

Estudio metodológico-comparativo de densidad mineral ósea de restos humanos por Absorciometría Fotónica (DXA)

Jorge A. Suby

Recibido 30 de Junio 2005. Aceptado 19 de Diciembre 2005

RESUMEN

La densidad mineral ósea ha sido identificada como una de las propiedades de los huesos que mediatiza la acción de los agentes y procesos tafonómicos (meteorización, atrición, etc.) sobre los conjuntos arqueológicos. En los últimos años se han planteado algunos problemas en torno a las metodologías empleadas para el análisis de densidad mineral ósea y su aplicación en arqueología. En el presente trabajo, se comparan los resultados generados a través de dos métodos diferentes de obtención de valores de densidad mineral ósea mediante la técnica de Absorciometría Fotónica de Rayos X, empleados anteriormente por otros autores. Si bien el estudio de las Propiedades Óseas Intrínsecas (forma, tamaño y densidad mineral ósea, entre otros factores) ha sido vinculado anteriormente a la tafonomía de restos faunísticos, son escasos los trabajos que estudian estos aspectos sobre el registro biológico humano. En este sentido se discute la aplicación de información biomecánica a conjuntos arqueológicos humanos, como indicador de la acción de procesos tafonómicos ligados a la densidad mineral ósea.

Palabras clave: Densidad mineral ósea; Restos óseos humanos; Absorciometría fotónica.

ABSTRACT

METHODOLOGICAL-COMPARATIVE STUDY OF HUMAN REMAINS BONE MINERAL DENSITY VALUES OBTAINED BY PHOTONIC ABSORPTIOMETRY (DXA). Bone mineral density (BMD) has been identified as a one of the bone properties that mediate the action of agents and taphonomic processes (weathering, attrition, etc.) on archaeological assemblages. In recent years, several problems have been described for methods of BMD evaluation and their application in archaeology. In this paper, results are compared of two different Photon Absorptiometric methods (DXA) to obtain BMD values. Furthermore, their application is interpreted for two human bone assemblages from Tierra del Fuego. Even though BMD information was interpreted in the past from many faunal assemblages, this kind of information has only been included in a few studies related to human remains that analyze bone structure as a taphonomic indicator. In this sense, the application of biomechanical information to human bone assemblages and their taphonomic interpretation are discussed.

Keywords: Bone mineral density; Human bone remains; Photon Absorptiometry.

INTRODUCCIÓN

Las Propiedades Óseas Intrínsecas (POI), entre ellas la forma, diseño y densidad mineral ósea (DMO), representan indicadores de la resistencia mecánica adap-

tativa de los huesos frente a situaciones de estrés fisiológico y ambiental (Larsen 1997). Estos indicadores, en particular la DMO, han sido vinculados con la acción de procesos tafonómicos por una larga lista de auto-

Jorge A. Suby. Unidad de Enseñanza Académica Quequén, Facultad de Ciencias Sociales (UNCPBA). Departamento de Biología, Facultad Ciencias Exactas y Naturales, (UNMdP). Calle 508 N° 881 Quequén, Buenos Aires, Argentina. E-mail: jasuby@hotmail.com

res, y empleados fundamentalmente como herramienta para el estudio de la preservación de huesos faunísticos, actuales y zooarqueológicos (Boaz y Behrensmeyer 1976; Brain 1969; Butler y Chatters 1994; Carlson y Pickering 2003, 2004; Cruz y Elkin 2003; Dirrigl 2001; Elkin 1995; Elkin y Zanchetta 1991; Fernandez *et al.* 2001; Gil y Neme 1996; Lam *et al.* 1998; Lam *et al.* 1999; Lam *et al.* 2003; Lyman 1984, 1994; Pavao y Stahl 1999, Pickering y Carlson 2002; Stahl 1999). Tanto los análisis naturalistas como experimentales generaron importante conocimiento teórico respecto de los procesos post-depositacionales y cómo se relacionan con la estructura de los restos óseos. De esta manera, ha sido posible proponer que la representación diferencial de elementos dentro de los conjuntos óseos estaría mediada por la densidad mineral ósea, es decir la cantidad de minerales presentes por volumen de tejido (Kanis 1994; Lyman 1984), y que la correlación entre las diferentes partes esqueléticas y la densidad mineral ósea sería entonces una evidencia de la acción de procesos tafonómicos atricionales. En este sentido, la arquitectura ósea representa uno de los factores centrales en la formación y destrucción de conjuntos óseos arqueológicos, conjuntamente con variables ambientales y ecológicas.

Si bien las POI son reconocidas como un factor tafonómico significativo, no existen criterios claros respecto de cuáles son las metodologías que deben emplearse para la obtención de valores de DMO destinados al estudio de la preservación de restos óseos. Las más difundidas emplean datos densitométricos generados por *Single Photon Absorptiometry* (SPA) y *Dual X-ray Absorptiometry* (DXA), ambas técnicas desarrolladas para el diagnóstico de osteoporosis en poblaciones humanas actuales. Recientemente se han planteado algunas controversias en relación con su empleo en cuestiones arqueológicas. Aunque cada una de las técnicas propuestas hasta el momento ofrece ventajas e inconvenientes, no se dispone de estudios comparativos concretos que permitan tomar criterios de base a la hora de elegir metodologías confiables para la obtención de valores de DMO. Si bien Lam *et al.* (1998) evaluaron comparativamente los valores absorciométricos de Lyman (1984) y sus propios valores obtenidos mediante tomografía computada, estas series de datos se tomaron sobre individuos de taxones diferentes, y sólo sobre huesos largos. En este sentido, el objetivo del presente trabajo es discutir la aplicación de información densitométrica obtenida mediante técnicas absorciométricas de rayos X (DXA), correlacio-

nando información generada a través de dos métodos diferentes. Además se comentarán algunas de las problemáticas particulares que involucran el estudio de DMO sobre restos humanos arqueológicos. En el marco de un proyecto más amplio, su aplicación e interpretación permitirá en el futuro analizar tafonómicamente algunos aspectos del registro biológico humano de Patagonia Austral.

LA DENSIDAD MINERAL ÓSEA DE RESTOS HUMANOS

A pesar del papel que ha tomado el estudio de las POI en la arqueología de restos faunísticos, sólo en algunas oportunidades han sido evaluadas en el registro biológico humano como fuente de información tafonómica. Aunque Boaz y Behrensmeyer (1976) obtuvieron valores de densidad mineral sobre algunos huesos humanos, sus resultados han sido discutidos, dado que no contaron con las técnicas disponibles actualmente. Por otro lado, Willey *et al.* (1997) y Galloway *et al.* (1997) presentaron valores de DMO obtenidos a través de metodologías más ajustadas, si bien el análisis sólo incluía huesos largos, y con material de referencia previamente hervido, tratamiento que produce la pérdida de al menos 10% del contenido mineral óseo, según reconocen los mismos autores (Willey *et al.* 1997). Recientemente, Suby y Guichón (2004) llevaron a cabo un estudio exploratorio en el cual se obtuvieron valores densitométricos de la mayoría de los elementos postcraneales humanos. Hasta ese momento no se contaba con información que posibilitara añadir este aspecto al estudio de los problemas tafonómicos sobre restos humanos en Patagonia.

Desde un punto de vista interpretativo, el análisis de DMO sobre restos faunísticos se ha orientado a la evaluación de dos aspectos fundamentales: el valor económico de las presas para las poblaciones humanas, y el análisis de los procesos postdepositacionales que afectan la formación de los conjuntos zooarqueológicos. Aunque los modelos propuestos para el segundo de estos aspectos serían aplicables al registro biológico humano, las preguntas que aquí se plantean ante este tipo de registro son otras, en parte debido a que los mecanismos por los cuales se produce la deposición de restos no son los mismos. En particular los tratamientos mortuorios en las poblaciones humanas, que incluyen cremaciones e inhumaciones, pueden

incidir directamente sobre las condiciones de conservación de los restos óseos, y deben ser cuidadosamente consideradas en la interpretación de la representación de partes esqueléticas y su vinculación con las POI (Suby 2006). Asimismo, dado que los conjuntos arqueológicos difieren de las poblaciones originales, la generación de modelos paleopatológicos y paleoepidemiológicos requiere un cuidadoso análisis tafonómico previo que involucre aspectos relacionados con la preservación diferencial en diversos contextos arqueológicos, culturales y ambientales. En este sentido, la exploración de patrones de representación de partes esqueléticas hace posible discutir la integridad y confiabilidad del registro (Borrero 2004; Mendonça 2003; WOOD *et al.* 1992), cuyo impacto afectan directamente las inferencias alcanzadas acerca de las frecuencias de patologías y perfiles demográficos.

Los restos óseos a partir de los cuales se obtiene información densitométrica es una cuestión clave para el reconocimiento de procesos tafonómicos mediados por la DMO. La interpretación arqueológica de un conjunto determinado puede variar considerablemente dependiendo de la serie de datos densitométricos empleada, y la forma en que fue obtenida. En este sentido, la correcta elección de la muestra es esencial para obtener valores de DMO confiables. La variabilidad en la densidad mineral ósea está fuertemente relacionada con aspectos socioculturales, ecológicos y fisiológicos, y aunque probablemente lo mismo ocurra con otros taxones, este hecho ha sido documentado en numerosas ocasiones en *Homo sapiens* (Lunt *et al.* 2001; Suby *et al.* 2005; Villa y Nelson 1996; entre otros). Por lo tanto, parece necesario que las evaluaciones de la DMO de restos óseos humanos, relevantes en la interpretación de la representación de partes esqueléticas, sean realizadas sobre conjuntos óseos pertenecientes a individuos presumiblemente sanos, con características poblacionales similares a las de las aquellas involucradas en los análisis tafonómicos posteriores.

El protocolo metodológico desarrollado por Lyman (1984) para la obtención de valores de DMO de restos óseos, y empleado por muchos investigadores desde entonces, con sus posteriores variantes, incluye la evaluación de una serie de segmentos óseos característicos, y que en general tienen vinculación con la identificación arqueológica de elementos y su papel biomecánico. Una amplia serie de técnicas y metodologías han sido propuestas para generar valores

densitométricos de restos óseos (Tabla 1). Las técnicas absorciométricas (SPA y DXA), las más empleadas en estas cuestiones, se basan en la mayor absorción de radiación por parte de una estructura ósea más densa, interpuesta entre un emisor de radiación y un detector. Ambas técnicas proporcionan valores de DMO de área (gr/cm^2). A diferencia de los estudios clínicos, donde las regiones óseas analizadas en general no poseen canal medular, el caso arqueológico presentaría algunos problemas. Sin embargo, es posible corregir posteriormente estos valores por el volumen óseo de la región explorada a través de diferentes métodos. Entre ellos, el cálculo de volumen óseo por desplazamiento de agua (Elkin 1995) puede resultar útil, y aunque permite excluir los espacios internos del hueso en la estimación de volumen, requiere la destrucción de la muestra actual tomada como análoga del material arqueológico. Alternativamente, es posible realizar mediciones externas del volumen óseo, que si bien mantiene intacta la muestra, no excluye los espacios óseos internos. Para ello se han tomado medidas externas del hueso, que tienen en cuenta la forma de la región ósea (Pavao y Stahl 1999; Stahl 1999) o no lo hacen (Kreutzer 1992; Lyman 1984).

En los últimos años se ha empleado Tomografía Computada (CT), una técnica no destructiva que analiza la masa mineral considerando el volumen óseo, y por consiguiente proporcionaría resultados más exactos (Lam *et al.* 1998). Esta técnica, que hasta el momento parece ofrecer buenos resultados, se basa en la conversión de unidades Hounsfield, una unidad común en CT, en DMO a través del cálculo de ecuaciones de regresión obtenidas a partir de mediciones simultáneas de testigos de densidad conocida junto con la muestra. Aunque esta parece ser una de las técnicas de mayor exactitud, presenta como inconvenientes que

Técnicas	Tipo de información	Referencias
DXA y SPA	gr/cm^2 (sin estimación de volumen)	Galloway <i>et al.</i> (1997) Willey <i>et al.</i> (1997)
	gr/cm^3 (diferentes métodos de estimación de volumen externo)	Kreutzer (1992) Stahl (1999) Pavao y Stahl (1999) Lyman (1984) Galloway <i>et al.</i> (1997) Willey <i>et al.</i> (1997)
	gr/cm^3 (estimación de volumen por desplazamiento de agua)	Elkin (1995)
QCT	gr/cm^3 (conversión de unidades tomográficas; medición real de volumen óseo)	Lam <i>et al.</i> (1998, 1999)
pQCT	gr/cm^3 (medición real de volumen óseo, estimación directa de la densidad total, cortical y esponjosa).	Suby <i>et al.</i> (2006)

Tabla 1. Técnicas y metodologías empleadas en la evaluación de DMO de restos óseos.

tanto las variaciones en los testigos como los errores introducidos por el cálculo de formulas de regresión, representan desventajas a ser tenidas en cuenta (Goodsitt *et al.* 2001; Suby *et al.* 2006). Por otra parte, la escasa difusión de este tipo de equipamiento en Argentina, debido a que no es empleado comúnmente en el diagnóstico de desmineralización ósea, dificulta su acceso. En este contexto, se deben plantear la posibilidad de empleo del DXA, analizando e interpretando cuál es la resolución necesaria en los datos densitométricos para contestar las preguntas formuladas. En otras palabras: ¿Es necesario contar con valores de DMO de extrema exactitud para visualizar que ciertos conjuntos óseos se encuentran bajo la acción de procesos tafonómicos mediados por la densidad mineral ósea?

MATERIALES Y MÉTODOS

En un estudio previo (Suby y Guichón 2004) se estudió la DMO de restos humanos postcraneales arqueológicos del norte de Tierra del Fuego. Exploratoriamente, en ese trabajo se evaluaron los valores obtenidos por absorciometría fotónica dual de rayos X (DXA) sin correcciones de volumen. Como se señaló, algunos estudios recientes (Lam *et al.* 2003) plantean las ventajas de los estudios tomográficos y proponen que sólo los valores absorciométricos corregidos según la forma y volumen de las regiones óseas (Pavao y Stahl 1999) y por el método de desplazamiento de agua (Elkin 1995) serían comparables con los tomográficos. Sin embargo, no se han generado aún estudios comparativos, aplicados al caso arqueológico entre metodologías que permitan corroborar estas afirmaciones.

En este contexto, los valores densitométricos generados previamente por Suby y Guichón (2004) se correlacionaron con una nueva serie de valores, obtenidos también mediante DXA y corregidos posteriormente según la forma y volumen externos de las regiones estudiadas. Se empleó para ello un Densitómetro DXA Hologic QDR 4500, facilitado por el Hospital Privado de Comunidad (Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina), sobre el cual se realizaron previamente tareas de calibrado. Como elementos óseos de referencia se emplearon las mismas muestras que en Suby y Guichón (2004), un esqueleto postcraneal de un individuo *Homo sapiens sapiens*, adulto masculino, de aproximadamente 24 años de edad a la muerte, y fe-

chado entre 1.770 y 1.950 (LP-894 Moderna) según Guichón *et al.* (2000), perteneciente a una población cazadora-recolectora de Tierra del Fuego. Estos restos fueron hallados en la Bahía San Sebastián, en el norte de la Isla de Tierra del Fuego.

Al igual que en el trabajo previo citado, las regiones de interés se adaptaron de los correspondientes a trabajos realizados sobre otros taxones (Lyman 1984; Lyman 1994) y en humanos para algunas regiones de huesos largos (Galloway *et al.* 1997; Willey *et al.* 1997). En este caso, cada una de las exploraciones se realizó con la mínima región de interés posible, de 2 mm de longitud, de manera de ajustar la estimación de volumen externo a regiones regulares. Sobre los huesos largos, se realizaron mediciones en la epífisis proximal (4% del largo total), diáfisis (50% del largo total) y epífisis distal (96% del largo total). En el caso de elementos pares, se analizaron los correspondientes al lado derecho, excepto aquellos en los que no se encontraban disponibles, siendo reemplazados por su contraparte izquierda. Algunos elementos no fueron incluidos (huesos pequeños de pies y manos), dado el escaso tamaño y la baja densidad. Los valores de DMO de esta nueva serie de datos fueron posteriormente corregidos de acuerdo a su volumen y forma externa, según la metodología propuesta por Pavao y Stahl (1999), por la cual se mide y estima el volumen externo de cada sitio escaneado, asignándole una forma geométrica. El contenido mineral óseo de cada región explorada, proporcionado por DXA, fue entonces dividido por el volumen estimado, obteniendo así una densidad volumétrica corregida por la forma y volumen (*Volumetric Density shape-adjusted* o VDsa) según la nomenclatura empleada por Pavao y Stahl (1999), expresada en gr/cm³. Siguiendo los criterios de Lyman (1984) se tomó la sección más densa de cada elemento óseo como la representativa. Posteriormente ambas series de datos, la obtenida en Suby y Guichón (2004) y la generada aquí, fueron correlacionadas (correlación de Spearman).

Dado que el interés de este trabajo es colaborar con la generación de información densitométrica que permita acceder a interpretaciones confiables sobre el registro arqueológico, es necesario estudiar la aplicación de esta serie de datos de densidad mineral ósea sobre casos concretos. Para ello, se analizaron los hallazgos de huesos humanos en dos sitios arqueológicos de Tierra del Fuego (Bahía Valentín y San Genaro 4). Los restos de Bahía Valentín (Península Mitre, Tierra del

Fuego) comprenden 4 individuos adultos (2 masculinos y 2 femeninos), que se encontraron ubicados en una matriz medanosa (Guichón 1984). Por otra parte San Genaro 4 (Bahía San Sebastián, Tierra del Fuego) se ubica en un contexto de dunas de arena vegetadas donde fueron recuperados restos humanos en superficie y recientemente expuestos al momento del hallazgo (Martín *et al.* 2004) con signos de erosión eólica. Finalmente, de acuerdo al protocolo propuesto por Lyman (1984) y empleado en la mayoría de los trabajos, se estimó el porcentaje de supervivencia de elementos óseos para cada hallazgo, y se correlacionó con los valores de las dos series de densidad mineral ósea (DMO y VDsa).

RESULTADOS

Los valores de densidad mineral obtenidos mediante absorciometría de rayos x (DXA) varían entre sí, en función de las metodologías de corrección de volumen óseo empleada. En este caso, se han correlacionado los valores obtenidos por DXA sin corrección de volumen, y una nueva serie de datos resultado de la corrección de volumen y forma externa de las áreas óseas exploradas. En la Tabla 2 se presentan ambas series de datos, ordenados de menor a mayor densidad para cada elemento. Una de las diferencias fundamentales

Elemento	VDsa (gr/cm ³)	Elemento	DMO (gr/cm ²)
Manubrio esternal	0,013	Esternón	0,147
Esternón	0,031	Manubrio esternal	0,452
Escápula	0,042	Costilla 50%	0,496
Sacro	0,043	Sacro	0,506
Vértebra cervical	0,109	Vértebra cervical	0,625
Rótula	0,197	Clavícula 50%	0,656
Vértebra lumbar	0,227	Escápula	0,687
Astrágalo	0,230	Cúbito 50%	0,722
Vértebra dorsal	0,234	Rótula	0,731
Calcáneo	0,275	Peroné 50%	0,802
Costilla 50%	0,397	Radio 50%	0,832
Húmero 50%	0,498	Pelvis acetábulo	0,867
Peroné 50%	0,544	Vértebra dorsal	0,940
Clavícula 50%	0,590	Astrágalo	0,992
Pelvis acetábulo	0,610	Húmero 50%	1,147
Radio 50%	0,612	Calcáneo	1,150
Cúbito 50%	0,618	Vértebra lumbar	1,229
Tibia 50%	0,626	Tibia 50%	1,752
Fémur 50%	0,701	Fémur 50%	1,755

Tabla 2. Ranking de elementos óseos ordenados en forma creciente, determinados sin corrección de volumen (DMO) y corregidos por forma y volumen (VDsa).

entre ambos conjuntos de datos es la mayor VDsa de algunos huesos largos dentro de una escala relativa de densidades, concretamente las diáfisis de la clavícula, cúbito, costilla, peroné y radio, en comparación con su ubicación relativa en los datos de DMO. A su vez, los valores de densidad mineral ósea de la nueva serie de datos antes de ser corregidos por volumen y forma, presentaron un ordenamiento relativo similar a los obtenidos en Suby y Guichón (2004). Como se esperaba, las regiones diafisarias de estos elementos, compuestas fundamentalmente por hueso cortical, aparecen entonces como más densas en relación con otros elementos postcraneales al corregir los valores originales según su forma y volumen. De esta manera, los huesos largos resultan los más densos, seguidos por elementos vertebrales y por último huesos planos e irregulares. En contraste, la serie de datos sin corrección de volumen (DMO) no presenta un ordenamiento respecto de las estructuras de acuerdo con su ubicación anatómica y funcional.

Sin embargo, a pesar de las diferencias en el ordenamiento relativo de los valores, fue posible observar que ambas series de datos se correlacionan entre sí (Figura 1; $r = 0,58$, $p = 0,008$, $n = 19$). Aunque esta correlación parece suponer que ambos tipos de información densitométrica pueden ser empleadas, sólo su aplicación sobre conjuntos arqueológicos permitiría reconocer sus efectos interpretativos. Para ello, a modo de ejemplo, se correlacionaron los valores de ambos sets de datos (DMO y VDsa) con las frecuencias de hallazgos relativos de restos humanos en los sitios Bahía Valentín (Tabla 3) y San Genaro 4 (Tabla 4), ambos de Tierra del Fuego.

Sobre este análisis, se observó que la abundancia relativa de elementos en el sitio Bahía Valentín no se correlacionó con ninguna de las series de datos den-

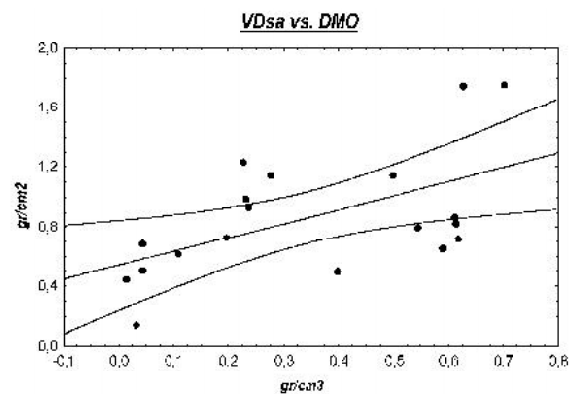


Figura 1. Correlación entre DMO (gr/cm²) y VDsa (gr/cm³) de restos óseos humanos arqueológicos de Las Mandíbulas (Tierra del Fuego, Argentina). $r = 0,58$ ($p = 0,008$; $n = 19$).

Elemento	MAU	MAU%
Sacro	1	50
Vértebra cervical	0,1	7,1
Peroné	1,5	75
Clavícula	1	50
Pelvis acetábulo	1	50
Radio	0,5	25
Tibia	2	100
Fémur	0,5	25

Tabla 3. MAU y MAU% de elementos humanos arqueológicos de Bahía Valentin (Tierra del Fuego).

Elemento	MAU	MAU%
Omóplato	0,5	16,7
Costillas	0,12	4,14
Sacro	3	100
Peroné	1,5	50
Clavícula	1	33,3
Cúbito	1,5	50
Húmero	0,5	16,7
Calcáneo	1	33,3
Tibia	1	33,3
Fémur	3	100

Tabla 4. MAU y MAU% de elementos humanos arqueológicos de San Genaro 4 (Tierra del Fuego).

sitométricos tomada como referencia (Figura 2). Ambos análisis mostraron coeficientes de correlación similares, por lo que no se presentarían discrepancias interpretativas respecto de los valores de densidad mineral empleados. En contraste, cuando se analizaron los restos de San Genaro 4, los valores de DMO no se correlacionaron con la abundancia de elementos humanos en el sitio, correlación que fue significativa y positiva cuando se emplearon los valores de VDsa (Figura 3). Este hecho implica las posibles divergencias al interpretar un mismo conjunto con dos series de datos densitométricos diferentes, arribando a conclusiones opuestas respecto de los factores que pudieron estar involucrados en la formación del sitio.

DISCUSIÓN

El análisis de densidad mineral ósea de restos faunísticos ha tenido un amplio desarrollo durante las pasadas décadas, conjuntamente con variables ecológicas y ambientales, aportando información tafonómica relevante a conjuntos arqueológicos y actuales. En este sentido, la arquitectura ósea ha pasado a cumplir un rol de importancia en el estudio de problemas arqueológicos, como objeto que interactúa de forma activa con los cambios postdeposicionales. En con-

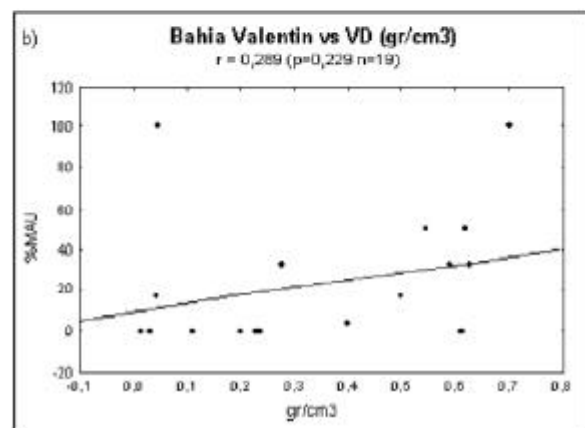
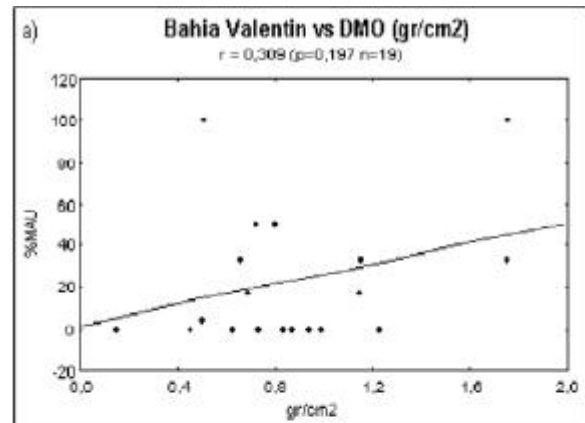


Figura 2. Correlación (Spearman) entre Porcentaje de supervivencia de elementos humanos de Bahía Valentin vs. a) DMO y b) VDsa.

traste con la abundante información zooarqueológica, sólo unos pocos trabajos integran cuestiones biomecánicas óseas al estudio de la historia tafonómica de conjuntos humanos. En este sentido, y aunque es posible pensar en algunas diferencias respecto de la conformación de ambos tipos de registro, los modelos tafonómicos planteados para restos faunísticos podrían aportar información de interés para la interpretación de restos arqueológicos humanos.

Hasta el momento, se han realizado algunos avances en este sentido, a través de la generación de valores de densidad mineral ósea, incluso para algunas especies de primates, que pueden ser incluidas en las discusiones tafonómicas de restos humanos. Sin embargo, como se señaló anteriormente, la elección de metodologías confiables, accesibles y de bajo costo, y en particular que respondan a los problemas en estudio, representa un problema complejo, que deberá ser estudiado en el futuro. Cada una presenta ventajas e inconvenientes, por lo que es necesario reconocer su falibilidad, e interpretar sus resultados en un contexto arqueológico y biológico más amplio.

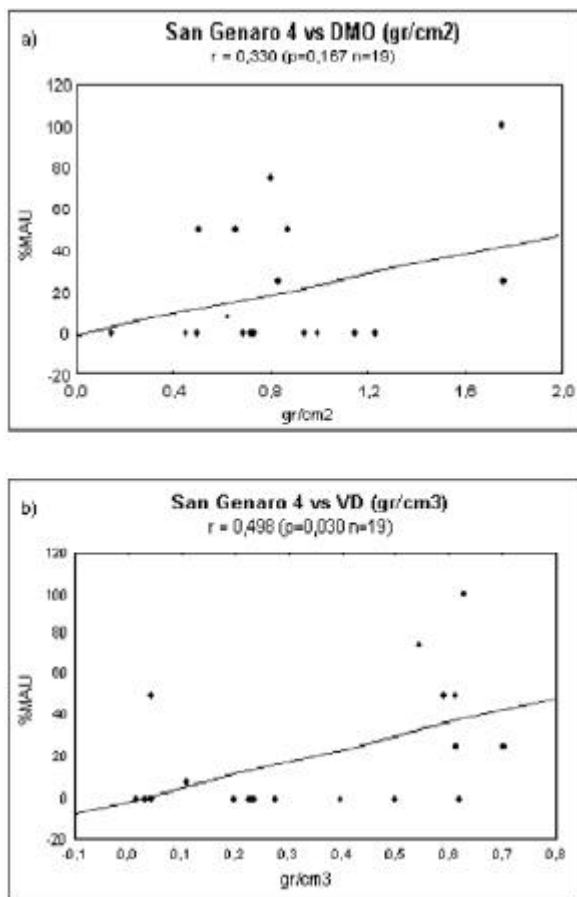


Figura 3. Correlación (*Spearman*) entre Porcentaje de supervivencia de elementos humanos de San Genaro 4 vs. a) DMO y b) VDsa.

Los nuevos datos densitométricos (VDsa) obtenidos en este estudio muestran una escala de elementos post-craneales, donde como se esperaba, las diáfisis de huesos largos presentan las mayores densidades, seguidos en general por cuerpos vertebrales y finalmente por huesos planos e irregulares. De esta manera, algunos de los elementos que en la serie de datos previa sin corrección de volumen (DMO) ocupaban lugares medios en la escala relativa, se ubican ahora entre los más densos. Aunque se observaron estas diferencias en la ubicación de los elementos en un ranking de densidad mineral, ambas series de datos se correlacionan, lo que haría suponer en primera instancia que tanto una como otra son aplicables a casos arqueológicos. Sin embargo, en uno de los sitios sobre los que se estudió la vinculación de la densidad y la supervivencia de elementos, se encontró que sólo la VDsa permite reconocer la acción de procesos tafonómicos mediados por la densidad. Aparentemente, esta diferencia se hace evidente en aquellos conjuntos en los cuales aparecen solo algunos huesos, en particular huesos largos, debido al reconocimiento de es-

tos últimos como los más densos del esqueleto post-craneal. Por otro lado, para aquellos hallazgos en los que la representación ósea es mayor, parece no haber discrepancia en cuanto a las interpretaciones con uno y otro método. En este sentido, los resultados alcanzados en este estudio parecen fortalecer la idea de que las técnicas que involucran correcciones de volumen en las mediciones densitométricas ofrecen resultados de mayor resolución para estos problemas en particular.

Queda una importante agenda de trabajo futura. Es necesario aún aumentar el conocimiento respecto de la manera en que se obtienen valores de densidad mineral ósea sobre restos óseos. Es posible discutir además cuestiones relacionadas con la distribución de tejidos en las estructuras óseas, y qué influencia tienen en particular en la preservación diferencial de huesos humanos. Este tipo de cuestiones deberán ser abordadas a través de estudios geométricos no destructivos de la sección transversal de los elementos óseos, por medio de los cuales no solo es posible eliminar las cavidades internas de los huesos en la estimación de volumen, sino reconocer e interpretar las densidades de hueso cortical y esponjoso en forma independiente, además de la densidad ósea total del área explorada (Suby *et al.* 2006).

Finalmente, dado que las POI varían mediante cambios fisiológicos y adaptativos frente a estímulos o situaciones de estrés, la puesta a punto de técnicas que permitan evaluar no sólo la densidad mineral, sino también la distribución y arquitectura ósea permitirá avanzar en el reconocimiento e identificación de paleopatologías en estrecha relación con los estilos de vida de poblaciones cazadoras-recolectoras de Patagonia austral. En este sentido, el presente trabajo se enmarca en un proyecto más abarcativo, orientado al estudio de la Ecología Evolutiva Humana en Patagonia Austral y Tierra del Fuego. Pero la integración de aspectos biomecánicos a problemas arqueológicos y bioantropológicos requiere aún del desarrollo metodológico adecuado, que permita disponer de herramientas confiables para aumentar nuestro conocimiento del pasado.

Agradecimientos

Agradezco especialmente a mi director, Dr. Ricardo A. Guichón por los aportes realizados, y sus enseñanzas permanentes. A los Dres. Borrero, Cruz y Muñoz. A las Dras. Mondini y Elkin. A mis compañe-

ros Martín Fugassa y Patricia Palacios. Al Hospital Privado de Comunidad, y los Dres. Oscar Varela y Alicia Tomasello. A Sandra Baliño por su apoyo y aliento constante. A mi familia. Este trabajo se realizó con financiamiento del Proyecto Ecología Evolutiva Humana en Patagonia FONCYT-PICT Nro. 4-09929-2002-2004, PICT Nro. 4-13889-2005-2007, y el Convenio de Colaboración Científica entre el Instituto Canario de Bioantropología (Tenerife, España) y la Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (2003-2006).

REFERENCIAS CITADAS

- Boaz, N. J. y A. K. Behrensmeyer
1976 Hominid taphonomy: transport of human skeletal parts in an artificial fluvial environment. *American Journal of Physical Anthropology* 45: 53-60.
- Borrero, L. A.
2004 Arqueología en América del Sur. ¿Se requiere un acercamiento teórico especial? En *Teoría Arqueológica en América del Sur*, editado por G. Politis y R. D. Peretti, pp. 71-84. INCUAPA, Facultad de Ciencias Sociales (UNCPBA), Olavarría.
- Brain, C. K.
1969 The contribution of Namib Desert Hottentots to an understanding of australopithecine bone accumulations. *Scientific Papers of the Namib Desert Research Station* 39: 13-22.
- Butler, V. L. y J. C. Chatters
1994 The Role of Bone Density in Structuring Prehistoric Salmon Bone Assemblages. *Journal of Archaeological Science* 21: 413-424.
- Carlson, K. y T. Pickering
2003 Intrinsic qualities of primate bones as predictors of skeletal element representation in modern and fossil carnivore feeding assemblages. *Journal of Human Evolution* 44: 431-450.
2004 Shape-adjusted bone mineral density measurements in baboons: other factors explain primate skeletal element representation at Swartkrans. *Journal of Archaeological Science* 31: 577-583.
- Cruz, I. y D. Elkin
2003 Structural Bone Density of the Lesser Rhea (Pterocnemia pennata) (Aves: Rheidae). Taphonomic and Archaeological Implications. *Journal of Archaeological Science* 30: 37-44.
- Dirrigl, F. J. Jr.
2001 Bone Mineral Density of Wild Turkey (Meleagris gallopavo) Skeletal Elements and its Effect on Differential Survivorship. *Journal of Archaeological Science* 28: 817-832.
- Elkin, D. y J. Zanchetta
1991 Densitometría ósea de camélidos. Aplicaciones arqueológicas. *Shincal* 3: 195-204.
- Elkin, D.
1995 Structural density of South American Camelid skeletal parts. *International Journal of Osteoarchaeology* 5: 29-37.
- Fernández, P., I. Cruz y D. Elkin
2001 Densidad Mineral Ósea en Pterocnemia pennata (aves: Rheidae). Una herramienta para evaluar frecuencias anatómicas en sitios arqueológicos. *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología XXVI*: 243-260.
- Galloway, A., P. Willey y L. Snyder
1997 Human bone mineral densities and survival of bone elements: A contemporary sample. En *Forensic Taphonomy. The postmortem fate of Human Remains*, editado por W. D. Haglund y M. H. Sorg, pp. 295-317. CRC Press, Florida, USA.
- Gil, A. F. y G. A. Neme
1996 Transporte vs destrucción: interpretando las frecuencias de partes esqueléticas del registro arqueofaunístico nordpatagónico (Argentina). *Comunicación de la II reunión de Tafonomía y fosilización*, pp. 123-128. Zaragoza, España.
- Goodsitt, M. M., E. G. Christodoulou, S. C. Larson y E. A. Kazerooni
2001 Assessment of Calibration Methods for Estimating Bone Mineral Densities in Trauma Patients with Quantitative CT: An Anthropomorphic Phantom Study. *Academic Radiology* 8: 822-834.
- Guichón, R. A.
1984 Informe de los materiales esqueléticos humanos de Bahía Valentín. Campaña. Laboratorio de Ecología Evolutiva Humana, Departamento de Arqueología, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Necochea. MS.
- Guichón, R. A., A. S. Muñoz y L. A. Borrero
2000 Datos para una Tafonomía de restos óseos humanos en Bahía San Sebastián, Tierra del Fuego. *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología XXV*: 297-313.
- Kanis, J. A.
1994 *Osteoporosis*. Blackwell Science Press, Oxford.
- Kreutzer, L. A.
1992 Bison and deer bone mineral densities: comparisons and implications for the interpretation of archaeological faunas. *Journal of Archaeological Science* 19: 271-294.

- Lam, Y. M., X. Chen, C. W. Marean y C. J. Frey
1998 Bone density and long bone representation in archaeological faunas: comparison results from CT and Photon Densitometry. *Journal of Archaeological Science* 25: 559-570.
- Lam, Y., X. Chen y O. Pearson
1999 Intertaxonomic variability in patterns of bone density and the differential representation of bovid, cervid, and equid elements in the archaeological record. *American Antiquity* 64: 343-362.
- Lam, Y. M., O. M. Pearson, C. W. Marean y X. Chen
2003 Bone density studies in zooarchaeology. *Journal of Archaeological Science* 30: 1701-1708.
- Larsen, C.
1997 *Bioarchaeology. Interpreting behavior from the human skeleton*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Lunt, M., P. Masaryk y C. Scheidt-Nave
2001 The Effects of Lifestyle, Dietary Dairy Intake and Diabetes on Bone Density and Vertebral Deformity Prevalence: The EVOS Study. *Osteoporosis International* 12: 688-698.
- Lyman, R. L.
1984 Bone density and differential survivorship in fossil classes. *Journal of Anthropological Archaeology* 3: 259-299.
1994 *Vertebrate Taphonomy*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Martín, M., R. Barbarena y R. A. Guichón
2004 Erosión y huesos humanos. El caso de la localidad Chorrillos, Tierra del Fuego. *Magallania* 32: 125-142.
- Mendonça De Souza, S. M. F., D. M. Carvalho y A. Lessa
2003 Paleoepidemiology: Is There A Case To Answer? *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 98(1): 21-27.
- Pavao, B. y P. W. Stahl
1999 Structural density assays of leporid skeletal elements with implications for taphonomic, actualistic and archaeological research. *Journal of Archaeological Science* 26: 53-66.
- Pickering, T. y K. Carlson
2002 Baboon bone mineral densities: Implications for the taphonomy of primate skeletons in South African cave sites. *Journal of Archaeological Science* 29: 883-896.
- Stahl, P. W.
1999 Structural density of domesticated South American Camelid skeletal elements and the archaeological investigation of prehistoric Andean Ch'arki. *Journal of Archaeological Science* 26: 1347-1368.
- Suby, J. y R. A. Guichón
2004 Densidad Mineral Ósea y Frecuencia de Hallazgos en restos humanos en el Norte de Tierra del Fuego. *Intersecciones en Antropología* 5: 95-104.
- Suby, J. A., J. M. Estévez Poggi, J. A. Vazquez y D. V. Villa
2005 Densidad Mineral Ósea de Antebrazo en una Muestra de la Población Femenina de Mar del Plata, Argentina. *Revista Argentina de Endocrinología y Metabolismo* 42: 20-27.
- Suby, J. A., R. A. Guichón, R. Cointry y J. L. Ferretti
2006 Bone Mineral Density of Human Bone Assemblages with periferic Quantitative Computed Tomography (pQCT). Laboratorio de Ecología Evolutiva Humana, Departamento de Arqueología, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Necochea. MS.
- Suby, J. A.
2006 Propiedades Óseas Intrínsecas de Restos Humanos de Poblaciones Cazadoras Recolectoras en Patagonia Austral. Laboratorio de Ecología Evolutiva Humana, Departamento de Arqueología, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Necochea. MS.
- Villa, M. L. y L. Nelson
1996 Race, ethnicity, and osteoporosis. En *Osteoporosis*, editado por R. Marcus, D. Feldman y J. Kelsey, pp. 435-447. Academic Press, San Diego, California.
- Willey, P., A. Galloway y L. Snyder
1997 Bone Mineral Density and survival of elements and element portions in the bones of the Crow Creek Massacre Victims. *American Journal of Physical Anthropology* 104: 513-528.
- Wood, J. W., G. R. Millner, H. C. Harpending y K. M. Weiss
1992 The osteological Paradox. Problems of inferring prehistoric health from skeletal samples. *Current Anthropology* 33(4): 343-369.