# Capítulo 4

# MATERIALES Y MÉTODOS

# 4. MATERIALES Y MÉTODOS

## 4.1. Las muestras arqueológicas

Las diversas muestras de microvertebrados fósiles fueron extraídas en numerosas campañas arqueológicas realizadas durante las últimas tres décadas y proveen una excelente fuente de información para alcanzar los objetivos propuestos. Cabe destacar que las mismas fueron recolectadas siguiendo procedimientos sistemáticos, con datos precisos de procedencia estratigráfica. Además las muestras de los distintos depósitos estratigráficos con presencia de microvertebrados, cuentan con fechados radiocarbónicos que permiten su ubicación cronológica. Por otra parte, los muestreos abarcaron todos los tipos de ambientes del sur de Mendoza (*i.e.*, cordillera, Payunia, piedemonte y cauces extracordilleranos) (Figura 4.1) e incluyeron una amplia diversidad de sitios (a cielo abierto, aleros y cuevas) y de funcionalidades (campamentos base, sitios de actividades simples, bases secundarias, etc.). Algunos de ellos presentan secuencias que abarcan todo el Holoceno, lo que asegura una buena base de comparación y control para evaluar los cambios en la diversidad y/o presencia de los taxones de microvertebrados. En la tabla 4.1 se presentan los sitios arqueológicos que se incluyen en la tesis, con sus características ambientales y cronológicas.

| Sitios | Cronología (en años $^{14}$C AP) | Provincias fitogeográficas | Excavación | Muestras actuales |
|---|---|---|---|---|
| Rincón del Atuel 1 | 1520±70 / 330±60 | Monte | X | X |
| Agua de La Mula 1 | 1240±60 / 1000±50 | Monte | X | X |
| Agua de Los Caballos 1 | 1240±70 / 250±60 | Monte | X | X |
| La Peligrosa-1 | ~1500 / 400±70 | Monte | X | |
| Cueva de Luna | 3830±160 / ~100 | Patagónica | X | X |
| Cueva Arroyo Colorado | 3190±80 / 770±80 | Patagónica | X | X |
| Cueva Palulo | 3100±60 / 130±33 | Patagónica | X | X |
| Arroyo Malo 3 | 8900±60 / ~100 | Patagónica | X | X |
| Laguna El Sosneado 3 | 2145±41 / 659±51 | Patagónica | X | X |

**Tabla 4.1.** Sitios arqueológicos con muestras de microvertebrados incluidos en la tesis.

Los sitios arqueológicos Arroyo Malo 3 (AMA-3) y Cueva Arroyo Colorado, ya contaban con análisis de microvertebrados, aunque poco profundos (Atencio, 2000;

Neme *et al*., 2002). En tal sentido, se realizará un nuevo estudio utilizando la metodología propuesta y se ampliará la muestra en AMA-3.

Dado que los trabajos de excavación fueron realizados por diferentes investigadores, variando en alguna medida las técnicas de excavación empleadas, la obtención y la preparación de las muestras, estas serán detalladas en la metodología específica de cada sitio arqueológico. Asimismo, los fechados radicarbónicos fueron calibrados mediante el programa CalPal Online (Cologne Radiocarbon Calibration & Paleoclimate Research Package).

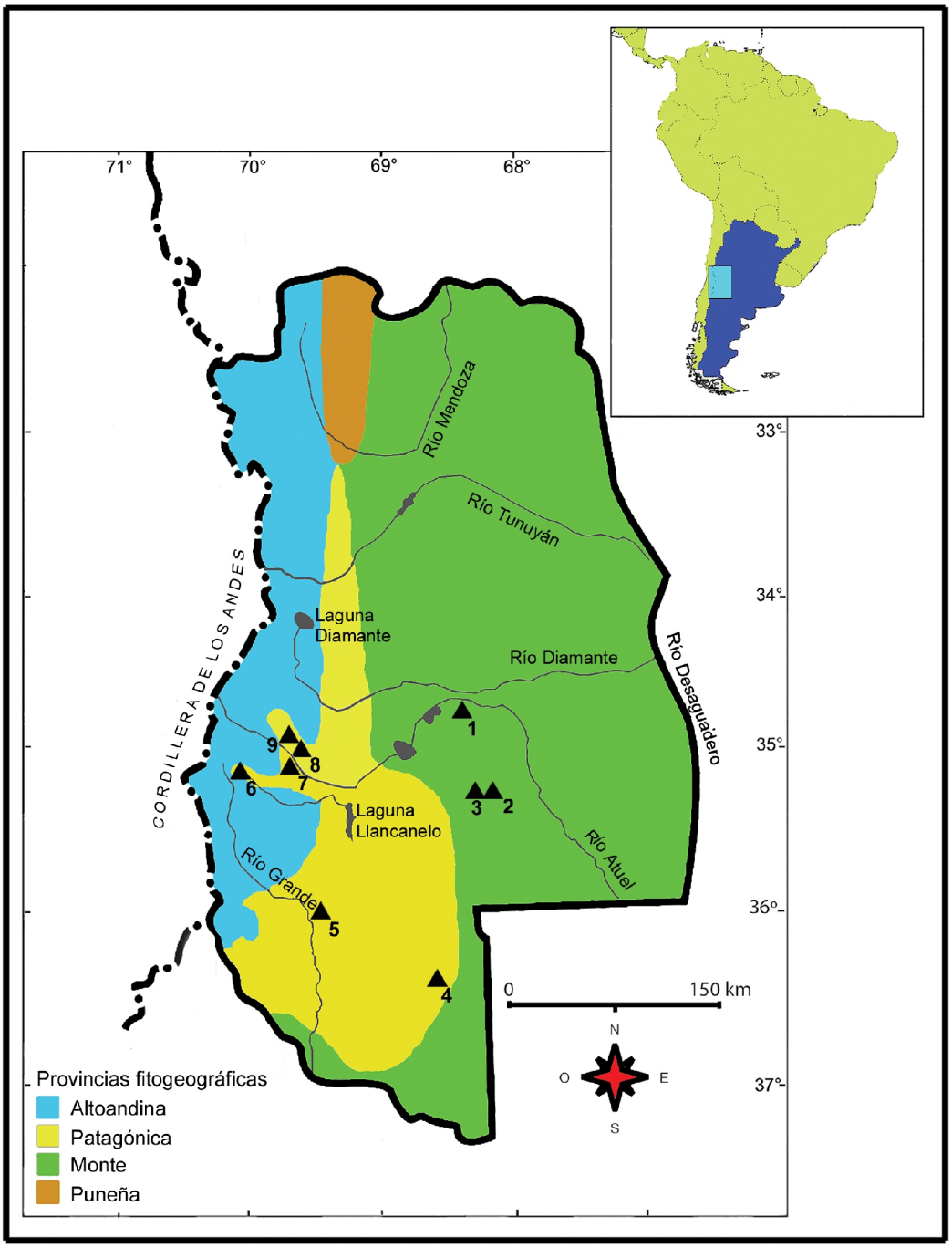

**Figura 4.1.** Mapa fitogeográfico (*sensu* Cabrera, 1976) de la provincia de Mendoza con la ubicación de los sitios arqueológicos incluidos en la tesis doctoral. **1**: Rincón del Atuel-1; **2**: Agua de La Mula; **3**: Agua de los Caballos; **4**: La Peligrosa; **5**: Cueva de Luna; **6**: Cueva Arroyo Colorado; **7**: Cueva Palulo; **8**: Arroyo Malo 3; **9**: Laguna El Sosneado 3.

## 4.2. Las muestras actuales: egagrópilas y disgregados de aves rapaces

Como control actualístico, se estudiaron los contenidos óseos y dentarios de egagrópilas y disgregados de aves estrigiformes y falconiformes recolectados en las inmediaciones de los sitios arqueológicos. Se recorrieron lugares propicios para el establecimiento de aves rapaces, tales como cañadones, construcciones abandonadas, arboledas y formaciones rocosas de tipo alero o cuevas. Las egagrópilas y disgregados se ubicaron en bolsas de plástico tipo ziploc, rotuladas con el nombre de la localidad, coordenadas, fecha, colectores, especie de ave rapaz y cantidad de egagrópilas. En primer lugar se midió el largo y ancho de cada egagrópila con calibre digital e individualmente fueron disgregadas en forma manual, luego de sumergirlas en agua tibia durante unos segundos, todos los elementos anatómicos fueron separados con instrumental quirúrgico. Los elementos cráneo-dentarios fueron utilizados para las determinaciones taxonómicas y el resto de los elementos fueron conservados para estudios ulteriores de tafonomía. Finalmente, luego de realizadas las determinaciones taxonómicas, se calculó el número mínimo de individuos por taxón (MNI), a partir del elemento más abundante (ver acápite "número y proporción de elementos esqueléticos").

Algunas especies de aves rapaces han sido consideradas buenas estimadoras de las comunidades de micromamíferos de un área determinada y las egagrópilas que producen han sido utilizadas ampliamente como parámetro actualístico en estudios paleoambientales (*e.g.*, Pardiñas, 1999a; Udrizar Sauthier, 2009; Fernández *et al.*, 2011a). Sin embargo, hay que tener en cuenta los sesgos derivados de sus hábitos y preferencias en la caza. En este estudio se utilizaron principalmente muestras de egagrópilas de rapaces nocturnas (*Tyto alba* y *Bubo magellanicus*) y en menor medida de rapaces diurnas (*Geranoaetus melanoleucus* y *Buteo polyosoma*) (Figura 4.2). *T. alba* y *B. magellanicus* se caracterizan por tener una dieta basada principalmente en el consumo de micromamíferos y un radio de caza promedio de 3-5 km (véase Bellocq, 2000; Nabte *et al.*, 2006 y literatura citada en estos trabajos) y entre los sesgos que

originan se destacan una subrepresentación de micromamíferos estrictamente diurnos y aquellos de tamaño grande (> 150 g) y una mayor proporción de especies que ocupan ambientes abiertos con elevada exposición (Pardiñas, 1999a; Pardiñas *et al*., 2003; entre otros).

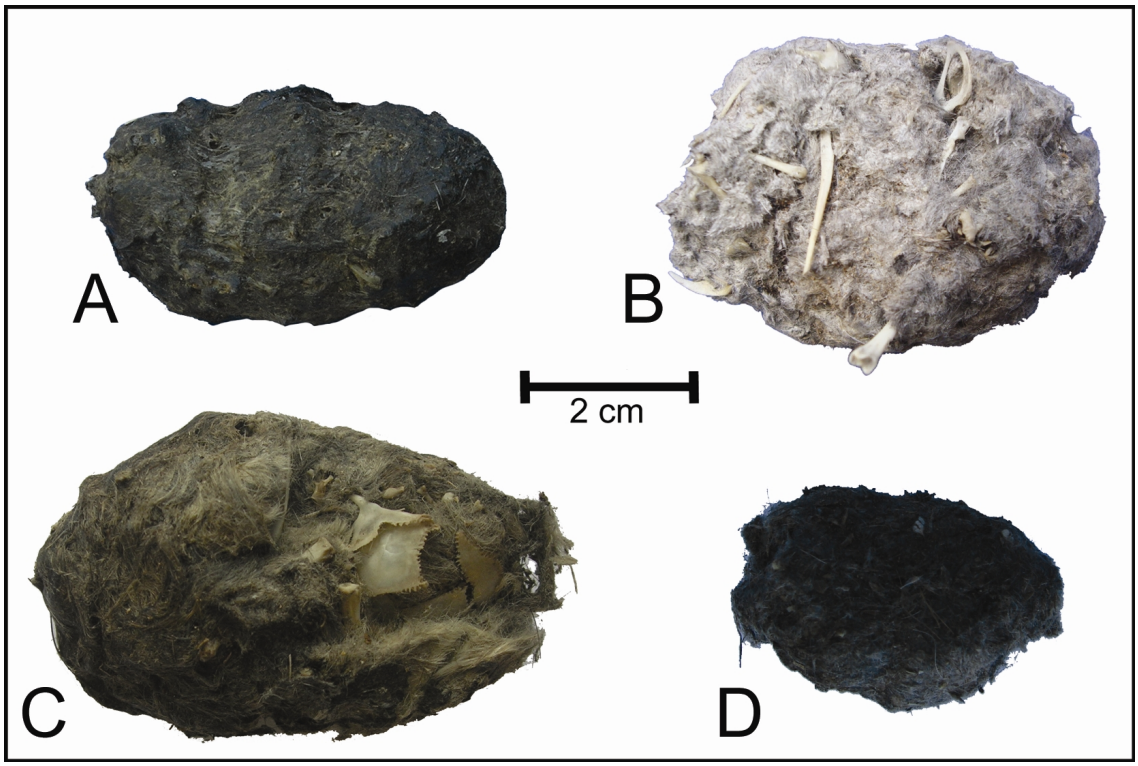


**Figura 4.2.** Ejemplos de egagrópilas de las distintas aves rapaces con muestras en esta tesis. **A:** *Tyto alba*. **B:** *Bubo magellanicus*. **C:** *Geranoaetus melanoleucus*. **D:** *Buteo polyosoma*.

### 4.3. Técnicas de observación

Todos los restos óseos y dentarios se observaron bajo lupa binocular Arcano mediante un sistema de zoom de 20 x 4 aumentos. Los restos más significativos se seleccionaron para ser fotografiados con Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) del Museo de Ciencias Naturales de La Plata. Posteriormente, se utilizaron los programas de computación Corel y Fotoshop para la preparación de las imágenes.

### 4.4. Determinaciones taxonómicas

La precisión en que los restos arqueofaunísticos pueden ser identificados está afectada por una combinación de 1) el tipo de elemento recuperado y su importancia diagnóstica

para la clasificación zoológica y 2) el grado relativo de preservación, el cual se encuentra vinculado a la anatomía esqueletal y a la historia tafonómica del elemento (Stahl, 1996).

La determinación de los roedores sigmodontinos se realizó sobre especímenes cráneo-dentarios y para el resto de los microvertebrados, además se usaron los huesos largos.

Se utilizó material de referencia de las colecciones del Museo de Ciencias Naturales de La Plata, del Museo Argentino de Ciencias Naturales "B. Rivadavia", del Museo de Historia Natural de San Rafael. Asimismo, se consultó bibliografía específica (*i.e.*, Hershkovitz, 1962; Marshall, 1977; Pearson y Christie, 1991; Baumel y Witmer, 1993; Pearson, 1995; Steppan, 1995; Frost *et al.*, 2001; Martin, 2008; Fernández *et al.*, 2011c).

Los rasgos diagnósticos propios de cada taxón, serán expuestos en detalle en el capítulo 5, en el cuál se realiza una descripción de los microvertebrados.

Finalmente, se destaca que se seleccionó un ejemplar de referencia por cada taxón en todas las muestras analizadas y se rotuló en forma separada todos los restos que han sido fotografiados en la tesis. Este tipo de tarea es muy importante para facilitar las potenciales revisiones futuras de los materiales.

### 4.5. Repositorio

Todas las muestras analizadas en esta tesis doctoral fueron depositadas en la Colección de Museo de Historia Natural de San Rafael (acrónimo MHNSR). En el Apéndice I se brinda un listado de cada una de las muestras con sus catálogos correspondientes.

### 4.6. Metodología para el estudio tafonómico de micromamíferos

En el marco de los estudios tafonómicos se siguió la metodología y clasificación utilizada por Andrews (1990) y Fernández-Jalvo y Andrews (1992). Esta clasificación distingue cinco categorías de modificación sobre restos óseos y dentarios (*i.e.*, ligera, moderada, intermedia, fuerte y extrema), las cuales incluyen a las aves Strigiformes, Falconiformes y a los mamíferos carnívoros. Cuando los autores mencionados realizaron esta clasificación, dentro del órden Falconiformes se incluía a las familias Falconidae y Accipritidae. Actualmente, la última Familia fue elevada al órden

Accipitriformes (ver Capítulo 6). No obstante, para que las comparaciones sean más claras, cuando se hace referencia a las aves Falconiformes se está incluyendo tanto a Falconidae como Accipritidae.
Esta metodología contempla un variado conjunto de caracteres para analizar:

### 4.6.1. *Digestión*

Los procesos digestivos de aves rapaces y mamíferos carnívoros producen efectos diferenciales de corrosión sobre los restos óseos y dentarios (Andrews, 1990). Estas diferencias están dadas, debido a que el nivel de acidez estomacal varía entre especies. De este modo, el Ph de los jugos gástricos de Strigiformes oscila entre 2,5 a 2,2, mientras que en Falconiformes fluctúa entre 1,8 a 1,3 (Duke *et al*., 1975). En parte como resultado de esto, se ha encontrado que la digestión de los Falconiformes causan mayores modificaciones sobre los restos que la encontrada en los agregados de presas de Strigiformes (Andrews, 1990). Asimismo, los mamíferos carnívoros y humanos producen niveles más extremos de digestión a causa de los ácidos gástricos y biliares (Andrews y Evans, 1983; Crandall y Stahl, 1995).

#### 4.6.1.1. *Digestión en incisivos*

La digestión ha sido observada distinguiendo los incisivos aislados de los que se encuentran implantados en mandíbulas y maxilares. Esta distinción se debe a que los incisivos aislados presentan toda la superficie del diente alterada, en cambio los incisivos que se mantiene *in situ*, solo muestran alteración en las superficies expuestas (Andrews, 1990; Fernández-Jalvo y Andrews, 1992).
La digestión afecta más a los extremos de los dientes y al esmalte dentario que a la dentina y hueso (Andrews, 1990). La digestión de los incisivos se mide en base al grado de digestión y las proporciones de los incisivos afectados (Andrews, 1990; Fernández-Jalvo y Andrews, 1992). Estos autores, proponen cuatro categorías de corrosión digestiva sobre incisivos (Figura 4.3):

**Ligera:** presenta bajas frecuencias de incisivos digeridos (8 a 13%). La digestión afecta a toda la superficie del esmalte, exhibiendo de un ligero a moderado poseado. En

algunos casos la corrosión se concentra en los extremos de los incisivos, donde el esmalte está totalmente removido (característicos de los incisivos *in situ*). La dentina podría estar ligeramente alterada, mostrando un contorno ondulado.

**Moderada:** las frecuencias de elementos afectados varía de 20 a 30%. La superficie del esmalte se encuentra más extensivamente afectada, y la dentina también está modificada con una superficie ondulada. El esmalte se mantiene en todo el diente, excepto en la parte oclusal.

**Fuerte:** la mayor parte de los incisivos están alterados (50 a 70%). La digestión altera tanto al esmalte como a la dentina, la cual presenta una superficie ondulada, y el esmalte aparece reducido en pequeños islotes sobre la dentina.

**Extrema:** casi todos los elementos están alterados (60 a 100%). La digestión se extiende sobre todo el diente. Algunos muestran todo el esmalte removido, dejando un estrecho centro de dentina, mientras que otros presentan pequeños islotes separados por áreas de dentina. Otras veces, la dentina se encuentra tan afectada que colapsa por su propio peso, siendo muy difícil la identificación del elemento.

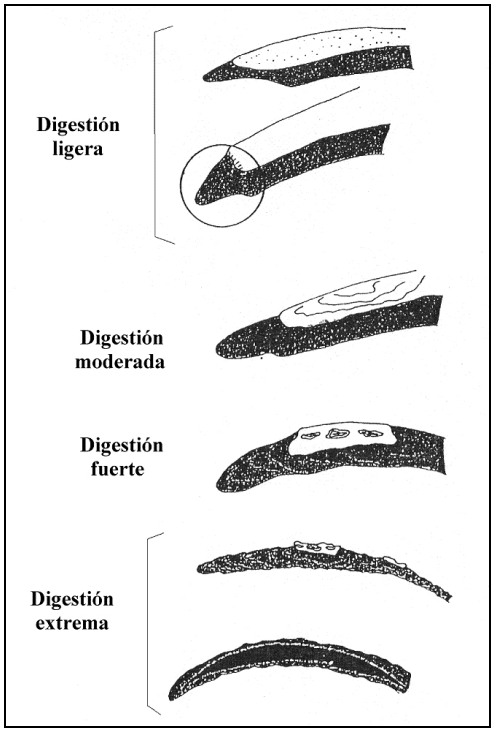


**Figura 4.3.** Categorías de digestión en incisivos. En: Fernández-Jalvo y Andrews (1992: 413).

**4.6.1.2.** *Digestión en molares*

En este caso también se observó la corrosión digestiva distinguiendo entre molares aislados y molares *in situ*.
La digestión en los molares posee una mayor variabilidad que en los incisivos debido a las diferencias en la morfología del diente, en el grosor y en el recubrimiento del esmalte que posee cada taxón (Andrews, 1990).
La digestión de los molares se mide en base al grado de digestión y las proporciones de los molares afectados (Andrews, 1990; Fernández-Jalvo y Andrews, 1992). Estos autores, proponen cuatro categorías de corrosión digestiva sobre molares (Figura 4.4):

**Ligera:** presenta muy bajas frecuencias de elementos digeridos (0 a 3%). En múridos y cricétidos, el esmalte está suavizado y el contorno de las cúspides está más redondeado. En *Microtus* (Cricetidae, Arvicolinae, con distribución Holártica), la digestión puede afectar directamente a las esquinas oclusales de los ángulos salientes de los dientes, sin penetrar por debajo de los márgenes alveolares. Por lo tanto, las esquinas de los dientes están redondeadas y los ángulos salientes aplanados.

**Moderada:** presenta bajas frecuencias de elementos alterados (4 a 6%). En múridos y cricétidos, la superficie del esmalte muestra un poseado. En *Microtus* el esmalte puede desaparecer en los bordes de la superficie de contacto y en las cúspides oclusales.

**Fuerte:** las frecuencias de elementos digeridos varía de 18 a 22%. En múridos y cricétidos, la superficie del diente está fuertemente poseada y el esmalte en muchas áreas desaparece. En *Microtus*, las esquinas de los dientes están fuertemente redondeadas y la digestión penetra profundamente removiendo el esmalte en los ángulos salientes, y quedando la dentina expuesta y aplanada.

**Extrema:** la mayor parte de los elementos están alterados (50 a 100%). En múridos y cricétidos, la digestión es mucho más fuerte y el esmalte ha sido removido en gran parte del diente. En *Microtus*, el daño en el esmalte también se extiende a lo largo de los ángulos salientes, pero hay evidencias de digestión en la dentina.

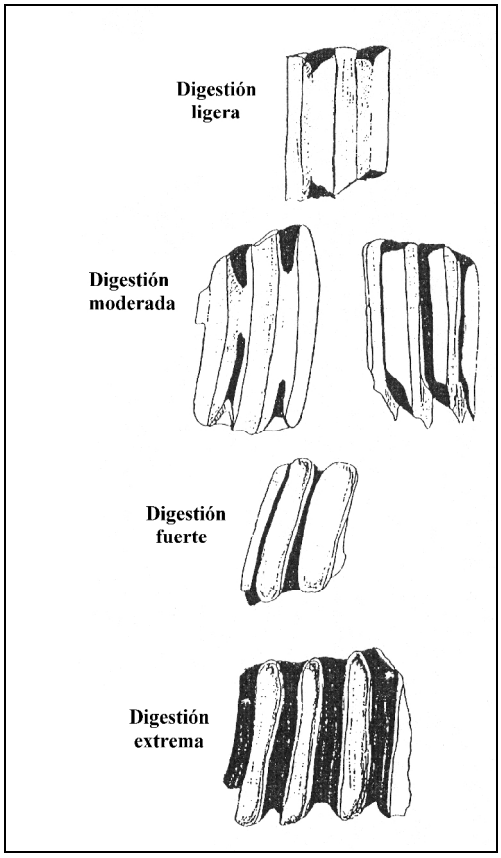


**Figura 4.4.** Categorías de digestión en molares. En: Fernández-Jalvo y Andrews (1992: 412).

**4.6.1.3.** *Digestión postcraneal*

Andrews (1990) y Fernández-Jalvo y Andrews (1992) proponen identificar la digestión postcraneal sobre la epífisis proximal del fémur y sobre la epífisis distal del húmero, calculando las proporciones de los elementos afectados. Considerando que algunas muestras comprendidas en esta tesis no cuentan con un número representativo de dichos elementos, en esos casos se optó por analizar todos los elementos postcraneales.

Las marcas de corrosión digestiva sobre el esqueleto postcraneal pueden confundirse con las huellas dejadas por los procesos postdepositacionales. Las diferencias radican en que los agentes postdepositacionales producen modificaciones en los especímenes óseos afectando de igual forma a toda la superficie de los mismos, en cambio, la corrosión por digestión tiene una acción usualmente localizada en las superficies de articulación de los huesos, además en ciertas ocasiones los extremos de los huesos y los bordes de fractura pueden estar redondeados (Andrews, 1990; Fernández-Jalvo y Andrews, 1992).

Estos autores distinguen cuatro categorías de corrosión digestiva postcraneal:

**Ligera:** presenta bajas frecuencias en huesos de adultos (6 a 20%). La digestión afecta casi exclusivamente a las superficies articulares y ocasionalmente se extiende a lo largo de la epífisis, pero nunca alcanza la diáfisis.

**Moderada:** presenta altas frecuencias en huesos de adultos (25 a 50%). La digestión afecta a toda la epífisis y puede penetrar en la diáfisis a través de la epífisis. La corrosión produce más alteración en la superficie de la diáfisis, exhibiendo un aspecto de abrasionado o pulido, con bordes de fractura ligeramente redondeados.

**Fuerte:** casi todos los huesos están afectados (50 a 75%). La mayor parte de los mismos están fracturados, tienen las superficies redondeadas, las diáfisis onduladas y presentan las epífisis fuertemente digeridas. Asimismo, los bordes de fractura muestran evidencias de estar redondeados con un reborde fino.

**Extrema:** en líneas generales se acrecientan los rasgos observados en la categoría anterior (75 a 100%). Todos los huesos están afectados. Las superficies de la diáfisis está muy ondulada y los bordes de fractura están muy redondeados, sin embargo, el borde de fractura es mucho más grueso que en la categoría anterior.

### 4.6.2. *Fractura*

En este trabajo, se analizó el grado de fractura de los restos craneales y postcraneales, considerando por un lado los restos completos y por otro las diferentes porciones.

Los patrones de fractura pueden estar ligados a los hábitos de ingestión de los depredadores (Andrews, 1990). Muchas especies de estrigiformes tragan a sus presas enteras, generando fracturas mínimas en los elementos esqueletales. En contraste, los mamíferos carnívoros mastican a sus presas y los falconiformes las desmiembran, previamente a la ingesta, originando ensambles de micromamíferos con mayores proporciones de huesos fracturados (Andrews, 1990).

No obstante, los procesos postdepositacionales (*e.g.*, pisoteo), pueden perturbar la composición original del ensamble, produciendo entre otras, altos niveles de fracturas (Matthews *et al*., 2006). Por esta razón, la fractura de elementos no debe analizarse en forma aislada (Andrews, 1990).

**4.6.2.1.** *Fractura del cráneo*

La fracturación del cráneo, han sido analizada siguiendo la clasificación propuesta por Andrews (1990). Como se ilustra en la figura 4.5, el autor categoriza al cráneo en cuatro tipos de fractura (**A**, **B**, **C**, **D**). Las dos primeras categorías (**A** y **B**), se consideran como cráneos completos, a pesar de que la segunda (**B**) está definida por la carencia de la fracción posterior de la base del cráneo, esto se debe a que se asume que los cráneos siempre presentan un mínima ruptura (Andrews, 1990); (**C**) maxilares con arcos zigomáticos y (**D**) maxilares sin zigomáticos. Por otra parte, se considera la ausencia y presencia de incisivos y molares de los maxilares.
Para este análisis, se calcula la proporción de cada categoría de fractura (Fernández-Jalvo y Andrews, 1992).

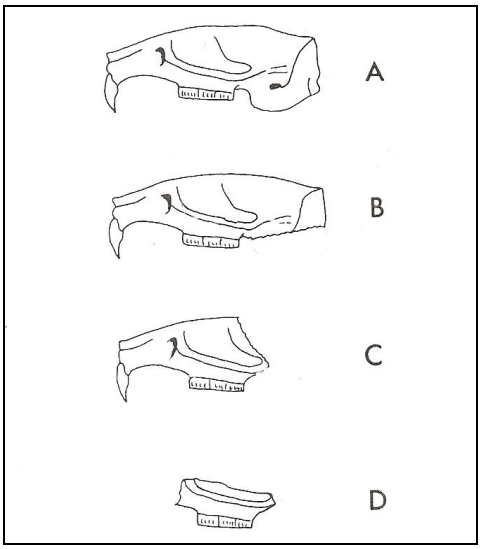


**Figura 4.5.** Categorías de fractura del cráneo. En: Andrews (1990: 53).

**4.6.2.2.** *Fractura de la mandíbula*

Las fracturas de las mandíbulas, han sido analizadas siguiendo la clasificación propuesta por Andrews (1990). De la misma manera que en el caso anterior, el autor categoriza a la mandíbula en cuatro tipos de fracturas (**A**, **B**, **C**, **D**) (Figura 4.6). La categoría (**A)**, está definida como mandíbulas completas; (**B**) mandíbulas con procesos angular y coronóides rotos; (**C**) mandíbulas sin rama ascendente y (**D**) mandíbulas sin rama ascendente y borde inferior roto. Al igual que en los cráneos también se considera la ausencia y presencia de incisivos y molares.

Para este análisis, se calcula la proporción de cada categoría de fractura (Fernández-Jalvo y Andrews, 1992).

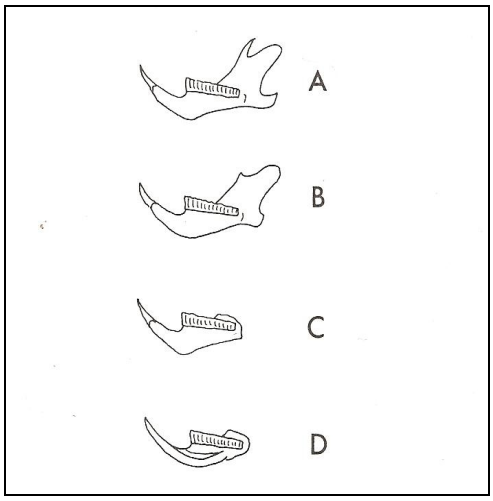


**Figura 4.6.** Categorías de fractura de la mandíbula. En: Andrews (1990: 56).

**4.6.2.3.** *Fractura postcraneal*

Las fracturas postcraneales, han sido analizadas siguiendo la clasificación propuesta por Andrews (1990). El autor considera a los húmeros, fémures, cúbitos y tibias como unidades anatómicas para este análisis. Esta clasificación se basa en la separación de cada elemento en completos, segmento proximal, diáfisis y segmento distal. Estas clases de fracturas están definidas en la figura 4.7.

Para este análisis, se calcula la proporción de cada clase de fractura (Fernández-Jalvo y Andrews, 1992).

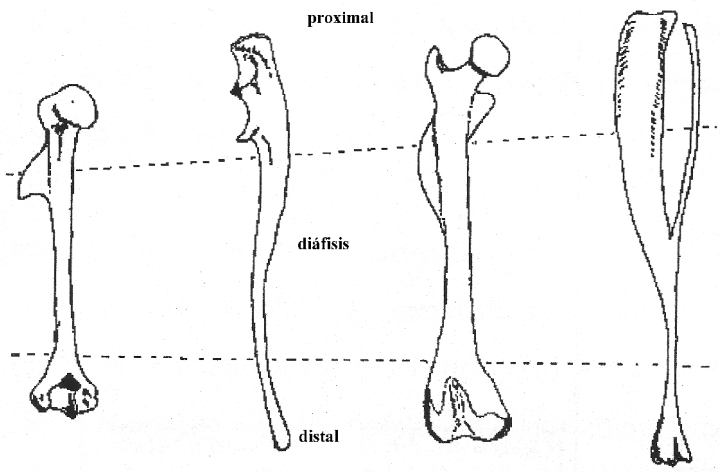


**Figura 4.7.** Categorías de fractura en elementos postcraneales. En: Andrews (1990: 51).

**4.6.2.4.** *Fractura dentaria*

Las fracturas en los dientes incluyen, tanto las rupturas trasversales como las longitudinales y se asume una sola fractura por diente (Andrews, 1990; Fernández-Jalvo y Andrews, 1992). Se calcula separadamente para incisivos y molares, y para dientes aislados e *in situ* (Andrews, 1990; Fernández-Jalvo y Andrews, 1992).
Las fracturas en dientes, a veces están asociadas con procesos digestivos, los cuales debilitan la estructura del esmalte y la dentina, aumentado la fragilidad del diente. Por esta razón, la fractura en dientes aislados es mayor que en los dientes *in situ* (Andrews, 1990).
La proporción de dientes rotos *in situ* (*i.e.*, analizado separadamente para incisivos y molares) se obtiene mediante la relación entre el número de dientes que están fracturados en las mandíbulas y maxilares, con el número de dientes presentes en ellos. Utilizamos el mismo procedimiento para obtener la proporción de dientes rotos aislados.

**4.6.3.** ***Número y proporción de elementos esqueléticos***

Se calcularon el número de especímenes óseos determinados por taxón (**NISP**), el número mínimo de elementos esqueléticos (**MNE**) y el número mínimo de individuos (**MNI**) (Grayson, 1984; Lyman, 1994). Además, se calcularon la abundancia relativa para cada elemento y cinco índices que evalúan las relaciones entre las distintas partes esqueletales. Los resultados obtenidos de estos índices, se expresan en valores numéricos, los cuales cuanto más se aproximan a 100, mayor es el equilibrio entre los elementos (Andrews, 1990).

**4.6.3.1.** *NISP, MNE y MNI*

Dentro de las medidas de abundancia taxonómica se calculó el NISP para cada taxón y para el total de la muestra, teniendo en cuenta todos los restos óseos identificados (Grayson, 1984; Lyman, 1994).

Como medida de abundancia anatómica se calculó eL MNE para cada elemento separadamente, teniendo en cuenta la suma de los huesos completos y las partes proximales o distales (tanto izquierdos como derechos) (Grayson, 1984; Lyman, 1994). La otra de abundancia taxonómica que se calculó fue el MNI, la cual se obtuvo para cada taxón y para el total de la muestra, teniendo en cuenta la lateralidad del elemento más frecuente (Grayson, 1984; Lyman, 1994).

Donde:

**Elemento:** es un hueso o diente anatómicamente completo del esqueleto de un animal (Lyman, 1994).

**Especímen:** se refiere a una parte arqueológica o paleontológica que puede consistir en un hueso completo o fragmento del mismo; un diente completo o fragmento del mismo (Lyman, 1994).

En este trabajo de tesis doctoral se analizaron tafonómicamente, se determinaron taxonómicamente y cuantificaron un NISP de 16.021, un MNE de 15.847 y un MNI de 2.360 en las muestras arqueofaunísticas y un MNI de 1.089 en muestras actuales.

**4.6.3.2.** *Abundancia relativa*

Se evaluó la abundancia relativa de los elementos esqueléticos, considerando la representatividad de cada uno de ellos en el marco del número mínimo de individuos (Andrews, 1990; Fernández-Jalvo y Andrews, 1992):

$$\mathbf{Ri} = \frac{\mathbf{MNEi}}{\mathbf{Ei \times MNI}} \times \mathbf{100}$$

Donde:

**Ri:** Abundancia relativa de un elemento particular, **MNI:** Número mínimo de individuos, **MNEi:** Número mínimo de elementos esqueléticos particulares en la muestra, **Ei**: Número esperado de ese elemento esquelético en un individuo.

Para este análisis, se tuvieron en cuenta los siguientes elementos anatómicos:

Maxilares, mandíbulas, molares sueltos, incisivos sueltos, vértebras, costillas, escápulas, húmeros, radios, cúbitos, pelvis, sacros, fémures, tibias, peronés, calcáneos, astrálagos, metapodios y falanges.

**4.6.3.3.** *Proporción postcráneo-cráneo*

Andrews (1990) y Gómez (2007) observaron que la mayoría de los ensambles derivados de estrigiformes presentaban proporciones más elevadas de elementos postcraneales. Contrariamente, estos autores sostienen que los falconiformes y mamíferos carnívoros se diferencian porque en general producen conjuntos con mayor cantidad de elementos craneales.

En orden de analizar las relaciones entre elementos craneales y postcraneales se calcularon dos índices propuestos por Andrews (1990). El primero (**a**), compara el número de elementos proximales (fémur y húmero), con el número de mandíbulas y maxilares. El segundo (**b**), compara un número mayor de elementos postcraneales (fémur, tibia, húmero, radio y cúbito), con mandíbulas, maxilares y también con molares aislados (Andrews, 1990).

$$\textbf{a-} \quad \frac{f + h}{md + mx} \times 100$$

$$\textbf{b-} \quad \frac{Pc}{c} = \frac{(f + t + h + r + c) \times 16}{(md + mx + m) \times 10} \times 100$$

Donde:

**Pc:** Postcráneo, **c:** cráneo, **f:** fémur, **t:** tibia, **h:** húmero, **r:** radio, **c:** cúbito, **md:** mandíbula, **mx:** maxilar, **m:** molares aislados.

Existe una desigualdad entre los elementos craneales y los postcraneales, los cuales están representados por 16 y por 10 elementos respectivamente. Por esta razón, al segundo índice (**b**), se le aplica un factor de corrección, multiplicando los elementos craneales por 10 y los postcraneales por 16 (Andrews, 1990).

En el cálculo de esto índices no se tuvo en cuenta a los marsupiales porque poseen distintas fórmulas dentarias, los cuales dificultan su aplicación con el algoritmo pc/c (**b**). Este algoritmo fue planteado para micromamíferos con un premolar y dos molares, por lo cual se lleva al valor de corrección a 16 para el cráneo (maxilares, mandíbulas y molares). En el caso de predominar micromamíferos con un premolar y tres molares (*e.g.*, roedores histricognatos como *Ctenomys* spp., *Galea leucoblephara* y *Microcavia australis*) el valor de corrección 16 de la fórmula, debería ser reemplazado por 20.

**4.6.3.4.** *Proporción de elementos distales-proximales*

Los ensambles originados por depredadores presentan una mayor pérdida de elementos distales de los miembros, debido a que son más frágiles que los elementos proximales (Andrews, 1990). Por esta razón, para observar las relaciones entre elementos distales y proximales de los miembros se calculó el siguiente índice propuesto por Andrews (1990):

$$\frac{\mathbf{t + r}}{\mathbf{f + h}} \mathbf{\ x\ 100}$$

Donde: **t:** tibia, **r:** radio, **f:** fémur, **h:** húmero.

**4.6.3.5.** *Pérdida dentaria*

Andrews (1990) y Gómez (2007) observaron una mayor proporción de molares e incisivos retenidos en sus alvéolos en restos consumidos por estrigiformes y una elevada perdida de dientes en ensambles originados por falconiformes y mamíferos carnívoros.

En orden de evaluar la proporción relativa de dientes aislados Andrews (1990), propone dos índices. El primero (**a**), compara el número de molares aislados en los conjuntos, con los alvéolos vacíos de los maxilares y mandíbulas de la muestra conocida. De la misma manera, el segundo (**b**), compara el número de incisivos aislados, con los alvéolos vacíos de los maxilares y mandíbulas. Valores mayores a 100 implican que hubo una pérdida de dientes en la muestra (Andrews, 1990).

**a-** $\frac{\textbf{alv mx + alv md}}{\textbf{m}}$ **x 100**

**b-** $\frac{\textbf{alv mx + alv md}}{\textbf{i}}$ **x 100**

Donde:

**alv mx:** alvéolos maxilares (Andrews lo denomina así, sin embargo correspondería a los premaxilares, debido a que los incisivos superiores se implantan en los mismos), **alv md:** alvéolos mandibulares, **m:** molares, **i:** incisivos.

### 4.6.4. *Categorías de modificación de los depredadores*

Andrews (1990), en base a estudios actualísticos y tomando en consideración todos los rangos de modificación analizados, establece una clasificación de los depredadores en cinco grupos:

**Modificación ligera:** *Tyto alba*, *Nyctea scandiaca*, *Bubo lacteus*, *Strix nebulosa*, *Asio flammeus*, *Asio clamator* (Carrera y Fernández, 2010).

**Modificación intermedia:** *Bubo bubo*, *Bubo africanus*, *Bubo virginianus* (Gómez, 2005), *Strix aluco*.

**Modificación moderada:** *Athene noctua*, *Athene cunicularia* (Montalvo y Tejerina, 2009), *Falco tinnunculus*, *Falco peregrinus*.

**Modificación fuerte:** *Circus cyaneus*, *Nyctea scandiaca*, *Ichneumia albicauda*, *Canis latrans*, *Genetta genetta*, *Octocyon megalopis*, *Milvus milvus*, *Buteo buteo*, *Buteo polyosoma* (Iglesias, 2009), *Aegypius occipitales, Caracara plancus* (Montalvo y Tallade, 2009), *Leopardus geoffroyi* (Gomez, 2007; Alvarez *et al*., en prensa; Montalvo *et al*., en prensa a)

**Modificación extrema:** *Martes martes*, *Canis latrans*, *Vulpes vulpes*, *Alopex lagopus*, *Lycalopex griseus* (Gómez y Kaufmann, 2007), *Puma concolor* (Montalvo *et al*., 2007),

*Conepatus chinga* (Montalvo *et al*., 2008), *Homo sapiens* (Crandall y Stahl, 1995; Deward y Jarardino, 2007).

### 4.7. Acción humana sobre conjuntos de micromamíferos

Para detectar la posible actividad antrópica sobre los conjuntos de microvertebrados recuperados de los sitios arqueológicos se tuvieron en cuenta los siguientes atributos metodológicos: marcas de corte, termoalteración, corrosión digestiva, partes esqueletales, patrones de fractura y tipos de taxones recuperados.

#### 4.7.1. *Marcas de corte*

Las marcas de corte son alargadas, lineales de longitud y ancho variable, presentan un fondo cuya sección transversal tiene forma de "V" con microestrías paralelas. Asimismo, las marcas de corte presentan direccionalidad con orientación paralela o sub-paralela, ubicadas en sectores del hueso asociado a inserciones musculares (Shipman y Rose, 1983).

En este trabajo se observaron las huellas de corte según su disposición, orientación y profundidad, siguiendo a Quintana (2005). El mencionado autor, estudiando los microroedores recuperados de sitios arqueológicos de las Sierras de Tandilia, pudo identificar tres tipos de marcas de corte:

**1**. Marcas cortas y poco profundas, dispuestas en forma oblicua o transversal al eje de los huesos largos. Estos tipos de marcas se relacionan con la actividad de cuereo (Quintana, 2005).

**2**. Marcas excepcionalmente largas y longitudinales al eje del hueso. Esta clase de marcas han sido asociadas a la acción de descarne (Quintana, 2005).

**3**. Marcas cortas, paralelas y dispuestas en grupos. Esta categoría se corresponde con la fisonomía de los raspados (Quintana, 2005).

#### 4.7.2. *Corrosión digestiva, partes esqueletales y patrones de fractura*

Deward y Jarardino (2007), a partir de restos de micromamíferos recuperados de un sitio arqueológico y de la cavidad abdominal de un esqueleto humano y Crandall y

Stahl (1995) en base a un trabajo experimental, realizaron un estudio tafonómico de micromamíferos consumidos por *Homo sapiens*. Estos autores mostraron que los micromamíferos consumidos por *H. sapiens* presentan evidencias de elevada corrosión digestiva y fractura esqueletal. Los autores concluyen que los humanos pueden incluirse en la categoría de modificación extrema (*sensu*, Andrews, 1990). Por otra parte, Deward y Jarardino (2007) observaron dos patrones contrastantes de abundancia relativa de partes esqueletales, entre los restos provenientes de la cavidad abdominal del esqueleto humano y aquellos exhumados del sitio arqueológico. El primero se caracterizó por la ausencia de restos craneales y abundancia de húmeros, fémures y tibias; y el segundo por la abundancia de elementos craneales y una marcada escasez de restos postcraneales. Este patrón fue interpretado por los autores como un descarte del cráneo de los micromamíferos previamente a ser consumidos.

### 4.7.3. *Categorías de tamaño*

Los micromamíferos (mamíferos < 1 kg), se dividieron en tres categorías de tamaño: chico (< 50 g.), mediano (entre 50 y 150 g.) y grande (> 150 g) (modificado de Pardiñas, 1996-1998).

La primera categoría esta conformada por los marsupiales *Lestodelphys halli* y *Thylamys pallidior* y los roedores sigmodontinos *Akodon spegazzinii*, *Akodon molinae*, *Abrothrix olivaceus*, *Abrothrix longipilis*, *Abrothrix andinus*, *Chelemys macronyx*, *Oligoryzomys flavescens*, *Oligoryzomys longicaudatus*, *Calomys musculinus* y *Eligmodontia* spp. La segunda por los sigmodontinos *Phyllotis xanthopygus*, *Graomys griseoflavus*, *Loxodontomys micropus*, *Reithrodon auritus*, *Euneomys chinchilloides* y *Euneomys mordax*. La tercera por los roedores histricognatos *Galea leucoblephara*, *Microcavia australis* y *Ctenomys* spp.

### 4.7.4. *Índices de tamaño y predictibilidad*

En base a las categorías de tamaño Pardiñas (1999b) desarrolló un índice para evaluar la acción de aves rapaces en la génesis de los conjuntos de micromamíferos, diferenciando los conjuntos generados por rapaces nocturnas (Strigiformes), de aquellos depositados por rapaces diurnas (Falconiformes):

**Índice de tamaño (IT)** = (MNI Pequeños + MNI Medianos) / (MNI Grandes) x 100 (modificado de Pardiñas, 1999b).
En este estudio se utilizó este índice para distinguir conjuntos de micromamíferos acumulados por humanos, de aquellos generados por rapaces. En tal sentido, valores por encima de 100 indicaría acción de aves rapaces y por debajo de este número podría señalar actividad antrópica. Esto se debe a que en contraste con la mayoría de las aves rapaces, los humanos depredan sobre los micromamíferos de mayor tamaño.

Por otra parte, Pardiñas (1999b) propone otro índice para avaluar la actividad antrópica: **Índice de predictabilidad (IP)** = (MNI Coloniales + MNI Gregarios + MNI Agrupados) / (MNI Crípticos + MNI Solitarios) x 100. Donde los roedores cávidos se incluyen en las categorías de Coloniales y Gregarios, *Ctenomys* spp. en la de Agrupados y los sigmodontinos corresponden generalmente a la categoría de Crípticos y Solitarios.
Cuando los valores están por encima de 100 podría señalar concentraciones producidas por humanos y de aves rapaces diurnas y por debajo de este número indicaría acción de rapaces nocturnas (Pardiñas, 1999b).

#### 4.7.5. *Restos termoalterados*

Pardiñas (1999b) propone cuatro aspectos a tener en cuenta cuando se hacen interpretaciones sobre restos termoalterados de micromamíferos provenientes de sitios arqueológicos: **a)** taxones involucrados; **b)** números de elementos involucrados; **c)** categoría de alteración térmica y **d)** tipos de elementos afectados. En síntesis estos aspectos fueron descriptos de la siguiente forma:
**a)** los huesos quemados como producto del consumo humano, deberían corresponder mayormente a micromamíferos de tamaño grande (*G. leucoblephara*, *M. australis* y *Ctenomys* spp.), en detrimento de roedores de menor tamaño como los sigmodontinos.
**b)** Cuando la cantidad de restos termoalterados alcanza el 20% del total de la muestra, puede asociase alguna actividad antrópica, considerando también que cumpla con el aspecto anterior.
**c)** establece tres categorías de alteración térmica: huesos quemados, huesos quemados en sus extremos y huesos levemente termoalterados. La primera abarca a los que

exhiben la superficie externa de color negro o gris blanquecino (calcinados) en más de un 50%, la segunda incluye a los huesos largos termoalterados parcialmente en los extremos de la diáfisis y en las epífisis y la tercera es una categoría intermedia entre los huesos quemados y los no alterados térmicamente, en donde presentan una coloración castaña oscura.

**d)** en los conjuntos de huesos quemados como producto del consumo humano, puede haber un mayor nivel de incidencia sobre las tibias, donde pueden concentrarse en el extremo de la diáfisis distal. Esta característica puede asociarse con un modelo de cocción donde la temperatura produce una retracción de la musculatura en los sectores distales apendiculares, las cuales pueden quedar directamente expuestas al fuego.

## 4.8. Metodología para el estudio tafonómico de aves

En la mayoría de las aves, los huesos son huecos, tienen las paredes delgadas, son muy porosos y presentan trabéculas diagonales que los refuerzan e impiden que se arqueen (denominada estructura o armazón de Warren) (Kardong 1999; Young 1971). La matriz ósea está formada por haces de fibras colágenas finas y paralelas y un mayor porcentaje de sales minerales de calcio (Devillers y Clairambault 1977). Por lo tanto, tienden a ser más ligeros y más quebradizos que los huesos de otros grupos de vertebrados (Duke *et al*. 1973). En general los huesos de las aves sufren una alteración digestiva semejante a la observada en huesos de mamíferos, aunque con mayores porcentajes de incidencia (Bochenski y Tomek, 1997). Asimismo, estos investigadores coinciden con Andrews (1990) y Fernández-Jalvo y Andrews (1992) en que los efectos de los procesos postdepositacionales pueden distinguirse de la corrosión digestiva, por su acción más uniforme sobre las superficies de los huesos.

### 4.8.1. *Categorías de superficies dañadas*

En el marco de los estudios tafonómicos se observaron las superficies de los huesos, siguiendo las categorías de superficies dañadas propuestas por Bochenski y Tomek (1997), en base a estudios sobre egagrópilas de aves rapaces:

**(1) Superficie del hueso (epífisis y diáfisis):**

**A: Sin daño**.

**B: Redondeada:** caracterizada con hoyos y depresiones con bordes redondeados. Este tipo de modificación se asocia fundamentalmente a acción digestiva, aunque podría originarse por corrosión sedimentaria.

**C: Aguda:** distinguida por hoyos y depresiones con bordes agudos, ásperos y hundidos. Asociada en general a procesos postdepositacionales, aunque podría producirse por acción digestiva.

**(2) Fractura:**

**A: Aguda:** caracterizada con ángulos agudos y ásperos al eje de la diáfisis. Este tipo de fractura se vincula a procesos postdepositacionales.

**B: Redondeada:** distinguida por ángulos redondeados y frecuentemente adelgazados, siendo la superficie de fractura suave. Asociada a acción digestiva.

**4.8.1.1.** *Categorías de digestión*

Tomando en consideración el grado y frecuencias de digestión de distintas especies de aves rapaces, Bochenski *et al*. (1998) reconocen tres categorías de digestión postcraneal (*i.e*., tomando solo fémures):

**Categoría 1:** produce bajas frecuencias de digestión (0 a 10%) en las diáfisis, y relativamente bajas frecuencias en las epífisis (29 a 55%). Incluye especies de Strigiformes (*e.g*., *Nyctea scandiaca* y *Asio otus*).

**Categoría 2:** se distingue por sus altas frecuencias de digestión en las diáfisis (15 a 33%) y en las epífisis (82 a 84%). Incluye especies de Strigiformes (*e.g*., *Bubo bubo* y *Strix aluco*).

**Categoría 3:** no solo produce mayores frecuencias de elementos alterados, sino que en algunos casos el grado de modificación es mayor. El 56% de las diáfisis y el 96% de las epífisis de los fémures están dañados. Incluye especies de Falconiformes (*e.g.*, *Falco rusticolus*).

### 4.8.2. *Fragmentación de elementos esqueletales*

Los huesos fueron categorizados en clases de fragmentación diferenciadas por Bochenski *et al*. (1993) sobre la base de un estudio tafonómico de egagrópilas de Strigiformes. La fragmentación de los huesos largos fue expresada en porcentajes. No obstante, los huesos del esqueleto axial fueron tan escasos que se pronunciaron en números absolutos.

#### 4.8.2.1. Categorías de fragmentación del cráneo

Las categorías de fragmentación del cráneo propuestas por Bochenski *et al*. (1993), están definidas en la figura 4.8.

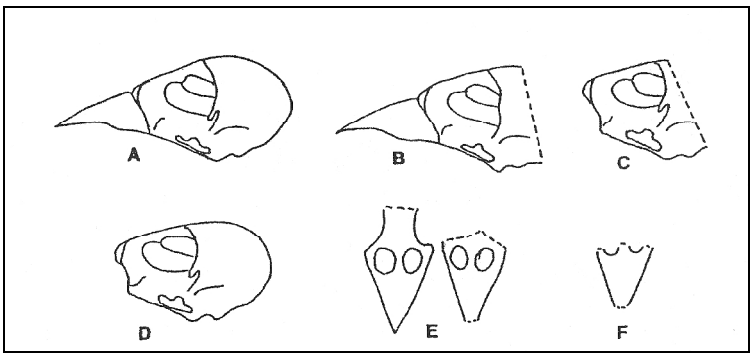


**Figura 4.8.** Categorías de fragmentación del cráneo. **A:** cráneo completo. **B:** cráneo completo, sin parte posterior. **C:** bóveda craneal sin parte posterior. **D:** bóveda craneal. **E:** pico completo. **F:** fragmento del pico. En: Bochenski *et al*. (1993: 315).

#### 4.8.2.2. Categorías de fragmentación de la mandíbula

Las categorías de fragmentación de la mandíbula propuestas por Bochenski *et al*. (1993), están definidas en la figura 4.9.

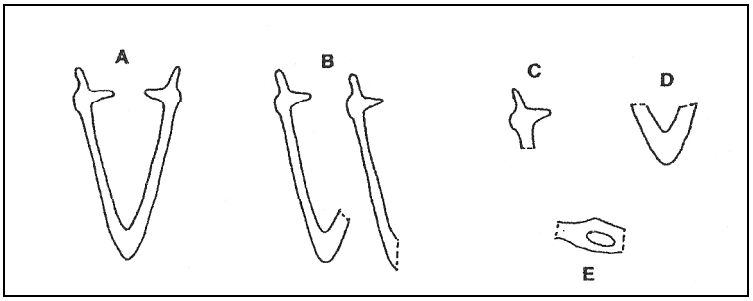


**Figura 4.9.** Categorías de fragmentación de la mandíbula. **A:** completa (*i.e.*, ambas mandíbulas). **B:** una rama mandibular. **C:** porción articular. **D:** extremo de la mandíbula. **E:** porción media de la mandíbula. En: Bochenski *et al*. (1993: 315).

**4.8.2.3.** *Categorías de fragmentación del esternón*

Las categorías de fragmentación del esternón propuestas por Bochenski *et al*. (1993), están definidas en la figura 4.10.

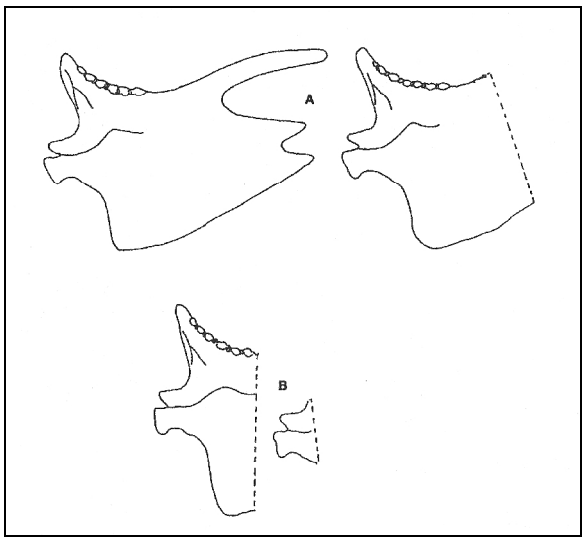


**Figura 4.10.** Categorías de fragmentación del esternón. **A:** más de la mitad del esternón (incluye esternón completo). **B:** menos de la mitad del esternón. En: Bochenski *et al*. (1993: 316).

**4.8.2.4.** *Categorías de fragmentación de la pelvis*

Las categorías de fragmentación de la pelvis propuestas por Bochenski *et al*. (1993), están definidas en la figura 4.11.

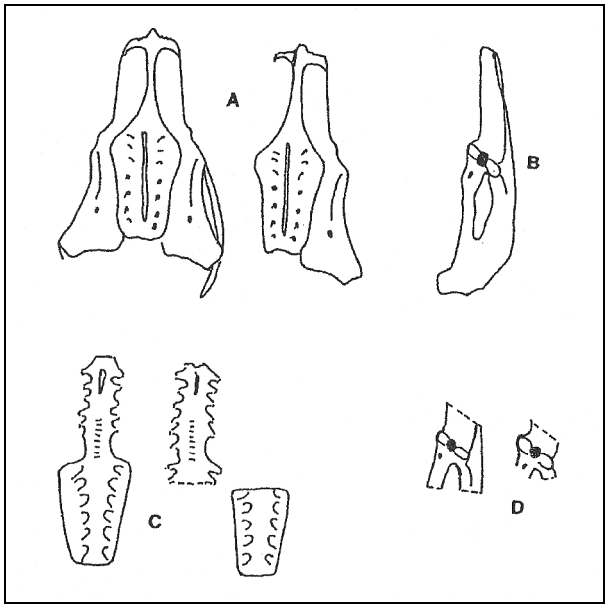


**Figura 4.11.** Categorías de fragmentación de la pelvis. **A:** sinsacro con uno o dos huesos del íleon, isquion y pubis (incluye pelvis completa). **B:** Huesos íleon, isquion y pubis. **C:** sinsacro entero o parcial. **D:** región del acetábulo. En: Bochenski *et al*. (1993: 316).

### 4.8.2.5. *Categorías de fragmentación de los huesos largos*

Las categorías de fragmentación de los huesos largos propuestas por Bochenski *et al*. (1993), están definidas en la figura 4.12. Para simplificar, los autores incluyen dentro de esta categoría de fragmentación tanto a los huesos de los miembros, como al coracoides, escápula y primera falange digital mayor.

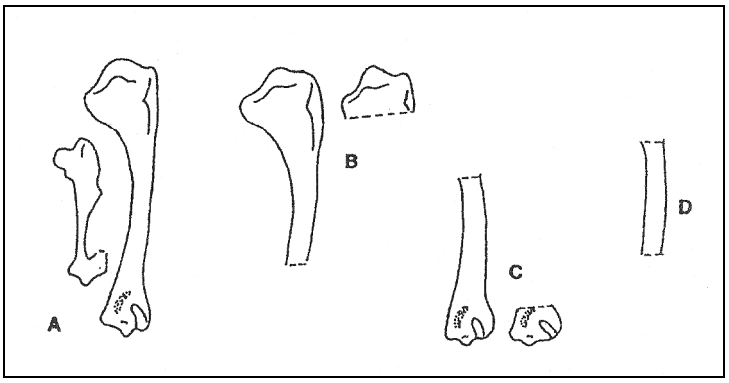


**Figura 4.12.** Categorías de fragmentación de los huesos largos. **A:** huesos completos. **B:** epífisis proximal con o sin diáfisis. **C:** epífisis distal con o sin diáfisis. **D:** diáfisis. En: Bochenski *et al*. (1993: 317).

### 4.8.3. *Porcentajes de huesos enteros*

Esta proporción fue calculada comparando la parte de elementos completos con el número total de fragmentos de un tipo particular de hueso. Las especies de aves rapaces pueden ser reunidas en tres grupos, de acuerdo al daño que producen sobre los huesos:

**Grupo 1:** los huesos se encuentran muy fragmentados; y en muchos casos la parte de elementos completos está por debajo del 30%. Incluye restos óseos de egagrópilas de especies de Falconiformes (*e.g.*, *Falco rusticolus*, *Aquila adalberti*).

**Grupo 2:** en este grupo intermedio, los porcentajes de huesos completos varían de 30 a 60%. Incluye restos óseos de egagrópilas de especies de Strigiformes (*e.g.*, *Bubo bubo*, *Strix aluco*).

**Grupo 3:** los huesos se encuentran poco fragmentados y la parte de elementos completos está por arriba del 60%. Incluye restos óseos no ingeridos de especies de Falconiformes (*e.g.*, *Falco peregrinus*, *Falco rusticolus*, *Aquila chrysaetos*, *Aquila heliaca*) y restos óseos de egagrópilas de una especie de Strigiformes (*Asio otus*).

### 4.8.4. *Numero mínimo de individuos (MNI)*

Con el objetivo de identificar el agente acumulador, se realizó el cálculo del número mínimo de individuos (MNI), siguiendo la propuesta de Bochenski *et al*. (1993). El MNI fue calculado para cada elemento separadamente. Los resultados se presentan como números absolutos (*i.e.*, MNI Elemento) y como porcentajes con respecto a los elementos con los valores más altos de MNI. (*i.e.*, Total MNI%). Para este cálculo todos los taxones se tomaron en forma conjunta, sin determinar las especies; y los fragmentos proximales y distales se trataron separadamente. Aunque este procedimiento seguramente subestime el valor del MNI, el error, sería similar para cada tipo de elemento; y esto podría significar un ahorro de mucho tiempo en el análisis (Bochenski *et al*., 1993).

Por otro lado, si bien el MNI es una medida de abundancia taxonómica, calculado de esta forma su utilidad para indagar acerca del agente acumulador de agregados óseos de

aves de pequeño tamaño, ha sido ampliamente sustentada en numerosos trabajos (véase Bochenski, 1997, 2005; Bochenski *et al*., 1993, 1997, 1998, 1999, 2009; Bochenski y Tomek, 1994; Bochenski y Nekrasov, 2001; Bochenski y Tornberg, 2003; entre otros).

### 4.8.5. *Número mínimo de elementos (MNE)*

El número mínimo de elementos (MNE) fue calculado para cada elemento separadamente, expresado en números absolutos y en porcentajes (Bochenski *et al*., 1993).

### 4.8.6. *Relación entre elementos del miembro anterior y miembro posterior*

Como una forma de evaluar el origen de las acumulaciones estudiadas y siendo especialmente útil para discriminar entre conjuntos formados por aves rapaces, de aquellos originados por la acción antrópica (Ericson, 1987, Bochenski, 2005), se efectuó el cálculo de la relación entre elementos del miembro anterior y miembro posterior propuesto por Ericson (1987). Este cómputo denominado por Ericson (1987) como "wing / leg ratio", se realiza dividiendo el número de fragmentos del miembro anterior (húmero, cúbito y carpometacarpo) con la suma de fragmentos del miembro anterior y del miembro posterior (fémur, tibia y tarsometatarso).
El cálculo se expresó en porcentaje y se utilizó la prueba de Chi-cuadrado para evaluar la posible desviación del 50% esperado (proporción 1:1) (Ericson, 1987; Livingston, 1989).

$$\frac{\mathbf{h + c + cm}}{\mathbf{h + c + cm + f + t + tm}}$$

Donde: **h:** húmero, **c:** cúbito, **cm:** carpometacarpo, **f:** fémur, **t:** tibiotarso, **tm:** tarsometatarso.

A partir de este cálculo y utilizando información generada de estudios previos de egagrópilas y restos no ingeridos de aves rapaces, Bochenski y Nekrasov (2001) distinguen cuatro grupos:

**Grupo I:** los elementos del miembro anterior y posterior presentan la misma frecuencia (relación 1:1). Incluye restos óseos de egagrópilas de especies de Strigiformes y Falconiformes (*e.g.*, *Asio otus, Falco rusticolus*).

**Grupo II:** presentan un ligero predominio de elementos del miembro anterior (53-57%). Incluye restos óseos de egagrópilas de Strigiformes (*e.g.*, *Bubo bubo*, *Strix aluco*) y restos no ingeridos de especies de Falconiformes (*e.g.*, *Aquila chrysaetos*).

**Grupo III:** presentan un predominio fuerte de elementos del miembro anterior (66-89%). Incluye restos no ingeridos de especies de Falconiformes (*e.g.*, *Aquila heliaca*, *Haliaeetus albicilla*, *Aquila chrysaetos*).

**Grupo IV:** prevalecen los elementos del miembro posterior. Incluye restos óseos de egagrópilas de especies de Falconiformes **(***e.g.*, *Aquila heliaca*).

### 4.8.7. *Relación entre elementos proximales y distales*

La relación entre elementos proximales y distales del esqueleto, fue calculada dividiendo el número de fragmentos proximales (escápula, coracoides, húmero, fémur y tibiotarso) con la suma de fragmentos proximales y distales (cúbito, radio, carpometacarpo y tarsometatarso). El cálculo se expresó en porcentaje y se utilizó la prueba de Chi-cuadrado para evaluar la posible desviación del 50% esperado (proporción 1:1) (Bochenski y Nekrasov, 2001; Bochenski, 2005).

$$\frac{\mathbf{e + cd + h + f + t}}{\mathbf{e + cd + h + f + t + c + r + cm + tm}}$$

Donde: **e:** escápula, **cd:** coracoides, **h:** húmero, **f:** fémur, **t:** tibiotarso, **c:** cúbito, **r:** radio; **cm:** carpometacarpo, **tm:** tarsometatarso.

A partir de este cálculo, Bochenski y Nekrasov (2001) en base a estudios previos de egagrópilas y restos no ingeridos de aves rapaces distinguen tres grupos:

**Grupo I:** los elementos proximales y distales presentan la misma frecuencia (relación 1:1). Incluye restos óseos de egagrópilas de especies de Falconiformes (*e.g.*, *Falco rusticolus* y *Aquila heliaca*).

**Grupo II:** el predominio de elementos proximales es de 56-64%. Incluye restos óseos de egagrópilas de Strigiformes (*e.g.*, *Bubo bubo*, *Strix aluco*, *Asio otus*) y restos no ingeridos de especies de Falconiformes (*e.g.*, *Aquila heliaca*, *Haliaeetus albicilla*).

**Grupo III:** los elementos proximales sobrepasan el 80%. Incluye restos no ingeridos de especies de Falconiformes (*e.g.*, *Aquila chrysaetos*).

### 4.9. Metodología para el estudio tafonómico de reptiles

Si bien no existe una metodología específica para el estudio tafonómico de restos óseos de reptiles de pequeño tamaño, en este estudio se siguieron los lineamientos generales empleados en el único trabajo basado en un análisis tafonómico de este tipo de vertebrados (Castillo *et al*., 2001), el cual tuvo lugar en el sitio paleontológico La Cueva del Llano, en las Islas Canarias (España). Los autores mencionados aplican algunos de los aspectos metodológicos propuestos por Andrews (1990) en el estudio de micromamíferos. En este sentido, se analizaron la abundancia relativa de los elementos esqueletales, fragmentación de algunos huesos largos (*i.e.*, fémur, húmero, tibia y cúbito) y corrosión digestiva en todos los elementos esqueletales. Asimismo, se calcularon dos índices: el primero para comparar la proporción de elementos postcraneales respecto de los elementos craneales [(húmero + fémur) / (mandíbula + maxilar)] x 100 y el segundo para evaluar la relación entre los elementos distales y proximales de los miembros [(tibia + radio) / (fémur + húmero)] x 100.

### 4.10. Procesos postdepositacionales

#### 4.10.1. *Pisoteo*

El pisoteo es un proceso mecánico que generalmente ocurre en forma previa a su entierro, por el cuál los restos óseos y dentarios se friccionan con el sedimento, debido a la fuerza ejercida por el tránsito de los animales y humanos.

En base a estudios experimentales sobre restos de micromamíferos, Andrews (1990) observó que el pisoteo es un proceso muy destructivo y del cual emergen patrones de fractura característicos. Entre estos podemos mencionar: la ausencia de cráneos completos, reducción del número de maxilares, considerable pérdida de dientes de las mandíbulas (implicando un aumento en el número de dientes aislados), alto grado de fractura y cierta pérdida de elementos postcraneales, pero con alta supervivencia de los elementos más pequeños.

Diversos experimentos conducidos por Courtin y Villa (1982), Behrensmeyer *et al*. (1986), Olsen y Shipman (1988), Fiorillo (1989) y Domínguez-Rodrigo *et al*. (2009), sobre los efectos del pisoteo en restos de mamíferos grandes, han demostrado que este proceso puede originar marcas de rasgado producto de la fricción contra el sedimento, las cuales pueden ser diferenciarlas de aquellas producidas por instrumentos líticos (Denys, 2002). Las marcas producidas por pisoteo son superficiales, tienen una orientación transversal al hueso, con una ubicación mucha más azarosa que las marcas de corte. A diferencia de las marcas de corte, el fondo es poco profundo, con una sección curva en forma de "U" o plana. Generalmente carecen de estrías paralelas, aunque pueden presentar microestrías interiores y levantamientos laterales (Lyman, 1994; Domínguez-Rodrigo *et al*., 2009).

Asimismo, el pisoteo proporciona altos niveles de dispersión y fractura en los agregados fósiles, los restos presentan bordes angulosos y ásperos (Andrews, 1990); por el contrario, los restos óseos fracturados e ingeridos por depredadores, presentan bordes redondeados, suaves y con huellas de corrosión digestiva (Andrews, 1990; Bochenski y Tomek, 1997). Este tipo de proceso es habitual en las cuevas, debido a que son unidades espaciales de circulación restringida (Pardiñas, 1999a, 1999b).

### 4.10.2. *Meteorización*

Behrensmeyer (1978) en su definición de meteorización incluye tanto agentes físicos como químicos, operando ambos sobre la superficie y dentro del suelo. Sin embargo, para Andrews (1990) la meteorización se refiere solo a los agentes físicos tales como el

sol, viento, lluvia y cambios de temperatura, de modo que los efectos del entierro y la corrosión del suelo son parte de los procesos diagenéticos.

Se observaron los efectos de la exposición de los restos óseos y dentarios a los agentes meteóricos (*i.e.*, la radiación ultravioleta (UV) del sol, el viento, la lluvia y los cambios de temperatura), siguiendo la propuesta de estadios de meteorización de Andrews (1990) para los restos de micromamíferos y la de Bochenski y Tomek (1997) para los restos de aves pequeñas.

Con el propósito de graduar la intensidad y las alteraciones, Behrensmeyer (1978) ha establecido seis estadios de meteorización para mamíferos grandes en diferentes ambientes tropicales africanos (*i.e.*, Amboseli Park, Kenia). Asimismo, Andrews (1990) propone cuatro estadios de meteorización para micromamíferos en un clima templado y húmedo (*i.e.*, Stratton Dorset, Inglaterra). Por su parte, Bochenski y Tomek (1997) distinguen dos estadios de meteorización para aves pequeñas en dos ambientes de transición, secos y templados (*i.e.*, Záskogo Cave, Bulgaria y Ciemna Cave, Polonia).

En la tabla 4.2 se pueden observar los patrones de meteorización de micromamíferos descriptos por Andrews (1990) y los de aves diferenciados por Bochenski y Tomek (1997). Asimismo, son comparados con los patrones de meteorización de mamíferos grandes distinguidos por Behrensmeyer (1978).

La alteración por meteorización en huesos y dientes de mamíferos, está caracterizada por la presencia de agrietamientos, resquebrajamientos, astillas y exfoliaciones de las superficies (Behrensmeyer, 1978; Andrews, 1990); mientras que en huesos de aves pequeñas, se caracterizan por hoyos concéntricos y depresiones con bordes agudos y exfoliaciones en las superficies (Bochenski y Tomek, 1997).

Las diferencias existentes entre los resultados de Behrensmeyer (1978) y Andrews (1990) podrían deberse al clima o condiciones locales del área de experimentación (Cáceres, 2002). La primera realizó su estudio en la sabana africana, mientras que el segundo experimentó en áreas templadas y húmedas. Por ende, el tiempo necesario para la aparición de los primeros agrietamientos es mucho mayor en un ambiente húmedo (Bennàsar Serra, 2005).

| Estadio | **Macromamíferos Behrensmeyer (1978)** | años | **Micromamíferos Andrews (1990)** | años | **Aves Bochenski y Tomek (1997)** | años |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **0** | No hay modificación | 0-1 | No hay modificación | 0-2 | No hay modificación | 0-4+ |
| **1** | Agrietamiento paralelo a la estructura fibrosa, las superficies de articulación pueden exhibir un agrietamiento en mosaico. Podría haber grasa y tejidos epidérmicos. | 0-3 | Ligero agrietamiento paralelo a la estructura fibrosa. Dientes con dentina resquebrajada. | 1-5 | Epífisis con uno o más hoyitos con bordes ásperos. Diáfisis sin modificación o solo con hoyitos con bordes ásperos, o depresiones con bases ásperas. Las fracturas podrían ser agudas y redondeadas, o semi-redondeadas. Podría haber tendones y plumas. | 1-4+ |
| **2** | Exfoliación concéntrica, usualmente asociada a grietas con pérdida de tejido cortical. Podría haber restos de cartílagos, ligamentos y piel. | 2-6 | Agrietamiento más extensivo, pero poca exfoliación. Dientes con un pronunciado astillado y agrietamiento. | 3-5+ | Epífisis con un poseado extenso y con hoyos grandes y chicos con bordes agudos y ásperos; y depresiones con bordes ásperos. Exfoliación concéntrica. Fractura aguda y áspera, muy frágil. No hay tendones ni plumas. | 1- a muchos años |
| **3** | El tejido compacto está homogeneamente alterado, resultando en una textura fibrosa. La meteorización penetra 1,5 mm. | 4-15 | Agrietamiento profundo y pérdida de algunos segmentos profundos o escamas entre grietas. Dientes con agritamiento extensivo. | 4-5+ | | |
| **4** | Superficie muy fibrosa y ásperas, con desprendimientos de astillas. La meteorización penetra en el interior de las cavidades | 6-15 | | | | |
| **5** | Destrucción del resto *in situ* con grandes astillas a su alrededor. | 6-15 | | | | |

**Tabla 4.2.** Cuadro comparativo de los estadios de meteorización de restos de mamíferos grandes (Behrensmeyer, 1978), de micromamíferos (Andrews, 1990) y de aves pequeñas (Bochenski y Tomek, 1997). Los restos de mamíferos grandes fueron expuestos en clima tropical, los restos de micromamíferos en clima templado y húmedo y los restos de aves en clima de transición, seco y templado. En Bochenski y Tomek (1997: 384).

Los estadios de meteorización propuestos por estos autores son operativos para el análisis de los conjuntos faunísticos, sin embargo hay que tener en cuenta que sus investigaciones fueron realizadas en ambientes diferentes a los del sur de Mendoza y por ende, los agentes meteóricos posiblemente incidirán de manera distinta sobre los restos.

### 4.10.3. *Abrasión*

La abrasión es la remoción del material del hueso causada por el impacto de partículas sedimentarias (Shipman y Rose, 1988). Es el resultado de cualquier agente que erosiona los bordes y la superficie del hueso a través de la aplicación de una fuerza física (Lyman, 1994). En este sentido, se opone a cualquier tipo de disolución química que pueda afectar al hueso (Behrensmeyer *et al*., 1989). Sus rasgos principales son la presencia de redondeamientos, pulidos y estriación microscópica en las superficies óseas (Korth, 1979; Andrews, 1990; Lyman, 1994; entre otros).

En orden de observar los diferentes tipos de abrasión sobre restos de microvertebrados se han realizado numerosos experimentos (*e.g*., Korth, 1979; Andrews, 1990, 1995; Fernández-Jalvo, 1992; Trapani, 1998; Pinto y Andrews, 1999; Fernández-Jalvo y Andrews, 2003; Smoke y Stahl, 2004).

El transporte hídrico en cualquier tipo de sedimento produce abrasión, manifestada como redondeamiento y pulido de toda la superficie del hueso, afectando más a las protuberancias, crestas prominentes o a los bordes previamente fracturados (en sedimentos más gruesos se reduce el tiempo que necesita para modificarse, pero el resultado es el mismo). Este tipo de modificación es diferente a la resultante de la digestión donde la superficie afectada está localizada en sectores puntuales del hueso (Pinto y Andrews, 1999).

Trabajos experimentales conducidos por Korth (1979) y Fernández-Jalvo y Andrews (2003), observaron bajos grados de fracturas, donde solo las proyecciones y articulaciones fueron afectadas y con escasas evidencias de pulido. Los autores mencionados destacan que el transporte hídrico suele producir hoyos en la cara externa de las mandíbulas de los micromamíferos. Asimismo, estos autores y Andrews (1995) registraron que el grado de redondeamiento de los huesos dependía del tamaño de los clastos.

Por otra parte, Andrews (1990) en un experimento para analizar la abrasión en restos de micromamíferos, sin utilizar agua, observó altos niveles de fractura, donde las ramas ascendentes y el borde anterior de las mandíbulas estaban rotas, los molares se desprendieron de los alvéolos y los dientes estaban ligeramente resquebrajados. Además, este autor registró que el peroné estaba separado de la tibia y había sufrido algunas modificaciones en las cabezas del fémur.

Posteriormente, Andrews (1990) introduce piedras grandes en el mismo experimento (*i.e.*, dos piedras de 368g). Despues de una hora el autor observó que los cráneos y mandíbulas estaban completamente fracturados, los dientes estaban astillados principalmente en las raíces, y algunos estaban fracturados. Por su parte los huesos largos presentaron fracturas en las diáfisis y/o en las epífisis. Pasadas tres horas de experimentación, solo pudo recuperar epífisis o diáfisis muy fracturadas, incluyendo a los elementos más pequeños como falanges y metapodios, y ninguno de los elementos estaba redondeado, pero si dentados (Andrews, 1990).

Realizando experimentos sobre transporte diferencial de partes esqueletales en flujos de agua, Korth (1979) registró tres grupos diferentes de acuerdo a su factibilidad de transporte. En el primero los elementos más ligeros son transportados, tales como las vértebras, pelvis, costillas, escápula y falanges. En segundo lugar, cuando aumenta la corriente de agua, son transportados los huesos largos, calcáneo y astrágalo. Finalmente, el tercer grupo, se desplaza cuando ocurren los valores más altos del flujo de energía hídrica. En este caso se transportan las mandíbulas y dientes (Korth, 1979).

No obstante, hay otros parámetros actuando en contextos sedimentarios que podrían afectar los resultados, tales como la velocidad y turbulencia del agua, los tipos de sustrato, la topografía y la morfología de los huesos (Fernández-Jalvo y Andrews, 2003).

Una característica distintiva de la abrasión en restos de micromamíferos consiste en la formación de hoyos en cara externa de la mandíbula, por debajo de la serie dentaria (Korth, 1979; Fernández-Jalvo y Andrews, 2003). Es interesante destacar que las egagrópilas se desintegran en el agua y los huesos contenidos en ellas se dispersan (Korth, 1979).

Por otro lado, Trapani (1998) al analizar el transporte hidrodinámico en huesos de aves (especialmente *Columba livia*), observó diferencias con respecto a los huesos de otros taxones de aves. A diferencia de lo que ocurre con los mamíferos registró que el cráneo

es el elemento que se dispersa con más facilidad. Además, este autor observó que las vértebras y costillas también son elementos que se dispersan rápidamente, como sucede en los mamíferos y que posteriormente se dispersan los huesos largos y la escápula.
Smoke y Stahl (2004) en su análisis experimental sobre restos de microvertebrados provenientes de egagrópilas de Strigiformes, muestran que los huesos compactados por la presión del sedimento presentaban modificaciones variables, la cuales dependen del tamaño de grano del sedimento, exhibiendo un daño más grande en sedimentos de grano fino que los de grano grueso. Esto es probablemente porque en el sedimento de grano fino se incrementa la superficie de contacto. Bajo condiciones similares, el autor encontró que los huesos no digeridos presentaron relativamente poco daño y los elementos más frágiles como la escápula se fracturan tempranamente bajo la compactación. No obstante, registró que las fracturas de la parte media de la diáfisis o las fracturas transversas en las vértebras aparecen posteriormente cuando se incrementa la presión del sedimento.

### 4.10.4. *Marcas de raíces*

Después del entierro, los huesos pueden ser afectados por la acción de raíces de las plantas (Lyman, 1994). Basado en un mecanismo de alteración químico y físico, las superficies de los huesos pueden ser alteradas (Courty *et al*., 1989; Fernández-Jalvo *et al*., 2002). La asociación simbiótica entre las raíces de plantas y los hongos (Micorrizae) o bacterias (Rhizobium) actúan como agentes de descomposición química de nutrientes orgánicos y minerales (Courty *et al*., 1989). Estas simbiosis son importantes para el crecimiento de la planta, y están implicadas en el proceso de fijación del nitrógeno (Fernández-Jalvo *et al*., 2002). Estos hongos absorben y le transfieren a la raíz de la planta principalmente fósforo, y también zinc, manganeso y cobre (Fernández-Jalvo *et al*., 2002).
Además de presentar alguna pérdida del elemento químico original de los tejidos del hueso por la acción metabólica de los hongos y bacterias de la raíz, también se produce un daño estructural por la marca de raíz, aumentando la porosidad de hueso (Fernández-Jalvo *et al*., 2002).
Existen dos tipos de marcas de raíces. El primer tipo de huella bioerosiva, corresponde a pequeñas marcas dendríticas superficiales, las cuales constituyen canales en forma de

"U", con ramas principales y bifurcadas de 0,15 a 1mm de ancho (Andrews, 1990; Lyman, 1994). Esta categoría de marcas de raíces se denomina "**Sphenoichnia**" e indica el desarrollo de una cubierta herbácea, durante la formación del suelo cuando los huesos fueron depositados y enterrados (Montalvo, 2002b).

El segundo tipo de huella bioerosiva se denomina "**Corrosichnia**", se caracteriza por ser más grande que la anterior, con más 1,5mm de ancho y casi sin bifurcaciones. Presenta contornos muy irregulares, exhibiendo un alto grado de corrosión (Rattallack, 1983, 1990). Este tipo de marca se asocia a la actividad de raíces en tiempos recientes (Montalvo, 2002b).

### 4.10.5. *Diagénesis*

Después del entierro, los huesos pueden ser afectados por agentes físico-químicos que podrían ocasionar importantes cambios en la estructura mineral y orgánica de los mismos (Lyman, 1994; Gutiérrez, 2001, 2007; Denys, 2002; y literatura citada en estos trabajos).

El nivel de alteración de los huesos aumenta a lo largo del tiempo y está asociado por un lado, con la estructura química y molecular, la forma, el tamaño y la porosidad; y por otro lado, con la acción de microorganismos, la temperatura, el pH del sedimento y el agua. De modo que, la combinación de estos factores ocasionan una debilidad en el vínculo de la fracción orgánica (*ca.* 20%) y la fracción mineral (*ca.* 80%) del hueso (Gutiérrez, 2001, 2007). Asimismo, los materiales óseos pueden incorporar elementos por absorción en la superficie de la matriz mineral, por reemplazo de los iones estructurales en los cristales de bioapatita y por precipitación dentro de los poros en la estructura del hueso (Gutiérrez, 2001, 2007).

En las muestras analizadas en esta tesis se pudieron observar algunos de los procesos diagenéticos que afectan a los conjuntos faunísticos, tales como la corrosión sedimentaria y las impregnaciones por óxidos de manganeso, las cuales se detallan a continuación.

#### 4.10.5.1. <u>*Corrosión sedimentaria*</u>

La corrosión sedimentaria es un proceso que puede modificar a los huesos antes o después de estar enterrados (Fernández-Jalvo *et al*., 2002). Este tipo de alteración es una modificación química que se produce principalmente por la acidez o alcalinidad del suelo (Andrews, 1990). Los huesos y dientes pueden ser corroídos en sedimentos por debajo de un Ph 4 (Andrews, 1990). La acidez afecta esencialmente a los componentes inorgánicos de los huesos y dientes y en menor medida a la parte orgánica de los mismos. En cambio la alcalinidad altera principalmente a los componentes orgánicos, mientras que el material inorgánico apenas se modifica (Andrews, 1990).

Trabajos experimentales realizados por Fernández-Jalvo (1992) y Fernández-Jalvo *et al*. (2002) han mostrado que los sedimentos altamente alcalinos (Ph 9-14) producen alteraciones en los restos, tales como agrietamientos en mosaico de las dentinas y descamaciones de las superficies de los huesos, mientras que el esmalte no es afectado. Esto sugiere que la proteína de colágeno es el principal componente afectado por exposición a ambientes altamente alcalinos por largos períodos de tiempo (Fernández-Jalvo *et al*., 2002).

En lo que concierne a los huesos de aves, en suelos con Ph alcalinos también se alteran, exhibiendo hoyos y bordes de fractura redondeados (Bochenski y Tomek, 1994).

Por otro lado, cabe mencionar que bajo condiciones de permanente humedad en el sedimento, los huesos de micromamíferos son afectados en su totalidad, mientras que en condiciones de sequedad, son mejor preservados (Andrews, 1990). Los iones de hidrógeno del agua ácida pueden reemplazar el calcio y provocar su percolación. Además, el agua puede producir la disolución y recristalización de la fracción mineral ósea en el transporte de los iones y en la hidrólisis de la proteína (Gutiérrez, 2001, 2007).

La corrosión sedimentaria puede ser distinguida de los efectos de la digestión, debido a que altera a toda la superficie del hueso, mientras que la corrosión por digestión tiene una acción usualmente localizada (Andrews 1990; Fernández-Jalvo y Andrews 1992; Bochenski y Tomek 1997; Worthy 2001).

#### **4.10.5.2.** *Impregnaciones de óxido de manganeso*

Las impregnaciones por óxidos de manganeso es un proceso que actúa sobre los restos formando manchas de color negro en las superficies de los mismos. El manganeso

precipita como óxido en ambientes donde alternan ciclos de reducción-oxidación (Courty *et al*., 1989). Esta precipitación se produce cuando existe una saturación de estos elementos en agua y una escasez de oxígeno. Este tipo de proceso es común en sitios donde ocurren oscilaciones del nivel freático o encharcamientos de agua (Gómez *et al*., 1999; Gómez, 2000). Potter y Rossman (1979) y Dorn y Oberlander (1981) en base a investigaciones en ambientes desérticos, sugieren que las impregnaciones por óxidos de manganeso se producen por acción bacteriana. Algunas bacterias se concentran en ambientes húmedos y anaeróbicos con un Ph neutro o levemente básico. Para su nutrición, estas bacterias metabolizan los minerales hallados en las arcillas y en los huesos, precipitando sobre ellos las impregnaciones de óxido de manganeso (Bennàsar Serra, 2005).

### 4.11. Análisis paleoambiental

El análisis paleoambiental se fundamenta en el uso de los microvertebrados (en particular la presencia-ausencia de ciertas especies estenoicas) como indicadores de condiciones ambientales. Esto permite una aproximación paleoecológica en función de los requerimientos ambientales y de distribución conocidos para los mismos y de las variaciones en la abundancia relativa, expresadas en valores de MNI. Este método está afectado fundamentalmente por los procesos de agregación de las muestras y sus trayectorias tafonómicas (Pardiñas, 1999a). De este modo, cambios temporales en la abundancia y distribución de los taxones de microvertebrados podrían revelar la naturaleza de los ambientes en el tiempo de depositación (Simonetti, 1989; Andrews, 1995; Pardiñas, 1999a; Teta *et al*., 2005a).

Las muestras arqueofaunísticas fueron comparadas con muestras de egagrópilas de aves rapaces mediante el supuesto teórico del método de análogos modernos (Overpeck *et al*., 1985).

### 4.12. Análisis estadísticos

Las riquezas taxonómicas fueron relacionadas con los tamaños de las muestras, utilizando el coeficiente de correlación por rangos de Spearman ($r_s$). Se utilizó este tipo

de prueba no paramétrica debido a que estadísticamente los valores de las muestras no tienen una distribución normal.

Para realizar las inferencias paleoambientales se calcularon diferentes índices que permiten comparar los conjuntos de una forma más confiable y segura. De esta forma, se calculó la diversidad específica mediante el índice de Shannon y Weaver ($H' = -\Sigma\ p_i \ln p_i$), donde $p_i$ es la proporción de cada especie en la muestra. El rango de valores varía desde 1 hasta ln S (S= riqueza específica), siendo esta última la mayor diversidad. Este índice tiene la ventaja de estar poco afectado por el tamaño de la muestra (Krebs, 1989). Además, se utilizó el índice de equitatividad ($J = H'/ H_{max}$), donde $H_{max} = \ln S$. Los valores varían de 0 a 1, cuando más se aproxima a la unidad más uniformemente están representadas las especies (Krebs, 1989).

Se efectuó un análisis de componentes principales (PCA), en orden de indagar acerca de las relaciones multivariadas entre las muestras, tanto arqueológicas como actuales. Los principales componentes fueron extraídos de una matriz de correlación y se calculó utilizando el MNI%. Para la obtención del PCA se tuvo en cuenta solo los taxones de micromamíferos por considerarse los más sensibles a los cambios ambientales.

Finalmente, se realizaron análisis de agrupamiento (*Cluster Analysis*) mediante la medida de similitud *Jaccard* para datos binarios (presencia-ausencia) y mediante *Euclidean distance* para datos cuantitativos. Los agrupamientos fueron graficados a través del método de unión de distancias promedios entre todos los miembros de los pares de grupos (UPGMA-Unweighted pair-group average) Asociado a esto, se calculó en coeficiente de correlación cofenética (ccc), como medida de distorsión de los datos forzados por el agrupamiento.

Estos cálculos estadísticos fueron llevados a cabo mediante el programa PAST (PAleontological STatistics**)** versión 2.07, de uso común en paleoecología y paleontología (Hammer, 1999-2011).