

CAPÍTULO V

ASPECTOS DIAGENÉTICOS EN PASO OTERO

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS _____	140
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA DIAGÉNESIS ÓSEA _____	143
ASPECTOS TEÓRICOS Y METODOLÓGICOS DE LOS PARÁMETROS DIAGENÉTICOS _____	145
INTEGRIDAD HISTOLÓGICA _____	147
CONTENIDO DE PROTEÍNA _____	149
DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE POROS _____	150
CRISTALINIDAD _____	152
RESULTADOS _____	155
INTEGRIDAD HISTOLÓGICA _____	155
PARÁMETROS DIAGENÉTICOS _____	156
ANÁLISIS ESTADÍSTICOS _____	159
<i>Análisis estadísticos multivariados</i> _____	159
<i>Análisis del componente principal</i> _____	160
<i>Análisis de la función discriminante (AFD)</i> _____	164
<i>Análisis multivariado de la varianza (MANOVA)</i> _____	166
<i>Análisis de varianza (Two-level mixed model nested ANOVA)</i> _____	167
DISCUSIÓN _____	169
ANÁLISIS DIAGENÉTICO COMPARATIVO EN LA LOCALIDAD PASO OTERO _____	177
ASPECTOS METODOLÓGICOS DEL ESTUDIO DIAGENÉTICO COMPARATIVO _____	178
RESULTADOS Y DISCUSIÓN _____	181
CONCLUSIONES _____	205
PASO OTERO 1 _____	205
DIAGÉNESIS COMPARATIVA _____	208
CONSIDERACIONES FINALES _____	211

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Como ya ha sido mencionado, la tafonomía es una línea de investigación extensamente desarrollada a partir de los años '70 y ha generado un importante cúmulo de información referida a los procesos y efectos previos al enterramiento de los huesos en contextos óseos paleontológicos y arqueológicos (Behrensmeyer 1978; Behrensmeyer y Hill 1980; Bonnichsen y Sorg 1989; Cadée 1991; Lyman 1994a, entre otros). Sin embargo, aquellos aspectos relacionados con los procesos ocurridos luego del enterramiento del material óseo,

encuadrados generalmente bajo el nombre de **diagénesis**, se encuentran en una fase inicial de exploración (Pike 1993; Hedges *et al.* 1995; Nielsen-Marsh 1997; Nielsen-Marsh *et al.* 2000). La información obtenida a partir de las dos vías de análisis, por un lado, de la identificación macroscópica de los efectos tafonómicos y, por el otro, del análisis estructural y químico del hueso (parámetros diagenéticos), se transforma en una herramienta útil que permite interpretar y evaluar de manera holística los procesos pre y post-enterramiento que han influido en el estado de preservación de contextos óseos particulares.

Como se mencionó más arriba, la información biológica contenida en un organismo vivo puede ser ocultada o bien destruida como resultado de complejos cambios físicos y químicos que se llevan a cabo en los huesos luego del enterramiento de los mismos. En consecuencia, si la preservación diferencial no es completamente entendida, puede conducir a interpretaciones arqueológicas erróneas, por ejemplo, en áreas tales como el análisis faunístico, la reconstrucción de la dieta humana, los fechados radiocarbónicos y los estudios paleopatológicos.

El objetivo general de este trabajo es el de evaluar los aportes del análisis de la diagénesis ósea dentro del marco de los estudios tafonómicos. Los análisis diagenéticos llevados a cabo en Paso Otero 1 se realizaron con el fin de conocer el estado de preservación del conjunto óseo en general y obtener de este modo una visión más completa de las diferentes modificaciones que sufrieron los huesos. En este sentido, una visión más completa se refiere a considerar no sólo las modificaciones que se producen en la superficie cortical del material óseo sino, también, a incorporar en el análisis tafonómico las alteraciones microscópicas de la estructura interna de los huesos.

La razón principal que ha conducido a realizar análisis diagenéticos en Paso Otero 1 es la imposibilidad reiterada de llevar a cabo fechados radiocarbónicos del material óseo debido, principalmente, a la cantidad insuficiente de colágeno. Esta situación despertó la necesidad de investigar sobre la correspondencia entre las modificaciones macro y microscópicas ya que la apariencia externa de los huesos no reflejaban estos cambios estructurales.

La combinación de los resultados de los análisis óseos tanto microscópicos (e.g., parámetros diagenéticos) como macroscópicos (e.g., modificación cortical), contribuye a un mayor entendimiento de los tipos de destrucción post-mortem, de la preservación diferencial del material óseo y a la construcción de historias tafonómicas.

También se realizará en este capítulo un análisis comparativo del estado de preservación de cuatro conjuntos óseos provenientes de tres sitios de la localidad arqueológica Paso Otero con el fin de entender: a) cómo los procesos post-enterramiento afectaron la integridad del registro arqueológico de estos lugares; b) estimar el papel que estos procesos han tenido a través del tiempo y; c) identificar cuáles han sido los factores más influyentes en la integridad del conjunto, promoviendo estados de preservación y secuencias diagenéticas particulares. Estos sitios comparten ciertas características del ambiente de depositación. En consecuencia, es interesante plantear un análisis comparativo de los estados de preservación de los conjuntos óseos ya que las condiciones iniciales se asumen como similares, siendo entonces la cronología de las ocupaciones la variable que difiere. Esta situación planteada reduciría las variables a considerar como posibles responsables de las alteraciones estructurales y químicas identificadas.

En síntesis, el objetivo de este trabajo es determinar el grado de alteración diagenética de los sitios 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 depositación de cada uno de los depósitos arqueológicos

Cabe mencionar que resultados preliminares de los análisis diagenéticos de los sitios de la localidad arqueológica Paso Otero ya fueron publicados en Gutierrez (1998), Gutierrez *et al.* (2001) y Gutierrez (2001); y presentados en Congresos (I Congreso de Arqueología de la región pampeana Argentina, XIII Congreso Nacional de Arqueología Argentina. En este capítulo se ofrecerán los resultados finales y completos y se discutirá en detalle las causas que habrían provocado las alteraciones diagenéticas halladas.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA DIAGÉNESIS ÓSEA

La diagénesis se refiere a los cambios físicos y químicos que se producen en los restos óseos luego de su enterramiento (Behrensmeyer *et al.* 1989; Retallack 1990). Una vez enterrados estos restos, los procesos diagenéticos actúan alterando las propiedades biológicas originales de los huesos. El grado de alteración del material óseo depende de factores intrínsecos y extrínsecos. Los primeros están integrados por la estructura química y molecular, la porosidad, el tamaño, la forma y la edad del individuo al morir (von Endt y Ortner 1984; Henderson 1987; Boaz y Behrensmeyer 1976; Lyman 1984). La acción de microorganismos, el pH del sedimento, el régimen hidrológico y la temperatura forman parte de los factores externos que influyen en el grado de alteración ósea. Ambos factores combinados actúan a lo largo de la variable tiempo, la cual además puede influir en la magnitud y la extensión de las alteraciones microscópicas que presenten los huesos. Cada uno de estos factores y variables aislados es insuficiente para explicar o predecir el estado de preservación del conjunto óseo. Los efectos de la combinación de estos factores producen la debilidad en el vínculo proteína-mineral y, como consecuencia, dejan al hueso susceptible a la alteración microscópica (Garland 1987a; Henderson 1987). Las fases mineral y orgánica de los huesos ya han sido descritas en detalle en el Capítulo 3 y por lo tanto en esta oportunidad sólo se mencionarán aquellas características necesarias de cada una a los fines de destacar su influencia en la diagénesis ósea.

Los huesos están compuestos por dos fases, la mineral (ca. 80%) y la orgánica (ca. 20%). La fracción mineral otorga al hueso rigidez y dureza mientras que la fracción orgánica le brinda elasticidad y resistencia. La estructura mineral de la bioapatita presenta dos propiedades que convierten al hueso en un material muy susceptible de alteración producto de la interacción con los ambientes geológico y químico que los rodea: 1) los cristales de bioapatita formados biológicamente son una estructura iónica con dimensiones muy pequeñas. Esta propiedad le otorga al hueso un área de superficie muy grande respecto al

volumen; y 2) la naturaleza iónica de la bioapatita permite la sustitución de las especies iónicas por otras de similar carga y tamaño (Salter 1986).

El colágeno constituye la principal proteína de la fracción orgánica (ca. 90% por unidad de peso) y está formado por una cadena helicoidal de polipéptidos. Los restantes componentes de la fracción orgánica del hueso (ca. 10% por unidad de peso) se agrupan en lo que se denomina proteínas no colágenas. Las moléculas que constituyen el colágeno se combinan para formar fibras, dejando espacios libres entre moléculas. Estos espacios son ocupados por cristales de la fase mineral del hueso que se depositan a lo largo de las fibras de colágeno (Junqueira y Carneiro 1991).

Las alteraciones en los componentes orgánicos e inorgánicos se producen simultáneamente y son, probablemente, las responsables directas de los cambios en las propiedades físicas de los huesos. Los huesos pueden incorporar elementos extraños de tres formas diferentes: 1) por absorción de los mismos en la superficie de la matriz mineral; 2) por reemplazo de los iones estructurales en los cristales de la bioapatita; y 3) por precipitación dentro de los poros en la estructura ósea. Estos procesos pueden ser acelerados o retrasados por factores tales como el pH del agua subterránea, microorganismos, temperatura y agua (Pike 1993).

El agua de la napa freática ácida contiene iones hidrógeno que pueden reemplazar el calcio de la bioapatita y provocar que este calcio percole (White y Hannus 1983). Valores extremos de pH de agua subterránea (ácida o alcalina) facilitan la pérdida por hidrólisis de la porción proteica del hueso. A pesar de que se conoce que la variable pH aislada no provee información suficiente para determinar la extensión de la diagénesis del hueso, algunos estudios sobre la misma, como factor importante en la determinación de los diferentes caminos diagenéticos, han hallado una fuerte correlación inversa entre el pH y el estado de preservación de los huesos (Gordon y Buikstra 1981).

La destrucción microbiana está relacionada a los estadios tempranos de la descomposición ósea debido a que ésta requiere que todavía existan cierta cantidad de componentes orgánicos remanentes en el hueso (Grupe *et al.* 1993). En este sentido, los microorganismos cumplen un rol clave durante la diagénesis

temprana de las carcacas porque la pérdida de tejido blando se debe casi exclusivamente a los mismos, en combinación con los componentes autolíticos (Nielsen–Marsh *et al.* 2000). No obstante, el colágeno completamente mineralizado es resistente al ataque microbiano debido a la presencia en el mismo de microporos (<8 nm) que impiden el acceso a los microorganismos (>8 nm). En consecuencia, es necesario que se produzcan alteraciones diagenéticas químicas que remuevan la fase mineral que se encuentra en íntima relación con la fase orgánica del hueso, para que los microorganismos tengan acceso al colágeno y a su eventual degradación (Nielsen–Marsh *et al.* 2000).

Los microorganismos pueden alterar la integridad histológica del hueso. Los resultados reconocidos como cambios diagenéticos provocados por microorganismos están compuestos por la destrucción focal y la construcción de túneles o galerías en la corteza del hueso y la redistribución de minerales (Marchiavafa *et al.* 1974; Hackett 1981; Piepenbrink 1986; Hanson y Buikstra 1987).

La temperatura juega un rol muy importante en la diagénesis a través del control de la tasa de reacciones químicas, el rango de especies de microorganismos que pueden sobrevivir bajo determinadas condiciones y la solubilidad de la porción mineral del hueso. Una regla generalizada es que las reacciones químicas duplican su tasa por cada 10°C que se eleva la temperatura (Von Endt y Ortner 1984).

El agua también constituye un factor de control en el proceso de la diagénesis (Pike 1993; Hedges y Millard 1995; Nielsen-Marsh 1997). La presencia de agua es esencial en la disolución y posible recristalización de la porción mineral del hueso, en el transporte de los iones dentro del hueso y en la hidrólisis de la proteína.

ASPECTOS TEÓRICOS Y METODOLÓGICOS DE LOS PARÁMETROS DIAGENÉTICOS

La diagénesis ósea se detecta analíticamente a través de análisis químicos y microscópicos (Hedges *et al.* 1995). Existen en la actualidad varias técnicas analíticas para evaluar la preservación tanto mineral como orgánica del hueso y

cada una de ellas presenta ventajas y desventajas metodológicas, económicas o sobre la calidad de información obtenida (ver Nielsen-Marsh *et al.* 2000: Tabla 2 para un resumen detallado de cada una de las técnicas analíticas). Nielsen-Marsh (1997) y Nielsen-Marsh *et al.* (2000) concluyen que la medición de la porosidad (mesoporosidad) a través de la intrusión de mercurio (*Mercury intrusion porosimetry*) constituye una de las técnicas analíticas que ofrece mayor calidad de información sobre el estado de preservación ósea en general. Sin embargo, esta técnica además de ser destructiva, es todavía muy costosa. Cuando se llevaron a cabo los análisis diagenéticos de la localidad Paso Otero (1997), la medición de la porosidad a través de la intrusión de mercurio constituía una técnica que aún estaba en vías de exploración, por lo que se optó en realizar otros tipos de análisis que son capaces también de medir las alteraciones diagenéticas del material óseo. En este sentido, se siguieron las propuestas metodológicas elaboradas por Hedges *et al.* (1995).

Hedges *et al.* (1995) han establecido cuatro diferentes tipos de variables diagenéticas con el fin de lograr un mejor entendimiento de este complejo proceso y de incluir la mayor cantidad de aspectos de la diagénesis que sea posible. Estas medidas son conocidas como “parámetros diagenéticos” y son definidas como “...a single measurable aspect of a bone sample which reflects the degree of diagenesis which the bone has recognizably undergone” (Hedges *et al.* 1995: 201). Los parámetros que se consideraron en este trabajo de tesis son: 1) integridad histológica; 2) contenido de proteína; 3) distribución del tamaño de poros; y 4) cristalinidad. Los dos primeros parámetros miden la supervivencia de la porción orgánica del hueso y los dos últimos parámetros incluyen la alteración diagenética de la fase mineral del hueso (la bioapatita).

El material óseo utilizado en el análisis diagenético de este trabajo de tesis consiste en 30 metapodios de guanacos, 20 provenientes de la superficie de estabilización media (conjunto óseo más antiguo) y 10 de la superficie de estabilización superior (conjunto óseo más reciente). Los criterios de muestreo empleados están basados en aspectos tales como la representatividad y la preservación del elemento óseo en particular. El esqueleto de guanaco tiene 4 metapodios (2 metacarpos y 2 metatarsos). Los metapodios están presentes en la

mayoría de los sitios arqueológicos pampeanos y tienen una superficie cortical gruesa, apropiada para llevar a cabo análisis diagenéticos. Se ha utilizado además, un metacarpo perteneciente a guanaco moderno como “muestra control”.

Inicialmente, los especímenes fueron cortados en secciones transversales (bloques) de aproximadamente 3-4cm, a la altura de la porción media de la diáfisis del metapodio. Los huesos arqueológicos generalmente están incompletos y exhiben un alto grado de fragmentación. En estos casos particulares, las muestras fueron tomadas sobre cada porción disponible. Los cuatro parámetros diagenéticos fueron medidos en cada una de las muestras.

INTEGRIDAD HISTOLÓGICA

Los rasgos histológicos de los huesos arqueológicos han sido descritos en varios trabajos (e.g., Stout 1978; Hackett 1981; Garland 1985, 1987a, 1987b, 1989; Bell 1990). El examen histológico de cortes delgados de material óseo arqueológico provee importante información sobre los procesos de descomposición, el grado de destrucción post-mortem y el estado de preservación de los huesos (Garland, 1987a, 1987b).

Con el fin de describir los rasgos cualitativos de la microestructura ósea debido a las alteraciones diagenéticas, se llevaron a cabo análisis de microscopía óptica de cortes delgados. Una adecuada preparación de estos cortes es primordial para el análisis histológico, en especial, la obtención de superficies lisas, planas y de un espesor constante a lo largo de toda la muestra. Para lograr dichos cortes fue necesario sumergir los bloques de hueso arriba descritos en epoxy con el fin de mantener la integridad de la muestra durante los procesos de cortado y pulido. Este paso fue necesario debido a que se trataba de huesos arqueológicos, los cuales son extremadamente frágiles para soportar las siguientes actividades vinculadas a la preparación de los cortes delgados. En este sentido, los bloques de huesos de aproximadamente 2cm de ancho se colocaron en anillos de plástico (Buehler Instruments) y fueron inmersos en epoxy (*cold mounting, air cured epoxide*) (Buehler Instruments). Los cortes delgados se cortaron de los bloques ya endurecidos por el epoxy con una sierra metalúrgica

(Isomet) de baja velocidad y equipada con una hoja de diamante. Los cortes obtenidos fueron montados sobre portaobjetos metalúrgicos y el espesor final de los mismos (aproximadamente 100 μ) fue logrado a través de sucesivos pulidos, tanto mecánico así como manual. Una vez que estos procesos estuvieron completos y que se lograron los espesores adecuados, los cortes se montaron sobre portaobjetos y se cubrieron con cubreobjetos de uso microscópico. Los cortes fueron examinados usando un microscopio standard (Bausch & Lomb) con un aumento de 10x al que se le adjuntó una cámara de 0.55x (Sony).

El análisis microscópico consistió en designarles un índice de diagénesis histológica que mejor refleje y describa el estado de preservación de los rasgos microestructurales del hueso. El método de muestreo empleado para la examinación de los cortes delgados ya fue descrito en Gutierrez (1998). Este procedimiento tuvo en consideración el alto grado de variabilidad de alteración diagenética que exhibía cada porción microscópica de la muestra. Además, a través del muestreo al azar utilizado, cada sección de la muestra tuvo la misma oportunidad de ser seleccionado para el análisis (Gutierrez 1998). En conclusión, un total de 30 cuadrados fue analizado de cada corte delgado.

Sobre la base de varios rasgos microscópicos exóticos se creó una escala de índices de diagénesis histológica (Gutierrez 1998). Estos rasgos representan microestructuras que no son usuales en la histología normal de un hueso no alterado. Los índices son expresados en estadíos del 1 al 5 y se describen a continuación:

Estadio 1. Muy severo; no es posible identificar los rasgos histológicos originales del hueso; los rasgos exóticos cubren la mayor parte del campo visible en el microscopio; aproximadamente menos del 5% de la histología del hueso permanece intacta (Gutierrez 1998: 83, Figura 3.8a);

Estadio 2. Severo; los rasgos histológicos normales son difíciles de identificar; los rasgos histológicos exóticos ocupan aproximadamente el 75% del campo visible en el microscopio (Gutierrez 1998: 83, Figura 3.8b);

Estadio 3. Moderado; los rasgos histológicos se preservan entre los alterados; los rasgos histológicos exóticos ocupan aproximadamente el 50% del campo visible en el microscopio (Gutierrez 1998: 84, Figuras 3.8b y 3.8c);

Estadio 4. Levemente afectado; los rasgos histológicos están claramente definidos; sólo aparecen una pequeña cantidad de rasgos arqueológicos exóticos (aproximadamente 25%) cubren el campo visible en el microscopio (Gutierrez 1998: 85, Figuras 3.8e y 3.8f);

Estadio 5. Bien preservado; la estructura histológica es casi indistinguible de un hueso en estado fresco; aproximadamente más del 95% de la histología del hueso permanece intacta (Gutierrez 1998: 86, Figuras 3.8g y 3.8h);

La Tabla V.1 resume los índices de la escala de diagénesis histológica empleados para el análisis del parámetro de integridad histológica en las muestras de huesos.

Tabla V.1. Índices de diagénesis histológica.

Estadios	% aprox. de hueso alterado	Descripción
1	>95	Muy severo
2	75	Severo
3	50	Moderado
4	25	Levemente afectado
5	<5	Bien preservado

CONTENIDO DE PROTEÍNA

Como ya ha sido mencionado más arriba, aproximadamente el 90% de la proteína que posee el hueso está compuesta por colágeno. La cantidad de colágeno disminuye a medida que el hueso se degrada (Hedges y Law 1989; Child y Pollard 1991, Garland 1988). El vínculo mineral-proteína es esencial para la resistencia del hueso (Evans 1961). En consecuencia, los huesos que tienen una pequeña cantidad o ausencia de proteína son muy frágiles y susceptibles de fracturarse (Nielsen-Marsh 1997). El colágeno está sujeto a una lenta hidrólisis de sus péptidos los cuales, a su vez, se degradan en sus constituyentes, los aminoácidos. Los componentes más solubles son lixiviados, provocando una reorganización en la estructura del hueso que se refleja principalmente en la modificación de la distribución del tamaño de los poros (Nielsen-Marsh 1997).

Con el fin de determinar la cantidad de proteína que sobrevive en el material óseo arqueológico, se midió el contenido de nitrógeno (N) de todo el hueso. Esta medición se realizó utilizando un analizador de Carbono, Hidrógeno y Nitrógeno (CHN analyser; Europa, ANCA, Roboprep). Esta técnica requiere la utilización de una pequeña muestra de hueso (aproximadamente 10mg). El porcentaje de Nitrógeno remanente en un hueso es medido por combustión directa de polvo óseo (Hedges *et al.* 1995; Nielsen-Marsh 1997). El valor de Nitrógeno de un hueso fresco es de aproximadamente 4.8%.

DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE POROS

El hueso es un material muy poroso. La distribución de la porosidad en un radio determinado puede determinar la forma en que un hueso interactúa con el agua subterránea y, en consecuencia, la extensión de la alteración diagenética (Pike 1993; Hedges y Millard 1995; Nielsen-Marsh 1997). Los cambios que se observan en la distribución del tamaño de los poros reflejan cambios que se producen en los niveles estructural y químico del hueso en su ambiente de depositación (Pike 1993; Nielsen-Marsh 1997). En este sentido, aspectos de la diagénesis tales como la disolución de los componentes minerales de la fase inorgánica, la recristalización de minerales, la remoción de la proteína de la fase orgánica y la invasión de microorganismos se ven reflejados en los cambios de porosidad del hueso (Pike 1993; Nielsen-Marsh 1997). En general, los huesos arqueológicos han incrementado su porosidad en comparación con los huesos frescos.

Las principales razones por la que se estudia la distribución de la porosidad en el material óseo arqueológico fueron propuestas por Hedges y Millard (1995). Estos autores concluyen que la porosidad determina: 1) la velocidad de reacción entre un sólido y una solución; 2) el volumen de hueso que interactúa con el agua del suelo; 3) la velocidad de difusión entre una solución y un sólido; y 4) las propiedades generales de la conductividad hidráulica del hueso.

La distribución de los poros se midió usando una metodología adaptada de la que se emplea para medir porosidad en suelos (Marshall y Holmes 1988). En este procedimiento, se utilizó una campana que presenta una humedad relativa específica (% RH). Las muestras para este análisis consistieron en fragmentos de huesos con un rango de peso de aproximadamente 200 a 300mg. Se midieron tres diferentes parámetros de porosidad del hueso: porosidad total, microporosidad (menor a 40 Å) y macroporosidad (mayor a 40 Å) (Pike 1993; Hedges *et al.* 1995; Nielsen-Marsh 1997). Nielsen-Marsh (1997) definió como microporosidad a los poros con un radio < 4nm (40Å) (llenados a una humedad relativa de 75%) y macroporosidad a los poros con un radio > 4nm (40Å) (llenados entre una humedad relativa de 75% y saturación). La porosidad total, microporosidad y macroporosidad fueron definidos como el volumen de agua tomado por gramo de muestra de hueso ($\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$) (Pike 1993).

La porosidad total se midió luego de secar las muestras durante más de 12 horas en un horno a 110°C (aproximadamente a 0% RH). La microporosidad fue estimada luego de alcanzar el equilibrio en la campana de humedad a 75% RH. Las muestras de huesos se dejaron en esta campana de humedad por 6 días a 25°C para lograr el equilibrio a 75% RH. La humedad deseada fue obtenida por la creación de un ambiente artificial dentro de la campana utilizando la concentración molar correcta de ácido sulfúrico (3.5 M ácido sulfúrico). Finalmente, la macroporosidad se tomó luego de obtener la saturación de la muestra de hueso a través de la inmersión de la misma en agua destilada (aproximadamente 100% RH) durante más de 12 horas. Cada muestra se pesó tres veces para cada parámetro de la porosidad y luego se calculó el valor promedio. Las siguientes ecuaciones se utilizan para estimar el valor atribuible a cada uno de los parámetros de la porosidad:

$$\text{porosidad total} = \frac{\text{peso saturado} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}}$$

$$\text{macroporosidad} = \frac{\text{peso saturado} - \text{peso 75\% Humedad Relativa}}{\text{peso seco}}$$

$$\text{microporosidad} = \frac{\text{peso 75\% H.R} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}}$$

CRISTALINIDAD

La cristalinidad es considerada un importante rasgo de la diagénesis inorgánica del hueso (Sillen 1989; Tuross *et al.* 1989; Weiner y Bar-Josef 1990). Los cristales que se forman biológicamente en la bioapatita del hueso son extremadamente pequeños y una vez que el organismo muere, se vuelven muy inestables. Esta situación favorece el intercambio químico con el ambiente que lo circunda y se inicia una continua búsqueda de formas termodinámicamente más estables durante el enterramiento del hueso.

La fase mineral de un hueso arqueológico es más cristalino que un hueso moderno (Pate *et al.* 1989; Piepenbrink 1989; Tuross *et al.* 1989; Bartsiakos y Middleton 1992; Hedges *et al.* 1995; Nielsen-Marsh 1997). La cristalinidad en el material óseo arqueológico implica la presencia de cristales de mayor tamaño (cristales más perfectos) y la ausencia de defectos estructurales en comparación con los cristales presentes en el hueso de un organismo vivo. Estas modificaciones en los huesos arqueológicos surgen como consecuencia de la búsqueda de un equilibrio con el ambiente de depositación que los rodea (Piepenbrink 1989).

Los índices de cristalinidad se estiman por una simple ecuación, usando los picos de 567 y 605cm⁻¹ de fosfato ν_4 (Figura V.1) (Weiner y Bar-Yosef 1990; Nielsen-Marsh 1997):

$$\text{IRSF} = \frac{a + b}{c}$$

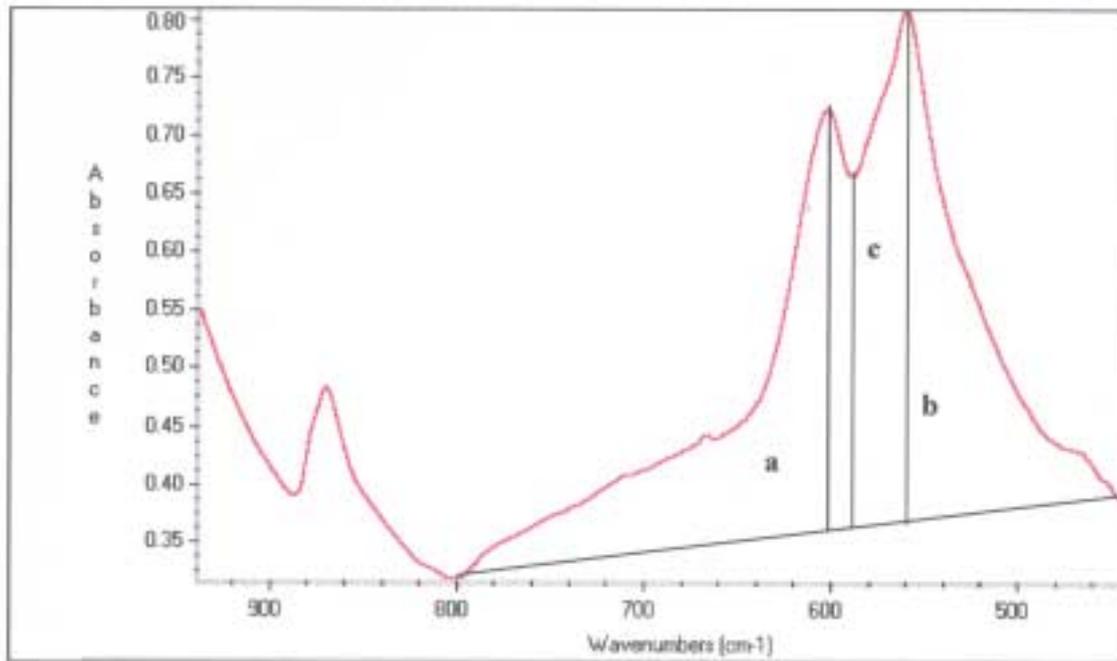


Figura V.1. Espectro utilizado para medir el tamaño de los cristales en los huesos arqueológicos (tomado de Nielsen-Marsh 1997: 82).

donde:

IRSF: es el “infrared splitting factor”, es decir, el “índice de cristalinidad”,

a: es la altura máxima del pico en 605cm^{-1}

b: es la altura máxima del pico en 567cm^{-1}

c: es la altura máxima de la depresión que se forma entre los dos picos.

La cantidad de carbonato (CO_3^{2-}) presente en la bioapatita fue estimado usando el espectro infrarrojo obtenido para cristalinidad. Dos medidas diferentes fueron tomadas con el fin de determinar la presencia de CO_3^{2-} en la muestra de hueso: 1) el contenido total de CO_3^{2-} y 2) el contenido de calcita.

El contenido total de CO_3^{2-} fue estimado utilizando los picos de $(\text{PO}_4^3) \nu_3$ (1035 cm^{-1}) y $\text{CO}_3^{2-} \nu_3$ (1415 cm^{-1}) del espectro del hueso (Nielsen-Marsh 1997). El contenido de carbonato de calcio fue calculado de la proporción entre los picos de carbono (CO_3^{2-}) y fósforo (PO_4^3) (C/P). Los valores de C/P fueron obtenidos del espectro con la siguiente ecuación (Figura V.2):

$$C/P = \frac{a}{b}$$

donde:

a: es la altura máxima del pico en 1415cm^{-1} ,

b: es la altura máxima del pico en 1035cm^{-1} .

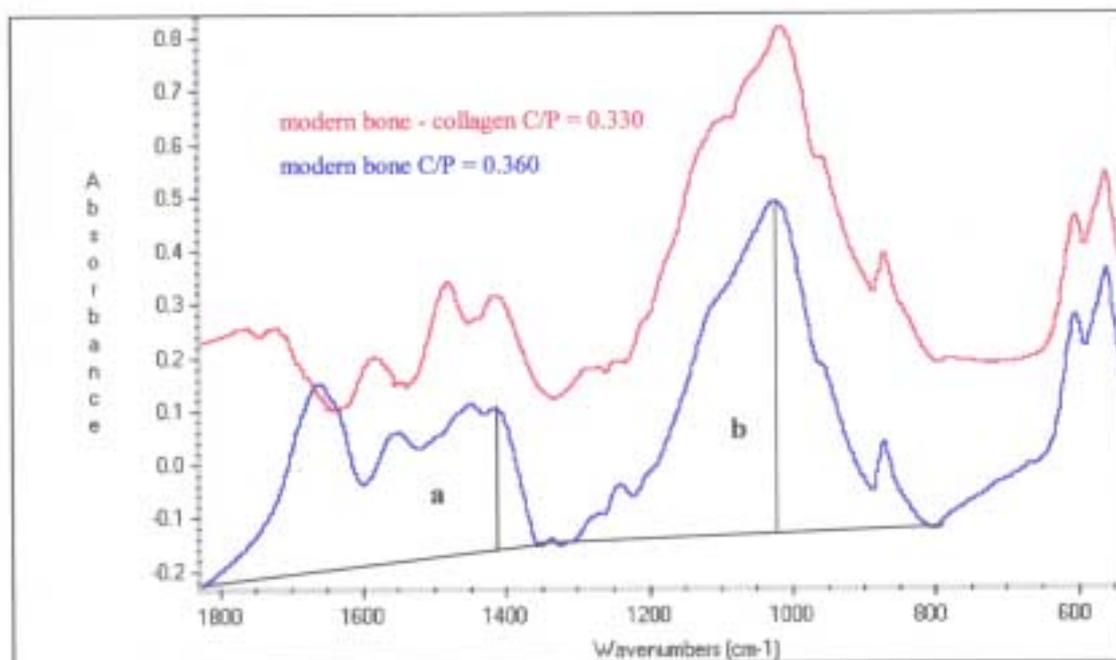


Figura V.2. Espectro utilizado para medir el contenido total de CO_3^{2-} en los huesos arqueológicos (tomado de Nielsen-Marsh 1997: 86).

Los valores de calcita fueron estimados siguiendo la propuesta de Nielsen-Marsh (1997). Los espectros de huesos arqueológicos se compararon con aquellos de muestras obtenidas de la combinación de CaCO_3 analítico y polvo de hueso de un bovino actual en diferentes proporciones (i.e., 5, 10, y 20% de CaCO_3). A partir de esta comparación, se estimó de forma semicuantitativa la cantidad de calcita presente en la muestra analizada (Nielsen-Marsh 1997). La presencia de calcita en los espectros se refleja en los picos 1435 , 875 y 713 cm^{-1} (Figura V.3). Sin embargo, el pico 713 cm^{-1} es el que se utilizó para medir la presencia de calcita en los huesos, ya que es el único que aparece en el espectro debido exclusivamente a la presencia de CaCO_3 y no a otras formas de CO_3^{2-} (Nielsen-Marsh 1997).

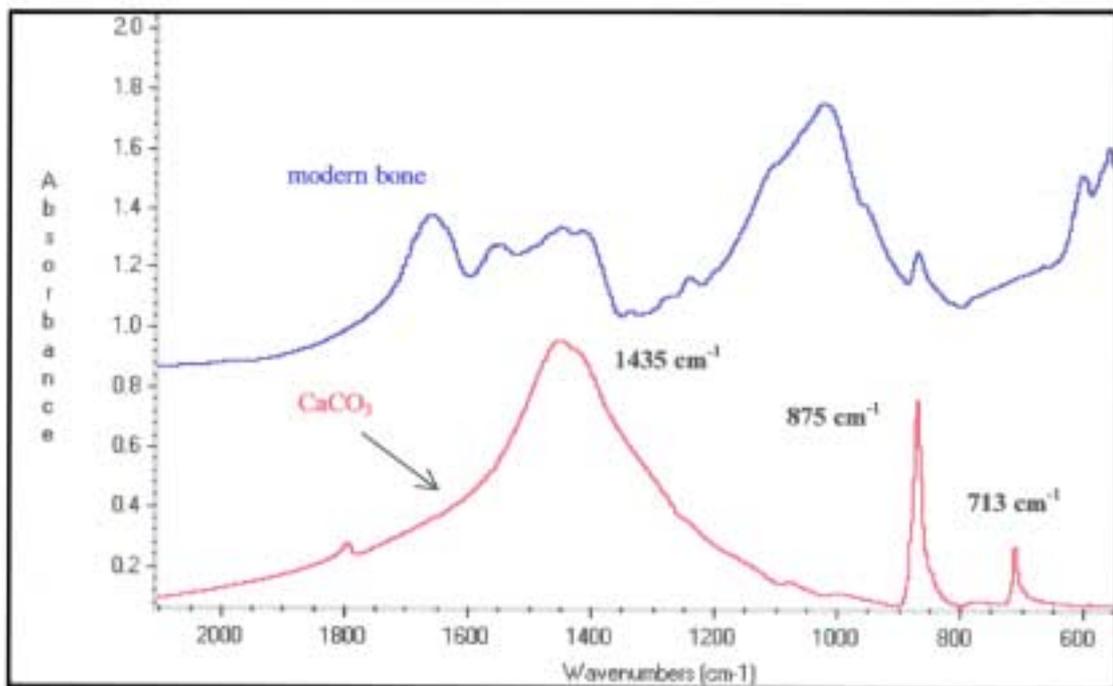


Figura V.3. Espectro utilizado para medir la presencia de calcita en los huesos arqueológicos (tomado de Nielsen-Marsh 1997: 88).

RESULTADOS

INTEGRIDAD HISTOLÓGICA

En la Tabla V.2 y en la Figura V.4 se puede observar en la distribución de las frecuencias de los distintos estadios de diagénesis histológica de los metapodios de guanaco analizados. Los resultados indican que las muestras provenientes de la superficie de estabilización superior presentan frecuencias relativas más altas en los estadios 4 y 5 (mejor preservadas) que las provenientes de la superficie de estabilización media.

Tabla V.2. Distribución de las frecuencias de los estadios histológicos por superficie de estabilización.

Estadios	Superficie de estabilización superior		Superficie de estabilización media	
	Obs	% Frec	Obs	% Frec
1	0	0	2	0
2	5	2	19	3
3	62	21	214	36
4	178	59	275	46
5	55	18	90	15

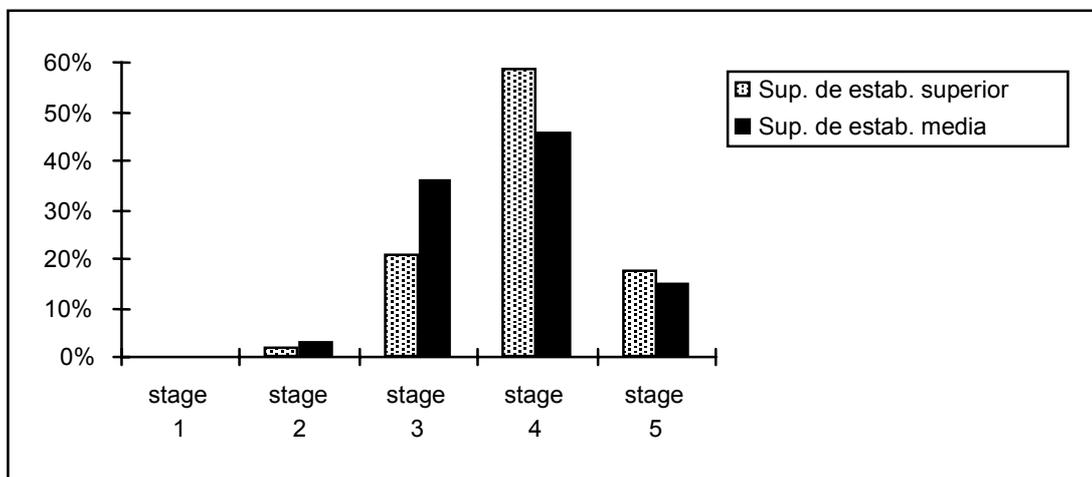


Figura V.4. Frecuencia relativa de los estadios de diagénesis histológica registrados por superficie de estabilización.

PARÁMETROS DIAGENÉTICOS

Los resultados de las mediciones de los parámetros diagenéticos realizados en los huesos provenientes de la superficie de estabilización media se pueden observar en la Tabla V.3 y los de la superficie de estabilización superior, en la Tabla V.4. Se incluyen además, los valores promedios para cada una de las variables medidas con el sólo fin de mostrar la tendencia de cada uno de los conjuntos medidos (Tabla V.5).

Tabla V.3. Valores de los parámetros diagenéticos medidos en metapodios de guanacos de la superficie de estabilización media (ocupación más temprana) del sitio Paso Otero 1. Los valores de hueso moderno de guanaco se incluyen con fines comparativos.

Muestra	%N	Porosidad total	Macroporosidad	Microporosidad	IRSF	C/P	% cal
Guanaco moderno	4,72	0,1332	0,0740	0,0592	2,6	0,369	0
PO1.1.102	0,14	0,3981	0,3214	0,0767	3,4	0,371	10
PO1.1.103	0,12	0,3906	0,3192	0,0714	3,2	0,431	12
PO1.1.104	0,15	0,3700	0,2924	0,0776	3,1	0,39	2
PO1.1.124	0,16	0,3726	0,2952	0,0774	3,6	0,357	4
PO1.1.129	0,15	0,3192	0,2420	0,0772	3,2	0,417	2
PO1.1.230	0,1	0,3239	0,2516	0,0723	3,4	0,404	10
PO1.1.235	0,13	0,3121	0,2349	0,0772	3,2	0,409	3,5
PO1.1'.4.SE	0,24	0,3034	0,2213	0,0821	3,3	0,373	10
PO1.1'.75.NO	0,14	0,3149	0,2431	0,0718	3,7	0,35	10
PO1.3.2.SE.16	0,14	0,4025	0,3321	0,0704	3,3	0,335	3
PO1.3.SE.2a	0,14	0,3699	0,2958	0,0741	3,3	0,406	8
PO1.3.3.SO.0k	0,15	0,3335	0,2683	0,0653	3,3	0,377	7
PO1.3.3.SO.36a	0,15	0,3905	0,3142	0,0763	3,2	0,439	5
PO1.3.2.NO.7	0,14	0,3718	0,2930	0,0788	3,3	0,392	3,5
PO1.3.4.NO.3	0,14	0,4012	0,3236	0,0776	3,4	0,395	4
PO1.3.3.SE.14	0,14	0,3363	0,2561	0,0802	3,4	0,38	6
PO1.4.4.SE.4	0,15	0,4319	0,3543	0,0776	3,3	0,363	3,5
PO1.5.1-2.SO.12	0,15	0,3985	0,3266	0,0719	3,3	0,331	3,5
PO1.5.4.SO.1	0,15	0,3912	0,3183	0,0729	3,4	0,329	7
PO1.6.3.NO.11	0,14	0,3454	0,2773	0,0681	3,4	0,35	3,5

Tabla V.4. Valores de los parámetros diagenéticos medidos en metapodios de guanacos de la superficie de estabilización superior (ocupación más tardía) del sitio Paso Otero 1. Los valores de hueso moderno de guanaco se incluyen con fines comparativos.

Muestra	%N	Porosidad total	Macroporos.	Microporos.	IRSF	C/P	% cal
Guanaco moderno	4,72	0,1332	0,0740	0,0592	2,6	0,369	0
PO1.2.6	0,17	0,3801	0,3104	0,0698	3,4	0,3	2
PO1.2.9	0,17	0,3369	0,2703	0,0666	3,3	0,319	2
PO1.2.85	0,22	0,3808	0,3055	0,0753	3,3	0,291	2,5
PO1.2.88	0,15	0,3602	0,2877	0,0724	3,2	0,356	2,5
PO1.2.131	0,16	0,4069	0,3382	0,0688	3,3	0,346	5
PO1.2.135	0,17	0,4197	0,3328	0,0869	3,3	0,35	0
PO1.2.143	0,17	0,3975	0,3265	0,0710	3,3	0,304	0
PO1.2.166	0,15	0,3933	0,3751	0,0182	3,2	0,333	3
PO1.2.201	0,17	0,4221	0,3506	0,0715	3,7	0,331	2
PO1.2.237	0,18	0,3303	0,2543	0,0759	3,2	0,346	0

Tabla V.5. Valores promedios de los parámetros diagenéticos medidos en metapodios de guanaco de ambas ocupaciones humanas de Paso Otero 1. Los valores de hueso moderno de guanaco se incluyen con fines comparativos.

Muestra	Porosidad total	Macropor.	Micropor.	IRSF	C/P	% cal	%N	Hist
Guanaco moderno	0,1332	0,0740	0,0592	2,6	0,369	0	4,72	5
PO1 (ca. 4.800 AP)*	0,3639	0,2890	0,0748	3,3	0,380	6	0,1	4
PO1 (ca. 2.900 AP)**	0,3828	0,3151	0,0731	3	0,332	2	0,2	4

* Superficie de estabilización media

** Superficie de estabilización superior

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS MULTIVARIADOS

El ambiente de depositación de un sitio tiene una importante influencia sobre los procesos diagenéticos y en el estado de preservación de los huesos (Nielsen-Marsh 1997). Paso Otero 1 representa al menos dos eventos diacrónicos en un ambiente de depositación similar. Las planicies de inundación se definen como áreas adyacentes a los ríos sujetas a inundaciones (Brown 1997). Como ya ha sido señalado en el Capítulo 4, Paso Otero 1 representa una planicie de inundación de baja energía con niveles medios a altos de materia orgánica. Esta alta concentración de materia orgánica es consecuencia de la falta de oxígeno libre (condiciones de anaerobia) debido a la saturación de los suelos (Brown 1997). En este sentido, si se controla la variabilidad que el ambiente de depositación puede introducir al estado de preservación de los huesos de ambas superficies de estabilización, es posible entonces que otros factores extrínsecos (e.g., el tiempo) o intrínsecos (e.g., tipo de hueso) puedan ser investigados.

Con el fin de comparar los dos conjuntos óseos en términos de sus parámetros diagenéticos, se aplicaron análisis estadísticos multivariados. De estos análisis multivariados se seleccionaron dos por su relevancia para investigar las problemas planteados. Ellos son, el análisis del componente principal y análisis de la función discriminante. El primero de estos análisis constituye un vía exploratoria y descriptiva que permite resumir las relaciones entre un conjunto de variables estudiadas y encontrar los principales patrones de variación en los datos y, en consecuencia, no constituye un intento de testear una hipótesis (Manly 1997). Por su parte, el análisis discriminante fue seleccionado porque es un análisis capaz de responder a las preguntas de cómo los grupos son diferentes y cuáles son las variables que más contribuyen a esta diferencia. En este sentido, constituyen una herramienta estadística útil para intentar la posibilidad de separar grupos diferentes de conjuntos óseos sobre la base de las medidas diagenéticas.

Los análisis multivariados constituyen una rama de los análisis estadísticos que involucran la variación simultánea de dos o más variables (Kachigan 1991; Sokal y Rohlf 1995; Manly 1997). En estos análisis los requisitos fundamentales

son 1) que las variables deben estar correlacionadas (positiva o negativamente) para obtener resultados significativos y 2) cada una de estas variables debe ser considerada con el mismo peso estadístico desde el comienzo del análisis (Manly 1997). Con el fin de medir la relación entre las variables diagenéticas incluidas en el análisis multivariado, la correlación entre los datos provenientes de variables originales (Tablas V.3 y V.4) fue calculada (Tabla V.6) y graficada (Figura V.5). El uso de la correlación se justifica en este análisis debido a que las variables diagenéticas fueron medidas en diferentes escalas. La correlación de las variables originales fue igual a la covarianza de las variables estandarizadas. La forma de la distribución de los datos permaneció igual ya que la estandarización (valores Z) es una transformación lineal.

Tabla V.6. Matriz de correlación de las variables diagenéticas originales.

	Microporosidad	Macroporosidad	IRSF	C/P	%N	%CaI
Microporosidad	1,0000	-0,0867	-0,1414	0,3104	0,2191	-0,0830
Macroporosidad	-0,0867	1,0000	0,0912	-0,2939	-0,0574	-0,2406
IRSF	-0,1414	0,0912	1,0000	-0,3235	-0,0237	0,2105
C/P	0,3104	-0,2939	-0,3235	1,0000	-0,5140	0,4476
%N	0,2191	-0,0574	-0,0237	-0,5140	1,0000	-0,2887
%Calcita	-0,0830	-0,2406	0,2105	0,4476	-0,2887	1,0000

ANÁLISIS DEL COMPONENTE PRINCIPAL

Cabe remarcar que este método constituye un medio para simplificar los datos, debido a que reduce la cantidad de variables que pueden ser responsables de la variación de los datos, brindando una visión bidimensional de las múltiples variables analizadas. Este análisis toma en consideración las múltiples variables y halla combinaciones entre ellas para producir los componentes principales independientes. Cada uno de estos componentes principales es una combinación lineal de las variables originales medidas y el número de los mismos es igual al número de variables originales medidas que hayan sido consideradas inicialmente en el análisis (6 en este trabajo). La secuencia de interpretación de los

componentes principales (CP) es: CP1 es el eje que típicamente da cuenta de la mayor proporción del total de variación entre los datos; CP2 es el eje ortogonal al CP1 que da cuenta de la máxima proporción de la variación residual que no ha sido incluida en el CP1; CP3 es el eje ortogonal a todos los CP precedentes que da cuenta de la máxima proporción de la variación residual que no ha sido incluida en todos los CP precedentes.

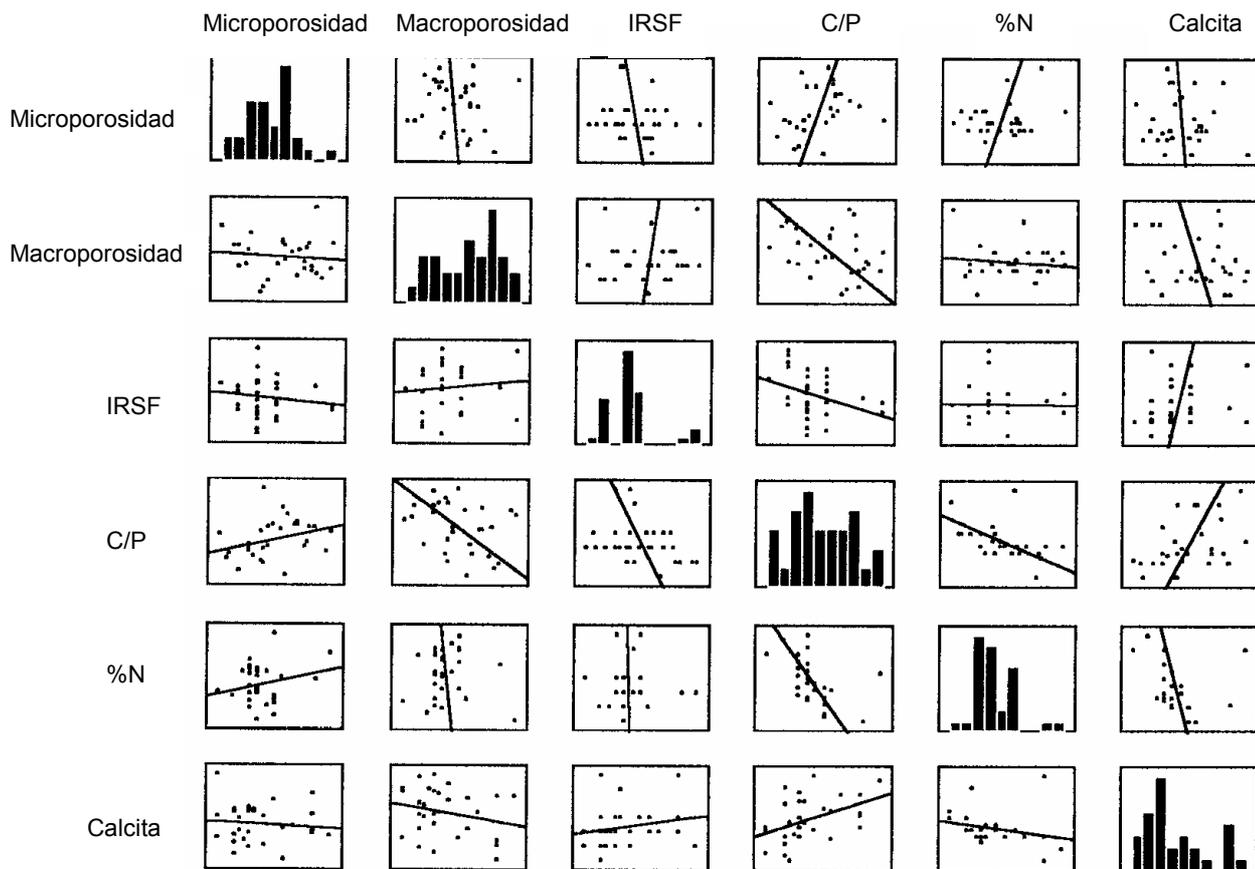


Figura V.5. Gráfico de los valores de correlación de las variables diagenéticas originales medidas.

Una vez que la matriz de correlaciones fue calculada, se llevó a cabo el análisis del componente principal (ACP) (Tablas V.7 y V.8). Los *eigenvalues* (autovalores) (Tabla V.8) representan los porcentajes de variación asociados a cada componente principal. Los resultados de la Tabla V.8 y de la Figura V.6 muestran que existe un patrón de variación de los datos (ver discusión más

abajo). Los coeficientes de carga (loadings) representan la cantidad de variación con que cada variable diagenética contribuye al patrón observado.

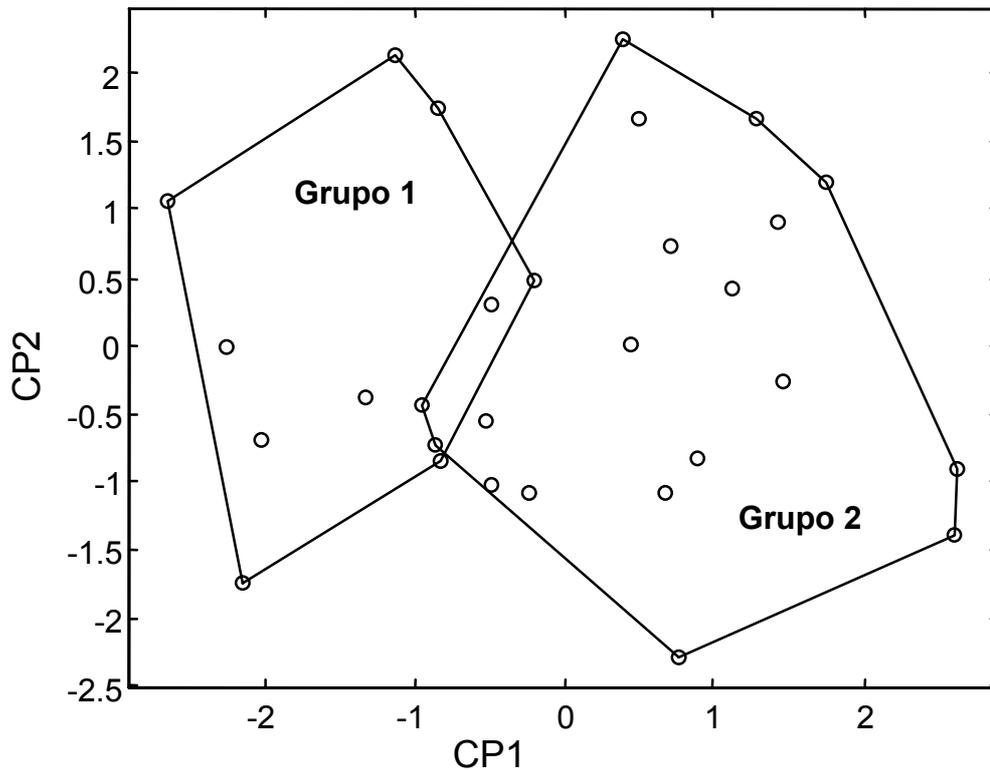
Tabla V.7. Factores de carga (loadings) de las variables diagenéticas sobre los componentes principales.

Variables	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
Microporosidad	0,1208	0,5990	0,1751	0,6773	-0,1371	-0,3441
Macroporosidad	-0,3212	-0,2098	-0,5965	0,5473	0,4261	0,1259
IRSF	-0,1540	-0,5502	0,4813	0,4578	-0,3864	0,2883
C/P	0,6554	0,1703	-0,1491	0,1297	-0,0069	0,7088
%N	-0,4468	0,3844	0,4787	-0,0650	0,4768	0,4380
Calcita	0,4789	-0,3431	0,3611	0,1052	0,6504	0,2974

Tabla V.8. Varianza porcentual obtenida por cada componente principal (PC).

Componentes principales	Eigenvalues
PC1	32,5787
PC2	23,9434
PC3	17,8348
PC4	14,3322
PC5	8,6422
PC6	2,6686

Los resultados del ACP indican que, de los seis componentes principales analizados, CP1 es el eje que da cuenta de la mayor proporción del total de la variación entre los datos analizados (33%); CP2 representa el 24% de la variación y el CP3 el 18% de la variación residual. A pesar de que es posible observar todos los valores de los CP en la Tabla V.8, en este trabajo sólo se hará hincapié en aquellos componentes que representen la mayoría de la varianza (CP1 a CP3).



Grupo 1: superficie de estabilización superior, ocupación humana más tardía
 Grupo 2: superficie de estabilización media, ocupación humana más temprana

Figura V.6. CP1 vs. CP2 de los dos conjuntos óseos analizados.

En lo que respecta al CP1, las variables microporosidad, C/P y calcita obtuvieron valores positivos, mientras que los de macroporosidad, IRSF y %N son negativos. C/P, %N y calcita presentan los valores de carga (*loadings*) más altos. Sin embargo, el %N contribuye en forma negativa al patrón observado en los datos. Los resultados indican que el eje del CP1 da cuenta de la mayor variación identificada y que el resto de la misma se produce dentro de cada conjunto óseo analizado. La Figura V.6 muestra que a medida que uno se mueve a lo largo del eje del CP1, los valores de las variables C/P y calcita se incrementan, mientras que el %N y, en menor proporción, la macroporosidad, decrecen.

En el CP2, microporosidad, C/P y %N poseen valores de carga (*loadings*) positivos, mientras que los de macroporosidad, IRSF y calcita son negativos. La contribución más significativa al CP2 proviene de las variables microporosidad e IRSF. Sin embargo, IRSF tiene valor de carga (*loading*) negativo. A medida que

uno se mueve a lo largo del eje del CP2, se observa que el patrón de variación se da dentro, en vez de entre, los conjuntos analizados. La microporosidad y, en menor proporción, el %N se incrementan mientras que el IRSF decrece.

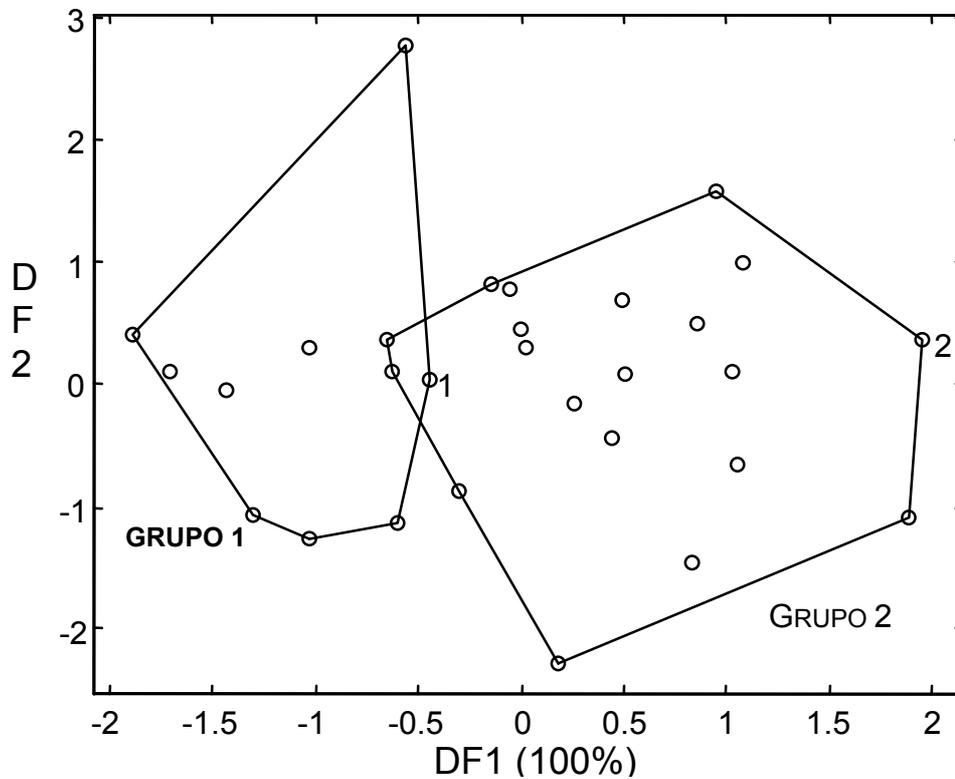
ANÁLISIS DE LA FUNCIÓN DISCRIMINANTE (AFD)

Como ya ha sido mencionado más arriba, en este trabajo el AFD se aplicó porque es una herramienta estadística multivariada útil para entender si es posible separar los grupos (los dos conjuntos óseos) sobre la base de los parámetros diagenéticos (Manly 1997). Este análisis estadístico multivariado presupone que los grupos que se ingresan para su estudio se conocen y son identificados con anterioridad a que se lleve a cabo el análisis. Dichos grupos (dos en este trabajo) se identifican a través de un “vector agrupante”. El AFD crea como resultado dos nuevas variables, denominadas factores discriminantes (FD1 y FD2), los cuales son funciones lineales de las variables originales incluidas en el estudio. A diferencia del ACP, el AFD no necesita que los datos utilizados estén estandarizados ya que los factores discriminantes resultantes no son afectados de ningún modo por la escala en que se miden las variables que se ingresen al análisis (Manly 1997).

Los resultados del AFD se pueden observar en la Tabla V.9 y en la Figura V.7. La variación total del patrón obtenido de los datos está representado en el FD1 (100%). El poder de discriminación más significativo de las variables diagenéticas originales reside en C/P, %N y calcita (Tabla V.9). A medida que uno se mueve a lo largo del eje del FD1, los valores de C/P y calcita se incrementan mientras que los de %N y, en menor proporción, los de macroporosidad, decrecen. La representación gráfica de estos resultados (Figura V.7) muestra que dos grupos son casi completamente distinguibles y que estos grupos (1 y 2 en la Figura V.7) corresponden a los conjuntos óseos de la superficie de estabilización media y superior.

Tabla V.9. Factores de carga (loadings) de las variables sobre el factor discriminante.

Variables	DF1
Microporosidad	0,2170
Macroporosidad	-0,3296
IRSF	0,0075
C/P	0,8556
% N	-0,6376
Calcita	0,7673



Grupo 1 = superficie de estabilización superior.
 Grupo 2 = superficie de estabilización media.

Figura V.7. FD1 vs. FD2 de los dos conjuntos óseos analizados en Paso Otero 1.

ANÁLISIS MULTIVARIADO DE LA VARIANZA (MANOVA)

Como se ha señalado más arriba, es necesario controlar las diferencias que los factores intrínsecos, tales como el tipo de hueso sobre el que se efectuó el análisis diagenético, pueden introducir a los resultados. Es decir, interesa investigar si la combinación de los parámetros diagenéticos puede variar como una función del tipo de hueso que ha sido seleccionado para estudiar (metatarsos y metacarpos). Para ello se ha planteado la siguiente hipótesis:

Hipótesis nula: las diferencias medias de los parámetros diagenéticos entre los tipos de huesos analizados en Paso Otero1 no difieren más de lo esperado que diferencias sólo al azar.

El rechazo de esta hipótesis nula indicaría que la distribución de los parámetros diagenéticos difieren significativamente entre tipos de huesos (esto constituiría la hipótesis alternativa) y brindaría evidencia acerca de las diferencias de preservación entre los elementos óseos en la colección de Paso Otero 1. En consecuencia, con el propósito de testear esta hipótesis se ha calculado el análisis multivariado de la varianza (MANOVA). La robustez del análisis se comprobó utilizando el método “*bootstrap*” (reordenamiento al azar de los datos) con 1000 iteraciones. En este trabajo en particular, MANOVA trabaja testeando la hipótesis a través de la comparación de las varianzas de las variables diagenéticas. MANOVA crea una nueva variable que consiste en una combinación lineal que resulta del conjunto original de variables, combinada de tal modo que maximiza las diferencias entre los grupos y separa los mismos tanto como es posible (Tabachnick y Fidell 1989).

El tamaño de la muestra empleado para testear esta hipótesis consiste en 13 metatarsos y 13 metacarpos. Los restantes 4 huesos (de un total de 30 huesos analizados) que forman parte de la muestra diagenética no fueron incluidos en este test estadístico porque sólo fue posible determinarlos anatómicamente como metapodios. Los rasgos diagnósticos no estaban presentes en los fragmentos óseos como para posibilitar la distinción entre metacarpo o metatarso.

El test MANOVA fue elegido para su aplicación ya que considera la combinación de las variables originales medidas y puede identificar diferencias

entre grupos. Los análisis simultáneos de múltiples variables ofrecen la ventaja de proteger al test del error Tipo I debido a que se trata de múltiples tests de variables correlacionadas (Tabachnick y Fidell 1989). Sin embargo, la aplicación de este test conlleva a la aceptación de varios supuestos estadísticos. En este sentido, MANOVA está basado en la distribución multivariada normal. Este supuesto significa que la distribución muestral de los promedios de las variables diagenéticas y todas las combinaciones lineales de las mismas están distribuidas normalmente. El segundo supuesto indica que más elementos que variables deberían aparecer en cada celda con el fin de evitar reducir el poder del análisis. El tercer supuesto trata acerca de la homogeneidad de la varianza para cada una de las variables medidas (Tabachnick y Fidell 1989).

Los resultados del análisis de la varianza MANOVA indican que las diferencias medias de los parámetros diagenéticos entre los tipos de huesos analizados no es significativa ($\lambda = 0.7604$; $F = 0.9979$; $p = 0.4400$; $DF = 24$ y 25). En consecuencia, la hipótesis nula no puede ser rechazada. Este resultado indica que no existe ningún patrón de variación en los parámetros diagenéticos cuya causa se deba al tipo de hueso que se ha seleccionado para su análisis. Al eliminar la posibilidad de que los resultados hubiesen estado determinados por el tipo de hueso elegido, se reduce entonces la gama de factores causales capaces de explicar el patrón de variación diagenética observada en Paso Otero 1 (ver discusión más adelante).

ANÁLISIS DE VARIANZA (TWO-LEVEL MIXED MODEL NESTED ANOVA)

La integridad histológica de los huesos forma parte del conjunto de los parámetros diagenéticos medidos en Paso Otero 1 pero, a diferencia de los demás parámetros, los datos son discretos. Por este motivo, esta variable fue testada de forma separada del resto de los parámetros (datos continuos). Las distribuciones de las frecuencias de los índices histológicos de los metapodios provenientes de la superficie de estabilización media y superior fueron

comparadas usando a *two-level mixed model nested ANOVA* (Sokal y Rohlf 1995). Para ello se ha planteado la siguiente hipótesis:

Hipótesis nula: la distribución de los índices histológicos entre los dos conjuntos de huesos (las dos superficies de estabilización) en Paso Otero 1 no difiere más de lo esperado para diferencias al azar.

El rechazo de esta hipótesis nula indicaría que la distribución de los índices histológicos difiere significativamente entre los conjuntos óseos (hipótesis alternativa) y brindaría evidencias acerca de la preservación diferencial de los rasgos histológicos entre las superficies de estabilización media y superior.

El análisis estadístico de *nested ANOVA* fue seleccionado porque utiliza datos discretos y porque además realiza la comparación a dos niveles. Los dos conjuntos óseos representan el “efecto del tratamiento fijo” y constituye el nivel de comparación más alto. En este primer nivel de comparación, el test estadístico comprueba si existen o no diferencias en la distribución media de los efectos histológicos entre los dos conjuntos óseos. Los huesos recuperados en Paso Otero 1 constituyen una muestra elegida al azar y representan, además, el segundo nivel jerárquico de comparación de este test estadístico. A este nivel, el *nested ANOVA* comprueba si la varianza adicional de los estadios histológicos son o no significativamente diferentes entre cada muestra debido al hecho de que las observaciones provienen de diferentes huesos.

Los resultados de este test estadístico indican que la distribución de los estadios histológicos difieren significativamente entre los dos conjuntos óseos ($p < 0.001$). La hipótesis nula ha sido rechazada a un nivel de significancia de 0.05. La distribución de las frecuencias de los estadios histológicos de los metapodios analizados está indicada en la Tabla V.2 y graficada en la Figura V.4. Como se puede observar allí, el conjunto óseo más tardío presenta las frecuencias relativas más altas en los estadios 4 y 5 (mejor preservación) en comparación con el conjunto óseo más temprano del sitio (Figura V4).

DISCUSIÓN

Los resultados de los análisis diagenéticos indican que el contenido de nitrógeno constituye una de las variables que más influye sobre la variación en los datos que se observa en los conjuntos óseos analizados en Paso Otero 1 (ver Tabla V.7 y Figura V.6). Como se ha expresado más arriba, el contenido de nitrógeno mide la cantidad de proteína remanente en los huesos, la cual está controlada principalmente por la acción de los microorganismos. La presencia de microorganismos en Paso Otero 1 es aparente a través de los efectos identificados en los huesos, tales como los hoyos de disolución química (48% en la superficie de estabilización media y 56% en la superior) (Tabla IV.16 y Figura IV.16) y de la alteración de la estructura histológica de los mismos (Tabla V.2 y Figura V.4). Los hoyos de disolución observados en la superficie cortical de los huesos estarían relacionados a la acción de los ácidos presentes en el microambiente de depositación y excretados por hongos y/o algas durante los primeros momentos de la descomposición de las carcasas. Además, las actividades de hongos y de microbios, asociadas con los pelos más finos de las raíces de la vegetación, pueden ser responsables de la disolución química de la superficie cortical del hueso. Los túneles y la redepositación de minerales son rasgos histológicos comunes en los huesos de Paso Otero 1 y reconocidos como resultado de cambios diagenéticos inducidos por microorganismos que alteraron la integridad histológica del material óseo.

Los resultados de los análisis diagenéticos indican que la proteína se encuentra menos preservada en el conjunto óseo proveniente de la superficie de estabilización media. Esta alteración en el contenido de nitrógeno está acompañada por un incremento en la porosidad y, en consecuencia, los huesos que provienen de esta superficie fueron más susceptibles a los cambios diagenéticos (Tabla V.7 y Figura V.6). Los resultados graficados en las Figuras V.6 y V.7 claramente muestran que los datos de cada conjunto óseo pueden agruparse y formar una unidad diferente, reflejando perfiles diagenéticos distintos. A pesar de esta situación, el estado general de preservación de los huesos en ambos perfiles es muy pobre y las tendencias son similares. La diferencia

principal entre ellos no reside en el camino diagenético seguido por cada uno de ellos sino en la intensidad de los procesos.

Con el fin de identificar las causas que podrían dar cuenta de la variación existente entre los perfiles diagenéticos, se evalúan en esta discusión los posibles escenarios ambientales. Cada una de las propuestas es evaluada a la luz de los datos disponibles para Paso Otero 1 y de las particularidades del sitio. Esto significa que los factores que se proponen como responsables de los perfiles diagenéticos obtenidos tal vez sean útiles para explicar el estado de preservación de los huesos de Paso Otero 1. La escasez de estudios de esta naturaleza y la gran diversidad de variables que entran en juego una vez que los huesos son enterrados, dificultan la fácil identificación de los factores responsables de la preservación ósea. No obstante, la incorporación de nuevos análisis y situaciones contribuyen a enriquecer el amplio espectro de variables y formar así un *corpus* de información que permita en el futuro un mejor entendimiento de la diagénesis ósea.

Un posible escenario que permita interpretar los resultados de los parámetros diagenéticos es que los huesos provenientes de la superficie de estabilización media (preservación más pobre) habrían sido enterrados en un ambiente en donde prevalecían largos períodos con bajos niveles de agua disponible y, en consecuencia, con condiciones aeróbicas que habrían dado lugar a una intensa degradación de la proteína por microorganismos. Sin embargo, esta explicación parece poco probable teniendo en cuenta el modelo paleoclimático generado para la región que indica condiciones más templadas y húmedas durante el Holoceno medio (ubicación cronológica de la superficie de estabilización media) (Iriondo y García 1993; Tonni 1992). En términos generales, durante este período habrían existido en la región, mayor disponibilidad de agua superficial y niveles más altos de la napa freática. En consecuencia, este modelo paleoclimático regional no explica el menor grado de preservación de la proteína en la superficie de estabilización media en comparación con la superior. De todos modos, se conoce que la utilización de estos modelos paleoclimáticos regionales presentan limitaciones de escala cuando se los quiere emplear para interpretar casos puntuales, tales como los que se presentan aquí. Sin embargo, se

considera que, a fin de poder hacer entrar en juego la variable paleoclimática, es necesario comenzar con esta escala más regional y, en segundo lugar y en caso de disponibilidad, combinar los resultados obtenidos por diversas líneas de evidencias desarrolladas en el mismo sitio de estudio (ver más adelante discusión con los resultados isotópicos llevados a cabo en Paso Otero 1 por Steffan 2000).

Otra posible explicación de los resultados de los análisis diagenéticos considera que los mismos serían una consecuencia de la combinación de los efectos del agua, la temperatura, los microorganismos y el tiempo. En realidad, este escenario no plantea diferencias en lo que respecta a las condiciones ambientales de las dos superficies de estabilización, más bien, evalúa el rol jugado por cada una de las variables en los respectivos ambientes. Paso Otero representa un lugar de estudio ideal en el sentido que los dos conjuntos óseos bajo estudio provienen de horizontes A enterrados (superficies de estabilización). Para que estas superficies se desarrollen, ciertas condiciones ambientales deben ocurrir. A la luz de los datos disponibles se podría suponer que ambas superficies presentan las mismas características paleoambientales, pudiendo variar por ende, la intensidad con que cada variable pudo haber contribuido a los perfiles diagenéticos resultantes.

Comenzando a analizar algunos de los componentes del ambiente de depositación que pudieron influir en el estado de preservación de los huesos, se propone que el agua constituyó una variable común en ambas ocupaciones humanas. El agua habría estado presente durante el enterramiento en ambos conjuntos óseos y relacionada con fluctuaciones asociadas tanto a cambios estacionales así como a locales. Los modelos paleoclimáticos de la región sugieren que el clima durante las ocupación humana de la superficie de estabilización media del paisaje habría sido más cálido que durante la superficie superior u ocupación más tardía del sitio (Iriondo y García 1993; Tonni 1992). A pesar de que las temperaturas anuales son aún desconocidas para la región durante la ocupación del sitio, los datos *proxy* indican que los cambios producidos en la temperatura fueron suficientes como para producir migraciones, *drifting* y reemplazos en las especies animales y vegetales (Tonni 1992; Prieto 1996; Iriondo y García 1993). En consecuencia, la diferencia en temperatura pudo haber

jugado un rol importante en determinar los diferentes perfiles diagenéticos existentes entre los dos conjuntos óseos, a través de la variación de la tasa de la mayoría de las reacciones químicas y del rango de especies de microorganismos presentes bajo diferentes condiciones (von Endt y Ortner 1984).

Por otra parte, la actividad de los microorganismos fue intensa y continua luego del enterramiento en ambas superficies de estabilización. El agua y la temperatura determinaron el rango de microorganismos, principalmente de hongos y bacterias, que atacaron la proteína de los huesos. El agua presente en el ambiente de depositación inmediato de los huesos enterrados proveyó iones minerales que sustituyeron el mineral original de los huesos y, en consecuencia, debilitaron las uniones entre la proteína y la matriz mineral. En este caso, el agua contribuyó también a la hidrólisis de la proteína. Además, las inundaciones periódicas asociadas con las fluctuaciones del río proveyeron agua al asentamiento y crearon condiciones temporarias de reducción, anaerobia y de pobre drenaje. La descomposición anaeróbica y aeróbica se alternaron dependiendo de la fluctuación del nivel de agua y de la tasa de difusión de oxígeno al sistema. Una vez que el oxígeno fue reducido ya sea por putrefacción o por la saturación del suelo, los microorganismos anaeróbicos ocuparon un rol central en la degradación de la proteína. Con el fin de descomponer el colágeno, la actividad microbiológica debe tener la capacidad tanto de desmineralizar el hueso o de crecer en un ambiente donde la desmineralización suceda (Child 1995).

Como resultado de la actividad microbiológica, los microorganismos dejaron rasgos exóticos (túneles) en la estructura histológica del hueso. Estos rasgos se produjeron por causa de la disolución de la porción inorgánica (fase mineral) del hueso por ácidos orgánicos metabólicos, excretados por los microorganismos (von Endt y Ortner 1984). En un ambiente con condiciones aeróbicas, la tasa de descomposición de la proteína ósea es mayor que en uno con condiciones anaeróbicas. Esto se debe a que un ambiente aeróbico puede sustentar una población mayor de microorganismos y que los procesos de degradación ocurridos allí son más intensos durante la oxidación. Sin embargo, un rápido aumento de la población de microorganismos aeróbicos puede

favorecer la creación de condiciones anaeróbicas una vez que la tasa de consumo de oxígeno supera la tasa de difusión del mismo (Child 1995). A pesar de que el rango de microorganismos que este ambiente anaeróbico sustentó fue más pequeño, la degradación de la proteína ósea continuó. No obstante, si la actividad microbiológica se hubiese detenido o hubiese sido más lenta, la descomposición de la proteína pudo haber proseguido a causa de la hidrólisis química. La hidrólisis de las uniones péptidas de la proteína ósea es una de las principales entre las posibles transformaciones químicas que pueden producirse en los huesos enterrados.

Es evidente que todos estos factores ambientales actúan a lo largo de la variable tiempo. La cantidad de nitrógeno presente en los huesos enterrados decrece exponencialmente con el transcurso del tiempo (von Endt 1979) y, si las condiciones ambientales permanecen estables y constantes, la tasa de degradación del colágeno debiera entonces ser constante (Ortner *et al.* 1972; von Endt 1979). Resulta improbable la idea de que ambos conjuntos óseos en Paso Otero 1 representen un sistema ambiental cerrado sin cambios a través del tiempo (Tonni 1992; Prieto 1996; Iriondo y García 1993; Alberdi *et al.* 1993).

Las implicaciones y las expectativas que surgen de considerar ya sea a la temperatura o al tiempo como la variable de mayor importancia en la degradación de los huesos enterrados en Paso Otero 1 son las siguientes:

1. Si la temperatura es considerada como el factor más importante en la determinación de la variación de los perfiles diagenéticos de los conjuntos óseos de Paso Otero 1, los resultados de los análisis de los huesos recuperados en el sitio deberían verse reflejados en las curvas de paleotemperaturas disponibles para la región (Bonadonna *et al.* 1995, Steffan 2000). En esta oportunidad se estarían utilizando los análisis isotópicos para evaluar la correspondencia entre los datos isotópicos y diagenéticos y, de este modo, contrastar la hipótesis planteada en este punto. Steffan (2000) llevó a cabo análisis de los isótopos estables de ^{18}O y ^{13}C y de diversidad de especies de gasterópodos presentes en Paso Otero 1 con el fin de analizar las condiciones paleoclimáticas del sitio, evaluar la evolución local del ambiente durante el Holoceno medio y tardío y realizar una delimitación areal y temporal de la situación climática y ambiental

más precisa, en especial, durante momentos de ocupación del sitio. Los resultados obtenidos por esta autora (Tabla V.10) indican que las diferencias de los valores isotópicos obtenidos para ambas superficies de estabilización no son estadísticamente significativas. Esto apoyaría la idea propuesta de que las condiciones ambientales y de depositación de ambos conjuntos óseos habrían sido similares en las dos superficies y rechazaría la hipótesis de que la temperatura habría jugado un papel central en la determinación del estado de preservación de los huesos en Paso Otero 1.

Tabla V.10. Resultados promedios obtenidos de los valores de isótopos estables de gasterópodos provenientes de las dos ocupaciones humanas del sitio Paso Otero 1. Tomado de Steffan (2000: 98).

Muestra	Procedencia	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$	Cronología
1	Superficie de estabilización superior	-6,59 ‰	-3,25 ‰	ca. 2900 AP.
2	Superficie de estabilización media	-7,35 ‰	-3,28 ‰	ca. 4800 AP.

Sin embargo, si los valores isotópicos se analizan independientemente, existen ciertas tendencias en los resultados que merecen ser destacados (Tabla V.11). Es importante mencionar que las tendencias paleoclimáticas observadas en el sitio no presentan contradicciones con las planteadas por Bonadonna *et al.* (1995) para la región. En este sentido, Steffan (2000) señala la existencia de un proceso lento de variaciones en la humedad que se evidencia desde los ca. 4,800 años AP, acentuándose gradualmente la aridez del ambiente. Por su parte, hacia los ca. 2.900 años AP se evidencia un leve ascenso de la temperatura. Si se tiene en cuenta esta información, la hipótesis de que la temperatura es el factor responsable en la determinación de los perfiles diagenéticos en Paso Otero 1, es contradictoria. Esta afirmación se basa en que si la temperatura es mayor durante la ocupación de 2.900 años AP, se espera entonces un grado de preservación más pobre de los huesos recuperados en la superficie de estabilización superior,

situación que no ocurre. Por el contrario, en comparación, el conjunto óseo recuperado en esta superficie es el que presenta el mejor estado de preservación.

Tabla V.11. Resultados obtenidos del análisis de isótopos estables de gasterópodos provenientes de las superficies de estabilización media y superior de Paso Otero 1. Modificado de Steffan (2000).

Muestra	$\delta^{13}\text{C}_{\text{‰ PDB}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{‰ PDB}}$
Superficie de estabilización superior	-6,51	-3,31
Superficie de estabilización superior	-6,36	-3,15
Superficie de estabilización superior	-6,90	-3,30
Superficie de estabilización media	-7,32	-3,38
Superficie de estabilización media	-7,36	-3,30
Superficie de estabilización media	-7,39	-3,18

2. Si los perfiles diagenéticos de Paso Otero 1 son considerados como el resultado de la acción continua de diferentes factores a lo largo del tiempo, el análisis multivariado, específicamente el análisis del componente principal, de los datos de conjuntos óseos de diferente cronologías debería reflejar una situación similar a la obtenida aquí. En este sentido, el análisis debería ser capaz de identificar los grupos analizados, mostrando cierta coherencia y unidad en el agrupamiento de los valores. En este caso, se interpreta que la distribución de las muestras sobre las dos variables multivariadas (CP1 y CP2) corresponden a un espacio cronológico. Si bien esta comparación entre sitio de los perfiles diagenéticos se desarrolla en detalle más adelante (ver Resultados y Discusión, en este mismo capítulo), aquí se puede mencionar que los resultados del análisis del componente principal distingue claramente dos grupos, uno constituido por PO1 (ambas ocupaciones) y PO3 y el otro, por PO5. El contenido de proteína remanente en el hueso es también aquí una de las variables que mayor contribuye a la distribución de los valores en grupos (o perfiles diagenéticos). Si

consideramos entonces que CP1 es el eje cronológico, se puede concluir que a medida que se recorre este eje de izquierda a derecha, aumenta el contenido de %N, es decir, que habría un aumento en la cantidad de proteína remanente. Este enunciado apoyaría la idea que el tiempo juega un rol importante en la definición de los perfiles diagenéticos en Paso Otero.

En síntesis, una hipótesis destaca la importancia del clima en la determinación de los diferentes perfiles diagenéticos y la otra, la acción continua de la combinación de factores diagenéticos a lo largo del tiempo como principal explicación de la variabilidad observada en el estado de preservación de los conjuntos óseos de Paso Otero 1. Es importante tener en cuenta algunos puntos al momento de realizar conclusiones acerca de los factores responsables de introducir variación en los perfiles diagenéticos del sitio. El primero de ellos es que las reconstrucciones paleoambientales y paleoclimáticas que son usadas aquí como marco de referencia para la interpretación de los datos, constituyen modelos generales para una región más extensa (la región pampeana) a la estudiada (cuenca media del río Quequén Grande). En consecuencia, los cambios y fluctuaciones locales dentro del área de estudio pueden estar subrepresentados en este modelo general. En segundo término, este estudio sólo incluye dos puntos distintivos de un *continuum* en el tiempo. Es necesario incorporar en futuros estudios muestras que cubran un mayor rango de tiempo y de condiciones ambientales. Estos nuevos resultados contribuirían a identificar los factores responsables de los perfiles diagenéticos en Paso Otero 1.

Los resultados de los análisis multivariados, en particular del componente principal (CP), indican que los valores de ambos conjuntos óseos pueden ser agrupados, a excepción de unos escasos datos que se superponen (Figura V.6). Las variables que contribuyen mayormente a la varianza de los datos son C/P, %N y calcita. Coincidentemente, estas variables son también las que muestran el poder de discriminación más alto en los análisis del factor discriminante (FD) (Figura V.7). Durante el entierro, el contenido de carbonato de los huesos pudo haberse incrementado por la depositación de calcita en los espacios libres de los poros y, como parte del mismo proceso, la macroporosidad decreció (a través del bloqueo de los espacios porosos debido a la cristalización de la calcita). En caso

de que el contenido de carbonato de calcio registrado en los huesos fuese el resultado de la cristalización de la calcita, tal como se propuso más arriba, la remoción de este carbonato diagenético es más fácil y simple que si el mismo hubiera sido introducido dentro de la matriz de la bioapatita, ya que se trataría de un carbonato estructural.

Los resultados de la distribución de los estadios histológicos muestran que las frecuencias más altas de rasgos mejores preservados se encuentran en la ocupación humana más tardía (superficie de estabilización superior) (Tabla V.2; Figura V. 4). Estos resultados coinciden con el hecho de que este conjunto óseo también presenta los valores más altos de proteína remanente. En conclusión, los huesos provenientes de la superficie de estabilización superior están mejor preservados y poseen valores más altos de proteína en comparación con los que se recuperaron en la superficie media, apoyando de este modo, la idea de que en Paso Otero 1 la acción continua de la combinación de varios procesos diagenéticos a través del tiempo jugó un rol central en la determinación de los perfiles diagenéticos y, en consecuencia, en el estado de preservación de los conjuntos óseos.

ANÁLISIS DIAGENÉTICO COMPARATIVO EN LA LOCALIDAD PASO OTERO

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 700m (Figura IV.1). La estratigrafía en todos los casos es aquella que se ha descrito para el sitio Paso Otero 1 (Capítulo 4), registrada además, en la mayoría de los valles fluviales de la región pampeana. 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. Como ya ha sido descrito en el Capítulo IV, a lo largo de esta porción estratigráfica se han identificado, según el sitio de que se trate, diferentes superficies de estabilización del paisaje 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 sedimento de las superficies de estabilización.

Con el fin de llevar a cabo la comparación de las alteraciones diagenéticas producidas en cada uno de los conjuntos óseos, se resumen las características de los sitios estudiados. En el caso del sitio Paso Otero 1 se identificaron 3 superficies de estabilización del paisaje donde, tanto en la superior (ca. 2.900 años AP) como en la media (ca. 4.800 años AP) se registraron 2 eventos de ocupación humana (ver Capítulo IV) (Gutierrez *et al.* 1997; Johnson *et al.* 1997; Gutierrez 1998; Martínez 1999).

En el caso del sitio Paso Otero 3 se identificaron 4 superficies de estabilización del paisaje y, en el contexto de la cuarta superficie, se registró un depósito arqueológico datado en ca. 4.800 años AP (Martínez 1999) que fue caracterizado como un sitio de actividades específicas, relacionado principalmente a la caza del guanaco y a su procesamiento primario, aunque otras presas como vizcacha y venado también fueron explotados en el sitio (Martínez 1999; Martínez *et al.* 1999; Martínez *et al.* 2001).

Por último, en el sitio Paso Otero 5 se detectaron 6 superficies de estabilización del paisaje 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 10 *taxa* de megamamíferos extintos. Esta ocupación presenta dos fechados radiocarbónicos, ca. 10,200 años AP (Martínez 1999, 2000-2002, 2001) y ca. 10,450 años AP (Martínez 2001). 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 1997, 1999, 2000-2002, 2001).

ASPECTOS METODOLÓGICOS DEL ESTUDIO DIAGENÉTICO COMPARATIVO

Como ha sido expresado más arriba, todos los conjuntos óseos analizados provienen de superficies de estabilización del paisaje localizadas en planicies de inundación. En Paso Otero 1 las 2 superficies se encuentran en sedimentos claramente asignables al miembro Río Salado de la Formación Luján, en Paso

Otero 3 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 presume que las características del ambiente de depositación son similares, es decir, que en general se trataría de ambientes: de baja a muy baja energía, con sedimentación lenta, con importante actividad biológica (e.g., plantas), con alta concentración de materia orgánica, donde el agua y los microorganismos fueron factores comunes a cada una de las superficies. Dadas estas características compartidas, se plantea la Hipótesis Nula de que no existe una preservación diferencial de la estructura interna de los huesos provenientes de los sitios de la localidad arqueológica Paso Otero. La contrastación de esta hipótesis se realiza mediante la cuantificación de las alteraciones diagenéticas y la aplicación de dos análisis multivariados. Los parámetros diagenéticos medidos son los mismos que se utilizaron en Paso Otero 1 y que ya fueron descritos en detalle en este capítulo (Porosidad, Cristalinidad, Contenido de carbonatos diagenéticos, Calcita, Nitrógeno e Integridad histológica).

A excepción del material óseo de PO5, todas las muestras analizadas corresponden a la porción media de diáfisis de metapodio de guanaco. Las muestras de Paso Otero 5 provienen de huesos de megafauna ya que en este sitio sólo se recuperaron 2 unidades anatómicas de guanaco. Las muestras utilizadas en este análisis 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: Sexta superficie de estabilización: 9 muestras

4) Muestra control: 1 muestra de guanaco moderno

5) TOTAL de las muestras procesadas: 50

Con respecto a los test estadísticos seleccionados para contrastar la hipótesis planteada se utilizaron los análisis multivariados. Dentro de estos análisis se realizaron los de componente principal y los de factor discriminante, los mismos que fueron utilizados para Paso Otero 1 y explicados en este capítulo.

Con el fin de explorar la idea de que la cronología juega un rol central en la determinación de los perfiles diagenéticos de Paso Otero (ver en este capítulo, discusión en Paso Otero 1), se aplican dos aproximaciones diferentes del análisis discriminante, la distancia de Mahalanobis y la clasificación *Jackknife*. La pregunta que se intenta responder con la aplicación del análisis discriminante es acerca de qué tan bien es posible separar los distintos grupos de huesos analizados dadas las variables diagenéticas medidas en estos huesos. La distancia de Mahalanobis se utiliza para medir la distancia que existe entre una observación multivariada individual y el centro de la población donde dicha observación proviene (Manly 1997). En este análisis, la distancia existente entre cada "individuo" y su centro es calculada y como resultado se obtiene la asignación de dicho individuo al grupo más cercano. Este nuevo grupo asignado puede o no ser el grupo al cual el individuo pertenece. El porcentaje de asignaciones correctas (cantidad de individuos que permanecen en el grupo del cual provienen) refleja la habilidad que tienen las variables de separar los grupos analizados. Por su parte, la clasificación *Jackknife* permite ajustar aún más la función discriminante de la distancia de Mahalanobis, a través de la asignación de cada individuo al grupo más cercano sin utilizar dicho individuo para la determinación del centro del grupo. En la práctica no aparecen diferencias significativas entre la clasificación directa y la clasificación *Jackknife*. En general, esta última metodología brinda un número menor de asignaciones correctas. Es importante su aplicación en este caso de estudio ya que interesa conocer cuál es el grado de similitud entre los distintos grupos analizados, específicamente entre la ocupación más temprana de Paso Otero 1 y Paso Otero 3, las cuales comparten la cronología de 4.800 años AP. Estas metodologías exploran la propuesta aquí planteada acerca del papel central de la variable tiempo en la

variabilidad de los perfiles diagenéticos. Si este enunciado es correcto, se espera que aquellos individuos de los dos sitios antes mencionados que no están correctamente asignados a sus grupos de pertenencia, se los asigne entonces al otro grupo que comparte la cronología.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Tablas V.12 y V.13 se presentan los resultados de cada uno de los parámetros diagenéticos medidos en los huesos de los sitios Paso Otero 3 y 5. Los resultados de las dos ocupaciones de Paso Otero 1 pueden observarse en las Tablas V.3 – V.5. Se presenta además, un resumen de los valores promediados de los parámetros diagenéticos de cada uno de los conjuntos óseos analizados (Tabla V.14). Se incluye en todos los casos los valores de hueso moderno con fines comparativos. Estos valores promediados de todos los sitios estudiados fueron graficados en la Figura V.8 con el fin de identificar y comparar los perfiles diagenéticos obtenidos para cada caso. Para tal fin, los valores promedios fueron transformados a *z-score* debido a que cada variable representa escalas diferentes; dicha transformación permite el manejo de todas las variables en un único gráfico.

Siguiendo a Nielsen–Marsh y Hedges (2000), se realizaron correlaciones (*rho* de Spearman) de aquellas variables que estos autores consideran como representativas del grado de alteración diagenética que los conjuntos óseos pueden mostrar. El coeficiente de correlación de Spearman fue elegido porque no tiene como requisito el supuesto de la normalidad. Los análisis se aplicaron a nivel intra e inter sitio. Los resultados del coeficiente *rho* de Spearman fueron testeados para conocer la probabilidad de que dichas correlaciones se produzcan por azar (correlación espúrea) o verdaderas correlaciones (Tablas V.15 – V.19).

Tabla V.12. Valores de los parámetros diagenéticos medidos en metapodios de guanacos del sitio Paso Otero 3. Los valores de hueso moderno de guanaco se incluyen con fines comparativos.

Muestra	%N	Hist	Porosidad total	Macropor	Micropor	IRSF	C/P	% calc
Guanaco moderno	4,72	5	0,1332	0,0740	0,0592	2,6	0,369	0
PO3.C5.1.75-1.8.SO.1	0,13		0,4317	0,3597	0,072	3,3	0,424	2
PO3.C1.2.05-2.1.SO.3	0,11		0,3893	0,3167	0,0725	3,2	0,391	2,5
PO3.C2.1.75-1.8.NE.1	0,1		0,3759	0,3163	0,0596	3,3	0,358	0
PO3.C4.1.7-1.75.SE.9	0,17		0,3032	0,2367	0,0665	3,3	0,363	10
PO3.C3.1.85-1.9.SE.1	0,15		0,3225	0,2459	0,0766	3,4	0,331	0
PO3.C1.1.95-2.SO.2	0,11		0,4359	0,3622	0,0737	3,3	0,392	2,5
PO3.C1.1.8-1.85.SE.6	0,11		0,2973	0,2231	0,0742	3,2	0,401	2
PO3.C1.1.95-2.NO.9	0,11		0,3382	0,267	0,0712	3,4	0,35	0
PO3.C2.1.8-1.85.SE.6	0,11		0,2957	0,2253	0,0704	3	0,404	0

Tabla V.13. Valores de los parámetros diagenéticos medidos en huesos de megafauna del sitio Paso Otero 5. Los valores de hueso moderno de guanaco se incluyen con fines comparativos.

Muestra	%N	Hist	Porosidad total	Macropor.	Micropor.	IRSF	C/P	% cal
Guanaco moderno	4,72	5	0,1332	0,0740	0,0592	2,6	0,369	0
PO5.C5.2.6-2.65.SE.1	0,07	4	0,3692	0,3254	0,0439	4	0,278	3
PO5.C2.2.45-2.5.SO.3	0,08	1	0,378	0,32	0,058	3,4	0,434	5
PO5.C3.2.55-2.6.NE	0,07	4	0,3456	0,2877	0,0579	3,5	0,38	3
PO5.C5.2.6-2.65.SE.3	0,07	3	0,2296	0,1831	0,0466	4,9	0,171	0
PO5.C1.2.45-2.5.NO.5	0,08	2	0,4456	0,3917	0,054	3,6	0,438	
PO5.C1.2.5-2.55.NO.2	0,42	3	0,3721	0,3083	0,0638	4,1	0,185	8
PO5.C1.2.5-2.55.NO.1	0,1	4	0,3946	0,3304	0,0642	3,3	0,358	2
PO5.C2.2.45-2.5.SO.3	0,09	3	0,3933	0,3375	0,0558	3,3	0,465	6
PO5.C1.2.55-2.6.SE.2	0,14	4	0,2845	0,2245	0,06	3,6	0,304	2

Tabla V.14. Valores promedios de los parámetros diagenéticos medidos en los huesos de Paso Otero 3 y 5. Los valores de hueso moderno de guanaco se incluyen con fines comparativos.

Muestra	Porosidad total	Macropor	Micropor	IRSF	C/P	% cal	%N	Hist
Guanaco moderno	0,1332	0,0740	0,0592	2,6	0,369	0	4,72	5
PO5 (ca. 10.450 AP)	0,3639	0,3009	0,0560	3,7	0,335	3	0,1	3
PO3 (ca. 4800 AP)	0,3545	0,2837	0,0707	3,3	0,379	2	0,1	3

Tabla V.15. Coeficientes de correlación ρ de Spearman para los parámetros diagenéticos del sitio Paso Otero 5. Los valores con asteriscos corresponden a las variables que presentan correlación significativa.

Parámetros	IH	%N	Microporosidad	Macroporosidad	IRSF
%N	0,079				
Microporosidad	0,192	0,749*			
Macroporosidad	-0,255	0,246	-0,048		
IRSF	0,058	-0,553	-0,675	-0,494	
CP	-0,498	0,307	0,214	0,714*	-0,699

* La correlación es significativa con una $p < 0,05$.

Tabla V.16. Coeficientes de correlación ρ de Spearman para los parámetros diagenéticos del sitio Paso Otero 3. Los valores con asteriscos corresponden a las variables que presentan correlación significativa.

Parámetros	IH	%N	Microporosidad	Macroporosidad	IRSF
%N	-0,152				
Microporosidad	-0,719*	0,237			
Macroporosidad	-0,529	-0,146	0,033		
IRSF	0,096	0,318	0,105	0,290	
CP	-0,338	-0,055	0,000	0,050	-0,712*

* La correlación es significativa con una $p < 0,05$.

Tabla V.17. Coeficientes de correlación ρ de Spearman para los parámetros diagenéticos del sitio Paso Otero 1, ocupación más temprana. Los valores con asteriscos corresponden a las variables que presentan correlación significativa.

Parámetros	IH	%N	Microporosidad	Macroporosidad	IRSF
%N	-0,612				
Microporosidad	-0,707	0,284			
Macroporosidad	-0,707	0,024	-0,165		
IRSF	0,395	-0,093	-0,083	0,023	
CP	-0,363	-0,321	0,228	-0,284	-0,565**

** La correlación es significativa con una $p < 0,01$.

Tabla V.18. Coeficientes de correlación ρ de Spearman para los parámetros diagenéticos del sitio Paso Otero 1, ocupación más tardía. Los valores con asteriscos corresponden a los variables que presentan correlación significativa.

Parámetros	IH	%N	Microporosidad	Macroporosidad	IRSF
%N	-0,333				
Microporosidad	0,775	0,406			
Macroporosidad	0,775	-0,292	-0,119		
IRSF	0,000	0,103	-0,330	0,770*	
CP	0,775	-0,625	0,347	0,000	-0,477

* La correlación es significativa con una $p < 0,05$.

Tabla V.19. Coeficientes de correlación ρ de Spearman para los parámetros diagenéticos de todos los sitios analizados de la localidad Paso Otero. Los valores con asteriscos corresponden a las variables que presentan correlación significativa.

Parámetros	IH	%N	Microporosidad	Macroporosidad	IRSF
%N	0,282				
Microporosidad	-0,156	0,471**			
Macroporosidad	-0,238	-0,063	-0,103		
IRSF	0,197	-0,205	-0,333*	0,072	
CP	-0,516**	-0,405**	0,184	0,066	-0,397**

** La correlación es significativa con una $p < 0,01$.

* La correlación es significativa con una $p < 0,05$.

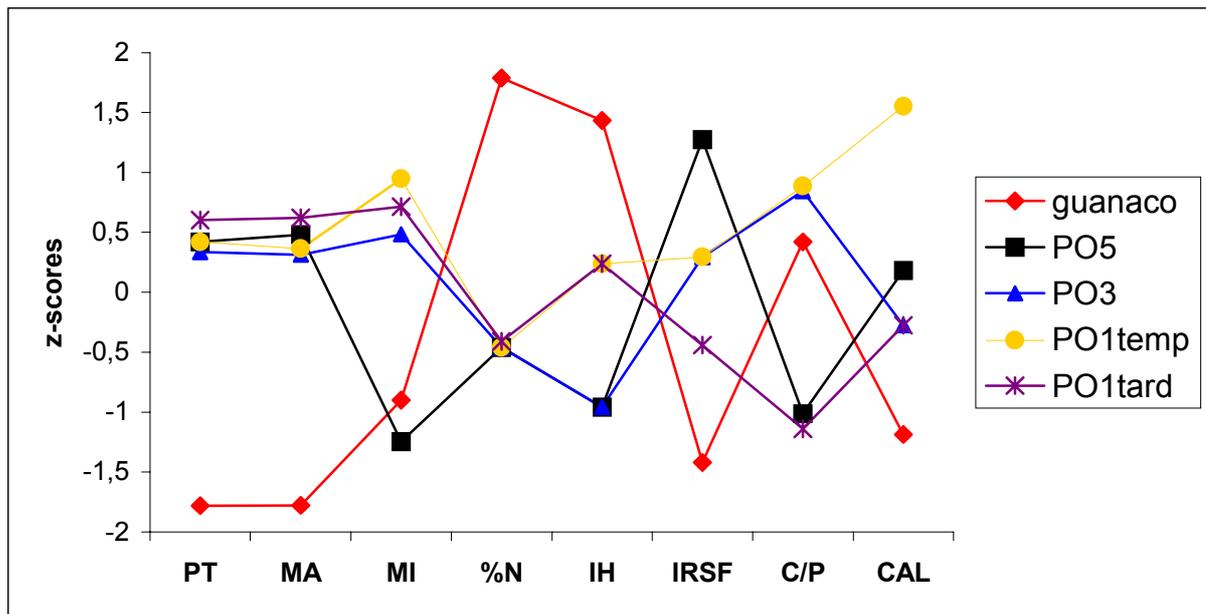


Figura V.8. Perfiles diagenéticos comparativos de cada uno de los sitios analizados. Se incluyen los valores de guanaco moderno como muestra control.

Los resultados de estas correlaciones indican ciertas tendencias a nivel del sitio y a nivel general (Tabla V.20). La mayor cantidad de correlaciones (5) se registran cuando se comparan los valores diagenéticos de todos los sitios analizados de la localidad Paso Otero (Tablas V.19 y V.20); en segunda instancia se ubican Paso Otero 5 y 3 con un total de dos correlaciones cada uno (Tablas V.15, V.16 y V.20) y por último, las dos ocupaciones de Paso Otero 1 (Tablas V.17, V.18 y V.20). A excepción de un par de variables (microporosidad/%N y IRSF/C/P), los sitios no comparten el conjunto de variables que se correlacionan significativamente, siendo por ello, muy difícil de identificar un único patrón que resuma las respuestas de los conjuntos óseos a las alteraciones diagenéticas. En consecuencia, los resultados indican que existen patrones generales y específicos para cada sitio.

Tabla V.20. Distribución de las correlaciones significativas entre las variables diagenéticas a nivel intra e inter sitio.

Parámetros	IH	%N	Microporosidad	Macroporosidad	IRSF
%N					
Microporosidad	PO3	PO PO5			
Macroporosidad					
IRSF			PO	PO1tard	
C/P	PO	PO		PO5	PO PO1temp PO3

PO: todos los sitios analizados de la Localidad Paso Otero

PO5: Paso Otero 5

PO3: Paso Otero 3

PO1temp: Paso Otero 1, ca. 4800 años AP.

PO1tard: Paso Otero 1, ca. 2900 años AP.

Si se toma como muestra control a los valores de guanaco moderno se observa en la Figura V.8 que los perfiles diagenéticos obtenidos de los sitios arqueológicos se alejan mucho de ella. Estas diferencias permiten hipotetizar sobre las relaciones entre cada una de las variables analizadas y sobre las causas que produjeron los perfiles diagenéticos resultantes.

En lo que respecta a la integridad histológica, se puede observar que los valores se distribuyen en dos grupos, uno mejor preservado (las dos ocupaciones de PO1) y otro con menor preservación (PO5 y PO3) (Figura V.8). Esta variable se correlaciona significativamente con la microporosidad en PO3 y con C/P cuando la comparación es a nivel intersitio (Tabla V.20). Es sorprendente la ausencia de correlación de esta variable y %N tanto a nivel inter así como intrasitio. La alteración histológica se produce por la actividad de microorganismos, los cuales son además uno de los principales responsables de la pérdida de proteína en un hueso (medida en %N). Es probable entonces que el ataque de microorganismos, responsable de la alteración histológica registrada en cada uno de los sitios, no haya sido la única causa responsable de los bajos valores de %N obtenidos en todos los sitios estudiados. Los datos indican que el colágeno de los huesos pudo haber sido perdido a través de un proceso diferente, tal como la hidrólisis química (Collins *et al.* 1993). La combinación de la intensa

actividad de microorganismos y la hidrólisis química resultaron en los pobres valores de %N.

Con respecto a las variables que miden la distribución de los poros en los huesos, se puede observar que a pesar de existir diferencias en los valores entre ellos, los cuatro conjuntos analizados presentan un patrón similar en la porosidad total y en la macroporosidad (Figura V.8). En todos los casos estos valores son más altos que los obtenidos para guanaco moderno, indicando que la porosidad ha estado sometida a alteraciones diagenéticas y que, como consecuencia, la distribución de los poros ha estado sujeta a una reorganización de los espacios. No obstante, los valores de macroporosidad caen dentro del rango esperable para huesos arqueológicos (Nielsen-Marsh 1997; Nielsen-Marsh y Hedges 2000). Este mismo patrón no se observa con la microporosidad ya que, como se desprende de la Figura V.8, todas las muestras analizadas no se comportan de la misma manera. A excepción de Paso Otero 5, los valores promedios de esta variable en las muestras provenientes de Paso Otero 3 y de las dos ocupaciones de Paso Otero 1, son muy altos, inclusive más altos que el valor obtenido para la muestra control (Tablas V.5 y V.14). Estos resultados de la microporosidad no corresponden a los valores normales esperados para materiales arqueológicos, los cuales presentan un decrecimiento en la microporosidad y un incremento en la macroporosidad. Se desconoce aún cuáles pueden ser las causas de esta diferencia. Las investigaciones llevadas a cabo en sitios arqueológicos de Europa muestran un alto grado de coherencia en lo que respecta a la relación “↓microporosidad y ↑macroporosidad” (Nielsen-Marsh 1997; Nielsen-Marsh y Hedges 2000). Esta reiterada correspondencia de los datos condujo a los investigadores a establecer un patrón en el comportamiento de la porosidad de los huesos arqueológicos. Sin embargo, los resultados de Paso Otero y los recientes resultados sobre huesos de mamuts provenientes de cuatro sitios de América del Norte (Johnson *et al.* 2003) no pueden ser explicados por este patrón. Especialistas en el tema confían encontrar la respuesta a la diferencia de comportamiento de la porosidad en ambos continentes en alguna de las variables del ambiente (Nielsen-Marsh, comunicación personal 1999). No obstante, los estudios en diagénesis ósea realizados en sitios arqueológicos del continente

americano son aún escasos como para brindar un *corpus* de información suficiente para identificar algún patrón.

En términos generales, los resultados sobre porosidad de Paso Otero 5 indican que se ajustan al patrón esperado para materiales arqueológicos, es decir, un decrecimiento en la microporosidad al mismo tiempo que se produce un incremento en la macroporosidad (Figura V.9). La razón por la cual Paso Otero 5 se comporta en forma diferencial al resto de los sitios estudiados es aún un interrogante que no puede ser respondido a la luz de la información disponible. De todos modos, es necesario recordar que los huesos de Paso Otero 5 que se procesaron en el análisis diagenético pertenecen a megafauna y no a guanaco como las restantes. Es posible entonces que las propiedades intrínsecas de los distintos huesos analizados (proporción de hueso compacto y esponjoso) esté introduciendo diferencias en lo que respecta a la distribución de los poros. La escasez de huesos de guanaco en el sitio (N=2; Martínez 2001) condujo a decidir llevar adelante de todos modos este estudio sobre megafauna, asumiendo el riesgo de no poder brindar luego una explicación satisfactoria acerca de las causas de las diferencias observadas en los perfiles diagenéticos de Paso Otero 5.

La Figura V.9 muestra un gráfico de dispersión de las variables microporosidad vs. macroporosidad de todas las muestras, incluyendo también los resultados de huesos modernos y desproteinizados con fines comparativos. Este gráfico exhibe claramente cómo rasgos microestructurales de los huesos han sido alterados durante el entierro a causa de varios procesos diagenéticos que han actuado sobre ellos. El cambio más común que se observa en los huesos arqueológicos cuando se produce disolución mineral a causa de la diagénesis, es el incremento en la porosidad en comparación con los huesos modernos. Como ya se ha señalado más arriba, la distribución de los poros en los huesos determina el grado de alteración diagenética que puede ocurrir en los mismos. En consecuencia, los cambios en la porosidad (incremento) provocaron también un aumento en la tasa de disolución mineral y viceversa (Nielsen-Marsh y Hedges 2000).

La porosidad es considerada como una de las variables que brinda el mayor grado de información acerca de la diagénesis y constituye uno de los indicadores más útiles de dicha diagénesis (Nielsen-Marsh 1997). Investigaciones recientes han desarrollado una nueva técnica para analizar los cambios en la porosidad, la intrusión de mercurio, la cual ha permitido afinar y ajustar los resultados obtenidos (Nielsen-Marsh 1997; Nielsen-Marsh y Hedges 1999).

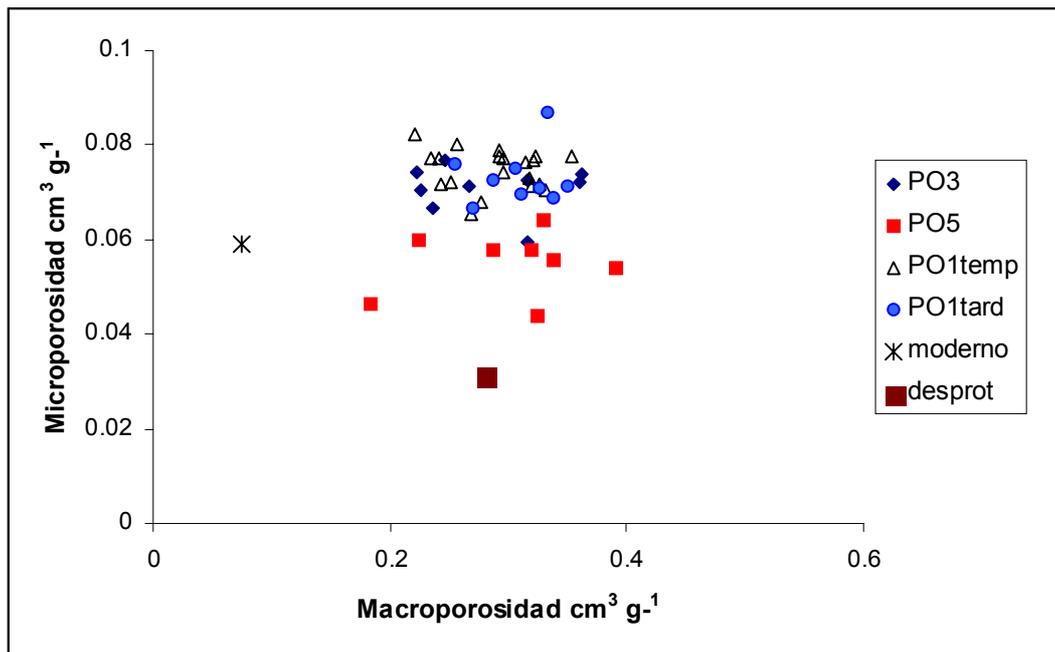
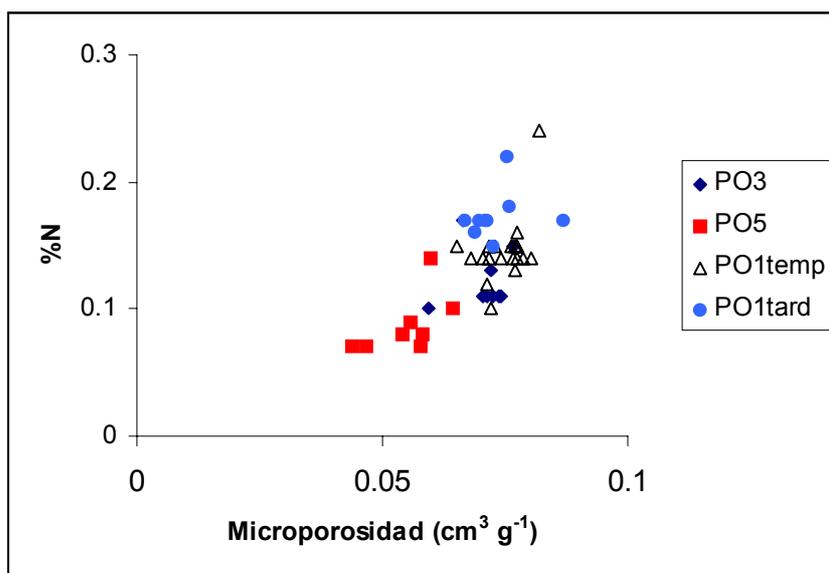


Figura V.9. Variaciones en los valores de porosidad de todos los sitios analizados

Algunos estudios sobre diagénesis ósea han propuesto que el contenido de proteína remanente en los huesos influye en los valores de microporosidad (Nielsen-Marsh 1997; Nielsen-Marsh y Hedges 2000) sobre la base de la alta correlación existente entre esas dos variables. En este sentido, los altos valores de microporosidad están acompañados por altos valores del contenido de proteína (%N) y a la inversa, bajos valores de microporosidad se relacionan con bajos valores del %N. La explicación sobre la relación de estas dos variables radica en que la pérdida de proteína dejaría nuevos espacios libres dentro del hueso, espacios que fueron ocupados originalmente por la triple hélice del colágeno. En este trabajo de tesis, la correlación entre el %N y la microporosidad

descripta se cumple a nivel intersitio (Tabla V.20; Figura V.10), constituyéndose así un patrón generalizado. Sin embargo, cuando las correlaciones se realizan en cada uno de los sitios, este patrón sólo se cumple en Paso Otero 5 (Tabla V.20). Las razones de la ausencia de correlación en los restantes conjuntos óseos puede estar vinculada estrictamente a los sorprendentemente altos valores de microporosidad ya comentados de los demás sitios y al comportamiento particular de Paso Otero 5 en esta variable. Otra vez, la incertidumbre que genera la utilización de huesos de megafauna para el análisis dificulta la posibilidad de encontrar una explicación satisfactoria a estos patrones. La correlación hallada entre %N y la microporosidad estaría indicando que a medida que la proteína se va degradando y perdiendo del hueso, existe una reorganización a nivel microestructural en el mismo con los consecuentes cambios en la porosidad ósea.



Como ya ha sido expresado más adelante, es sospechosa la ausencia de correlación entre %N e integridad histológica. Es esperable que exista una íntima relación entre ellas ya que ambas estarían sujetas a la actividad de microorganismos, cuyos efectos se traducirían en cambios a nivel histológico y de la proteína. Como ya ha sido señalado, todos los huesos presentan valores extremadamente bajos de proteína remanente, indicando una gran pérdida de la misma tanto a nivel general así como a nivel del sitio. Sin embargo, no todos los huesos que registran bajos valores de proteínas presentan además, bajos índices de preservación histológica. Cabe hipotetizar entonces que si bien no se descarta que la actividad de microorganismos debió ser intensa (evidenciada por los resultados de la integridad histológica) en todos los sitios de la localidad, ellos no constituyen los únicos responsables de la pérdida de proteína. La combinación de los microorganismos con la hidrólisis química pudo ser la causa de los bajos valores de proteína remanente.

Existe una correlación general entre la cristalinidad y la microporosidad y entre cristalinidad y C/P, lo cual implica que el incremento del tamaño de los poros constituye una parte importante del proceso de la diagénesis. Por su parte, los perfiles diagenéticos de la Figura V.8 muestran claramente que en la variable cristalinidad (IRSF) todos los sitios han mostrado un incremento en los valores con respecto a la muestra moderna. El valor más alto está representado por el sitio más antiguo, Paso Otero 5 y el valor más bajo, por el sitio más tardío, la segunda ocupación de Paso Otero 1. Entre estos dos valores se agrupan en un solo punto los dos sitios que comparten la cronología, Paso Otero 3 y la primera ocupación de Paso Otero 1 (Figura V.8). Si bien no se concluye que exista una relación directa entre la cronología y esta variable diagenética, es difícil evitar su asociación. Si bien esta variable es una de las más consistentes ya que refleja sensiblemente las alteraciones diagenéticas que pueden exhibir los huesos, es también una de las variables que genera los cambios más ambiguos a la hora de encontrar una causa para explicar dichos cambios. Aún permanece sin conocerse cuáles serían exactamente los procesos involucrados para que se produzca el aumento en el tamaño de los cristales. La disolución de los cristalitos más pequeños y la disolución y su posterior recristalización en cristales más grandes y

termodinámicamente más estables son los dos mecanismos que se proponen para explicar el incremento en el tamaño de los cristales (Nielsen-Marsh y Hedges 2000).

Se puede observar en el gráfico de la Figura V.8 que los valores de C/P no muestran una coherencia a lo largo de los sitios. En este sentido, Paso Otero 3 y la primera ocupación de Paso Otero 1 se agrupan en un solo punto con valores superiores al obtenido para la muestra moderna. Por su parte, Paso Otero 5 y la segunda ocupación de Paso Otero 1 también se agrupan en un solo punto, pero a diferencia de los anteriores, con valores por debajo de la muestra control (Figura V.8). En estrecha relación a C/P se encuentra la variable calcita ya que los huesos que contienen CO_3Ca a menudo presentan valores más altos de C/P en comparación a aquellos en los cuales el carbonato ha sido incorporado en la matriz mineral. Si se observan los perfiles diagenéticos de la Figura V.8 se puede ver que estas dos variables se comportan según este patrón, es decir, aquellos sitios con valores de calcita más altos, son también los que presentan valores más altos de C/P. Los valores de C/P más bajos estarían indicando una pérdida de carbonatos originales de los huesos a través de la diagénesis durante la reorganización o disolución de la fase mineral (Nielsen-Marsh y Hedges 2000). Es muy común que los huesos arqueológicos registren evidencias de carbonatos adicionales en los resultados del parámetro diagenético C/P. Además, en aquellos ambientes en donde hay disponibilidad de calcita, es habitual que el CO_3Ca se deposite en la superficie del hueso o que aproveche algunos espacios para su depositación. Asimismo, es factible que por mecanismos tales como la absorción y el intercambio, el carbonato se incorpore a la superficie de la bioapatita (Krueger 1991) o por disolución y recristalización se introduzca en la matriz mineral reemplazando el carbono y fósforo de origen biológico (Nielsen-Marsh 1997).

El C/P constituye la variable que presenta el mayor número de correlaciones con los demás parámetros diagenéticos (Tabla V.20). El carbonato que se incorpora en la matriz mineral afecta el tamaño de los cristales de la bioapatita. Por el contrario, este fenómeno no sucede si el carbonato es incorporado más superficialmente a través de la depositación de calcita o por absorción en la superficie de la bioapatita. Este último mecanismo de

incorporación de carbonatos enmascara una posible correlación entre cristalinidad y porosidad. En consecuencia, si la incorporación de carbonato en los huesos es estructural, o sea que se incorpora a la matriz mineral, debiera reflejarse en la correlación entre la IRSF y porosidad y además entre IRSF y C/P. A pesar de que los valores de calcita son altos y que conducen a pensar que pueden enmascarar la correlación entre IRSF y porosidad en Paso Otero, la relación entre las dos variables existe a nivel intersitio (Tabla V.20; Figura V.11) así como también existe la correlación entre IRSF y C/P (Tabla V.20; Figura V.12). En general, estos resultados sugieren un patrón en donde la incorporación de carbonatos se habría producido a nivel estructural y en donde la depositación de calcita no habría sido lo suficientemente alta como para obliterar todos los espacios libres del hueso y afectar así, la porosidad de los mismos. Interesa en particular identificar a qué nivel se produce la incorporación de carbonatos en los huesos para decidir si es válido el empleo de algún mecanismo de remoción del mismo en el laboratorio en caso de que fuera necesario para estudios analíticos (e.g., análisis isotópicos). En este sentido, si el carbonato se ha incorporado en la matriz mineral, su remoción no es posible. Por el contrario, si su incorporación es en la superficie de la bioapatita, existen mecanismos para separarla de la fase mineral original y más fácil es aún si se trata de calcita depositada en grietas o en espacios libres e irregularidades de la superficie cortical del hueso (Nielsen-Marsh 1997).

Con respecto a los resultados del análisis del componente principal (ACP), la Tabla V.21 informa en qué proporción influye cada variable en cada uno de los componentes. 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 V.22). Tal como se desprende de la Tabla V.21, los parámetros diagenéticos que aquí introducen mayor variación son la macroporosidad y el %N.

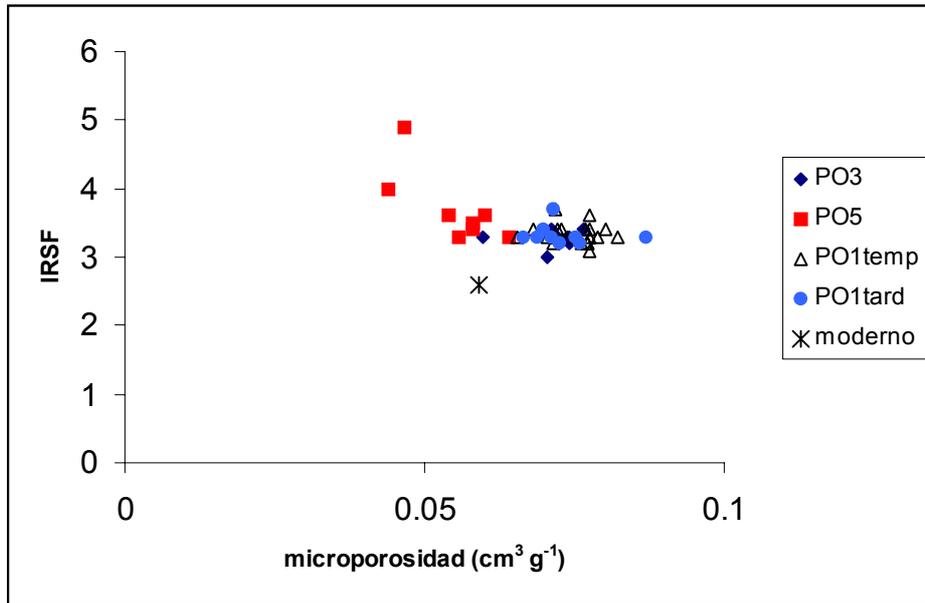


Figura V.11. Relación entre las variables diagenéticas IRSF y porosidad en Paso Otero 1

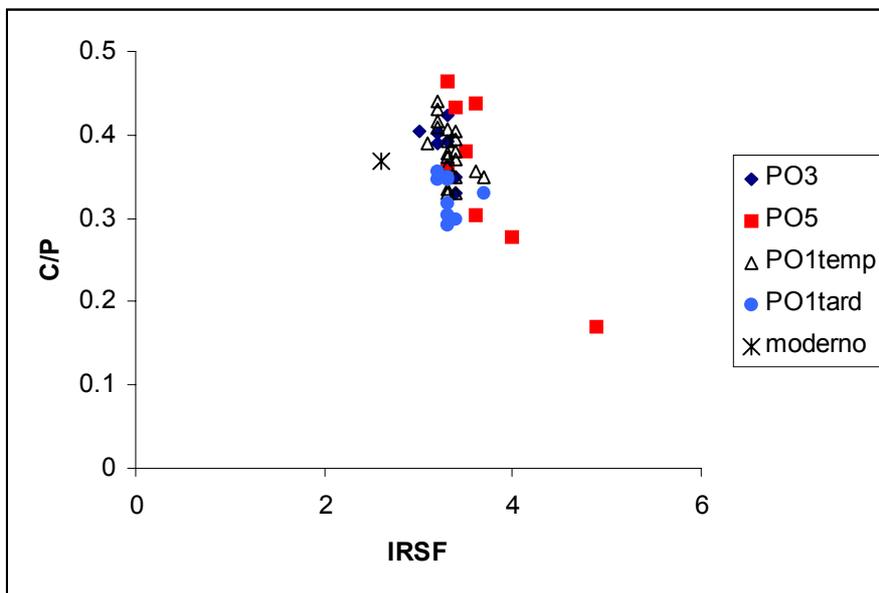


Figura V.12. Relación entre las variables diagenéticas IRSF y C/P en Paso Otero.

Tabla V.21. "Loadings" de las variables sobre los componentes principales.

Parámetros	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
Microporosidad	-0,3344	0,0237	-0,3496	0,8659	-0,1065	-0,1065
Macroporosidad	0,6165	0,0475	0,0635	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 V.22. 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

Cuando se grafica CP1 vs. CP2, se puede observar cómo se agrupan los datos teniendo en cuenta que en este análisis estadístico los mismos no se seleccionan de antemano (Figura V.13). 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 sobre la base del CP1, uno que corresponde a PO5 y el otro, a los restantes sitios (Figura V.13). Si comparamos además los grupos entre pares, vemos por ejemplo, que PO5 se separa claramente de PO1, tanto de la ocupación más tardía (Grupo 1) como de la más temprana (Grupo 2) y que apenas se superpone con el conjunto de PO3 datado en 4.800 años AP. Por el contrario, resulta un poco más difícil separar los grupos individuales de las dos ocupaciones de PO1 y la de PO3.

Grupo 1: Paso Otero 1, ocupación más tardía (ca. 2.900 años AP)
Grupo 2: Paso Otero 1, ocupación más temprana (ca. 4.800 años AP)
Grupo 3: Paso Otero 3 (ca. 4.800 años AP)
Grupo 4: Paso Otero 5 (ca. 10.450 años AP)

Figura V.13. Análisis del componente principal. CP1 vs. CP2 de los cuatro conjuntos arqueológicos analizados.

Por otra parte, 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 obtenido en el análisis del componente principal siendo las mismas variables, la macroporosidad y el %N (Tabla V.23), las que contribuyen principalmente en la clasificación o separación de los grupos. En la Figura V.14 se grafica FD1 vs. FD2 y se observa que la segregación entre los dos grupos (PO5 vs. PO1 y PO3) no es tan acentuada, aunque sí se remarcan las diferencias entre cada uno de los grupos (PO1-grupo1, P01-grupo2, PO3 y PO5).

Tabla V.23. “Loadings” de las variables sobre los factores discriminantes.

Parámetros	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

Grupo 1: Paso Otero 1, ocupación más tardía (ca. 2.900 años AP)
 Grupo 2: Paso Otero 1, ocupación más temprana (ca. 4.800 años AP)
 Grupo 3: Paso Otero 3 (ca. 4.800 años AP)
 Grupo 4: Paso Otero 5 (ca. 10.450 años AP)

Figura V.14. Análisis del Factor Discriminante. FD1 vs. FD2 de los cuatro conjuntos arqueológicos analizado.

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. Esto significa que existe un patrón de preservación diferencial entre los sitios analizados.

No obstante esta conclusión, existen algunas tendencias que deben ser resaltadas. En primer lugar, todas las muestras analizadas de cada uno de los conjuntos presentan valores extremadamente bajos de %N, 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. 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 los dos fechados obtenidos en PO5 sobre huesos quemados. 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). De todos modos, habría que determinar aún hasta qué grado de la intensidad del quemado de los huesos sería factible que la relación antes mencionada funcione. Esto quiere decir que, en el proceso de combustión, los huesos pasan por diferentes etapas y según el tiempo de exposición del hueso al fuego así como la temperatura alcanzada por el mismo, determinan el grado de combustión que alcanza la porción orgánica. En este sentido, aquellos huesos calcinados (extremo del proceso de máxima combustión) posiblemente no contengan material orgánico (colágeno) para ser datado. En consecuencia, los huesos que sufrieron una alteración térmica extrema, tampoco constituirían una opción alternativa a la hora de seleccionar material para enviar a fechar. Los resultados obtenidos en este trabajo, sumados a los alcanzados por otros investigadores (Takahashi y Nelson 1998) indican que los huesos que presentan mayor probabilidad de que puedan ser fechados en contextos con características depositacionales similares serían los dientes y los huesos quemados (no calcinados). Los resultados de Takahashi y Nelson (1998) sugieren que los dientes 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.

En base a los resultados obtenidos tanto en Paso Otero 1 (ver más adelante, este mismo capítulo) así como en la localidad arqueológica Paso Otero, es interesante proponer y discutir las distintas alternativas de explicación de los patrones diagenéticos observados. 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 acerca de cuáles han sido las causas de las diferencias en los perfiles diagenéticos. Uno de los problemas podría estar referido a diferencias en los ambientes de depositación que aún no hayan sido identificadas. Estas diferencias podrían estar relacionadas a 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-grupo1, PO1-grupo2 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 esos 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 Hypsitermal) 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 aproximadamente 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) y 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. 8500-4500 años AP.) se observa un cambio hacia condiciones templado-húmedas (Bonadonna *et al.* 1995) o subhúmedas-húmedas (Prieto 1996) que incluyen al Hypsitermal, aunque para otros autores (Tonni 1992) estos períodos templados serían breves y alternantes con períodos áridos-semiáridos. Hacia el Holoceno medio y tardío (ca. 4500 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. 1000 años AP.) se habría producido un retorno a condiciones templadas y húmedas y el establecimiento de los ecosistemas modernos (Tonni 1992; Tonni y Cionne 1997). Dado este modelo paleoclimático general y la cronología de las ocupaciones arqueológicas es posible que los depósitos se hayan formado durante condiciones similares relacionados con 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, debe considerarse la variable tiempo, expresada a través de la cronología de los sitios. Cabe señalar que Paso Otero 5 es al menos el doble de antiguo que el resto de los sitios comparados (10,450 - 4800 - 2900), es posible entonces 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 la escasos estudios llevados a cabo sobre la relación del tiempo y el estado de preservación del material óseo, se propone que esta variable jugó un rol central en la determinación de los perfiles diagenéticos de Paso Otero. Esta idea se ve apoyada en este trabajo principalmente porque se han discutido y comparado resultados obtenidos de 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 cronología. La variabilidad que pueden presentar estos procesos según microambientes particulares merece ser tomada en cuenta, al menos hasta que se genere un *corpus* de información aplicable en una escala más amplia.

A pesar de que de ambos tipos de aproximaciones discriminantes (distancia de Mahalanobis y clasificación Jackknife) ofrecen resultados diferentes en cuanto a la cantidad de asignaciones correctas de cada individuo al grupo al cual proviene (Tablas V.24 – V.29), los valores caen dentro de lo esperado en la estadística multivariada y, más importante aún, presentan el mismo patrón. En este sentido, ambas aproximaciones indican que la ocupación más tardía de Paso Otero 1 y Paso Otero 5 son los dos grupos que presentan los mayores porcentajes de asignaciones correctas (Tablas V.28 y V.29). Esto quiere decir que presentan el mayor número de muestras que se identifican con el propio grupo y que son imposibles de identificar con ningún otro. Por el contrario, la ocupación más temprana de Paso Otero 1 así como Paso Otero 3 presentan los valores de asignaciones correctas más bajos (Tablas V.28 y V.29). Esto quiere decir que ambos sitios presentan individuos que pueden clasificarse tanto en uno u otro grupo indistintamente debido a que no existe una diferencia sustancial en lo que respecta a la definición como grupo por las variables analizadas. En consecuencia, estos resultados alcanzados apoyan la hipótesis propuesta de que el tiempo es una variable clave en la determinación de los perfiles diagenéticos. En comparación, una alta cantidad de individuos de ambos sitios que comparten la cronología de 4.800 años AP se pueden clasificar indistintamente en uno u otro grupo, determinando que en lo que respecta a las variables diagenéticas que

definen al grupo, la mayoría de las muestras comparten las mismas características.

Tabla V.24. Distancias de Mahalanobis de cada una de las muestras de la ocupación más temprana de Paso Otero 1 a la media de los demás sitios y su probabilidad posterior (p).

Muestra	PO1temp	p	PO1tard	p	PO3	p	PO5	p
PO1.1.102	5,8	0,99	17,7	0,00	16,5	0,00	35	0,00
PO1.1.103	7,2	0,98	23,2	0,00	14,7	0,02	26,3	0,00
PO1.1.104*	3,2	0,33	4	0,21	2,5	0,46	22,3	0,00
PO1.1.124	3,7	0,83	7,6	0,12	9,4	0,05	23,4	0,00
PO1.1.129*	6,6	0,28	11,2	0,03	4,8	0,69	20	0,00
PO1.1.230	9,3	0,92	29,3	0,00	14,2	0,08	26,1	0,00
PO1.1.235*	4,4	0,39	13,7	0,00	3,6	0,6	20,8	0,00
PO1.1'.4.SE	17,3	0,84	20,6	0,16	31,6	0,00	55,7	0,00
PO1.1'.75.NO	5,4	0,99	19,6	0,00	14,2	0,01	24	0,00
PO1.3.2.SE.16*	5,1	0,20	3	0,57	4,8	0,24	18,3	0,00
PO1.3.SE.2a	0,9	0,93	10,9	0,01	6,2	0,06	19,4	0,00
PO1.3.3.SO.0k	5,5	0,46	8,9	0,09	5,7	0,42	11	0,03
PO1.3.3.SO.36a	4,2	0,75	10	0,04	6,8	0,21	19,5	0,00
PO1.3.2.NO.7	1,4	0,75	7,6	0,03	3,9	0,22	22,1	0,00
PO1.3.4.NO.3	2,4	0,83	8,3	0,04	6,2	0,13	20,8	0,00
PO1.3.3.SE.14	2,9	0,95	14,5	0,00	8,9	0,05	29,4	0,00
PO1.4.4.SE.4	3,9	0,52	4,4	0,41	8	0,07	27	0,00
PO1.5.1-2.SO.12*	4,7	0,22	2,4	0,67	6	0,12	21,6	0,00
PO1.5.4.SO.1	4,2	0,82	7,7	0,14	10,5	0,04	27,2	0,00
PO1.6.3.NO.11*	3,2	0,25	4,2	0,15	1,4	0,59	9,5	0,01

* corresponden a asignaciones incorrectas

Tabla V.25. Distancias de Mahalanobis de cada una de las muestras de la ocupación más tardía de Paso Otero 1 a la media de los demás sitios y su probabilidad posterior (p).

Muestra	PO1temp	p	PO1tard	p	PO3	P	PO5	P
PO1.2.6	8,6	0,02	0,8	0,96	8,6	0,02	21,8	0,00
PO1.2.9	10,7	0,02	3,2	0,87	7,4	0,11	17,2	0,00
PO1.2.85	17,5	0,00	4,6	1	22,1	0,00	43,2	0,00
PO1.2.88*	3,7	0,2	2,4	0,38	2,2	0,42	17,6	0,00
PO1.2.131	5,5	0,17	2,4	0,77	7,5	0,06	18,2	0,00
PO1.2.135	11,7	0,24	9,5	0,74	16,7	0,02	45,8	0,00
PO1.2.143	12,4	0,00	1,5	0,98	10,3	0,01	25,5	0,00
PO1.2.201	13,6	0,07	8,3	0,92	16,7	0,01	23	0,00
PO1.2.237	9,2	0,04	3	0,85	7	0,11	25,8	0,00

* corresponde a una asignación incorrecta

Tabla V.26. Distancias de Mahalanobis de cada una de las muestras de Paso Otero 3 a la media de los demás sitios y su probabilidad posterior (p).

Muestra	PO1temp	p	PO1tard	p	PO3	p	PO5	p post
PO3.C5.1.75-1.8.SO.1	9,9	0,24	11,3	0,12	8	0,62	14,3	0,03
PO3.C1.2.05-2.1.SO.3	4,2	0,18	9	0,02	1,3	0,8	14,4	0,00
PO3.C2.1.75-1.8.NE.1*	18,1	0,00	14,9	0,01	6,8	0,34	5,5	0,65
PO3.C4.1.7-1.75.SE.9*	8	0,86	13,4	0,06	12,5	0,09	21,5	0,00
PO3.C3.1.85-1.9.SE.1	5,7	0,21	5,3	0,26	3,9	0,52	22,3	0,00
PO3.C1.1.95-2.SO.2	5,2	0,39	9,4	0,05	4,5	0,57	16,7	0,00
PO3.C1.1.8-1.85.SE.6	8,9	0,08	18	0,00	3,9	0,92	18,5	0,00
PO3.C1.1.95-2.NO.9	7,1	0,05	10	0,01	1,4	0,93	12,6	0,00
PO3.C2.1.8-1.85.SE.6	16,2	0,01	19,8	0,00	5,8	0,99	18,5	0,00

* corresponden a asignaciones incorrectas

Tabla V.27. Distancias de Mahalanobis de cada una de las muestras de Paso Otero 5 a la media de los demás sitios y su probabilidad posterior (p).

Muestra	PO1temp	p	PO1tard	p	PO3	p	PO5	P
PO5.C5.2.6-2.65.SE.1	39,7	0,00	38,8	0,00	28,9	0,00	6,3	1
PO5.C2.2.45-2.5.SO.3	21,4	0,00	30,2	0,00	13,9	0,01	4,1	0,99
PO5.C3.2.55-2.6.NE	18,4	0,00	25,9	0,00	8,8	0,03	2	0,97
PO5.C5.2.6-2.65.SE.3	58,8	0,00	63,3	0,00	49,9	0,00	23,8	1
PO5.C1.2.5-2.55.NO.1*	9,8	0,03	10,5	0,02	3,4	0,86	8,2	0,08
PO5.C2.2.45-2.5.SO.3	30,7	0,00	38,1	0,00	23	0,00	9,4	1
PO5.C1.2.55-2.6.SE.2	14,4	0,01	11,7	0,05	7,8	0,37	7	0,56

* corresponde a una asignación incorrecta

Tabla V.28. Matriz de clasificación utilizando la distancia de Mahalanobis. Distribución de la frecuencia de individuos que se asignan a cada grupo de clasificación.

	PO1temp	PO1tard	PO3	PO5	%correctas
PO1temp	14	2	4	0	70
PO1tard	0	8	1	0	89
PO3	1	0	7	1	78
PO5	0	0	1	6	86
Total	15	10	13	7	78

Tabla V.29. Matriz de clasificación Jackknife. Distribución de las frecuencias de individuos que se asignan a cada grupo de clasificación.

	PO1temp	PO1tard	PO3	PO5	%correctas
PO1temp	11	4	5	0	55
PO1tard	1	7	1	0	78
PO3	3	1	4	1	44
PO5	0	0	2	5	71
Total	15	12	12	6	60

CONCLUSIONES

El estado de preservación de los especímenes óseos es el resultado de la historia tafonómica del sitio en el que fueron recuperados. Además de los efectos tafonómicos pre-depositacionales identificados, se producen ciertos cambios físicos y químicos luego 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).

PASO OTERO 1

Los resultados obtenidos de los análisis diagenéticos aplicados en este trabajo de tesis indican que los procesos postdepositacionales fueron intensos en ambas ocupaciones del sitio. En términos generales, los valores de proteína remanente en el hueso son muy bajos en ambas ocupaciones, los cuales están acompañados por un incremento en la porosidad de los mismos. En términos comparativos, los datos indican que el conjunto óseo proveniente de la superficie de estabilización media, es decir, de la ocupación humana más temprana del sitio, presenta valores más bajos de proteína remanente, un mayor incremento en la porosidad y una preservación más pobre de los rasgos histológicos que la ocupación más tardía.

Los resultados estadísticos multivariados llevados a cabo con los datos de los parámetros diagenéticos claramente muestran que los valores de cada conjunto óseo pueden agruparse, manteniendo la identidad del conjunto y con

una escasa cantidad de datos que se superponen, reflejando perfiles diagenéticos distintos (Figuras V.6; V.7 y V.8). A pesar de esta situación, en donde es posible hacer una separación de los conjuntos, el estado general de preservación de los huesos en ambos perfiles es muy pobre y las tendencias son similares. La diferencia principal entre ellos no reside en el camino diagenético seguido por cada uno de ellos, es decir, la diferencia no se expresa en que uno de los conjuntos sufrió algún tipo de alteración que el otro no sufrió. Por el contrario, todos los parámetros han registrado alteraciones, lo único que parece variar es la intensidad de los procesos, reflejados en los valores diagenéticos. Cabe cuestionarse si esta intensidad no se traduciría en una escala temporal en relación a la cantidad de tiempo que el conjunto óseo ha quedado sometido a las condiciones de enterramiento.

A la luz de la información disponible y de los datos obtenidos en este trabajo de tesis, es posible concluir que la variable tiempo constituye un factor central para la explicación de los diferentes perfiles diagenéticos. Cabe destacar que todos los factores y procesos que se evaluaron a lo largo de este capítulo como potenciales responsables de los perfiles diagenéticos resultantes constituyen herramientas explicativas útiles del estado de preservación para los casos de estudios aquí analizados. La escasez de estudios diagenéticos en sitios arqueológicos en general y la ausencia de este tipo de análisis en Argentina en particular, sumados a la gran diversidad de variables que entran en juego una vez que los huesos son enterrados, dificultan la fácil identificación de dichos factores determinantes de los perfiles diagenéticos. No obstante, la incorporación de nuevos análisis y situaciones contribuyen a enriquecer el amplio espectro de variables y formar así un *corpus* de información que permita en el futuro un mejor entendimiento de la diagénesis ósea.

Teniendo en cuenta que ambas superficies de estabilización presentan una marcada alteración microscópica del material óseo, determinando un límite metodológico para fechados radiocarbónicos y conociendo los problemas ya descriptos para el fechado de las mismas, se sugiere que en el caso de Paso Otero 1 los análisis diagenéticos pueden ser además, una herramienta útil para la interpretación de la cronología relativa del sitio.

En base a los resultados obtenidos en el Capítulo IV y los obtenidos en este capítulo, se concluye que la historia tafonómica de Paso Otero 1 es la consecuencia de la combinación de las técnicas de procesamiento de las carcasas por parte de los grupos cazadores-recolectores, el clima, el agua, los microorganismos y la vegetación, todos ellos actuando a lo largo de la variable tiempo (Figura V.15). Se propone que el rol que juega esta última variable sería el de intensificar las alteraciones diagenéticas ya puestas en marcha por las condiciones ambientales de cada sitio. En este sentido, el tiempo no determina el camino diagenético que sigue un conjunto sino que amplía las diferencias ya registradas por el simple hecho de permanecer mayor o menor tiempo a la exposición de las variables ambientales.

No existe una aparente correspondencia entre las modificaciones de la superficie cortical del hueso y la alteración microscópica de los mismos. Sin embargo, cabe mencionar algunos aspectos en donde ambos tipos de modificaciones se relacionan. En general, la colección ósea de Paso Otero 1 es muy frágil y susceptible a la fragmentación. Las causas de este estado de preservación reside en el bajo contenido de proteína aún remanente que ha debilitado a los huesos y en la intensa actividad de los microorganismos que han alterado la integridad histológica de los mismos. La información sobre las modificaciones óseas macroscópicas, combinadas con los resultados de los análisis diagenéticos (alteración microscópica) constituyen dos líneas de investigación complementarias para lograr un mismo objetivo, en este caso, la construcción de la historia tafonómica de Paso Otero 1. A pesar de que no se ha encontrado una relación directa entre la apariencia exterior y la estructura interna de los huesos, ambas líneas logran vincular la gran variedad de procesos que actuaron desde el momento en que los guanacos fueron cazados y procesados hasta que los huesos fueron recuperados. La combinación de estas líneas de investigación contribuyen a un entendimiento más comprensivo del ambiente de depositación y de la estructura y preservación del registro arqueológico de Paso Otero 1.

DIAGÉNESIS COMPARATIVA

Los resultados indican que 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.

En los perfiles diagenéticos obtenidos de los sitios analizados se pueden identificar patrones generales, es decir, compartidos por todos los conjuntos estudiados y patrones específicos, característicos de alguno de los sitios. Todos los parámetros medidos en cada uno de los conjuntos óseos registran modificaciones con respecto a la muestra control, indicando de este modo una intensa actividad post-depositacional en todos los sitios analizados.

Todos los sitios analizados presentan alteraciones en la histología de los huesos y a pesar de esto, no existe correlación entre esta variable y el %N, indicando entonces que el ataque de microorganismos, potencial responsable de la alteración histológica registrada en cada uno de los sitios, no es la única causa que provocó los bajos valores de %N obtenidos en todos los sitios estudiados. Los datos indican que el colágeno de los huesos pudo haber sido perdido a través de un proceso diferente, es decir, la hidrólisis química.

Con respecto a la porosidad, los resultados indican que los valores obtenidos en los conjuntos arqueológicos son más altos que los de la muestra control, indicando que la distribución de los poros ha estado sujeta a una reorganización de los espacios. Las modificaciones en la porosidad registrada en Paso Otero 5 no pueden ser explicadas con el mismo patrón general de los demás sitios. La razón por la cual Paso Otero 5 se comporta en forma diferencial al resto de los sitios estudiados es aún un interrogante que no puede ser respondido a la luz de la información disponible. De todos modos, es necesario recordar que los huesos de Paso Otero 5 que se procesaron en el análisis diagenético pertenecen a megafauna y no a guanaco como las restantes.

Los valores de %N son muy bajos en todas las muestras analizadas y esta variable constituye la única de todos los parámetros diagenéticos medidos que presenta una alta correspondencia ya sea a nivel intra así como intersitio. Si bien no se descarta que la actividad de microorganismos debió ser intensa (evidenciada por los resultados de la integridad histológica) en todos los sitios de la localidad, ellos no constituyen los únicos responsables de la pérdida de proteína. La combinación de los microorganismos con la hidrólisis química pudieron resultar en los bajos valores de proteína remanente.

Existe una correlación general entre la cristalinidad y la microporosidad y entre cristalinidad y C/P, lo cual implica que el incremento del tamaño de los poros constituye una parte importante del proceso de la diagénesis. La variable cristalinidad (IRSF) de todos los sitios ha mostrado un incremento en los valores con respecto a la muestra moderna. Los resultados parecen indicar la existencia de una asociación muy estrecha entre la cronología y esta variable diagenética. Si bien es difícil establecer cuáles serían exactamente las causas que provocan el aumento en el tamaño de los cristales, la disolución de los cristales más pequeños y la disolución y su posterior recristalización en cristales más grandes y termodinámicamente más estables son los dos mecanismos que se proponen para explicar el incremento en el tamaño de los cristales.

Los valores de C/P no responden a un patrón generalizado, sino que los mismos se agrupan por encima y por debajo de los valores de la muestra control. En estrecha relación a C/P se encuentra la variable calcita, ya que los huesos que contienen CO_3Ca presentan valores más altos de C/P en comparación a aquellos en los cuales el carbonato ha sido incorporado en la matriz mineral. Los valores de C/P más bajos están indicando una pérdida de carbonatos originales de los huesos a través de la diagénesis durante la reorganización o disolución de la fase mineral. El C/P constituye la variable que presenta el mayor número de correlaciones con los demás parámetros diagenéticos. El carbonato que se incorpora a la matriz mineral afecta el tamaño de los cristales de la bioapatita. Por el contrario, este fenómeno no sucede si el carbonato es incorporado más superficialmente a través de la depositación de calcita o por absorción en la superficie de la bioapatita. Este último mecanismo de incorporación de carbonatos

oscurece una posible correlación entre cristalinidad y porosidad. En general, los resultados aquí obtenidos sugieren un patrón en donde la incorporación de carbonatos se habría producido a nivel estructural y en donde la depositación de calcita no habría sido lo suficientemente alta como para obliterar todos los espacios libres del hueso y afectar así, la porosidad de los mismos. Debido a estos resultados, se descarta la posibilidad de remoción del carbonato y, en consecuencia, la utilización de estos huesos para futuros estudios analíticos.

Con respecto a los resultados de los parámetros diagenéticos del análisis del componente principal se pueden identificar dos grandes grupos sobre la base del CP1, uno que corresponde a PO5 y el otro, a los restantes sitios. Si se comparan los grupos entre pares, PO5 se separa claramente de PO1, tanto de la ocupación más tardía como de la más temprana y que apenas se superpone con el conjunto de PO3 datado en 4.800 años AP. Por el contrario, resulta un poco más difícil separar los grupos individuales de las dos ocupaciones de PO1 y la de PO3. Por otra parte, cuando se analizan los resultados del análisis del factor discriminante se observa que se repite el mismo patrón obtenido en el análisis del componente principal siendo las mismas variables, la macroporosidad y el %N, las que contribuyen principalmente en la clasificación o separación de los grupos. Cuando se grafica este factor se observa que la segregación entre los dos grupos (PO5 vs. PO1 y PO3) no es tan acentuada, aunque sí se remarcan las diferencias entre cada uno de los grupos.

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. Esto significa que existe un patrón de preservación diferencial entre los sitios analizados. De todos los factores analizados y discutidos como probable fuente de variación se propone que el tiempo ha sido una variable de gran influencia en la configuración de los perfiles diagenéticos. En este sentido, la intensidad de los efectos se entiende como consecuencia de una exposición más o menos prolongada a las condiciones diagenéticas. Esta propuesta se apoya además, en los resultados obtenidos de la función discriminante utilizando la distancia de Mahalanobis y la clasificación de Jackknife. Ambas aproximaciones

discriminantes indican los dos sitios que comparten la cronología de 4800 años AP presentan individuos que pueden clasificarse tanto de uno u otro grupo indistintamente debido a que no existe una diferencia sustancial en lo que respecta a la definición como grupo por las variables analizadas. En consecuencia, estos resultados alcanzados apoyan la hipótesis propuesta de que el tiempo es una variable clave en la determinación de los perfiles diagenéticos.

La probabilidad de obtener una cronología absoluta en base a los huesos que conforman el registro arqueológico de la localidad de Paso Otero y en consecuencia, de las ocupaciones humanas del área parece muy baja. Como ya se ha señalado más arriba, la excepción de este patrón lo constituye Paso Otero 5, del cual fue posible obtener dos fechados radiocarbónicos (Martínez 2003) a partir de huesos quemados. No obstante, la proporción de veces que se ha fracasado en el intento de fechar es ampliamente mayor a las veces que se ha logrado el objetivo (80% vs. 20%, respectivamente). En este sentido, esta aproximación diagenética constituye además una herramienta útil para brindar información cronológica relativa de los conjuntos óseos recuperados en las antiguas planicies de inundación del río Quequén Grande. Por otra parte, se propone que la caracterización de los patrones generales de los perfiles diagenéticos del material óseo recuperado en las planicies de inundación del río permite predecir el estado de preservación de futuros hallazgos bajo condiciones ambientales y de depositación similares.

CONSIDERACIONES FINALES

El estado de preservación de los huesos está determinado por múltiples factores y poder identificar cuál de todos ellos es el más importante constituye una tarea muy difícil de lograr. Sin embargo, se considera que a través de la identificación de un amplio espectro de las potenciales variables que alteran las propiedades físicas y químicas de los huesos bajo condiciones microambientales específicas, se contribuirá a la formación de un *corpus* de conocimiento para un mejor entendimiento de la preservación diferencial. Las investigaciones llevadas a

cabo en este trabajo de tesis constituye un trabajo pionero sobre la diagénesis ósea en sitios arqueológicos en Argentina, en consecuencia, es necesario que se desarrollen estudios similares que investiguen este tema para comenzar a entender la problemática diagenética a escalas regional y continental. En este sentido, futuras investigaciones en este campo de la tafonomía deberían focalizarse en sitios provenientes de distintos ambientes de depositación así como de diferentes períodos cronológicos.

Los análisis descriptivos de los efectos tafonómicos llevados a cabo en el Capítulo IV, combinado con los análisis multivariados de los parámetros diagenéticos proveen información complementaria para la construcción de la historia tafonómica de Paso Otero 1 (Figura V.15). Los estudios actualísticos sobre algunos aspectos tafonómicos (e.g., actividades de carnívoros, animales fosoriales, meteorización, etc.) han sido conducidos en ambientes con diferentes características ecológicas que las de los ambientes de la región pampeana (Behrensmeyer 1978; Bocek 1986; Mondini 1995; Martin y Borrero 1997). Estos estudios actualísticos constituyen la base de las interpretaciones tafonómicas de los sitios arqueológicos. En consecuencia, se destaca la necesidad que existe en el área Interserrana de generar este tipo de información actualística con el fin de ajustar las interpretaciones a la problemática regional (Borrero 1988a, 1988b; 2001).

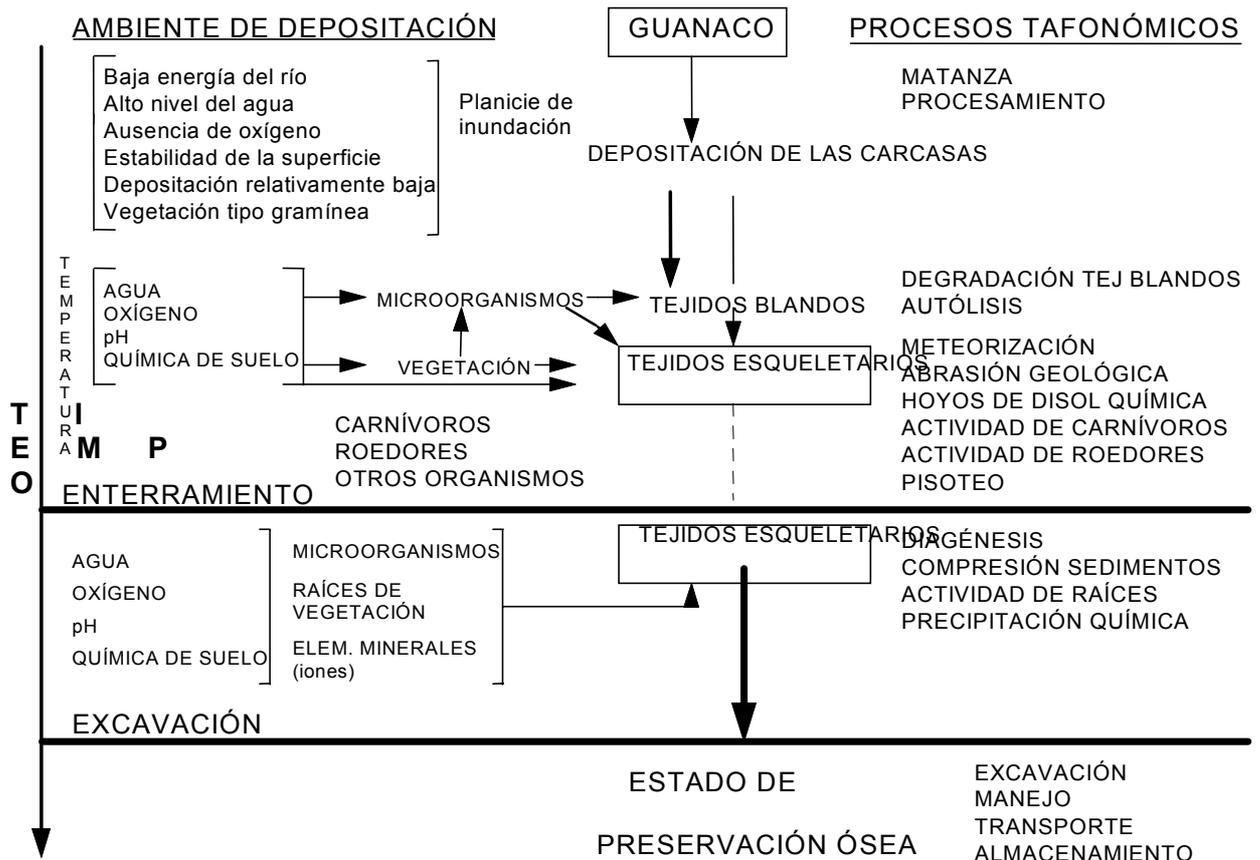


Figura V.15. Modelo de procesos tafonómicos y ambiente de deposición de Paso Otero 1.

Figura V.1. Espectro utilizado para medir el tamaño de los cristales en los huesos arqueológicos (tomado de Nielsen-Marsh 1997: 82).	153
Figura V.2. Espectro utilizado para medir el contenido total de CO_3^{2-} en los huesos arqueológicos (tomado de Nielsen-Marsh 1997: 86).	154
Figura V.3. Espectro utilizado para medir la presencia de calcita en los huesos arqueológicos (tomado de Nielsen-Marsh 1997: 88).	155
Figura V.4. Frecuencia relativa de los estadios de diagénesis histológica registrados por superficie de estabilización.	156
Figura V.5. Gráfico de los valores de correlación de las variables diagenéticas originales medidas.	161
Figura V.6. CP1 vs. CP2 de los dos conjuntos óseos analizados.	163
Figura V.7. FD1 vs. FD2 de los dos conjuntos óseos analizados en Paso Otero 1.	165
Figura V.8. Perfiles diagenéticos comparativos de cada uno de los sitios analizados. Se incluyen los valores de guanaco moderno como muestra control.	185
Figura V.9. Variaciones en los valores de porosidad de todos los sitios analizados	189
Figura V.10. Relación entre las variables diagenéticas %N y microporosidad en Paso Otero.	190
Figura V.11. Relación entre las variables diagenéticas IRSF y porosidad en Paso Otero 1	194
Figura V.12. Relación entre las variables diagenéticas IRSF y C/P en Paso Otero.	194
Figura V.13. Análisis del componente principal. CP1 vs. CP2 de los cuatro conjuntos arqueológicos analizados.	196
Figura V.14. Análisis del Factor Discriminante. FD1 vs. FD2 de los cuatro conjuntos arqueológicos analizado.	197
Figura V.15. Modelo de procesos tafonómicos y ambiente de depositación de Paso Otero 1.	213
Tabla V.1. Índices de diagénesis histológica.	149
Tabla V.2. Distribución de las frecuencias de los estadios histológicos por superficie de estabilización.	156
Tabla V.3. Valores de los parámetros diagenéticos medidos en metapodios de guanacos de la superficie de estabilización media (ocupación más temprana) del sitio Paso Otero 1. Los valores de hueso moderno de guanaco se incluyen con fines comparativos.	157
Tabla V.4. Valores de los parámetros diagenéticos medidos en metapodios de guanacos de la superficie de estabilización superior (ocupación más tardía) del sitio Paso Otero 1. Los valores de hueso moderno de guanaco se incluyen con fines comparativos.	158
Tabla V.5. Valores promedios de los parámetros diagenéticos medidos en metapodios de guanaco de ambas ocupaciones humanas de Paso Otero 1. Los valores de hueso moderno de guanaco se incluyen con fines comparativos.	158
Tabla V.6. Matriz de correlación de las variables diagenéticas originales.	160

Tabla V.7. Factores de carga (loadings) de las variables diagenéticas sobre los componentes principales. _____	162
Tabla V.8. Varianza porcentual obtenida por cada componente principal (PC). _____	162
Tabla V.9. Factores de carga (loadings) de las variables sobre el factor discriminante. _____	165
Tabla V.10. Resultados promedios obtenidos de los valores de isótopos estables de gasterópodos provenientes de las dos ocupaciones humanas del sitio Paso Otero 1. Tomado de Steffan (2000: 98). _____	174
Tabla V.11. Resultados obtenidos del análisis de isótopos estables de gasterópodos provenientes de las superficies de estabilización media y superior de Paso Otero 1. Modificado de Steffan (2000). _____	175
Tabla V.12. Valores de los parámetros diagenéticos medidos en metapodios de guanacos del sitio Paso Otero 3. Los valores de hueso moderno de guanaco se incluyen con fines comparativos. _____	182
Tabla V.13. Valores de los parámetros diagenéticos medidos en huesos de megafauna del sitio Paso Otero 5. Los valores de hueso moderno de guanaco se incluyen con fines comparativos. _____	182
Tabla V.14. Valores promedios de los parámetros diagenéticos medidos en los huesos de Paso Otero 3 y 5. Los valores de hueso moderno de guanaco se incluyen con fines comparativos. _____	183
Tabla V.15. Coeficientes de correlación ρ de Spearman para los parámetros diagenéticos del sitio Paso Otero 5. Los valores con asteriscos corresponden a las variables que presentan correlación significativa. _____	183
Tabla V.16. Coeficientes de correlación ρ de Spearman para los parámetros diagenéticos del sitio Paso Otero 3. Los valores con asteriscos corresponden a las variables que presentan correlación significativa. _____	183
Tabla V.17. Coeficientes de correlación ρ de Spearman para los parámetros diagenéticos del sitio Paso Otero 1, ocupación más temprana. Los valores con asteriscos corresponden a las variables que presentan correlación significativa. _____	184
Tabla V.18. Coeficientes de correlación ρ de Spearman para los parámetros diagenéticos del sitio Paso Otero 1, ocupación más tardía. Los valores con asteriscos corresponden a los variables que presentan correlación significativa. _____	184
Tabla V.19. Coeficientes de correlación ρ de Spearman para los parámetros diagenéticos de todos los sitios analizados de la localidad Paso Otero. Los valores con asteriscos corresponden a las variables que presentan correlación significativa. _____	184
Tabla V.20. Distribución de las correlaciones significativas entre las variables diagenéticas a nivel intra e inter sitio. _____	186
Tabla V.21. "Loadings" de las variables sobre los componentes principales. _____	195
Tabla V.22. Varianza porcentual obtenida por cada componente principal. _____	195

Tabla V.23. “ <i>Loadings</i> ” de las variables sobre los factores discriminantes. _____	197
Tabla V.24. Distancias de Mahalanobis de cada una de las muestras de la ocupación más temprana de Paso Otero 1 a la media de los demás sitios y su probabilidad posterior (p). _____	202
Tabla V.25. Distancias de Mahalanobis de cada una de las muestras de la ocupación más tardía de Paso Otero 1 a la media de los demás sitios y su probabilidad posterior (p). _____	203
Tabla V.26. Distancias de Mahalanobis de cada una de las muestras de Paso Otero 3 a la media de los demás sitios y su probabilidad posterior (p). _____	203
Tabla V.27. Distancias de Mahalanobis de cada una de las muestras de Paso Otero 5 a la media de los demás sitios y su probabilidad posterior (p). _____	204
Tabla V.28. Matriz de clasificación utilizando la distancia de Mahalanobis. Distribución de la frecuencia de individuos que se asignan a cada grupo de clasificación. _____	204
Tabla V.29. Matriz de clasificación Jackknife. Distribución de las frecuencias de individuos que se asignan a cada grupo de clasificación. _____	204