos neonato y juvenil presentaron una mayor disparidad entre los estadios registrados durante los primeros años de exposición, paulatinamente esta diferencia se reduce y el perfil de meteorización se hace más homogéneo cuando los huesos alcanzan los estadios más altos. Distinto es lo que sucede con el individuo adulto, ya que a los ocho años de exposición, la mayoría de sus huesos aún no ha alcanzado los estadios más avanzados. Este hecho estaría relacionado con la densidad mineral ósea, como fue discutido en un trabajo previo (González *et al.* 2012:532). Con referencia al ñandú, si bien los elementos se distribuyen entre los primeros cuatro estadios de meteorización en la última observación, el tiempo de exposición para este taxón fue menor que para el guanaco, por lo cual este aspecto deberá ser evaluado en el futuro. No es posible realizar comparaciones con las tasas de meteorización alcanzadas en los estudios naturalistas ya que la dinámica ambiental de dichos contextos contribuye a generar momentos de desaceleración o aceleración de este proceso debido, principalmente, a las variaciones en las condiciones de exposición de los huesos (*e.g.*, presencia de tejido blando, cobertura vegetal). Sin embargo, destacamos que ante estas condiciones disímiles, en ambos tipos de estudios se registra la acción diferencial de la meteorización en relación con los distintos elementos, sin considerar estimaciones temporales.

Otro aspecto importante en relación con los procesos mencionados es que los huesos se fracturan más fácilmente cuando están meteorizados, incluso en los estadios iniciales, debido a que su estructura se debilita (Lyman 1994; Myers *et al.* 1980). Entonces, la meteorización, sumada a la acción de otros procesos tales como el pisoteo, la presión de los sedimentos, la acción de raíces, entre otros, podría provocar una alta fragmentación de los restos óseos en el registro fósil y, en consecuencia, una pérdida significativa de las posibilidades de identificación anatómica y taxonómica. Asimismo, el grado de fragmentación de un conjunto, en particular del esqueleto axial, es generalmente utilizado como un indicador de la intensidad del procesamiento y la extracción de grasa ósea (Outram 2001, 2004), por tanto, el estado fragmentario de los huesos es de particular importancia para las interpretaciones sobre la subsistencia en el pasado. En síntesis, si bien en nuestro experimento analizamos la meteorización de forma aislada para comprender su comportamiento, al momento de realizar análisis tafonómicos, la misma debe ser considerada en un contexto dinámico de interacción con otros agentes y procesos.

Comentarios finales

La meteorización ha sido probablemente la variable más utilizada en los análisis faunísticos de sitios arqueológicos de varias regiones de Argentina. En los comienzos de su aplicación, los perfiles de meteorización eran utilizados para evaluar el tiempo de exposición de un conjunto óseo, así como para discutir la sincronía o diacronía del depósito. Estas interpretaciones eran realizadas a través de una extrapolación directa de los estadios de meteorización y tiempo transcurrido propuestos por Behrensmeyer (1978). En los últimos años, se continúa con el uso de los perfiles de meteorización como herramientas de exploración de la integridad de los conjuntos arqueofaunísticos. Si bien ya no se concluye sobre la cantidad de años que debió transcurrir para alcanzar los perfiles de meteorización resultantes, se infiere a partir de ellos el tiempo relativo de permanencia en la superficie (*i.e.*, poco, moderado y mucho tiempo de exposición). Claramente, la escasez de estudios actualísticos, tanto naturalistas o experimentales, que ajusten y controlen la propuesta original según los múltiples factores que intervienen en el proceso de meteorización, tanto intrínsecos como extrínsecos, condicionan el alcance de las interpretaciones zooarqueológicas. En este contexto, nuestros resultados indican que existe una gran variabilidad en las respuestas de los huesos a la exposición

a las condiciones atmosféricas. Sin embargo, algunas tendencias generales pueden remarcar: 1) a partir de los dos años de exposición todos los elementos óseos de los esqueletos de guanaco presentan algún estadio de meteorización; 2) luego de tres años, se registran aún huesos del ñandú sin meteorizar; 3) la tasa de meteorización de la mayoría de los huesos del esqueleto de ñandú adulto es más alta que la del guanaco de esta misma clase etaria cuando comparamos los tres primeros años de observación; 4) los individuos inmaduros de guanaco presentan una tasa de meteorización más rápida que el individuo adulto de esta especie; 5) los cráneos y dientes fueron las partes esqueléticas más afectadas entre individuos de guanaco de distintas clases etarias; 6) a medida que avanza el tiempo de exposición, el esqueleto axial de guanaco presenta estadios de meteorización ligeramente superiores que el del apendicular; 7) los perfiles de meteorización de los individuos inmaduros de guanaco se homogeneizan a partir de los siete años de exposición debido a que alcanzan los estadios más altos. Sin dudas, cada una de estas tendencias generales, combinada con los demás procesos que operan en la naturaleza, impactará diferencialmente en la preservación y destrucción del registro arqueofaunístico.

Los resultados alcanzados hasta el momento en nuestra experiencia de meteorización con guanaco y ñandú, nos han permitido generar un cuerpo de información relevante para la generación de expectativas arqueológicas respecto de la incidencia de este proceso en la conformación actual de los conjuntos fósiles y, en consecuencia, para la interpretación de los mismos en distintos contextos arqueológicos. Es importante resaltar que los datos incluidos en este trabajo constituyen resultados de trabajos experimentales en donde nos esforzamos para aislar solo un proceso, la meteorización. En la naturaleza esto no sucede y la combinación de diversos procesos que actúan simultáneamente produce conjuntos faunísticos con complejas historias tafonómicas. Destacamos el valor de este estudio longitudinal de carcassas sobre dos taxones ampliamente representados en los registros arqueofaunísticos de la región pampeana, para reconocer el tipo y el grado de variabilidad que existe en la manifestación de este proceso en relación con las diferentes especies animales, con el desarrollo ontogénico de los individuos, y con los diferentes tipos de elementos óseos de un mismo esqueleto. Estos diversos factores inciden diferencialmente en la meteorización y deben ser considerados al momento de construir e interpretar los perfiles de partes esqueléticas y de mortalidad en zooarqueología.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro agradecimiento al Lic. Pablo Mercolli y al Comité Organizador del III Congreso Nacional de Zooarqueología Argentina (Tilcara, 2013) por invitarnos a participar de este volumen especial. También agradecemos al Parque Zoológico La Máxima de la ciudad de Olavarría por proveernos la carcasa de ñandú para esta experiencia. Este trabajo fue desarrollado en el marco de la línea de investigación "Tafonomía y procesos de formación de sitio" de la Unidad Ejecutora INCUAPA-CONICET (Facultad de Ciencias Sociales, UNICEN) y contó con el financiamiento de CONICET (PIP 5816/05 y PIP 112-200801-00291) así como de Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (PICT 08-814 y PICT 13-199). Las ideas y argumentos aquí expuestos son exclusiva responsabilidad de los autores.

Bibliografía

- » ANDREWS, P. (1995). Experiments in Taphonomy. *Journal of Archaeological Science* 22: 147-153.
- » ANDREWS, P. y M. ARMOUR-CHELU (1998). Taphonomic observations on a surface bone assemblage in a temperate environment. *Bulletin of the Geological Society of France* 169: 433-442.
- » ANDREWS, P. y J. COOK (1985). Natural modifications to bones in a temperate setting. *Man* 20: 675-691.
- » ANDREWS, P. y P. WHYBROW (2005). Taphonomic observations on a camel skeleton in a desert environment in Abu Dhabi. *Palaeontologia Electronica* 8(1). http://palaeo-electronica.org/paleo/2005_1/andrews23/issue1_05.htm (Acceso: 12 de septiembre de 2014)
- » BEHRENSMEYER, A. K. (1975). The Taphonomy and Paleoecology of Plio-Pleistocene Vertebrate Assemblages East of Lake Rudolf, Kenya. *Bulletin MCZ* 145(10): 473-574.
- » BEHRENSMEYER, A. K. (1978). Taphonomic and ecological information from bone weathering. *Paleobiology* 4(2): 150-162.
- » BEHRENSMEYER, A. K. y J. H. MILLER (2012). Building Links Between Ecology and Paleontology Using Taphonomic Studies of Recent Vertebrate Communities. En *Paleontology in Ecology and Conservation*, editado por J. Louys, pp. 69-91. Springer Earth System Sciences, Berlín.
- » BEHRENSMEYER, A. K., C. T. STAYTON y R. E. CHAPMAN (2003). Taphonomy and ecology of modern avifaunal remains from Amboseli Park, Kenya. *Paleobiology* 29(1): 52-70.
- » BONOMO, M. (2005). *Costeando las llanuras. Arqueología del litoral marítimo pampeano*. Sociedad Argentina de Antropología. Colección de Tesis Doctorales, Buenos Aires.
- » BORRERO, L. A. (2007). Longitudinal taphonomic studies in Tierra del Fuego, Argentina. En *Taphonomy and Zooarchaeology in Argentina*, editado por M. A. Gutiérrez, L. Miotti, G. Barrientos, G. Mengoni Goñalons y M. Salemme, pp. 219-233. BAR International Series 1601. Archaeopress, Oxford.
- » BRAIN, C. K. (1981). *The Hunters or the Hunted?* University of Chicago Press, Chicago.
- » CRUZ, I. (2007). The recent bones of the Rio Gallegos basin (Santa Cruz, Argentina) and their preservation potential. En *Taphonomy and Zooarchaeology in Argentina*, editado por M. A. Gutiérrez, L. Miotti, G. Barrientos, G. Mengoni Goñalons y M. Salemme, pp. 161-170. BAR International Series 1601. Archaeopress, Oxford.
- » CRUZ, I. (2008). Avian and mammalian bone taphonomy in southern continental Patagonia: A comparative approach. *Quaternary International* 180: 30-37.
- » CRUZ, I. y A. S. MUÑOZ (2010). Tafonomía comparativa: seguimiento de carcasas de mamíferos en Punta Entrada (Santa Cruz, Argentina). En *Zooarqueología a principios del siglo XXI: aportes teóricos, metodológicos y casos de estudio*, editado por M. A. Gutiérrez, M. De Nigris, P. M. Fernández, M. Giardina, A. F. Gil, A. Izeta, G. Neme y H. D. Yacobaccio, pp. 387-396. Ediciones del Espinillo, Buenos Aires.
- » CRUZ, I. y A. S. MUÑOZ (2014). Mammal bone weathering in a temperate coastal steppe (southern Patagonia, Argentina). A comparison among taxa. Libro de resúmenes del 12ª International Conference of Archaeozoology, pp. 43. San Rafael, Mendoza, Argentina.

- » FIORILLO, A. R. (1989). An experimental study of trampling: implications for the fossil record. En *Bone Modification*, editado por R. Bonnicksen y M. H. Sorg, pp. 61-72. University of Maine, Center for the Study of the First Americans, Orono.
- » GIFFORD, D. P. (1977). *Observations of Modern Human Settlements as an Aid to Archaeological Interpretation*. University Microfilms, Ann Arbor.
- » GIFFORD-GONZALEZ, D., K. M. STEWART y N. RYBCZYNSKI (1999). Human Activities and Site Formation at Modern Lake Margin Foraging Camps in Kenya. *Journal of Anthropological Archaeology* 18: 397-440.
- » GONZÁLEZ, M. E., M. C. ÁLVAREZ, A. MASSIGOGE, M. A. GUTIÉRREZ y C. A. KAUFMANN (2012). Bone differential survivorship and ontogenetic development in guanaco (*Lama guanicoe*). *International Journal of Osteoarchaeology* 22: 523-536.
- » GUTIÉRREZ, M. A. (2006). Efectos, agentes y procesos tafonómicos en el área interse-rrana bonaerense. *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología XXXI*: 201-228.
- » IZETA, A. y M. C. SCATTOLIN (2006). Zooarqueología de una unidad doméstica Formativa. El caso de Loma Alta (Catamarca, Argentina). *Intersecciones en Antropología* 7: 193-205.
- » KLEIN, R. G. y K. CRUZ-URIBE (1984). *The Analysis of Animal Bones from Archaeological Sites*. Chicago University Press, Chicago.
- » L'HEUREUX, L. G. y L. A. BORRERO (2002). Pautas para el reconocimiento de conjuntos óseos antrópicos y no antrópicos de guanaco en Patagonia. *Intersecciones en Antropología* 3: 29-40.
- » LÓPEZ, G. E. J. (2006). Resultados del análisis arqueofaunístico de un basural, un recinto y un sector interrecinto del sitio Matancillas 2, Puna de Salta. *Intersecciones en Antropología* 7: 207-216.
- » LYMAN, R. L. (1994). *Vertebrate Taphonomy*. Cambridge University Press, Cambridge.
- » LYMAN, R. L. y G. L. FOX (1989). A critical evaluation of bone weathering as an indication of bone assemblage formation. *Journal of Archaeological Science* 16: 293-317.
- » MADGWICK, R. y J. MULVILLE (2012). Investigating Variation in the Prevalence of Weathering in Faunal Assemblages in the UK: A Multivariate Statistical Approach. *International Journal of Osteoarchaeology* 22: 509-522.
- » MAREAN, C. W. (1995). Of Taphonomy and Zooarchaeology. *Evolutionary Anthropology* 4(2): 64-72.
- » MAREAN, C. W. y N. CLEGHORN (2003). Large Mammal Skeletal Element Transport: Applying Foraging Theory in a Complex Taphonomic System. *Journal of Taphonomy* 1(1): 15-42.
- » MARTÍNEZ, G. y M. A. GUTIÉRREZ (2004). Tendencias en la explotación humana de la fauna durante el Pleistoceno final – Holoceno en la Región Pampeana (Argentina). En *Zooarchaeology of South America*, editado por G. Mengoni Goñalons, pp. 81-98. BAR International Series 1298, Oxford.
- » MASSIGOGE, A., M. GONZÁLEZ, C. A. KAUFMANN y M. A. GUTIÉRREZ (2010). Observaciones actualísticas sobre meteorización ósea en restos esqueléticos de guanaco. En *Mamül Mapu: Pasado y presente desde la arqueología Pampeana*, editado por M. Berón, L. Luna, M. Bonomo, C. Montalvo, C. Aranda y M. Carrera Aizpitarte, Tomo I, pp. 309-322. Ediciones del Espinillo, Buenos Aires.
- » MENGONI GOÑALONS, G. L. (1999). *Cazadores de guanacos de la estepa patagónica*. Sociedad Argentina de Antropología, Buenos Aires.

- » MESSINEO, P. G. (2003). Análisis arqueofaunísticos en el sitio Laguna La Barrancosa 1 (Partido de Benito Juárez, provincia de Buenos Aires, Argentina). *Archaeofauna* 12: 73-86.
- » MIOTTI, L. y M. SALEMME (1999). Biodiversity, taxonomic richness and specialists-generalists during Late Pleistocene/Early Holocene times in Pampa and Patagonia (Argentina, Southern South America). *Quaternary International* 53/54: 53-68.
- » MOSCIARO, M. y V. DIMURO (2009). *Zonas Agroeconómicas Homogéneas Buenos Aires Sur*. Estudios socioeconómicos de la sustentabilidad de los sistemas de producción y recursos naturales, Serie Monográfica. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires.
- » MUCCILO, L. (2007). Explotación y procesamiento de ungulados en el sitio Arroyo Fredes. En *Arqueología en las pampas*, editado por C. Bayón, A. Pupio, M. I. González, N. Flegenheimer y M. Frére, Tomo II, pp. 591-614. Sociedad Argentina de Antropología, Buenos Aires.
- » MYERS, T., M. R. VOORHIES y R. G. CORNER (1980). Spiral Fractures and Bone Pseudo-tools at Paleontological Sites. *American Antiquity* 45: 483-489.
- » OUTRAM, A. (2001). A New approach to Identifying Bone Marrow and Grease Exploitation: Why the "Indeterminate" Fragments Should not be Ignored. *Journal of Archaeological Science* 28: 401-410.
- » OUTRAM, A. (2004). Applied Models and Indices vs. High-Resolution, Observed Data: Detailed Fracture and Fragmentation Analyses for the Investigation of Skeletal Part Abundance Patterns. *Journal of Taphonomy* 2 (3): 167-184.
- » POLITIS, G. y M. SALEMME (1990). Prehispanic mammal exploitation in the eastern Pampa Subregion (Argentina). En *Hunters of the Recent Past*, editado por L. B. Davis y B. O. K. Reeves, pp. 352-372. One World Archaeology Series, Unwin Hyman.
- » ROBERTS, S. J., C. I. SMITH, A. MILLARD y M. J. COLLINS (2002). The taphonomy of cooked bone: characterizing boiling and its physico-chemical effects. *Archaeometry* 44(3): 485-494.
- » ROSS, A. H. y S. L. CUNNINGHAM (2011). Time-since-death and bone weathering in a tropical environment. *Forensic Science International* 204: 126-133.
- » SALEMME, M. y R. FRONTINI (2011). The exploitation of RHEIDAE in Pampa and Patagonia (Argentina) as recorded by chroniclers, naturalists and voyagers. *Journal of Anthropological Archaeology* 30: 473-483.
- » STINER, M. (1990). The use of mortality patterns in archaeological studies of hominid predatory adaptations. *Journal of Anthropological Archaeology* 9: 305-351.
- » STODDER, A. L. W. (2008). Taphonomy and the nature of archaeological assemblages. En *Biological Anthropology of the Human Skeleton*, editado por M. A. Katzenberg y S. R. Saunders, pp. 71-114. John Wiley and Sons, Hoboken.
- » TAPPEN, M. (1994). Bone weathering in the Tropical Rain Forest. *Journal of Archaeological Science* 21: 667-673.
- » TUROSS, N., A. K. BEHRENSMEYER y E. D. EAMES (1989). Strontium increases and crystallinity changes in taphonomic and archaeological bone. *Journal of Archaeological Science* 16: 661-672.