

## ALTERACION DIAGENETICA Y PRESERVACION DIFERENCIAL DE LOS CONJUNTOS OSEOS DE LA LOCALIDAD ARQUEOLOGICA PASO OTERO (PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA)

M. Gutiérrez \*, G. Martínez \*\* y C. Nielsen-Marsh \*\*\*

### RESUMEN

El objetivo de este trabajo es el de determinar el grado de alteración diagenética de cuatro conjuntos óseos provenientes de tres sitios de la localidad arqueológica Paso Otero, ubicada en la cuenca media del río Quequén Grande (Provincia de Buenos Aires, Argentina). Los sitios analizados tienen una cronología comprendida entre el límite Pleistoceno/Holoceno y los inicios del Holoceno tardío.

Específicamente, se caracteriza el grado de modificación post-depositacional de cada uno de los conjuntos de acuerdo a la aplicación de parámetros diagenéticos que incluyen porosidad, cristalinidad (IRSF), presencia de carbonatos diagenéticos (C/P), integridad histológica, contenido total de proteína (%N) y calcita.

Los resultados alcanzados indican que, a pesar de la similitud de los ambientes de deposición en los que fueron recuperados los conjuntos óseos (horizontes «A» de suelos enterrados en antiguas planicies de inundación), existe un patrón de preservación diferencial que se expresa, básicamente, en la macroporosidad y el %N. No obstante, existe una tendencia general cuando se considera el total de parámetros empleados ya que las diferencias se registran en la intensidad con la que actuaron ciertos procesos y no en la presencia de los mismos.

Finalmente, se discuten las causas que provocarían las diferencias en los estados de preservación y se analizan qué variables (por ej. temperatura, humedad, acción de microorganismos, tiempo, tamaño de la muestra, porosidad de los huesos, etc.) ocuparían un lugar preponderante en la explicación de los resultados alcanzados.

**Palabras clave:** *Diagénesis, preservación ósea diferencial, sitios arqueológicos, Pleistoceno tardío - Holoceno, Región Pampeana (Argentina).*

### ABSTRACT

The main goal of this paper is to provide a taphonomic analysis related to the process of physical and chemical alteration of the bone structure caused by post-burial processes or diagenesis. Particularly, this research focuses on four archaeological assemblages from the Paso Otero archaeological locality (Buenos Aires Province, Argentina). The study of diagenetic parameters such as porosity, crystallinity (IRSF), diagenetic carbonate content (C/P), calcite, protein content (%N) and histology were applied to bone assemblages of archaeological sites recorded in «A» buried soil horizons located in ancient flood plains in the middle basin of the Quequén Grande River. The chronological span includes the late Pleistocene and the beginning of the late Holocene. The analysis of bone microstructure indicates a pattern of differential bone preservation even when the archaeological assemblages come from quite similar environmental depositional settings. Consequently, it is remarkable that every site has undergone a very particular taphonomic history regarding post-burial processes. The possible causes of these differences are explored and discussed.

**Key words:** *Diagenesis, differential bone preservation, archaeological sites, Late Pleistocene - Holocene, Pampean Region (Argentina).*

---

\* INCUAPA. Facultad de Ciencias Sociales, UNCPBA, Avda. del Valle 5737 - B7400JWI. Olavarría, Argentina. mgutierr@soc.unicen.edu.ar.

\*\* CONICET, INCUAPA Facultad de Ciencias Sociales, UNCPBA, Avda. del Valle 5737 - B7400JWI Olavarría, Argentina. gmartine@soc.unicen.edu.ar.

\*\*\* Fossil Fuels and Environmental Geochemistry (NRG). The Drummond Building. University of Newcastle, NE1 7RU, Inglaterra. christina.nielsen-marsh@ncl.ac.uk.

## Introducción

Las alteraciones tafonómicas producidas en los contextos óseos paleontológicos y arqueológicos han sido uno de los principales focos de estudio a partir de los años setenta, generando un importante cúmulo de información referida a los procesos y efectos previos al enterramiento (Behrensmeyer, 1978; Behrensmeyer y Hill, 1980; Bonnichsen y Sorg, 1989; Cadee, 1991; Lyman, 1994, entre otros). Sin embargo, aquellos aspectos relacionados con los procesos ocurridos después del enterramiento, encuadrados generalmente bajo el nombre de diagénesis, se encuentran en una fase inicial de exploración (Pike, 1993; Hedges *et al.*, 1995; Nielsen-Marsh, 1997). La información obtenida a partir de las dos vías de análisis, es decir el enfoque macroscópico de los efectos tafonómicos y aquella proveniente de los parámetros diagenéticos, se transforma en una herramienta que permite tratar e interpretar de manera holística a los procesos pre y post-enterramiento que han influido en el estado de preservación de contextos óseos particulares.

El caso aquí tratado es el de la localidad arqueológica Paso Otero (Politis *et al.*, 1991; Gutiérrez, 1998; Martínez, 1997a, 1997b, 1999) donde ya se han llevado a cabo una serie importante de estudios referidos a los efectos tafonómicos macroscópicos pre-entierro (Johnson *et al.*, 1997; Gutiérrez, 1998; Gutiérrez *et al.*, 1997; Martínez, 1999). En consecuencia, los objetivos generales de este trabajo son entender cómo los procesos postdeposicionales afectaron la integridad del registro arqueológico de los sitios de la localidad borrarlo Paso Otero, estimar el papel que estos procesos han tenido a través del tiempo e identificar cuáles han sido los factores más influyentes en la integridad del conjunto, promoviendo estados de preservación y secuencias diagenéticas particulares.

Específicamente, el objetivo de este trabajo es determinar el grado de alteración diagenética de cuatro conjuntos óseos provenientes de tres sitios arqueológicos ubicados en el curso medio del río Quequén Grande con el fin de: 1) comparar los diferentes estados de preservación, 2) inferir los posibles responsables de las alteraciones diagenéticas y 3) caracterizar los ambientes de deposición de cada uno de los contextos arqueológicos.

## Antecedentes arqueológicos y geológicos del área de estudio

La localidad arqueológica Paso Otero (fig. 1) comenzó a ser sistemáticamente estudiada en el año 1989 (Politis *et al.*, 1991) y desde entonces se

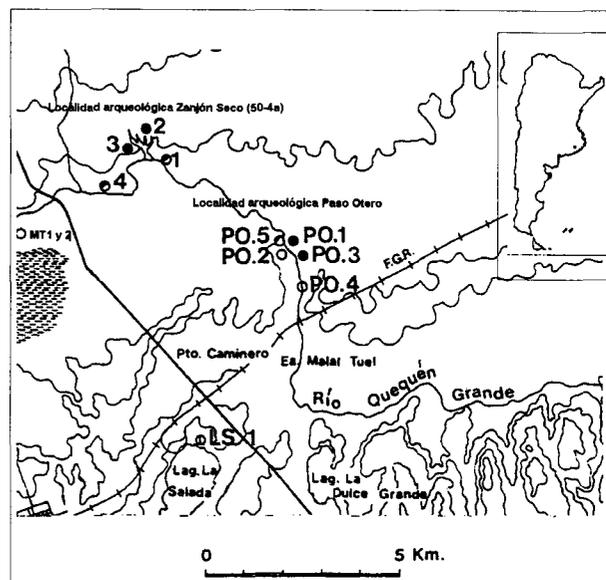


Fig. 1.—Curso medio del río Quequén Grande y sitios de la Localidad Arqueológica Paso Otero (PO).

han realizado una serie de trabajos relacionados con aspectos estratigráficos y cronológicos (Johnson *et al.*, 1998), faunísticos (Gutiérrez, 1998; Martínez, 1999; Martínez *et al.*, e.p.), estudios tafonómicos y de procesos de formación de sitio (Johnson *et al.*, 1997; Gutiérrez, 1998; Gutiérrez *et al.*, 1997; Martínez, 1999) y otros relacionados con los sistemas de asentamiento de las sociedades aborígenes que habitaron el curso medio del río Quequén Grande en el lapso Pleistoceno tardío-Holoceno (Martínez, 1999).

Los tres sitios considerados en este trabajo se encuentran ubicados en las barrancas del río y muy próximos entre sí, en una distancia máxima de 700 m. La estratigrafía en todos los casos es aquella registrada en la mayoría de los valles fluviales de la Región Pampeana. En la base de esta secuencia se encuentra la Formación Pampeana, sobre la cual se reconocen los sedimentos de la Formación Luján (*sensu* Fidalgo *et al.*, 1973). Esta última formación está compuesta por dos miembros: Guerrero y Río Salado. El primero se divide en dos sectores, uno pardo basal que pasa gradualmente a uno verde superior (Prado *et al.*, 1987). El «Lujanense» o Miembro Guerrero de la Formación Luján (*sensu* Fidalgo *et al.*, 1973) está compuesto por facies fluviales interdigitadas lateralmente con depósitos de loess arenosos (Zárate *et al.*, 1996; Zárate *et al.*, 1998). Las relaciones de facies indican un paleorrelevo constituido por elevaciones y depresiones que se estabilizó durante un lapso no precisado anterior a ca. 9.000 años radiocarbónicos AP y que está

Tabla 1.—Resultados de los fechados radiocarbónicos realizados sobre humatos obtenidos de la fracción orgánica de las SEP y sobre hueso de fauna extinguida.

Sitio	Superficie de Estabilización Muestra	Fracción Orgánica (edad corregida)	Fracción residual (edad corregida)
Paso Otero 1	Superior Materia orgánica, suelo	2.720 ± 40 años AP (DRI-2837)	2.974 ± 48 años AP (DRI-3362)
Paso Otero 1	Media Materia orgánica, suelo	4.855 ± 105 años AP (DRI-2829)	4.414 ± 92 años AP (DRI-3361)
		4.750 ± 60 años AP (DRI-3067)	
Paso Otero 3	Cuarta Materia orgánica, suelo	4.777 ± 77 años AP (DRI 3069)	4.598 ± 81 años AP (DRI-3367)
Paso Otero 5	Sexta Hueso quemado	10.190 ± 120 años AP (AA 19290)	—

representado por un suelo de desarrollo moderado correlacionable con el suelo Puesto Callejón Viejo (*sensu* Fidalgo *et al.*, 1973). Este intervalo de estabilidad geomorfológica precedió a la depositación del «Platense» o Miembro Río Salado de la Formación Luján (*sensu* Fidalgo *et al.*, 1973). Los depósitos que corresponden al «Platense» muestran una geometría lenticular y se acumularon en las áreas deprimidas de la paleotopografía preexistente. Estos depósitos representan facies palustres y lacustres compuestas por materiales bioclásticos donde las asociaciones de diatomeas, ostrácodos y gasterópodos indican, en ciertos sectores de la cuenca, la presencia de lagunas someras. La sedimentación de estos depósitos se habría iniciado hacia los 10.000-9.000 años AP persistiendo estos ambientes lacustres y palustres hasta *ca.* 5.700 años AP, cuando se produce la formación de un suelo relacionable al Suelo Puesto Berrondo (Zárate *et al.*, 1996; Zárate *et al.*, 1998).

En discordancia de erosión sobre la Formación Luján se observan sedimentos eólicos asignables a la Formación La Postrera, compuesta por sedimentos limo-arenosos a limo arcillosos sin estratificación (Fidalgo *et al.*, 1973).

De acuerdo a su posición estratigráfica, los sitios estudiados en este trabajo abarcan la parte de la secuencia general antes descrita que va desde la parte cuspidal del Miembro Guerrero hasta la porción cuspidal del Miembro Río Salado de la Formación Luján. A lo largo de esta porción estratigráfica se han identificado, según el sitio de que se trate, diferentes superficies de estabilización del paisaje (SEP) u horizontes «A» de suelos enterrados asociados a depósitos arqueológicos. Los fechados radiocarbónicos de los sitios 1 y 3 fueron obtenidos de materia orgánica de las SEP. Las ventajas y desventa-

jas de esta metodología han sido objeto de debate (ver Martin y Johnson, 1995; Wang *et al.*, 1996) y no serán tratadas en este trabajo. Sin embargo, es importante mencionar que el fechado que se toma aquí como indicador de la cronología de las SEP corresponde con la fracción que presenta la edad más antigua (Martin y Johnson, 1995, 233).

En el caso del sitio Paso Otero 1 se identificaron 3 SEP donde, tanto en la superior (*ca.* 2.900; tabla 1) como en la media (*ca.* 4.800; tabla 1) se registraron 2 eventos de ocupación identificados como sitios de actividades específicas relacionadas principalmente a la matanza y el procesamiento inicial de guanacos (Gutiérrez *et al.*, 1997; Johnson *et al.*, 1997; Gutiérrez, 1998; Martínez, 1999).

En el caso del sitio Paso Otero 3 se identificaron 4 SEP y, en el contexto de la cuarta superficie, se registró un depósito arqueológico datado en *ca.* 4.800 años AP (tabla 1) que fue caracterizado como un sitio de actividades específicas, relacionado también a la caza del guanaco y a su procesamiento primario, aunque otras presas como vizcacha y venado también fueron obtenidos y explotados en el sitio (Martínez, 1999; Martínez *et al.*, 1997-1998; Martínez *et al.*, e.p.).

En el sitio Paso Otero 5 se detectaron 6 SEP y, en el contexto de la sexta superficie, ubicada en la transición entre los miembros de la Formación Luján, se registró un depósito arqueológico con presencia de al menos 6 taxa de megamamíferos extintos. Esta ocupación presenta un fechado radiocarbónico de *ca.* 10.200 años AP (tabla 1). El sitio estaría representando el producto de actividades relacionadas a la caza y/o probable carroñeo, procesamiento primario, secundario y consumo de especies extinguidas y autóctonas vivientes (Martínez, 1997a, 1999).

## Materiales y métodos

### Características contextuales

Como ha sido expresado en el párrafo anterior, todos los conjuntos óseos analizados ( $n = 4$ ) provienen de superficies de estabilización del paisaje localizadas en planicies de inundación. En PO1 las 2 SEP se encuentran en sedimentos claramente asignables al miembro Río Salado de la Fm. Luján, en PO3 el horizonte A de suelo enterrado que contiene la ocupación se habría desarrollado teniendo como material parental sedimentos de una antigua planicie de inundación y la sexta superficie de estabilización del sitio PO5 se encuentra en la interfase representada por los dos miembros de la Formación Luján.

En consecuencia, debido a que todos los conjuntos óseos analizados provienen de superficies de estabilización, se asume que las características del ambiente de deposición son similares, es decir, que en general se trataría de ambientes:

1. de baja a muy baja energía,
2. con sedimentación lenta,
3. con importante actividad biológica (i.e., plantas),
4. con alta concentración de materia orgánica,
5. donde el agua y los microorganismos fueron factores comunes a cada una de las superficies.

Dadas estas características, la Hipótesis Nula que se propone es que no existe una preservación diferencial de la estructura interna de los huesos provenientes de los sitios de la localidad arqueológica Paso Otero.

### Muestreo

Con el fin de examinar la preservación de la estructura interna de los huesos, se realizaron análisis para cuantificar las alteraciones diagenéticas. Las muestras se constituyeron de la siguiente manera:

- 1) Sitio PO1:  
Grupo 1: Superficie de estabilización superior (segunda ocupación): 11 muestras.  
Grupo 2: Superficie de estabilización media (primera ocupación): 20 muestras.
  - 2) Sitio PO3:  
Grupo 3: Superficie de estabilización cuarta: 9 muestras.
  - 3) Sitio PO5:  
Grupo 4: Superficie de estabilización sexta: 9 muestras.
  - 4) Muestra control: 1 muestra (especimen ósea actual).
- Total de las muestras procesadas: 50.

A excepción del material óseo de PO5, donde sólo se registraron 2 unidades anatómicas de guanaco y, en consecuencia, la colección se compone de huesos de fauna extinta, todas las muestras analizadas corresponden a la porción media de diáfisis de metápodo de guanaco.

### Parámetros diagenéticos

Los parámetros diagenéticos analizados detectan analíticamente la alteración de la porción inorgánica y orgánica del hueso (Hedges y Millard, 1995; Hedges *et al.*, 1995; Millard, 1993; Pike, 1993; ver también Gutiérrez, 1998 y Nielsen-Marsh, 1997). Los parámetros utilizados son Porosidad (micro y macroporosidad), Cristalinidad (IRSF), Contenido de Carbonatos Diagenéticos (C/P), Calcita, Nitrógeno e Integridad histológica.

La **porosidad** da cuenta de la distribución de los poros en un radio determinado y dicha distribución determina cómo interactúa el hueso con el agua. Los cambios en la distribución de los poros reflejan los cambios que ocurren a nivel estructu-

ral y químico de los huesos. Así, por ejemplo, la recristalización mineral y la degradación de la proteína provocan cambios en la porosidad del hueso. La porosidad se midió utilizando una adaptación de la técnica descrita por Hedges *et al.* (1995).

La **cristalinidad** es considerada un rasgo importante de la diagénesis de la porción inorgánica del hueso. Los cristales de bioapatita son extremadamente pequeños y dejan de ser estables una vez que el organismo muere. Esta situación favorece el intercambio químico con el ambiente inmediato y la búsqueda continua hacia formas termodinámicamente más estables durante el entierro. Esto implica la formación de cristales más grandes y es por ello que, en general, los valores de cristalinidad en huesos arqueológicos son mayores que los encontrados en muestras contemporáneas. Para cuantificar esta variable se utilizó un espectrómetro Infrarrojo (IRSF).

En cuanto al **contenido de carbonatos diagenéticos** (relación carbono/fósforo = C/P), el intercambio iónico es un rasgo común en la alteración diagenética en los huesos arqueológicos. Los carbonatos exógenos son importantes contaminantes de la bioapatita. En dicha bioapatita existe un nivel natural de carbonato que durante el entierro puede decrecer, vía procesos de disolución, o incrementarse a través de diferentes mecanismos que introducen iones de carbonatos exógenos dentro de la estructura mineral. La incorporación de carbonatos en la estructura mineral provoca cambios físicos y químicos en los huesos. La incorporación superficial de **calcita** en los poros (no en la matriz mineral), incrementa los valores de C/P aunque no provoca alteraciones físicas ni químicas en los huesos. La cantidad de carbonato diagenético presente en la bioapatita fue medido usando el espectro obtenido para la cristalinidad (IRSF) (ver Gutiérrez, 1998).

El parámetro **nitrógeno %** fue utilizado para estimar el contenido total de proteína. Aproximadamente el 90% de la proteína que contiene el hueso corresponde a colágeno y el vínculo mineral-proteína es esencial para la resistencia del hueso. Es por ello que los huesos arqueológicos que poseen una pequeña cantidad o ausencia de proteína remanente son frágiles y más susceptibles a fracturarse. La cantidad de nitrógeno remanente en el hueso, que se relaciona directamente con la cantidad de proteína, se midió utilizando el analizador automático de carbono, hidrógeno y nitrógeno (Europa ANCA Roboprep).

En cuanto a la **histología**, los estudios microscópicos sobre tejido óseo han demostrado que la alteración diagenética puede ser severa. Esta alteración puede ser explicada por la actividad de microorganismos que, en busca de nutrientes, pueden penetrar el hueso usando los espacios naturales y crecer utilizando al tejido no mineralizado que lo circunda como fuente de alimento y, además, excretar sus metabolitos secundarios. Se elaboró un índice de Integridad histológica que considera la preservación de los rasgos microscópicos de la estructura ósea (ver Gutiérrez, 1998).

### Comparación. Análisis estadísticos multivariados

Con respecto a los test estadísticos se eligieron los análisis multivariados. Dentro de estos análisis se realizaron los de componente principal y los de factor discriminante:

1) **Análisis de Componente Principal (ACP)**: constituye un análisis exploratorio y descriptivo que permite simplificar las relaciones entre el conjunto de las variables observadas. En este caso no se establecen grupos de datos *a priori*, es decir antes de que el análisis se lleve a cabo.

2) **Análisis de Factor Discriminante (AFD)**: es un análisis útil para entender qué tanto es posible separar o clasificar grupos según las variables consideradas (por ej. parámetros diagenéticos). A diferencia del ACP, este análisis conoce los grupos *a priori*, es decir, que los datos ya están agrupados en conjuntos predeterminados (por ej. ocupaciones arqueológicas).

Tabla 2.—Valores promediados de los parámetros diagenéticos de cada uno de los conjuntos óseos analizados y de hueso moderno.

	Porosidad total (cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup> )		Macroporosidad		IRSF		C/P		%N		%Calcita		IH
	P	DE	P	DE	P	DE	P	DE	P	DE	P	DE	P
Hueso moderno	0,1332		0,0740		2,6		0,369		4,7		0		5
PO1 2.900 AP	0,3828	0,0319	0,3151	0,0371	3,0	0,9	0,332	0,023	0,2	0,02	2	1,6	2
PO1 4.800 AP	0,3639	0,0374	0,2890	0,0378	3,3	0,1	0,380	0,032	0,1	0,02	6	3,1	2
PO3 4.800 AP	0,3544	0,0558	0,2836	0,0560	3,3	0,1	0,379	0,030	0,1	0,02	2	3,2	3
PO5 10.200 AP	0,3570	0,0642	0,3009	0,0626	3,7	0,5	0,335	0,108	0,1	0,11	4	2,6	3

P: Promedio; DE: Desvío estandar; IH: Integridad histológica.

## Resultados

Aquí se presenta un resumen de los valores promediados de los parámetros diagenéticos de cada uno de los conjuntos óseos analizados (tabla 2). Se incluyen, además, los valores de hueso moderno con fines comparativos. Con respecto a los resultados del ACP, en primera instancia se conoce en qué proporción influye cada variable (por ej. macroporosidad) en cada uno de los componentes (por ej. CP1, tabla 3). Si el grupo de datos analizados es muy heterogéneo, se espera que la mayor variación se encuentre concentrada en el CP1 y CP2, tal como sucede en este caso donde entre ambos suman aproximadamente el 59% (tabla 4). Los parámetros diagenéticos que aquí introducen mayor variación son la macroporosidad y el %N (tabla 4 y fig. 2).

Cuando graficamos CP1 vs. CP2, podemos ver cómo se agrupan los datos teniendo en cuenta que en este análisis estadístico los mismos no se seleccionan de antemano. Esta identificación por grupos es posterior al análisis y con el solo objetivo de ver la relación entre los mismos. Los resultados muestran que se pueden identificar dos grandes grupos, uno que corresponde a PO5 y el otro, a los restantes sitios (fig. 2). Si comparamos además los grupos entre pares, vemos por ejemplo, que PO5 se separa claramente de PO1, tanto de PO1-1 como de PO1-2 y que apenas se superpone con el conjunto de PO3. Por el contrario, resulta un poco más difícil separar los grupos individuales de las dos ocupaciones de PO1 y la de PO3.

Cuando se analizan los resultados del análisis del Factor Discriminante (en donde se separan de antemano los datos por grupos) se observa que se repite el mismo patrón siendo las mismas variables, la macroporosidad y el %N (tablas 3 y 5), las que contribuyen principalmente en la clasificación o separación de los grupos. En la figura 3 se grafica FD1 vs. FD2 y se observa que la segregación entre los dos

Tabla 3.—Carga («Loadings») de las variables sobre los componentes principales.

Variables	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
Microporosidad	-0,3344	0,0237	-0,3496	0,8659	-0,1065	-0,1065
Macroporosidad	0,6165	0,0475	0,6350	0,2645	0,6482	-0,3515
IRSF	-0,4461	-0,4093	0,4217	0,1046	0,6050	0,2804
C/P	-0,0242	0,7771	-0,0317	0,0314	0,2598	0,5710
%N	0,5541	-0,3557	0,1417	0,2943	-0,2700	0,6220
Calcita	0,0379	0,3152	0,8215	0,2857	-0,2492	-0,2840

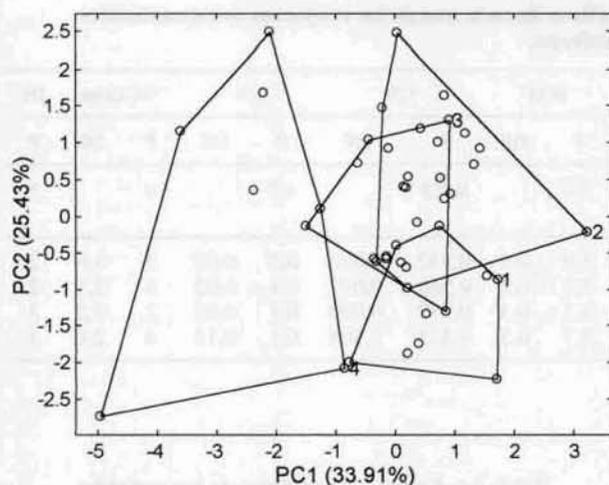
Tabla 4.—Varianza porcentual obtenida por cada componente principal.

Componente Principal	Eigenvalues
CP1	33,9058
CP2	25,4307
CP3	18,3464
CP4	14,0616
CP5	5,5437
CP6	2,7117

grupos (PO5 vs. PO1 y PO3) no es tan acentuada, aunque sí se remarcan las diferencias entre cada uno de los grupos (PO1-1, PO1-2, PO3 y PO5).

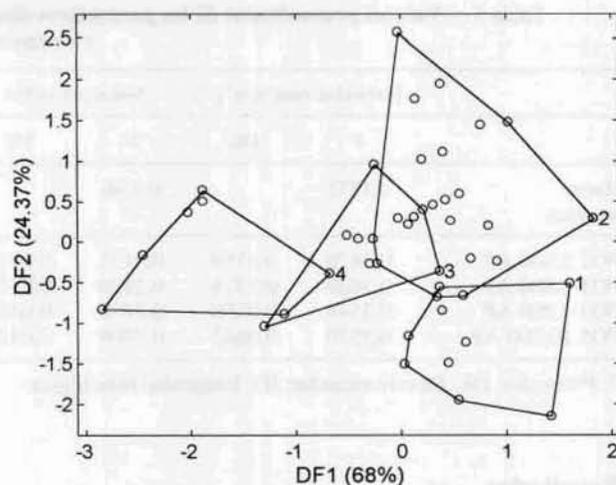
Los resultados obtenidos a partir de los análisis estadísticos multivariados permiten interpretar que la preservación de la estructura interna de los huesos de los sitios que componen la Localidad Arqueológica Paso Otero es diferencial, con lo cual se rechaza la hipótesis nula planteada inicialmente en este trabajo. Esto significa que existe un patrón de preservación diferencial entre los sitios analizados.

No obstante esta conclusión, existen otras tendencias que deben ser resaltadas. En primer lugar, todas las muestras analizadas de cada uno de los conjuntos presentan valores extremadamente bajos de %N,



Grupo 1: Paso Otero 1 (2,900 AP)  
 Grupo 2: Paso Otero 1 (4,800 AP)  
 Grupo 3: Paso Otero 3 (4,800 AP)  
 Grupo 4: Paso Otero 5 (10,200 AP)

Fig. 2.—CP1 vs. CP2 de los cuatro conjuntos arqueológicos analizados.



Grupo 1: Paso Otero 1 (2,900 AP)  
 Grupo 2: Paso Otero 1 (4,800 AP)  
 Grupo 3: Paso Otero 3 (4,800 AP)  
 Grupo 4: Paso Otero 5 (10,200 AP)

Fig. 3.—FD1 vs. FD2 de los cuatro conjuntos arqueológicos analizados.

Tabla 5.—Carga («Loadings») de las variables sobre los factores discriminantes.

Variables	DF1	DF2
Microporosidad	-0,1708	-0,2607
Macroporosidad	0,9134	0,1855
IRSF	-0,4254	-0,0400
C/P	-0,2065	0,6482
%N	0,8189	-0,3632
Calcita	0,1544	0,6875

indicando que la proteína remanente en los huesos es muy escasa. La preservación histológica sugiere que gran parte de la pérdida de proteína pudo deberse a la actividad de microorganismos (fig. 4). Este resultado explica los intentos fallidos de fechados de huesos, tanto por métodos convencionales como por AMS, en los sitios Paso Otero 1 y 5. La excepción está dada por el fechado obtenido en PO5 sobre hueso quemado. Aparentemente, la combustión «sellaría» el contenido de colágeno haciéndolo poco atractivo para los microorganismos y evitando la pérdida del mismo por hidrólisis (Figini y Carbonari, comunicación personal, 1999). En consecuencia, en base a estudios realizados por otros investigadores (Takahashi y Nelson, 1998) y al presente trabajo, los huesos que presentan mayor probabilidad de que puedan ser fechados en contextos con características depositacionales similares serían los dientes y los huesos quemados. Los resultados de Takahashi y Nelson (1998) sugieren que los dientes

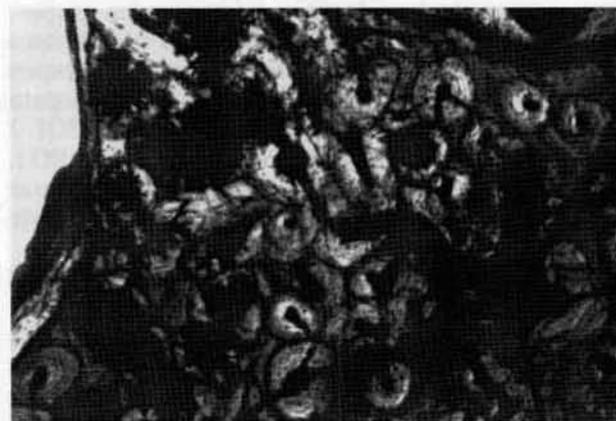
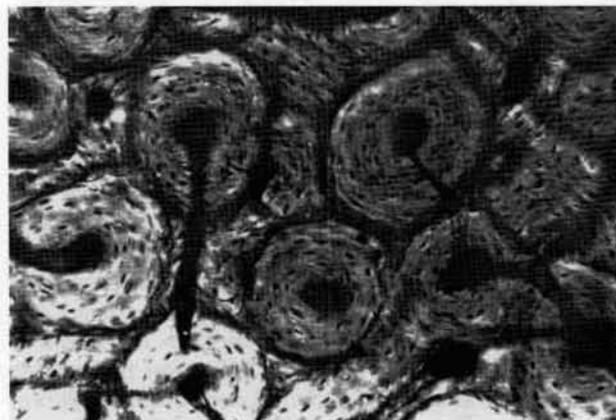


Fig. 4.—Comparación histológica de hueso moderno (foto superior, 10x) con hueso arqueológico (foto inferior, 4x).

de guanaco provenientes de PO1 constituyen una muestra con mayor probabilidad de éxito para la datación debido a que presentan valores de %N mayores a los obtenidos sobre huesos del mismo depósito.

### Discusión y conclusiones

El estado de preservación de los especímenes óseos es el resultado de la historia tafonómica del sitio en el que fueron recuperados. Más allá de los efectos tafonómicos pre-depositacionales identificados, ciertos cambios físicos y químicos se producen después de que los huesos se han enterrado. En consecuencia, si la preservación diferencial de los conjuntos óseos no es entendida en el marco de estos procesos como una totalidad, se producirán interpretaciones erróneas que afectarán no sólo el análisis faunístico, sino que sesgarán las interpretaciones relacionadas a otros tópicos como reconstrucción de paleodietas, dataciones radiocarbónicas y patologías óseas. En este sentido, las alteraciones tanto en las condiciones como en las cantidades de los componentes orgánicos e inorgánicos de la matriz ósea proveen una potencial fuente de información acerca de la historia tafonómica de los conjuntos óseos (Bell, 1990; Garland, 1987a, 1987b, 1989; Hedges *et al.*, 1995).

Las superficies de estabilización identificadas a lo largo del curso medio del río Quequén Grande han sido lugares del paisaje ocupados reiteradamente durante el Pleistoceno final y Holoceno (Martínez, 1999). En base a los resultados aquí presentados, se plantea que además, estas superficies constituyen ambientes en donde es posible predecir el estado de preservación de la proteína de los huesos. Estas características definen una estructura del registro óseo arqueológico a nivel de su potencial de preservación que expresa una importante tendencia válida para las ocupaciones arqueológicas de geofomas específicas (por ej. suelos formados en planicies de inundación) a nivel regional. En el caso del área de estudio, los ambientes de depositación de los contextos arqueológicos se asumieron como constantes. Como ha sido expresado precedentemente, si bien cada secuencia tiene sus particularidades, el factor común a las mismas es el desarrollo de horizontes A de suelos enterrados formados en condiciones de antiguas planicies de inundación. No obstante, estas condiciones de los depósitos que, en términos generales, responden a un patrón repetitivo, la preservación de la estructura interna de los huesos es diferencial. Sin embargo, esta diferencia no está dada por el tipo de alteración diagenética presente, sino por el grado de intensidad de las mismas. Con

respecto a esto último, se observa que los parámetros diagenéticos de contenido de nitrógeno y la macroporosidad han sido los más sensibles para captar el grado de modificación post-depositacional de cada uno de los conjuntos óseos y comparar los distintos estados de preservación que son diferenciales pero siempre severos. Simultáneamente, esta aproximación permite discutir aspectos relacionados a la acción y a las alteraciones diagenéticas provocadas por los microorganismos y la hidrólisis en relación a la naturaleza de las modificaciones antrópicas experimentadas por los huesos (por ej. combustión).

Considerando la similitud de las características de las condiciones de depositación y de los contextos sedimentarios y que uno de los parámetros diagenéticos más sensible en todos los casos ha sido el contenido de nitrógeno, es pertinente hipotetizar cuáles han sido las variables que introdujeron las diferencias entre las muestras. Uno de los problemas podría estar referido a diferencias en los ambientes de depositación que aún no hayan sido identificados. Estas diferencias podrían estar relacionadas con la génesis particular de cada horizonte A de suelo enterrado de acuerdo a condiciones locales. Sin embargo, el patrón resultante tanto de los análisis realizados en este trabajo (comparación de los parámetros diagenéticos) como de la proveniencia estratigráfica de las muestras (suelos ubicados en el Miembro Río Salado de la Formación Luján) sugiere una importante consistencia entre los resultados de PO1-1, PO1-2 y PO3 lo que desalentaría, en principio, condiciones iniciales que supongan diferencias marcadas en las condiciones de los depósitos donde se recuperaron los especímenes óseos. El caso podría ser distinto en PO5, donde el suelo está ubicado entre los dos miembros de la Formación Luján y que, probablemente, se haya desarrollado teniendo como roca de base al Miembro Guerrero de la Formación mencionada anteriormente.

Otra probable fuente de variación podría provenir de condiciones ambientales diferentes para los lapsos aquí considerados. Teniendo en cuenta el modelo paleoclimático para la región Pampeana (Tonni y Fidalgo, 1978; Fidalgo y Tonni, 1978; Tonni, 1992; Prieto, 1996, entre otros) es evidente la existencia de un cambio climático hacia la transición Pleistoceno-Holoceno, aunque la cronología y la intensidad del cambio están sujetas a debate. Bonadonna *et al.* (1995) estudiaron la composición isotópica de los gasterópodos continentales de algunos sitios del área interserrana Bonaerense y, entre ellos, la serie de Paso Otero cuyas muestras fueron obtenidas en el sitio arqueológico Paso Otero 1. En la serie de Paso Otero estos autores destacan una distinción isotópica importante en la parte basal del Miembro Río Salado de la Formación Luján cuyo

fechado asociado es de  $8.670 \pm 560/-520$  años AP (Bonadonna *et al.*, 1995, 94). Esta distinción isotópica se interpreta como el paso de un ambiente más seco hacia un ambiente más húmedo (el Hipsitermal) en la fecha antes mencionada y, en consecuencia, la formación del Suelo Puesto Callejón Viejo (sexta superficie de estabilización en PO5) podría deberse a un pulso de mejoramiento climático (mayor temperatura y humedad) en *ca.* 10.000 años AP. Este pulso habría estado seguido de condiciones más áridas evidenciadas por las variaciones isotópicas antes mencionadas (Bonadonna *et al.*, 1995), por cambios en la composición faunística (Tonni, 1992) y en los patrones de circulación atmosférica (González, 1990; Iriondo y García, 1993). Durante el Holoceno temprano y parte del medio (*ca.* 8.500-4.500 años AP) se observa un cambio hacia condiciones templado-húmedas (Bonadonna *et al.*, 1995) o subhúmedas-húmedas (Prieto, 1996) que incluyen al Hipsitermal, aunque para otros autores (Tonni, 1992) estos períodos templados serían breves y alternantes con períodos áridos-semiáridos. Hacia el Holoceno medio y tardío (*ca.* 4.500 años AP) se habría producido el retorno hacia condiciones más áridas (Bonadonna *et al.*, 1995; Zárate y Blasi, 1993; Tonni, 1992) o condiciones subhúmedas-secas (Prieto, 1996) y, finalmente, en el Holoceno tardío (*ca.* 1.000 años AP) se habría dado un retorno a condiciones templadas y húmedas y el establecimiento de los ecosistemas modernos (Tonni, 1992; Tonni y Cione, 1997). Dado este modelo paleoclimático general y la cronología de las ocupaciones arqueológicas es posible que los depósitos se hayan formado durante condiciones similares relacionadas a períodos de mejoramiento climático pero dentro de una tendencia climática árida-semiárida. En consecuencia, se puede descartar al factor clima como fuente de variabilidad responsable de los perfiles diagenéticos obtenidos en Paso Otero.

Finalmente, puede considerarse la variable tiempo. Puesto que PO5 es al menos el doble de antiguo que el resto de los sitios comparados, es posible que la intensidad de los efectos en este sitio se deba a una exposición más prolongada a las condiciones diagenéticas de este tipo de depósitos. A pesar de los escasos estudios llevados a cabo sobre la relación del tiempo y el estado de preservación del material óseo, se cree que esta variable jugó un rol central en la determinación de los perfiles diagenéticos de Paso Otero. Esta idea se ve apoyada en este caso en particular principalmente porque se discute y compara conjuntos óseos que provienen de ambientes de depositación similares, en donde las condiciones climáticas no fueron sustancialmente diferentes y lo único que no comparten es la crono-

logía. La variabilidad que pueden presentar estos procesos según microambientes particulares merece ser tenida en cuenta, al menos hasta que se genere un *corpus* de información aplicable en una escala más amplia.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a Graduate School of Texas Tech University por la financiación otorgada para la realización de los análisis diagenéticos y a Javier Juste Ballesta por el asesoramiento referido a los análisis estadísticos. Los trabajos de campo fueron realizados con subsidios otorgados por la SeCyT (UNCPBA) al INCUAPA (Facultad de Ciencias Sociales, UNCPBA). Los autores desean agradecer a Gustavo Barrientos, Anibal Figini y M. Teresa Alberdi por sus comentarios y sugerencias.

#### Referencias

- Behrensmeyer, A. K. (1978). Taphonomic and ecological information from bone weathering. *Paleobiology*, 4: 150-162.
- Behrensmeyer, A. K. y Hill, A. P. (eds.) (1980). *Fossils in the Making. Vertebrate Taphonomy and Paleoecology*, Univ. of Chicago Press, Chicago.
- Bell, L. S. (1990). Paleopathology and Diagenesis: An SEM Evaluation of Structural Changes Using Backscattered Electron Imaging. *J. Archaeol. Sci.*, 17: 85-102.
- Bonnischsen, R. y Sorg, M. H. (eds.) (1989). *Bone Modification*, Univ. of Maine, Center for the Study of Early Man, Orono.
- Bonadonna, F., Leone, G. y Zanchetta, G. (1995). Composición isotópica de los fósiles de gasterópodos continentales de la Provincia de Buenos Aires. Indicaciones Paleoclimáticas. *Evolución biológica y climática de la Región Pampeana durante los últimos cinco millones de años. Un ensayo de correlación con el Mediterráneo Occidental*. (M. T. Alberdi, G. Leone, y E. Tonni, eds.), Monografías Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, Madrid, España: 77-104.
- Cadee, G. C. (1991). The History of Taphonomy. *The Processes of Fossilization* (S. K. Donovan, edit.), Columbia Univ. Press, New York: 3-21.
- Fidalgo, F., De Francesco, F. y Colado, U. (1973). Geología Superficial de las Hojas Castelli, J. M. Cobo y Monasterio (Argentina). *Relaciones del 6to. Cong. Geol. Argentino*, Bahía Blanca: 103-138.
- Fidalgo, F. y Tonni, E. (1978). Aspectos paleoclimáticos del Pleistoceno Tardío-Reciente de la Provincia de Buenos Aires. *Segunda Reunión Inf. Cuaternario Bonaerense*, CIC, La Plata: 21-28.
- Garland, A. N. (1987a). Palaeohistology. *Sci. Archaeol.*, 29: 25-29.
- Garland, A. N. (1987b). A Histological Study of Archaeological Bone Decomposition. *Death, Decay and Reconstruction* (A. Boddington, A. N. Garland, y R. C. Janaway, eds.), Manchester Univ. Press, Manchester: 109-126.
- Garland, A. N. (1989). Microscopical Analysis of Fossil Bone. *Applied Geochem.*, 4: 215-229.

- González, M. A. (1990). Probable evolución climática de la República Argentina durante el Pleistoceno tardío y el Holoceno. *Clima Cuaternario de América del Sur*. Publicación especial n.º 2, Medellín, Colombia.
- Gutiérrez, M. (1998). *Taphonomic Effects and State of Preservation of the Guanaco (Lama guanicoe) Bone Bed From Paso Otero 1 (Buenos Aires Province, Argentina)*, Tesis de Maestría, Univ. of Texas Tech. Lubbock, Texas.
- Gutiérrez, M., Martínez, G., Politis, G., Johnson, E. y Hartwell, W. (1997). Nuevos análisis óseos en el sitio Paso Otero 1 (Pdo. de Necochea, Pcia. de Buenos Aires). *Arqueología Pampeana en la Década de los 90*. (M. Berón, y G. Politis, eds.), Museo de Historia Natural de San Rafael (Mendoza) e INCUAPA (UNCPBA): 213-228.
- Hedges, R. E. M. y Millard, A. R. (1995). Bones and groundwater towards the modelling of diagenetic processes. *J. Archaeol. Sci.*, 22: 155-165.
- Hedges, R. E. M., Millard, A. R. y Pike, A. (1995). Measurements and relationships of diagenetic alteration of bone from three archaeological sites. *J. Archaeol. Sci.*, 22: 201-211.
- Iriondo, M. H. y García, N. O. (1993). Climatic Variations in Argentine Plains During the Last 18,000 Years. *Paleogeogr. Paleoclimatol. Paleoecol.*, 101: 209-220.
- Johnson, E., Gutiérrez, M., Politis, G., Martínez, G. y Hartwell, W. (1997). Holocene Taphonomy at Paso Otero 1 on the Eastern Pampas of Argentina. *Proceedings of the 1993 Bone Modification Conference, Hot Springs, South Dakota*. (L. Hannus, L. Rossum, y P. Winham, eds.). Occasional Publication Nro. 1, Archaeology Laboratory, Augustana College, Sioux Falls: 105-121.
- Johnson, E., Politis, G., Martínez, G., Hartwell, W., Gutiérrez, M. y Haas, H. (1998). The radiocarbon chronology of Paso Otero 1 in the Pampean Region of Argentina. *Quater. South Amer. Antarctic Peninsula*, 11: 15-25.
- Lyman, R. L. (1994). *Vertebrate Taphonomy*. Cambridge Manuals in Archaeology, Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Martin, Ch., y Johnson, W. (1995). Variation in Radiocarbon Ages of Soil Organic Matter Fractions from Late Quaternary Buried Soils. *Quater. Res.*, 43: 232-237.
- Martínez, G. (1997a). A Preliminary Report of the Late Pleistocene site of Paso Otero 5 in the Pampean Region of Argentina. *Current Res. Pleistocene*, 14: 53-55.
- Martínez, G. (1997b). Ocupaciones arqueológicas en el curso medio del río Quequén Grande (Pdos. de Lobería y Necochea). *Arqueología Pampeana en la Década de los 90*. (M. Berón y G. Politis, eds.), Museo de Historia Natural de San Rafael (Mendoza) e INCUAPA (UNCPBA): 71-84.
- Martínez, G. (1999). *Tecnología, subsistencia y asentamiento en el curso medio del Río Quequén Grande: Un enfoque arqueológico*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP), La Plata.
- Martínez, G., Landini, C. y Bonomo, M. (1997-1998). Análisis de los artefactos líticos del sitio Paso Otero 3: Una aproximación al entendimiento de la organización de la tecnología lítica en el curso medio del Río Quequén Grande. *Public. Arqueología*, 49: 3-22.
- Martínez, G., Messineo, P., Piñeyro, M. E., Kaufmann, C. y Barros, P. (e.p.). Análisis preliminar de la estructura faunística del sitio Paso Otero 3 (Pdo. de Necochea, Pcia. de Buenos Aires, Argentina). En prensa en *Actas del IX Congreso Nacional de Arqueología Uruguaya*, Colonia del Sacramento, Uruguay.
- Millard, A. R. (1993). *Diagenesis of Archaeological Bone: The Case of Uranium Uptake*. Tesis Doctoral, Univ. of Oxford, Oxford.
- Nielsen-Marsh, C. M. (1997). *Studies in Archaeological Bone Diagenesis*. Tesis Doctoral, Univ. of Oxford, Oxford.
- Pike, A. W. G. (1993). *Bone Porosity, Water and Diagenesis: Towards a Grand Unified Theory of Bone Diagenesis*. Tesis de Bachelor, Univ. of Bradford, England.
- Politis, G., Gutiérrez, M. y Martínez, G. (1991). Informe preliminar de las investigaciones en el sitio Paso Otero 1 (Partido de Necochea, Provincia de Buenos Aires). *Bol. Centro*, 3: 80-90.
- Prado, J. L., Menegaz, A. N., Tonni, E. y Salemme, M. (1987). Los Mamíferos de la Fauna Local Paso Otero (Pleistoceno Tardío), Provincia de Buenos Aires. Aspectos Paleambientales y Bioestratigráficos. *Ameghiniana*, 24: 217-233.
- Prieto, A. R. (1996). Late Quaternary Vegetational and Climatic Changes in the Pampa Grassland of Argentina. *Quater. Res.*, 45: 73-88.
- Takahashi, C. M. y Nelson, D. E. (1998). Testing collagen preservation in Argentinean archeological bone. Simon Fraser Archeometry Laboratory. Informe presentado al INCUAPA (Departamento de Arqueología, UNCPBA).
- Tonni, E. P. (1992). Mamíferos y Clima del Holoceno en la Provincia de Buenos Aires. *El Holoceno en la Argentina*. (M. Iriondo, edit.). CADINQUA 1: 64-78.
- Tonni, E., y Cione, A. (1997). Did the Argentine Pampean Ecosystem Exist in the Pleistocene? *Current Res. Pleistocene*, 14: 131-133.
- Tonni, E. y Fidalgo, F. (1978). Consideraciones sobre los cambios climáticos durante el Pleistoceno tardío-Reciente en la Provincia de Buenos Aires. Aspectos ecológicos y zoogeográficos relacionados. *Ameghiniana*, 15: 235-353.
- Wang, Y., Amundson, R. y Trumbore, S. (1996). Radiocarbon Dating of Soil Organic Matter. *Quater. Res.*, 45: 282-288.
- Zárate, M. y Blasi, A. (1993). Late Pleistocene-Holocene Eolian Deposits of the Southern Buenos Aires Province, Argentina: A Preliminary Model. *Quater. Internat.*, 17: 15-20.
- Zárate, M., Espinosa, M. y Ferrero, L. (1996). La Horqueta II, Río Quequén Grande: ambientes sedimentarios de la transición Pleistoceno-Holoceno. *IV Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses, Actas*, 1: 195-204.
- Zárate, M., Espinosa, M. y Ferrero, L. (1998). Paleoambiental Implications of the Holocene Diatomite, Pampa Interserrana, Argentina. *Quater. South Amer. Antarctic Peninsula*, 11: 135-152.

Recibido el 14 de julio de 2000.

Aceptado el 27 de diciembre de 2000.