

TESIS DOCTORAL

ALEJANDRO MARTÍNEZ PÉREZ-PÉREZ

**Evolución de la dieta en Cataluña y Baleares
desde el Paleolítico hasta la Edad Media
a partir de restos esqueléticos**

Septiembre 1990



**FACULTAD DE BIOLOGÍA
UNIVERSIDAD DE BARCELONA**

**EVOLUCIÓN DE LA DIETA EN CATALUÑA Y BALEARES
DESDE EL PALEOLÍTICO HASTA LA EDAD MEDIA
A PARTIR DE RESTOS ESQUELÉTICOS**

**Memoria presentada por ALEJANDRO MARTÍNEZ PÉREZ-PÉREZ
para acceder al Grado de Doctor en Biología.
Trabajo realizado en la Unidad de Antropología del Departamento de
Biología Animal bajo la dirección del Dr. Daniel TURBÓN.**

El autor:

Visto bueno:



Director: Daniel Turbón

Tutor: Clara García-Moro

Agradecimientos

Quiero agradecer al Dr. J. Pons, Profesor Emérito de la U. de Barcelona, el interés que ha mostrado por mí en todo momento.

Al Dr. D. Turbón, Prof. Titular de la Unidad de Antropología del Dep. de Biología Animal (Fac. de Biología, U. de Barcelona), por la dirección de esta Tesis Doctoral, por su entusiasmo, en este y otros proyectos, y por ser mi maestro.

A la Dra. C. García-Moro, Prof. Titular de la Unidad de Antropología del Dep. de Biología Animal (Fac. de Biología, U. de Barcelona), por su ayuda como tutora del programa de doctorado.

A los Drs. D. Turbón y M. Hernández Profs. Titulares de la Unidad de Antropología del Dep. de Biología Animal (Fac. de Biología, U. de Barcelona), por permitirme el estudio de La Olmeda y otras series depositadas en el departamento y por las de Tierra de Fuego.

A la Dra. I. Ollich, del Dep. de Prehistoria e Historia Antigua (Fac. Historia, U. de Barcelona) por facilitarme el acceso a la serie de L'Esquerda y por su especial interés.

Al Sr. F. Tarrats, director del Museo Arqueológico de Tarragona, y, especialmente, a la Srta. M. Caballero, conservadora del Museo, por las facilidades e interés para el estudio de la Necrópolis de Tarragona.

Al Dr. D. Campillo, Prof. de Historia de la Medicina de la U. Autónoma de Barcelona y Drtor. del Dep. de Paleopatología y Paleoantropología del Museo Arqueológico de Barcelona, por las series medievales que he podido analizar y, en especial, por su confianza y amistad.

A la Dra. A. Vila, del C.S.I.C., y al Dr. J. Estévez, de la U.A.B., por la fauna de las series epipaleolíticas.

A. O. Mercadal, del Museo Arqueológico de Barcelona, por las series neolíticas que hemos estudiado y por hacer de la arqueología una aventura apasionada.

A los Drs. M. Botella, P. Du Souich y S. Jiménez, del Instituto Oloriz de la Fac. de Medicina de la U. de Granada, por las series de Andalucía que me han permitido analizar y por soportarme en algunas ocasiones.

A C. Lalueza, colaborador de la Unidad de Antropología del Dep. de Biología Animal (Fac. de Biología, U. de Barcelona), por el estudio de las series de Ceuta y por tantas horas dedicadas a la Antropología.

Al Dr. G. Trancho, Prof. Titular de la Cátedra de Antropología de la Facultad de Biológicas de la U. Complutense de Madrid, por el acceso a la serie de Wamba, y al Dr. A. Valls, a través del Dr. Trancho.

A los Drs. J. Pons, D. Campillo, J. Bertranpetit, A. Vila y G. Trancho, miembros del Tribunal de esta Tesis, por serlo.

Al Dr. E. Chimenos, Prof. Asociado del Dep. de Ciencias Morfológicas y Odontostomatología (Fac. de Odontología, U. de Barcelona), por el trabajo realizado juntos y por su amistad.

Al Dr. P.L. Walker, Prof. del Dep. de Antropología de la Universidad de California en Santa Barbara, por su particular visión de la Paleoantropología.

A los Drs. J. Pons, P. Moreno, J. Bertranpetit, M. Hernández, D. Turbón, C. García-Moro, P. Moral, D. Toja y L. Fañanás, de la Unidad de Antropología del Dep. de Biología Animal (Fac. de Biología, U. de Barcelona), por formar parte de un proyecto común.

A mi madre por su apoyo incondicional y a José Serrahíma por su ayuda en todo momento.

A Eva Prats, sin quien no sólo esta Tesis no sería como es, sino, sobre todo, sin quien mi vida sería un auténtico desastre.

Y, en fin, a la Antropología, tanto investigadora como docente, por los buenos y malos ratos que me hará pasar.

Barcelona 17 de Septiembre de 1990

INDICE

Agradecimientos	v
Indice	x
I. INTRODUCCION	1
1. Estrategias alimentarias	5
1.1. Cazadores-recolectores	5
1.2. Pastoreo nómada	6
1.3. Agricultura móvil o de subsistencia	6
1.4. Agricultura semi-intensiva mixta	7
1.5. Agricultura de regadío	7
2. Indicadores paleonutricionales	9
2.1. Indicadores de estrés generalizado	10
2.2. Indicadores de estrés episódico	11
2.3. Indicadores de patologías específicas	11
3. Explotación de recursos alimentarios	13
3.1. Aproximación arqueológica	14
3.1.1. Estudios paleobotánicos	14
3.1.2. Análisis faunístico	15
3.1.3. Estudio tipológico y funcional de útiles líticos	16
3.2. Aproximación antropológica	17
3.2.1. Aspectos indirectos asociados a la alimentación	17
3.2.2. Indicadores alimentarios o de la dieta	17
4. Análisis de Oligoelementos	19
4.1. Composición del hueso	19
4.2. Elementos indicadores nutricionales o metabólicos	22
4.2.1. Elementos mayoritarios en hueso	22
4.2.1.1. Calcio	22
4.2.1.2. Fósforo	23
4.2.1.3. Relación Calcio-Fósforo	23
4.2.2. Elementos Alcalinotérreos	24
4.2.2.1. Estroncio	24
4.2.2.2. Relación Estroncio-Calcio	25
4.2.2.3. Bario	28
4.2.2.4. Magnesio	28
4.2.3. Elementos de Transición	29
4.2.3.1. Manganeso	29
4.2.3.2. Hierro	29
4.2.3.3. Zinc	30
4.2.3.4. Relación Zinc-Calcio	31
4.2.3.5. Cobre	31
4.2.4. Sodio	32
4.2.5. Elementos contaminantes	32
4.2.5.1. Plomo	32
4.2.5.2. Cadmio	33
4.3. Interpretación del contenido de oligoelementos	33
4.3.1. Procedencia de los elementos traza	34
4.3.1.1. Dieta cárnica	34
4.3.1.2. Dieta herbívora	34
4.3.1.3. Dieta marina	34

4.3.2. Variabilidad del contenido de oligoelementos	36
4.3.2.1. Diferencias interespecíficas	36
4.3.2.2. Diferencias sexuales en la proporción de oligoelementos	37
4.3.2.3. Diferencias sociales en el contenido de oligoelementos	38
4.3.2.4. Variabilidad en infantiles	38
4.3.2.5. Variación del contenido mineral del hueso con la edad	39
4.3.2.6. Variabilidad intraindividual	39
4.3.2.7. Variabilidad debida a procesos diagenéticos	40
Análisis de la tierra próxima al hueso	41
Distribución interna en el hueso	42
Transporte de elementos por lavado	43
Contaminación e índice Sr/Ca	44
Incineración de los huesos	46
5. Patrón de estriación dentaria	47
5.1. Morfología de las estrías	49
5.2. Causas de las estrías	52
5.3. Interpretación de las estrías	53
6. Análisis de Isótopos	57
II. MATERIAL	61
1. Evolución en Cataluña y Baleares	63
1.1. Evolución humana en Cataluña	63
1.1.1. Paleolítico	65
1.1.1.1. Paleolítico Inferior	65
1.1.1.2. Paleolítico Medio	66
1.1.1.3. Paleolítico Superior	66
1.1.2. Epipaleolítico	67
1.1.3. Neolítico	67
1.1.3.1. Neolítico Antiguo	68
1.1.3.2. Neolítico Medio-Reciente	69
1.1.3.3. Neolítico Final	69
1.1.4. Calcolítico o Eneolítico	70
1.1.5. Bronce	70
1.1.5.1. Bronce Antiguo	71
1.1.5.2. Bronce Medio	71
1.1.5.3. Bronce Final	71
1.1.6. Hierro	72
1.1.7. Ampurias y colonialismo griego	72
1.1.8. Culturas Ibéricas	73
1.1.8.1. Periodo de Formación	73
1.1.8.2. Periodo Antiguo	74
1.1.8.3. Periodo Ibérico	74
1.1.8.4. Periodo Final Ibero-romano	74
1.1.9. Mundo Romano	74
1.1.9.1. La República Romana	74
1.1.9.2. El Imperio Romano	75
1.1.10. Visigodos	76
1.1.11. Epoca Medieval	77
1.2. Evolución humana en Baleares	78
1.2.1. Poblamiento Neolítico	79
1.2.2. Pretalayótico	79
1.2.3. Talayótico	79
1.2.3.1. Talayótico I	80
1.2.3.2. Talayótico II	80
1.2.3.3. Talayótico III	80
1.2.4. Postalayótico	80
1.2.5. Romano	81

2. Series estudiadas	83
2.1. Muestras para análisis de oligoelementos	83
2.1.1. Series de Cataluña	84
2.1.1.1. Epipaleolítico	84
El Cingle Vermell	84
El Roc del Migdia	84
2.1.1.2. Neolítico	84
L'Avellaner	84
L'Hort d'en Grimau	85
Les Guixeres	85
Mas de l'Abella	85
2.1.1.3. Calcolítico	85
La Cova de la Guineu	85
La Balma de la Sargantana	85
2.1.1.4. Bronce	86
Malpàs	86
Polígon St. Pere Molanta	86
2.1.1.5. Epoca Romana	86
Necrópolis de Tarragona	86
L'Alforja	87
2.1.1.6. Medieval	87
Sta. Maria d'Artés	87
Sta. Coloma de Queralt	87
Santa Maria de Ripoll	87
L'Esquerda	87
La Muntanyeta	88
St. Martí Xic	89
Castell d'Oliana	89
St. Andreu de Segàs	89
Judfos de Montjuïc	89
Sant Martí de Lleida	89
Cardona	89
2.1.2. Series de Baleares	90
Son Real	90
Illot des Porros	90
2.1.3. Series de la Península Ibérica	91
2.1.3.1. Bronce	91
Cerro de la Encina	91
Castellón alto	91
Fuente Amarga	91
2.1.3.2. Medieval	91
La Torrecilla	91
La Olmeda	92
Wamba	92
2.1.4. Series del Norte de Africa	92
2.1.4.1. Romano	94
Romanos de Ceuta	94
2.1.4.2. Paleocristiano (Tardoromano)	95
Basílica Paleocristiana de Ceuta	95
Mirador	95
2.1.4.3. Medieval	95
Jáudenes	95
2.1.4.4. Musulmán	95
Hacho	95
2.1.5. Tamaño de las muestras	99
2.1.5.1. Yacimientos	99
2.1.5.2. Periodos	102
2.1.5.3. Tipo de muestra	103
2.1.5.4. Grupos de edad	105

2.1.5.5. Sexo	105
2.1.5.6. Tipo de hueso	106
2.2. Muestras para el estudio de la estriación dentaria	108
2.2.1. Series estudiadas	108
2.2.2. Dientes analizados	109
III. METODO	113
1. Espectroscopía de Absorción atómica	115
1.1. Obtención de la muestra	115
1.2. Incineración	117
1.3. Digestión ácida	117
1.4. Disolución de la muestra	118
1.5. Obtención de diluciones	118
1.6. Patrones	119
1.7. Lectura de las muestras por Absorción Atómica	120
1.8. Análisis de los datos de EAA	122
1.8.1. Concentraciones en $\mu\text{g/g}$ y mg/g	122
1.8.2. Índices de Sr/Ca y Zn/Ca	123
2. Patrón de estriación dentaria	124
2.1. Obtención de réplicas dentarias	124
2.2. Preparación de las réplicas para Microscopía	127
2.3. Microscopía Electrónica	127
2.3.1. Condiciones de operación	128
2.3.1.1. Imagen Secundaria (SEI)	129
2.3.1.2. Imagen Primaria	130
Imagen de Composición (COMPO)	131
Imagen Topográfica (TOPO)	132
2.3.2. Obtención de fotografías	134
2.4. Análisis de imagen	134
2.4.1. Captación	136
2.4.2. Contrastado	138
2.4.3. Cuantificación de parámetros	139
3. Caracteres descriptivos	143
3.1. Sexo	143
3.2. Edad	143
3.3. Otras variables cualitativas	144
4. Elaboración y manejo de datos	145
4.1. Adquisición de datos	145
4.1.1. Oligoelementos	146
4.1.2. Estriación dentaria	147
4.2. Análisis de datos	149
4.2.1. Oligoelementos	149
4.2.2. Estriación dentaria	150
4.2.2.1. Codificación de las variables descriptivas	150
Estrías verticales	151
Estrías horizontales	151
Estrías oblicuas	153
Estrías mesiodistales	153
Estrías distomesiales	153
4.2.2.2. Cálculo de las medias para cada diente	156
IV. RESULTADOS	161
1. Oligoelementos	163
1.1. Distribución de las variables e índices	163
1.1.1. mg/g Ca	164

1.1.2. $\mu\text{g/g}$ Sr	165
1.1.3. $\mu\text{g/g}$ Zn	166
1.1.4. Zn/Ca	167
1.1.5. Sr/Ca	168
1.1.6. O.R.	169
1.2. Promedios por series y grupos	170
1.2.1. Muestras de Tierra	170
1.2.1.1. Ca, Sr y Zn	170
1.2.1.2. Zn/Ca, Sr/Ca, Sr/Ca(c) O.R.	175
1.2.2. Fauna marina actual	179
1.2.2.1. Ca, Sr y Zn	179
1.2.2.2. Zn/Ca, Sr/Ca, Sr/Ca(c) O.R.	184
1.2.3. Fauna fósil	185
1.2.3.1. Cataluña y Baleares	185
Ca, Sr y Zn	185
Zn/Ca, Sr/Ca, Sr/Ca(c) O.R.	191
1.2.3.2. Península Ibérica, Norte de Africa y Tierra del Fuego	195
Ca, Sr y Zn	195
Zn/Ca, Sr/Ca, Sr/Ca(c) O.R.	196
1.2.4. Concentración de Oligoelementos en las series estudiadas	201
1.2.4.1. Ca, Sr y Zn en Series Epipaleolíticas, Neolíticas y Calcolíticas de Cataluña y Baleares	201
1.2.4.2. Ca, Sr y Zn en Series del Bronce, Talayóticas y Romanas de Cataluña y Baleares	202
1.2.4.3. Ca, Sr y Zn en Series Medievales de Cataluña y Baleares	203
1.2.4.4. Ca, Sr y Zn en Series de Bronce de la Península Ibérica	204
1.2.4.5. Ca, Sr y Zn en Series Paleocristianas del Norte de Africa	205
1.2.4.6. Ca, Sr y Zn en Series Medievales de la Península Ibérica	206
1.2.4.7. Ca, Sr y Zn en Aborígenes de Tierra del Fuego	207
1.2.5. Índices en las series estudiadas	208
1.2.5.1. Zn/Ca, Sr/Ca y Sr/Ca(c) O.R. en Series Epipaleolíticas, Neolíticas y Calcolíticas de Cataluña y Baleares	208
1.2.5.2. Zn/Ca, Sr/Ca y Sr/Ca(c) O.R. en Series del Bronce, Talayótica y Romanas de Cataluña y Baleares	210
1.2.5.3. Zn/Ca, Sr/Ca y Sr/Ca(c) O.R. en Series Medievales de Cataluña y Baleares	212
1.2.5.4. Zn/Ca, Sr/Ca y Sr/Ca(c) O.R. en Series del Bronce de la Península Ibérica	214
1.2.5.5. Zn/Ca, Sr/Ca y Sr/Ca(c) O.R. en Series del Norte de Africa	216
1.2.5.6. Zn/Ca, Sr/Ca y Sr/Ca(c) O.R. en Series Medievales de la Península Ibérica	218
1.2.5.7. Zn/Ca, Sr/Ca y Sr/Ca(c) O.R. en Aborígenes de la Tierra del Fuego	220
1.3. Evolución por periodos	221
1.3.1. Índices de Zn/Ca, Sr/Ca y O.R.	221
1.3.2. Coeficientes de variación	230
1.3.3. Elipses equiprobables de los índices Zn/Ca y O.R.	232
1.4. Análisis multielemental	235
1.4.1. Concentraciones de los elementos analizados	235
1.4.1.1. Ca, Sr y Zn	235
1.4.1.2. Mg, Ba y Mn	236
1.4.1.3. Fe y Cu	239
1.4.2. Índices calculados	241
1.4.2.1. Zn/Ca, Sr/Ca y Sr/Ca(c) (O.R.)	241
1.4.2.2. Mg/Ca, Ba/Ca y Mn/Ca	242
1.4.2.3. Cu/Ca, Fe/Ca	243
1.4.2.4. Mg/Ca(c), Ba/Ca(c) y Mn/Ca(c)	245
2. Estricción dentaria	247

2.1. Variabilidad intrapoblacional	248
2.1.1. Distribución de la variable Longitud	248
2.1.2. Variabilidad interdentaria	262
2.1.2.1. Variable Logaritmo de la Longitud	263
2.1.2.2. Longitud de las estrías: intervalos de confianza	264
2.1.2.3. Comparación de las medias	265
a. Estrías Distomesiales	267
b. Estrías Horizontales	268
c. Estrías Mesiodistales	269
d. Estrías Verticales	270
e. Longitud media total	271
2.2. Caracterización de poblaciones	272
2.2.1. Análisis de la varianza interpoblacional	272
2.2.1.1. Longitud media de las estrías	272
a. Estrías Distomesiales	273
b. Estrías Horizontales	274
c. Estrías Mesiodistales	275
d. Estrías Verticales	276
e. Longitud media total	277
f. Análisis de la varianza	278
2.2.1.2. Número medio de estrías	279
a. Estrías Distomesiales	279
b. Estrías Horizontales	280
c. Estrías Mesiodistales	281
d. Estrías Verticales	282
e. Número medio total	283
f. Análisis de la varianza	284
2.2.1.3. Desviación media de la longitud de las estrías	285
a. Estrías Distomesiales	285
b. Estrías Horizontales	286
c. Estrías Mesiodistales	287
d. Estrías Verticales	288
e. Desviación media total	289
f. Análisis de la varianza	290
2.2.2. Diagramas del patrón dentario	292
2.3. Lateralidad y orientación	303
2.3.1. Estrías oblicuo-derechas y oblicuo-izquierdas	303
2.3.2. Estrías verticales y horizontales	307
3. Correlación entre oligoelementos y estriación dentaria	311
3.1. Variables utilizadas	311
3.1.1. Logaritmo natural de las longitudes medias	312
3.1.2. Número medio de estrías por diente	312
3.1.3. Desviación estándar del logaritmo de las longitudes medias	312
3.1.4. Longitudes medias de las estrías en μm	312
3.1.5. Concentración de oligoelementos e índices	312
3.2. Correlaciones estrías-oligoelementos	313
3.2.1. Logaritmo de las longitudes	313
3.2.2. Número de estrías	314
3.2.3. Desviación estándar del logaritmo de las longitudes	315
3.2.4. Longitudes de las estrías en μm	316
3.3. Correlaciones entre variables	317
3.3.1. Oligoelementos	317
3.3.2. Logaritmo de la longitud de las estrías	317
3.3.3. Número medio de estrías	318
3.3.4. Desviación del logaritmo de la longitud media de las estrías	318
3.3.5. Longitud media de las estrías en μm	319
4. Relación patologías-dieta	321

V. DISCUSION	323
1. Determinación de la dieta mediante oligoelementos	327
1.1. Series de Cataluña y Baleares	327
1.1.1. Epipaleolítico	327
1.1.2. Neolítico	331
1.1.2.1. L'Avellaner	331
1.1.2.2. L'Hort d'en Grimau	333
1.1.2.3. Les Guixeres de Vilobí	335
1.1.2.4. Mas de L'Abella	337
1.1.3. Calcolítico	339
1.1.3.1. Cova de La Guineu	340
1.1.3.2. La Balma de la Sargantana	342
1.1.4. Bronce	344
1.1.4.1. Malpàs	344
1.1.4.2. Polígon de St. Pere Molanta	346
1.1.5. Talayótico: Son Real	348
1.1.6. Epoca Romana	353
1.1.6.1. Necrópolis de Tarragona	353
1.1.6.2. L'Alfòrja	355
1.1.7. Epoca Medieval	356
1.1.7.1. Sta. Maria d'Artés	356
1.1.7.2. Sta Coloma de Queralt	359
1.1.7.3. Sta. Maria de Ripoll	361
1.1.7.4. L'Esquerda y La Muntanyeta	362
1.1.7.5. Sant Martí Xic	372
1.1.7.6. Castell d'Oliana	373
1.1.7.7. San Andreu de Segàs	375
1.1.7.8. Montjuïc	378
1.1.7.9. Sant Martí de Lleida	380
1.1.7.10. Cardona	382
1.2. Series de la Península Ibérica	383
1.2.1. Bronce	384
1.2.1.1. Fuente Amarga	384
1.2.1.2. Castellón Alto	386
1.2.1.3. Cerro de la Encina	388
1.2.2. Medieval	389
1.2.2.1. La Olmeda	390
1.2.2.2. Torrecilla	395
1.2.2.3. Wamba	397
1.3. Series del Norte de Africa	399
1.3.1. Paleocristiano / Tardo-romano	399
1.3.2. Romanos de Ceuta	403
1.3.3. Hacho	404
1.3.4. Jáudenes	405
1.3.5. Mirador	406
1.4. Tierra del Fuego	407
2. Evolución de la dieta en Cataluña y Baleares	409
2.1. Patrón económico	409
2.1.1. Agrícola	409
2.1.2. Pastoral	411
2.2. Variabilidad intrapoblacional	414
2.2.1. Grupos de edad	414
2.2.2. Sexo	415
2.2.3. Coeficientes de variación	416
2.3. Contexto Mediterráneo	418
2.3.1. Series del Mediterráneo	418
2.3.2. Series de la Península Ibérica	426

3. Eстриación dentaria	427
3.1. Dieta carnívora	428
3.2. Variabilidad intrapoblacional	430
3.2.1. Variación interdentaria	430
3.2.2. Variación interindividual	430
3.3. Variabilidad interpoblacional	431
3.4. Caracterización de la dieta	431
3.5. Otras series estudiadas	432
3.5.1. Análisis de individuos y series	432
3.5.2. Resultados en series españolas	433
4. Relación indicadores alimentarios-dieta	435
4.1. Oligoelementos y dieta	435
4.2. Eстриación y oligoelementos	435
4.3. Eстриación dentaria y dieta	436
5. Cuestiones metodológicas	437
5.1. Fuentes de error	437
5.1.1. Oligoelementos	437
5.1.1.1. Procesado de la muestra	437
5.1.1.2. Lectura de las absorbancias	439
5.1.1.3. Normalidad de las distribuciones	439
5.1.1.4. Tamaño muestral	440
5.1.1.5. Variables analizadas	440
5.1.1.6. Interpretación de las variables	441
5.1.2. Eстриación dentaria	443
5.1.2.1. Obtención de las réplicas	443
5.1.2.2. Microscopía de Escáning	443
Orientación	444
Ampliación	444
Tipo de imagen	445
5.1.2.3. Tamaño muestral	448
5.1.2.4. Variables analizadas	449
5.1.2.5. Error entre observadores	449
VI. CONCLUSIONES	455
A. Oligoelementos	457
B. Eстриación dentaria	459
C. Correlación oligoelementos-estrias	460
VII. BIBLIOGRAFIA	461

INDICE DE TABLAS

Capítulo I INTRODUCCION

Tabla I.1.	Radio iónico de algunos elementos divalentes y porcentaje de cambio en el tamaño del ion respecto al Ca^{2+}	21
Tabla I.2.	Interpretación del índice O.R. respecto al tipo de explotación de recursos alimentarios.	27

Capítulo II MATERIAL

Tabla II.1.	Definición de los periodos y sus características principales y dataciones para Cataluña.	64
Tabla II.2.	Definición de los periodos de ocupación humana de las Islas Baleares.	78
Tabla II.3.	Yacimientos estudiados de Cataluña, Baleares, Península Ibérica, Norte de Africa y Tierra del Fuego, localización y datación.	96
Tabla II.4.	Número de series analizadas.	99
Tabla II.5.	Número de muestras animales, humanas y de tierra analizadas por EAA por yacimientos de Cataluña y Baleares.	100
Tabla II.6.	Número de muestras animales, humanas y de tierra analizadas por EAA por yacimientos de la Península Ibérica, Norte de Africa y Tierra del Fuego.	101
Tabla II.7.	Número de muestras animales, humanas y de tierra analizadas por EAA por periodos para todas las series estudiadas.	102
Tabla II.8.	Número de muestras animales, humanas y de tierra analizadas por EAA por tipos de muestras.	104
Tabla II.9.	Distribución de las muestras analizadas por EAA por grupos de edad.	105
Tabla II.10.	Número de muestras humanas analizadas por EAA por sexos.	106
Tabla II.11.	Número de muestras animales, humanas y de tierra analizadas por EAA por tipos hueso.	107
Tabla II.12.	Número de piezas dentarias analizadas para la determinación del patrón de estriación dentaria.	109

Capítulo III METODO

Tabla III.1.	Diluciones realizadas para los elementos Ca, Sr y Zn.	119
Tabla III.2.	Composición de los patrones para la calibración del espectrómetro.	120
Tabla III.3.	Características del Espectrómetro de Absorción Atómica para la lectura de cada elemento.	121

Tabla III.4.	Programa de Analizador de Imagen IBAS para el procesado de las fotografías de Escaning.	136
Tabla III.5.	Categorías de edad consideradas para las series analizadas.	144
Tabla III.6.	Criterio utilizado para la caracterización de las estrías según la clasificación de PUECH (1980).	151

Capítulo IV RESULTADOS

Tabla IV.1.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn en muestras de tierra de los yacimientos estudiados	171
Tabla IV.2.	Indices de Zn/Ca, Sr/Ca y O.R. obtenidos para las muestras de tierra para los yacimientos analizados.	175
Tabla IV.3.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn en fauna marina actual	180
Tabla IV.4.	Indices de Zn/Ca y Sr/Ca observados para las muestras de fauna marina actual	184
Tabla IV.5.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn obtenidas para la fauna fósil de los yacimientos Cataluña y Baleares	186
Tabla IV.6.	Indices de Zn/Ca, Sr/Ca y O.R. obtenidos para las muestras de fauna fósil de los yacimientos de Cataluña y Baleares	192
Tabla IV.7.	Concentraciones de Ca, Sr, y Zn en fauna de los yacimientos de la Península Ibérica, Norte de Africa y Tierra del Fuego	195
Tabla IV.8.	Indices de Zn/Ca, Sr/Ca y O.R. de la fauna de los yacimientos de la Península Ibérica, Norte de Africa y Tierra de Fuego estudiados.	196
Tabla IV.9.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn en series Epipaleolíticas, Neolíticas y Calcolíticas de Cataluña y Baleares	201
Tabla IV.10.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn en series del Bronce, Talayóticas y Romanas de Cataluña y Baleares	202
Tabla IV.11.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn en series Medievales de Cataluña y Baleares	203
Tabla IV.12.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn en series del Bronce de la Península Ibérica	204
Tabla IV.13.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn en series Paleocristianas del Norte de Africa	205
Tabla IV.14.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn en series Medievales de la Península Ibérica	206
Tabla IV.15.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn en Aborígenes de la Tierra del Fuego . . .	207
Tabla IV.16.	Indices de Zn/Ca, Sr/Ca y O.R. en series Epipaleolíticas, Neolíticas y Calcolíticas de Cataluña y Baleares	208
Tabla IV.17.	Indices de Zn/Ca, Sr/Ca y O.R. en series del Bronce, Talayótica y Romanas de Cataluña y Baleares	210
Tabla IV.18.	Indices de Zn/Ca, Sr/Ca y O.R. en series Medievales de Cataluña	212
Tabla IV.19.	Indices de Zn/Ca, Sr/Ca y O.R. en series del Bronce de la Península Ibérica	214

Tabla IV.20.	Indices de Zn/Ca, Sr/Ca y O.R. en series Paleocristianas, Romanas, Musulmanas y Medievales del Norte de Africa	216
Tabla IV.21.	Indices de Zn/Ca, Sr/Ca y O.R. en series Medievales de la Península Ibérica	218
Tabla IV.22.	Indices de Zn/Ca, Sr/Ca y O.R. en Aborígenes de la Tierra del Fuego . . .	220
Tabla IV.23.	Indices de Zn/Ca, Sr/Ca y O.R. de los individuos adultos de todas las series analizadas por periodos	222
Tabla IV.24.	Indices de Zn/Ca, Sr/Ca y O.R. por periodos y áreas geográficas estudiadas	223
Tabla IV.25.	Coefficientes de variación de los índices Zn/Ca, Sr/Ca y O.R. en los periodos considerados y patrón económico estimado	230
Tabla IV.26.	Coefficientes de variación de los índices Zn/Ca, Sr/Ca y O.R. para los individuos adultos de las series analizadas y patrón económico estimado . .	231
Tabla IV.27.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn en las muestras de los yacimientos seleccionados	236
Tabla IV.28.	Concentraciones de Mg, Ba y Mn en muestras de fauna marina actual . . .	237
Tabla IV.29.	Concentraciones de Mg, Ba y Mn en muestras de los yacimientos seleccionados	238
Tabla IV.30.	Concentraciones de Fe y Cu en muestras de fauna marina actual	239
Tabla IV.31.	Concentraciones de Fe y Cu en muestras de los yacimientos seleccionados	240
Tabla IV.32.	Indices de Zn/Ca, Sr/Ca y Sr/Ca(c) (O.R.) para las muestras de los yacimientos seleccionados	241
Tabla IV.33.	Indices de Mg/Ca, Ba/Ca y Mn/Ca para las muestras de fauna marina actual	242
Tabla IV.34.	Indices de Mg/Ca, Ba/Ca y Mn/Ca para las muestras de los yacimientos seleccionados	243
Tabla IV.35.	Indices de Fe/Ca y Cu/Ca para las muestras de fauna marina actual	244
Tabla IV.36.	Indices de Fe/Ca y Cu/Ca para las muestras de los yacimientos seleccionados	245
Tabla IV.37.	Indices corregidos con el herbívoro de Mg/Ca(c), Ba/Ca(c) y Mn/Ca(c) para las muestras de los yacimientos seleccionados que presentaran muestras de herbívoro	246
Tabla IV.38.	Medición de la anchura de las estrías dentarias	248
Tabla IV.39.	Test de Normalidad de Kolmogorov-Smirnov de la variable promedio del logaritmo de la longitud por diente y tipo de orientación	252
Tabla IV.40.	Test de Normalidad de Kolmogorov-Smirnov de la variable número de estrías por diente y tipo de orientación	253
Tabla IV.41.	Test de Normalidad de Kolmogorov-Smirnov de la variable desviación estándar del promedio del logaritmo de la longitud por diente y tipo de orientación	254

Tabla IV.42.	Promedio de la variable logaritmo de la longitud de las estrías dentarias y rango de variación de la media de las mismas por series, diente y para cada tipo de orientación.	234
Tabla IV.43.	Promedio de la variable longitud de las estrías dentarias y rango de variación de la media de las mismas por series, diente y para cada tipo de orientación. 247	
Tabla IV.44.	Comparación de las medias de las estrías distomesiales para los ocho dientes estudiados.	267
Tabla IV.45.	Comparación de las medias de las estrías horizontales para los ocho dientes estudiados.	268
Tabla IV.46.	Comparación de las medias de las estrías mesiodistales para los ocho dientes estudiados.	269
Tabla IV.47.	Comparación de las medias de las estrías verticales para los ocho dientes estudiados.	270
Tabla IV.48.	Comparación de las medias de la totalidad de las estrías para los ocho dientes estudiados.	271
Tabla IV.49.	Longitud media de las estrías distomesiales de las series analizadas.	273
Tabla IV.50.	Longitud media de las estrías horizontales de las series analizadas.	274
Tabla IV.51.	Longitud media de las estrías mesiodistales de las series analizadas.	275
Tabla IV.52.	Longitud media de las estrías verticales de las series analizadas.	276
Tabla IV.53.	Longitud media de totalidad de las estrías de las series analizadas.	277
Tabla IV.54.	Estudio de la variabilidad intergrupar de la longitud de las estrías para las series analizadas.	278
Tabla IV.55.	Número medio de estrías distomesiales de las series analizadas.	279
Tabla IV.56.	Número medio de estrías horizontales de las series analizadas.	280
Tabla IV.57.	Número medio de estrías mesiodistales de las series analizadas.	281
Tabla IV.58.	Número medio de estrías verticales de las series analizadas.	282
Tabla IV.59.	Número medio del total de estrías de las series analizadas.	283
Tabla IV.60.	Estudio de la variabilidad intergrupar del número de estrías para las series analizadas.	284
Tabla IV.61.	Desviación estándar media de la longitud de las estrías distomesiales de las series analizadas.	285
Tabla IV.62.	Desviación estándar media de la longitud de las estrías horizontales de las series analizadas.	286
Tabla IV.63.	Desviación estándar media de la longitud de las estrías mesiodistales de las series analizadas.	287
Tabla IV.64.	Desviación estándar media de la longitud de las estrías verticales de las series analizadas.	288

Tabla IV.65.	Desviación estándar media de la longitud del total de estrías de las series analizadas.	289
Tabla IV.66.	Estudio de la variabilidad intergrupar de la desviación estándar de la longitud de las estrías para las series analizadas.	290
Tabla IV.67.	Promedios del logaritmo de la longitud de las estrías oblicuo-izquierdas . .	304
Tabla IV.68.	Promedios del logaritmo de la longitud de las estrías oblicuo-derechas . . .	305
Tabla IV.69.	Análisis de la varianza (ANOVA) para el logaritmo de la longitud de las estrías oblicuo-derechas y oblicuo-izquierdas, entre las series analizadas . .	306
Tabla IV.70.	Número de estrías observadas por diente para los dos tipos de orientación considerados	307
Tabla IV.71.	Promedios del logaritmo de la longitud de las estrías verticales (FINE y CRAIG, 1981)	308
Tabla IV.72.	Promedios del logaritmo de la longitud de las estrías horizontales (FINE y CRAIG, 1981)	309
Tabla IV.73.	Análisis de la varianza (ANOVA) para el logaritmo de la longitud de las estrías horizontales y verticales (FINE y CRAIG, 1981) entre las series analizadas	310
Tabla IV.74.	Promedios para las variables utilizadas en el estudio de la correlación entre oligoelementos y estriación dentaria.	312
Tabla IV.75.	Correlación y grado de significación entre el contenido de oligoelementos y el logaritmo de la longitud de las estrías para cada tipo de orientación.	313
Tabla IV.76.	Correlación y grado de significación entre el contenido de oligoelementos y el número de estrías para cada tipo de orientación.	314
Tabla IV.77.	Correlación y grado de significación entre el contenido de oligoelementos y la desviación estándar del logaritmo de las longitudes de las estrías para cada tipo de orientación.	315
Tabla IV.78.	Correlación y grado de significación entre el contenido de oligoelementos y la longitud de las estrías en μm para cada tipo de orientación.	316
Tabla IV.79.	Correlación y grado de significación entre las concentraciones de oligoelementos e índices.	317
Tabla IV.80.	Correlación y grado de significación entre los distintos tipos de orientación de la variable Logaritmo de la longitud de las estrías.	317
Tabla IV.81.	Correlación y grado de significación entre los distintos tipos de orientación del número medio de estrías.	318
Tabla IV.80.	Correlación y grado de significación entre los distintos tipos de orientación de la desviación de la variable logaritmo de la longitud de las estrías.	318
Tabla IV.81.	Correlación y grado de significación entre los distintos tipos de orientación de la longitud media de las estrías en μm.	319

Capítulo V DISCUSION

Tabla V.1.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn e índices en las series epipaleolíticas estudiadas	328
Tabla V.2.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn e índices en la serie de l'Avellaner	332
Tabla V.3.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn e índices en la serie de l'Hort d'en Grimau	334
Tabla V.4.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn e índices en la serie de Les Guixeres de Vilobí	336
Tabla V.5.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn e índices en la serie del Mas de L'Abella	338
Tabla V.6.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn e índices en la serie de La Cova de la Guineu	340
Tabla V.7.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn e índices en la serie de La Balma de la Sargantana	342
Tabla V.8.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn e índices en la serie de Malpàs	345
Tabla V.9.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn e índices en la serie del Polígon de St. Pere Molanta	347
Tabla V.10.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn e índices para la población de Son Real .	349
Tabla V.11.	Comparación de las concentraciones de Sr, Zn y Ca y de los índices entre los yacimientos de Son Real y S'Illot des Porros	351
Tabla V.12.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn e índices para la población de Tarragona	353
Tabla V.13.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn e índices en la serie de l'Alforja	355
Tabla V.14.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn e índices en la serie de Sta. Maria d'Artés	357
Tabla V.15.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn e índices en la serie de Sta. Coloma de Queralt	359
Tabla V.16.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn e índices en la serie de Sta. Maria de Ripoll	361
Tabla V.17.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn e índices en las series de L'Esquerda y La Muntanyeta	362
Tabla V.18.	Índices de Zn/Ca y Sr/Ca(c) corregido (O.R.) de la población de L'Esquerda por periodos, definidos por el tipo de enterramiento	366
Tabla V.19.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn e índices en la serie de St. Martí Xic . . .	372
Tabla V.20.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn e índices en la serie del Castell d'Oliana	374
Tabla V.21.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn e índices en la serie de St. Andreu de Segàs	376
Tabla V.22.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn e índices en la serie de Montjuïc	378
Tabla V.23.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn e índices en la serie de St. Martí de Lleida	380
Tabla V.24.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn e índices en la serie de Cardona	382

Tabla V.25.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn e índices en la serie de Fuente Amarga .	384
Tabla V.26.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn e índices en la serie de Castellón Alto . .	386
Tabla V.27.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn e índices en la serie del Cerro de la Encina	388
Tabla V.28.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn e índices en la serie de La Olmeda	391
Tabla V.29.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn e índices en la serie de La Torrecilla . . .	395
Tabla V.30.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn e índices en la serie de Wamba	397
Tabla V.31.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn e índices en las series de Ceuta	400
Tabla V.32.	Concentraciones de Ca, Sr y Zn e índices en la serie de Aborígenes de Tierra del Fuego	407
Tabla V.33.	Series del Mediterráneo analizadas por otros autores para la determinación del contenido de oligoelementos	419
Tabla V.34.	Índices O.R. y Zn/Ca de las series del Mediterráneo analizadas por otros autores para la determinación del contenido de oligoelementos	420
Tabla V.35.	Promedios de los índices O.R. y Zn/Ca, por periodos, de las series del Mediterráneo analizadas por otros autores para la determinación del contenido de oligoelementos	421
Tabla V.36.	Características básica del patrón de estriación dentaria en individuos de dieta exclusivamente carnívora respecto a un patrón económico agrícola	429
Tabla V.37.	Comparación del patrón de estriación dentaria del individuo 100188.101 de La Olmeda (Sei, Topo y combinaciones)	446
Tabla V.38.	Comparación del patrón de estriación dentaria de las réplicas 100188.100, 100201.100 y 100201.101 de La Olmeda (Topo y Topo-Compo)	447
Tabla V.39.	Patrón de estriación dentaria en distintos tipos de imagen de la réplica 100188.101 para observadores distintos	450
Tabla V.40.	Patrón de estriación dentaria en distintos tipos de imagen de la réplica 100188.110 para observadores distintos	452
Tabla V.41.	Patrón de estriación dentaria en distintos tipos de imagen de la réplica 100188.100 para observadores distintos	453

INDICE DE FIGURAS

Capítulo II MATERIAL

Figura II.1.	Localización de los yacimientos estudiados de Cataluña y Baleares.	97
Figura II.2.	Localización de los yacimientos de la Península Ibérica y Norte de Africa estudiados.	98
Figura II.3.	Tamaños muestrales para EAA por períodos.	103
Figura II.4.	Número de piezas dentarias analizadas para cada serie.	110
Figura II.5.	Número de réplicas dentarias analizadas para el maxilar, lado y diente. . .	111

Capítulo III METODO

Figura III.1.	Protocolo del análisis de oligoelementos por EAA	116
Figura III.2.	Esquema de la flecha de Triafol sobre la cual se obtiene la réplica dentaria. .	125
Figura III.3.	a) Esquema de los tipos de orientaciones posibles de las estrías en función del ángulo de orientación. b) Clasificación de las estrías según su posición, lado y diente, siguiendo la clasificación de PUECH (1980).	152

Capítulo IV RESULTADOS

Figura IV.1.	Distribución de frecuencias de la variable mg/g de Ca	164
Figura IV.2.	Distribución de frecuencias de la variable $\mu\text{g/g}$ de Sr	165
Figura IV.3.	Distribución de frecuencias de la variable $\mu\text{g/g}$ de Zn	166
Figura IV.4.	Distribución de frecuencias de la variable Zn/Ca	167
Figura IV.5.	Distribución de frecuencias de la variable Sr/Ca	168
Figura IV.6.	Distribución de frecuencias de la variable Sr/Ca(c)	169
Figura IV.7.	Concentración de Ca en los yacimientos analizados de los que se disponía de muestras de tierra	172
Figura IV.8.	Concentración de Sr en los yacimientos analizados de los que se disponía de muestras de tierra	173
Figura IV.9.	Concentración de Zn en los yacimientos analizados de los que se disponía de muestras de tierra	174
Figura IV.10.	Índice Zn/Ca en los yacimientos analizados de los que se disponía de muestras de tierra	176
Figura IV.11.	Índice Sr/Ca en los yacimientos analizados de los que se disponía de muestras de tierra	177

Figura IV.12. Índice Sr/Ca(c) (O.R.) en los yacimientos analizados de los que se disponía de muestras de tierra	178
Figura IV.13. Concentraciones de oligoelementos en espina de la fauna marina actual ..	181
Figura IV.14. Concentraciones de oligoelementos en tejido fresco de la fauna marina actual	182
Figura IV.15. Concentraciones de oligoelementos en exoesqueleto de la fauna marina actual	183
Figura IV.16. Concentraciones de Ca para la fauna herbívora de los yacimientos analizados	187
Figura IV.17. Concentraciones de Sr para la fauna herbívora de los yacimientos analizados	188
Figura IV.18. Concentraciones de Zn para la fauna herbívora de los yacimientos analizados	189
Figura IV.19. Concentración de Ca, Sr y Zn para la fauna carnívora de los yacimientos analizados	190
Figura IV.20. Concentraciones de Ca, Sr y Zn en las muestras de fauna (herbívoro, omnívoro y carnívoro) del yacimiento de L'Avellaner	193
Figura IV.21. Concentraciones de Ca, Sr y Zn en las muestras de fauna (herbívoro, omnívoro y carnívoro) del yacimiento de La Cova de La Guineu	194
Figura IV.22. Índice Zn/Ca para la fauna herbívora de los yacimientos analizados	197
Figura IV.23. Índice Sr/Ca para la fauna herbívora de los yacimientos analizados	198
Figura IV.24. Índices de Zn/Ca, Sr/Ca y O.R. calculados para las muestras de los carnívoros de los yacimientos analizados	199
Figura IV.25. Índices de Zn/Ca, Sr/Ca y O.R. para la fauna (herbívoros, omnívoros y carnívoros) de los yacimientos de L'Avellaner y La Cova de La Guineu. .	200
Figura IV.26. Índices de Zn/Ca y O.R. de las series epipaleolíticas, neolíticas y calcolíticas analizadas de Cataluña	209
Figura IV.27. Índices de Zn/Ca y O.R. de las series del bronce, talayótica y romana analizadas de Cataluña y Baleares	211
Figura IV.28. Índices de Zn/Ca y O.R. en series medievales de Cataluña	213
Figura IV.29. Índices de Zn/Ca y O.R. en las series del Bronce de la Península Ibérica .	215
Figura IV.30. Índices de Zn/Ca, Sr/Ca y O.R. en series Paleocristianas, romanas, musulmanas y medievales del Norte de Africa	217
Figura IV.31. Índices de Zn/Ca y O.R. en series medievales de la Península Ibérica ...	219
Figura IV.32. Índices de Zn/Ca y O.R. en la serie de Aborígenes de Tierra del Fuego ..	221
Figura IV.33. Evolución por periodos de los índices Zn/Ca y O.R. en Cataluña y Baleares	224
Figura IV.34. Evolución por periodos de los índices Sr/Ca, Zn/Ca y O.R. en Cataluña y Baleares	225

Figura IV.35. Evolución del índice Sr/Ca por periodos en todas las series analizadas . . .	227
Figura IV.36. Evolución del índice Zn/Ca por periodos en todas las series analizadas . . .	228
Figura IV.37. Evolución del índice O.R. por periodos en todas las series analizadas . . .	229
Figura IV.38. Elipses equiprobables para las variables Zn/Ca y O.R. en las series de Cataluña y Baleares por periodos.	233
Figura IV.39. Elipses equiprobables para las variables Zn/Ca y O.R. en las series de la Península Ibérica, Norte de Africa y Tierra del Fuego por periodos.	234
Figura IV.40. Distribución de la variable Longitud de las estrías dentarias	249
Figura IV.41. Distribución de la variable ln(Longitud) de las estrías dentarias	250
Figura IV.42. Distribución de la variable ln(Longitud) de las estrías dentarias verticales .	255
Figura IV.43. Distribución de la variable ln(Longitud) de las estrías dentarias horizontales.	256
Figura IV.44. Distribución de la variable ln(Longitud) de las estrías dentarias distomesiales.	257
Figura IV.45. Distribución de la variable ln(Longitud) de las estrías dentarias mesiodistales.	258
Figura IV.46. Distribución de la variable ln(Longitud) de las estrías dentarias verticales según el lado, maxila y diente.	259
Figura IV.47. Distribución de la variable ln(Longitud) de las estrías dentarias horizontales según el lado, maxila y diente.	260
Figura IV.48. Distribución de la variable ln(Longitud) de las estrías dentarias disto-mesiales según el lado, maxila y diente.	261
Figura IV.49. Distribución de la variable ln(Longitud) de las estrías dentarias mesio-distales según el lado, maxila y diente.	262
Figura IV.50. Diagramas de patrón dentario en las series analizadas para los dientes 1 y 2	293
Figura IV.51. Diagramas de patrón dentario en las series analizadas para los dientes 3 y 4	296
Figura IV.52. Diagramas de patrón dentario en las series analizadas para los dientes 5 y 6	299
Figura IV.53. Diagramas de patrón dentario en las series analizadas para los dientes 7 y 8	302

Capítulo V DISCUSION

Figura V.1. Indices O.R. y Zn/Ca en las series epipaleolíticas estudiadas	329
Figura V.2. Indices O.R. y Zn/Ca en la serie de l'Avellaner	333
Figura V.3. Indices O.R. y Zn/Ca en la serie de l'Hort d'en Grimau	335
Figura V.4. Indices O.R. y Zn/Ca en la serie de Les Guixeres de Vilobí	337
Figura V.5. Indices O.R. y Zn/Ca en la serie del Mas de L'Abella	339
Figura V.6. Indices O.R. y Zn/Ca para la población de La Cova de la Guineu	341
Figura V.7. Indices O.R. y Zn/Ca en la serie de La Balma de la Sargantana	344

Figura V.8.	Índices O.R. y Zn/Ca en la serie de Malpàs	346
Figura V.9.	Índices O.R. y Zn/Ca para la población del Polígono de Vilafranca	348
Figura V.10.	Índices O.R. y Zn/Ca en la serie de Son Real	350
Figura V.11.	Índices O.R. y Zn/Ca en la serie de Tarragona	354
Figura V.12.	Índices O.R. y Zn/Ca en la serie de l'Alforja	356
Figura V.13.	Índices O.R. y Zn/Ca en la serie de Sta. María d'Artés	358
Figura V.14.	Índices O.R. y Zn/Ca en la serie de Sta. Coloma de Queralt	360
Figura V.15.	Índices O.R. y Zn/Ca en la serie de Sta. Maria de Ripoll	362
Figura V.16.	Índices O.R. y Zn/Ca en la serie de L'Esquerda	365
Figura V.17.	Índices O.R. y Zn/Ca en la serie de La Muntanyeta	367
Figura V.18.	Evolución por periodos de los índices Sr/Ca(c) y Zn/Ca en la serie de L'Esquerda	368
Figura V.19.	Índices O.R. y Zn/Ca en la serie de St. Martí Xic	373
Figura V.20.	Índices O.R. y Zn/Ca en la serie del Castell d'Oliana	375
Figura V.21.	Índices O.R. y Zn/Ca en la serie de St. Andreu de Segàs	377
Figura V.22.	Índices O.R. y Zn/Ca en la serie de Montjuïc	379
Figura V.23.	Índices O.R. y Zn/Ca en la serie de St. Martí de Lleida	381
Figura V.24.	Índices O.R. y Zn/Ca en la serie de Cardona	383
Figura V.25.	Índices O.R. y Zn/Ca en la serie de Fuente Amarga	385
Figura V.26.	Índices O.R. y Zn/Ca en la serie de Castellón Alto	387
Figura V.27.	Índices O.R. y Zn/Ca en la serie del Cerro de la Encina	389
Figura V.28.	Índices O.R. y Zn/Ca en la serie de La Olmeda	392
Figura V.29.	Índices O.R. y Zn/Ca en la serie de La Olmeda según el tipo de orientación del enterramiento, sexo y totales.	393
Figura V.30.	Índices O.R. y Zn/Ca en la serie de La Torrecilla	396
Figura V.31.	Índices O.R. y Zn/Ca en la serie de Wamba	398
Figura V.32.	Índices O.R. y Zn/Ca en la serie de la Basílica de Ceuta	401
Figura V.33.	Distribución del índice Zn/Ca de los individuos analizados, respecto a su localización en el interior de la Basílica de Ceuta	402
Figura V.34.	Índices O.R. y Zn/Ca en la serie de los romanos de Ceuta	403
Figura V.35.	Índices O.R. y Zn/Ca en la serie de Hacho	404

Figura V.36. Índices O.R. y Zn/Ca en la serie de Jáudenes	405
Figura V.37. Índices O.R. y Zn/Ca en la serie de Mirador	406
Figura V.38. Índices O.R. y Zn/Ca en la serie de Tierra del Fuego	408
Figura V.39. Evolución de los índices O.R. y Zn/Ca por periodos en series del Mediterráneo	422
Figura V.40. Evolución de los índices O.R. Y Zn/Ca en mujeres de series del Mediterráneo	423
Figura V.41. Evolución de los índices O.R. Y Zn/Ca en hombres de series del Mediterráneo	424

INDICE DE FOTOS

Capítulo I INTRODUCCION

- Foto I.1. Imagen microscópica de las líneas de crecimiento en el tercio cervical de la superficie vestibular de la dentición yugal. 50

Capítulo III METODO

- Foto III.1. Imagen SEI obtenida a partir de electrones secundarios captados por un detector lateral polarizado mediante microscopía de escaning 130
- Foto III.2. Imagen COMPO obtenida a partir de electrones retrodispersados captados por los detectores de la unión PNJ mediante microscopía de escaning 132
- Foto III.3. Imagen TOPO obtenida a partir de electrones retrodispersados captados por los detectores de la unión PNJ mediante microscopía de escaning 133
- Foto III.4. Imagen captada por el analizados IBAS a partir del negativo 137
- Foto III.5. Imagen contrastada por el analizador IBAS a partir de la imagen captada . . 138
- Foto III.6. Estrías señaladas y cuantificadas en el analizador IBAS a partir de la imagen contrastada 140

Capítulo IV RESULTADOS

- Foto IV.1. Estriaciones dentarias de la superficie vestibular de la dentición del individuo 100193.010 (M1, Mand., Der.) de La Olmeda 294
- Foto IV.2. Estriaciones dentarias de la superficie vestibular de la dentición del individuo 100193.000 (M1, Mand., Izq.) de La Olmeda 295
- Foto IV.3. Estriaciones dentarias de la superficie vestibular de la dentición del individuo F9 talla 17B.010 (M1, Mand., Der.) de L'Esquerda 297
- Foto IV.4. Estriaciones dentarias de la superficie vestibular de la dentición del individuo Z.000 (M1, Mand., Izq.) de L'Esquerda 298
- Foto IV.5. Estriaciones dentarias de la superficie vestibular de la dentición del individuo 710005.000 (M1, Mand., Izq.) de Tierra de Fuego 300
- Foto IV.6. Estriaciones dentarias de la superficie vestibular de la dentición del individuo 726788.100 (M1, Max., Izq.) de Tierra de Fuego 301

I. INTRODUCCION



I. INTRODUCCION

El estudio de las poblaciones humanas pretéritas no se limita actualmente a una descripción morfológica y tipológica clásicas. El desarrollo de nuevas técnicas de análisis nos permite abordar cuestiones sobre adaptación y calidad de vida. Las sociedades humanas se caracterizan especialmente por su capacidad de moldear el ambiente explotándolo según las necesidades y amortiguando su efecto selectivo. En ese contexto la **Cultura** aparece como un sistema adaptativo, frente a condiciones adversas, que se desarrolla de forma paralela al cambio morfológico que acompaña al proceso evolutivo humano. El grado de adaptación frente al ambiente, tanto biológico como cultural, va asociado a la evolución morfológica y nos informa sobre las condiciones de vida de las poblaciones humanas en los diferentes momentos de su evolución.

El objetivo de la presente **Memoria Doctoral** es estudiar la **dieta** con el fin de profundizar en un aspecto adaptativo concreto de las poblaciones humanas que nos informe sobre su interacción con el medio. Al hablar de **dieta** nos referimos a la caracterización de los alimentos que son ingeridos por una persona o un colectivo. De entre todos los alimentos susceptibles de ser utilizados, el ser humano **selecciona** para su dieta aquellos que por su capacidad nutritiva sean más adecuados desde el punto de vista adaptativo. Son muy variadas, sin embargo, las causas que llevan a seleccionar un determinado alimento. De ese conjunto de factores depende el que la dieta ingerida esté asociada a una **nutrición** adecuada, aunque la asimilación y aprovechamiento de los alimentos ingeridos depende no sólo de la dieta sino también de otros aspectos (patológicos, adaptativos, etc.).

Desde el origen de la cultura humana y a medida que esta adquiere una mayor complejidad, la dieta determina de forma creciente el **patrón económico** de las sociedades humanas. Una gran parte de su estructura social está definida por los mecanismos de obtención y procesamiento de los alimentos. Dieta y patrón económico serán, pues, conceptos muy próximos que nos permitirán establecer una relación directa entre adaptación biológica y cultura humana.

Al enfocar el estudio de las poblaciones humanas desde un punto de vista paleonutricional tenemos que tener en cuenta tres aspectos: 1) la **estrategia alimentaria**, 2) el **grado de adaptación paleoambiental** mediante el estudio de **indicadores paleonutricionales** y 3) la **explotación de recursos alimentarios**. Son factores no necesariamente correlacionados pero sí complementarios. No existen sistemas de organización social o de explotación de recursos que sean por definición más o menos adaptativos. Su eficacia viene dada por la presión selectiva del ambiente y el grado de respuesta adaptativa, tanto biológica como cultural de las poblaciones.

Nuestro objetivo es doble. Por un lado, plantearemos la utilización de nuevas técnicas de estudio paleonutricional señalando sus ventajas y advirtiendo de las precauciones necesarias al enfocar un estudio como el que nos ocupa. Y por otro, intentaremos caracterizar la dieta de las poblaciones humanas que estudiaremos, a través del tiempo. Por ello, de los tres aspectos señalados anteriormente nos interesa principalmente la caracterización de la dieta en función de la preponderancia de la explotación de uno u otro tipo de recurso alimentario.

1. Estrategias alimentarias

Cuando clasificamos las sociedades humanas, atendiendo a la explotación de recursos alimentarios, en cazadoras, recolectoras o agrícolas estamos inevitablemente clasificando en base a sus tecnologías. El tipo de tecnología que presenta una sociedad tiene consecuencias directas tanto sobre su situación ecológica como sobre su sistema económico. Por ello, CARLSTEIN (1982) define el concepto de ecotecnología aplicado a las sociedades humanas como la interacción entre tecnología, ecología, economía y sociedad.

En base a esta clasificación podemos distinguir cinco tipos de estrategias alimentarias de la sociedades humanas: 1) cazadora-recolectora, 2) pastoril nómada, 3) agrícola móvil o de subsistencia, 4) agrícola semi-intensiva y 5) agrícola de regadío.

1.1. Cazadores-recolectores

La principal característica de una economía cazadora-recolectora es la relación de inmediatez espacial y temporal que existe entre la obtención y el consumo de alimentos. Como consecuencia, una sociedad de este tipo presentará una acumulación de excedentes y una producción mínimas, o nulas de productos básicos, ausencia de agricultura y domesticación de animales, actividad de obtención de alimentos durante todo el año, autosuficiencia alimentaria y reciprocidad entre grupos próximos.

En líneas generales, se observa que los grupos cazadores-recolectores tienen una baja densidad de población, división sexual del trabajo, con los hombres decantados hacia la caza y las mujeres hacia la recolección, y una gran movilidad.

Un caso especial lo forman las sociedades cazadoras-recolectoras de alimentos marinos. En ellas la naturaleza de su fuente de alimento provoca un

incremento en la especialización tecnológica que, en lugar de ampliar la capacidad de movilidad de la población, impone una reducción en la movilidad, al menos temporalmente.

1.2. Pastoreo nómada

Al igual que los grupos cazadores-recolectores actuales, las sociedades de pastoreo nómada ocupan hábitats marginales. Su movilidad espacial se diferencia de la de grupos cazadores-recolectores en la dependencia del ganado doméstico en lugar de animales salvajes. La gran movilidad espacial está inducida por la relación entre el ganado y los recursos alimentarios que este requiere.

Desde un punto de vista evolutivo, el pastoreo nómada surge de un sistema mixto entre agricultura y una incipiente ganadería. En cualquier caso, existe una relación muy estrecha entre la actividad agrícola y la pastoril, si no a través de una participación directa de la población nómada en la actividad agrícola, sí a través de formas indirectas de interacción.

1.3. Agricultura móvil o de subsistencia

Es un sistema de producción alimentaria que permite un mayor nivel de producción pero que, al requerir más espacio y tiempo, no permite mantener una elevada densidad de población. Las poblaciones recolectoras de alimentos dependen del ritmo natural de la reproducción animal y vegetal. El control del ritmo de reproducción vegetal permite intensificar la producción. La limitación del sistema consiste, en este caso, en el mantenimiento de la fertilidad del suelo.

El término móvil se refiere al componente espacio-temporal de este tipo de economía. Al igual que en los grupos recolectores, aquí también hay una movilidad espacial y temporal, pero con diferente ritmo. No sólo los individuos son móviles sino que también varía el medio.

En general, la agricultura de subsistencia se caracteriza por un sistema de rotación de campos de cultivo en lugar del cultivo mismo, desbroce mediante el fuego y alternancia entre cortos periodos de ocupación del cultivo con largos periodos de abandono.

1.4. Agricultura semi-intensiva mixta

Se basa en la reducción del periodo de abandono del terreno, lo que produce, consecuentemente, un menor tiempo de recuperación. Para evitar la competencia con las hierbas cuyo crecimiento está estimulado por dicho tratamiento, es necesario cavar o remover la tierra de alguna forma. La selección técnica es un elemento importante en el mantenimiento o mejora de la fertilidad (utilización de abonos orgánicos de animales o selección de especies vegetales).

A medida que los hombres dependen de los animales de forma creciente para mantener la fertilidad del sistema, los animales también dependen progresivamente de los recursos cultivados. Los animales mejoran la capacidad productiva del sistema agrícola.

Utilizando una alternancia de cultivos se puede alargar el periodo de cultivo. Cuando el sistema se agota, es necesario un periodo de barbecho.

1.5. Agricultura de regadío

Uno de los principales requerimientos de un sistema de cultivo extensivo es el agua. La irrigación, en su forma simple o compleja, constituye una innovación tecnológica crucial para el desarrollo de la agricultura. Un segundo factor lo determina el hecho de que muchos cursos de agua transportan sales y minerales que afectan a la fertilidad del suelo, por lo que en ocasiones se requiere un correcto drenaje del suelo.

La tecnología asociada a la irrigación debe resolver los problemas derivados de la disponibilidad temporal o espacial del agua a través de la modificación del ciclo natural de disponibilidad de la misma.

La irrigación requiere la adopción de nuevas actividades que se hacen necesarias: cavar zanjas, nivelar el terreno, mantener el nivel de humedad y regular el flujo de agua. Esta inversión de tiempo permite intensificar la explotación del terreno (varias cosechas al año) y una expansión espacial del area cultivada.

2. Indicadores paleonutricionales

Es evidente que la complejidad de las estrategias alimentarias repercute en el grado de adaptación de las sociedades a su ambiente. En la medida que el sistema se complica, el ambiente es moldeado en función de las necesidades y la selección pierde importancia como factor adaptativo.

En cada momento de la evolución biológica y social humanas existe un determinado nivel de equilibrio adaptativo, con mayor o menor estabilidad, sobre el que actúan factores que tienden a romperlo. Nos referiremos a dichos factores de forma global con el término **estrés**.

El **estrés** es un concepto muy general que se refiere al conjunto de factores adaptativos, externos o internos, que actúan sobre una población. Estos factores pueden ser de tres tipos: 1) aspectos **limitantes** del medio, 2) sistemas **culturales** y 3) resistencia **biológica**. El desequilibrio entre estos factores puede producir algún tipo de **disrupción fisiológica** en el organismo que afecte a su grado de adaptación ambiental.

El **estrés** que afecta a una población no puede medirse directamente sobre los restos esqueléticos. Podemos, sin embargo, medir las consecuencias de dicho **estrés**. Si la población se encontrase en un ambiente donde no hubiera factores limitantes, donde los sistemas culturales mantuvieran un equilibrio con los mecanismos de presión ambiental y donde los individuos presentaran una resistencia biológica efectiva ante agentes de disrupción fisiológica, el material esquelético del que podamos disponer no presentaría ningún **indicador de estrés** o de **presión ambiental**, de forma que el grado de adaptación al ambiente sería máximo.

En la práctica este equilibrio absoluto no se da. Al contrario, el carácter fluctuante del medio determina que las poblaciones estén sometidas a un proceso de adaptación constante a los tres niveles indicados: 1) obtención de **recursos**, 2) **amortiguación cultural** y 3) **adaptación biológica**. El grado de equilibrio alcanzado en cada caso vendrá dado por la presencia, más o menos abundante, de dichos **indicadores de estrés** o de **presión ambiental**.

Podemos clasificar a los indicadores de estrés (GOODMAN, 1984) en cuatro grupos: 1) indicadores de estrés **generalizado** o **acumulativo**, 2) indicadores de estrés **episódico**, 3) indicadores de estrés asociados a determinadas **patologías** y 4) indicadores **alimentarios** o de la **dieta**.

2.1. Indicadores de estrés generalizado

El estrés generalizado es aquél que se manifiesta de forma acumulativa en el organismo. Proporciona información sobre la presión ambiental ejercida durante largos periodos de tiempo. Podemos distinguir cinco tipos principales: **mortalidad**, **crecimiento**, **dimorfismo sexual**, **tamaño dentario** y **asimetrías**.

Mortalidad: Las curvas de mortalidad de una población proporcionan información sobre la mortalidad infantil y la esperanza de vida de dicha población. Hay que suponer, sin embargo, que la muestra esquelética estudiada es representativa de la población real.

Crecimiento: Un aumento en los niveles de estrés poblacional repercutirá en un retraso o detención del crecimiento. Hay que considerar, no obstante, la importancia de factores genéticos. La disminución del ritmo de crecimiento entre los 2 y los 5 años en poblaciones del pasado respecto a patrones modernos puede ser un indicador de malnutrición u otro tipo de estrés que afecte a ese segmento de la población. En adultos las diferencias en tamaño y forma de huesos largos entre distintas poblaciones, suponiendo que exista homogeneidad genética, puede interpretarse en base al crecimiento secular, que se considera una consecuencia de la disminución del estrés nutricional y patológico en individuos infantiles.

Dimorfismo sexual: En principio, una disminución del dimorfismo sexual debe interpretarse como un incremento del estrés ya que el desarrollo de los individuos masculinos es más sensible a factores estresantes que en los femeninos (GOODMAN, 1984). Sin embargo, hay factores genéticos, culturales y selectivos que pueden enmascarar esta relación.

Tamaño dentario: Se ha sugerido (GUARGLIARDO, 1982) que los individuos afectados por niveles de estrés elevado morirían a una edad temprana impidiéndose así que los dientes adquieran su tamaño potencial máximo determinado genéticamente.

Asimetrías: La existencia de asimetrías que no siguen un patrón determinado puede interpretarse como efecto de niveles de estrés, pero la respuesta individual puede variar por condicionamiento genético.

2.2. Indicadores de estrés episódico

Líneas de Harris: Se interpretan como periodos de detención del crecimiento, de aproximadamente no más de una semana, seguidos de periodos de recuperación, que se manifiestan en forma de bandas transversales de condensación ósea en los huesos largos observados mediante radiografías. Estas líneas pueden reabsorberse posteriormente, lo cual puede enmascarar los niveles reales de estrés.

Hipoplasia del esmalte dentario: Es una deficiencia en el grosor del esmalte dentario como consecuencia de periodos de estrés agudo durante el desarrollo dentario. Es un carácter relacionado con enfermedades y deficiencias nutricionales.

2.3. Indicadores de patologías específicas

Hiperóstosis porótica y *Cribrá Orbitalia*: se manifiestan como un desarrollo del diploe del hueso con aumento de la estructura porosa que afecta principalmente a los huesos del cráneo y de modo particular al techo de la cavidad ocular. Los procesos osteoporóticos se asocian a deficiencias férricas causadas por anemias congénitas (Talasemia, Sicklemias, etc.) o adquiridas (malnutrición o procesos patológicos de tipo infeccioso).

Enfermedades infecciosas: la mayoría de procesos patológicos que pueden detectarse en el hueso son indicadores inespecíficos de estrés ambiental. Los indicadores más específicos detectables en los restos óseos consisten

en enfermedades infecciosas tipo tuberculosis, lepra o sífilis, pero son poco frecuentes. Las lesiones no específicas se refieren a las llamadas **reacciones periostíticas**, osteomielitis u osteitis. Su interpretación no es directa ya que son múltiples las causas que las pueden provocar.

Traumatismos: Determinados tipos de traumatismos pueden informarnos sobre patrones de actividad, condiciones y calidad de vida, etc.

Procesos degenerativos: La osteoartritis es el más extendido. Está asociada a estrés biomecánico. El tipo de vida y el patrón de actividad son quizá los factores más determinantes.

Patologías dentarias: Son frecuentes en poblaciones recientes. Las más abundantes son la caries dental, abscesos, periodontitis, pérdidas dentarias *ante-mortem*, etc. Estarían asociados, entre otros, a factores nutricionales, ya sea por la composición de la dieta o a través de su proceso de preparación. El desgaste dentario, no siendo un proceso de tipo patológico, también estaría influenciado por factores nutricionales.

3. Explotación de recursos alimentarios

La estrategia alimentaria y la adaptación ambiental son causa y efecto, respectivamente y entre otros factores, de la explotación de recursos. Así, cada patrón económico determina sus propios mecanismos tecnológicos especializados en la obtención y preparación de recursos. La estrategia alimentaria se enfoca, pues, hacia una adecuada explotación, la cual, junto a los factores ya citados de amortiguación cultural y adaptación biológica, repercute en una mayor adaptación ambiental.

El interés principal de nuestro trabajo se centrará en la determinación de los recursos alimentarios utilizados por las poblaciones humanas. La cuestión fundamental que enfocaremos es la caracterización del patrón alimentario de las series analizadas. Las estrategias alimentarias descritas en el apartado I.1. representan un modelo *a priori* con el cual contrastar las poblaciones que estamos estudiando. Los indicadores de estrés ambiental descritos en el apartado I.2. nos proporcionan una interpretación *a posteriori* del éxito adaptativo de aquellas estrategias.

Quizá uno de los factores principales que determina el éxito adaptativo de un grupo humano es la adecuación entre la explotación de recursos alimentarios y los requerimientos nutricionales. En poblaciones de estructura social primitiva esta adecuación viene determinada por la presión del medio. A medida que la complejidad tecnológica de la población aumenta, las limitaciones del medio son compensadas por condicionantes culturales.

Los estudios del patrón alimentario humano se enfocan desde dos puntos de vista. Por un lado la Arqueología aborda la cuestión a través de las manifestaciones culturales humanas y, por otro, la Antropología se basa en el estudio de los propios restos humanos disponibles.

3.1. Aproximación arqueológica

Las primeras aproximaciones al estudio de la explotación de recursos alimentarios han sido realizadas básicamente por la arqueología clásica.

La evidencia arqueológica de la dieta de una población puede derivarse de tres tipos de información: 1) presencia de restos vegetales y semillas en el yacimiento, 2) análisis de la **fauna** presente en el mismo (salvaje y/o doméstica) y 3) estudios de la tipología funcional de los útiles encontrados.

3.1.1. Estudios paleobotánicos

Los estudios paleobotánicos pueden proporcionar dos tipos de información. Por un lado, el análisis **palinológico** nos informa sobre las características del medio ambiente y la disponibilidad de recursos vegetales. Por extensión se infiere que, dado que una población que se aproxima al equilibrio adaptativo con su entorno tenderá a consumir los recursos alimentarios disponibles en él, la estimación de los recursos vegetales disponibles será informativa sobre la dieta de la población.

Nos encontramos, sin embargo, con varios problemas. Cabe esperar que los alimentos consumidos preferentemente por una población en equilibrio sean aquellos que tiendan a satisfacer sus requerimientos nutricionales. La ausencia de equilibrio puede ser por sí misma una desviación de este principio. Además, entre aquellos recursos comestibles disponibles, los grupos humanos seleccionan o rechazan ciertos tipos de alimentos por cuestiones diversas, aparte de o prescindiendo de su contenido energético, como puede ser el sabor, olor, color, prácticas rituales, tradición, ritos religiosos, etc. Sin embargo, aún conociendo el tipo de alimento ingerido, no disponemos con este tipo de estudios arqueológicos de información alguna sobre la importancia relativa en la dieta de este respecto a otros recursos alimentarios.

Por otra parte, el estudio directo del **material vegetal** como indicador de los vegetales consumidos presenta el problema de su escasa frecuencia en el material arqueológico del yacimiento. Esto es debido en gran parte a la utilización de métodos arqueológicos poco adecuados para su recuperación

durante la excavación. En muchas ocasiones, plantearse una recuperación exhaustiva de restos vegetales es un problema inabarcable desde el punto de vista de la efectividad del resultado/coste de la excavación. Pero, sobre todo, los restos vegetales se conservan con gran dificultad en los yacimientos arqueológicos, requiriéndose para ello condiciones de preservación muy específicas (humedad, temperatura, acidez del terreno, etc.).

Este tipo de evidencia arqueológica es, pues, fragmentaria y no permite contrastar hipótesis sobre la importancia relativa de los distintos tipos de recursos alimentarios en la dieta.

3.1.2. Análisis faunístico

El análisis faunístico se basa en el estudio de la representación de las especies animales en el yacimiento. La presencia de fauna en un lugar de ocupación humana es una evidencia de la explotación de este recurso. Por ejemplo, la presencia de marcas de descarnación en los huesos de la fauna sugieren un aprovechamiento con fines alimentarios. Sin embargo, la simple presencia de una especie determinada no presupone que haya sido utilizada para tal fin. Es evidente que podemos proyectar nuestro conocimiento cultural y asociar determinados animales con alimento, pero hay que considerar que hay especies saprófitas del hombre (las ratas, por ejemplo) que no son necesariamente consumidas aunque estén asociadas a su mismo hábitat. Sin embargo, tampoco tenemos evidencias de que no hayan sido consumidas bajo determinadas circunstancias o que sean consideradas como "alimento" por otras culturas.

Con todo, la principal dificultad de este tipo de estudios es la determinación de la importancia del recurso en cuestión. La primera aproximación posible es el contaje del material óseo de la fauna representada. Esto presenta un problema obvio que es la correlación entre número de piezas óseas y cantidad de materia alimenticia aportada. Es posible suponer que los animales de gran tamaño que eran cazados no podían ser transportados enteros al lugar de habitación, sino que serían descarnados *in situ*, dejando atrás la mayor parte del material óseo que no estaría representado en el yacimiento.

Por contra, los animales pequeños serían más fáciles de transportar enteros hacia el campamento.

La utilización del peso del material óseo es un segundo nivel de aproximación. En este sentido, es evidente que no son equivalentes pesos iguales de especies animales distintas en cuanto a valor nutritivo. Un paso más sería el cálculo del equivalente calórico del material óseo encontrado. Ello nos permitiría estimar tamaños poblacionales de las sociedades humanas (en especial del Paleolítico) extrapolando los requerimientos cárnicos por persona y día de poblaciones actuales a las del pasado. Existe, no obstante, el problema de la representación temporal del material que estudiamos. La misma evidencia puede ser debida a un reducido grupo actuando durante un largo periodo de tiempo, que a un grupo humano más numeroso durante menos tiempo.

En cualquier caso, no disponemos de ninguna evidencia directa sobre el grado de representatividad del material faunístico del yacimiento arqueológico respecto a la dieta de la población estudiada.

3.1.3. Estudio tipológico y funcional de útiles líticos

Este tipo de estudios comporta también la extrapolación de conocimientos culturales al estudio **tipológico** de los útiles. Se tiende a asociar determinadas formas de los instrumentos encontrados en los yacimientos con instrumentos similares de nuestra cultura con una función determinada que hacemos extensiva a aquéllos. Así, hablamos de raederas, cuchillos, puntas, buriles, etc. Se intenta de esta forma inferir la alimentación a partir del tipo de actividad sugerida por los útiles encontrados.

Otro tipo de evidencia más objetiva que puede obtenerse a partir de útiles líticos procede del análisis **funcional** del utensilio lítico mediante el estudio del pulido microscópico producido por la interacción útil-objeto (KEELEY, 1980). Es un procedimiento menos subjetivo que la caracterización tipológica y, lo que es quizá más importante, susceptible de experimentación.

3.2. Aproximación antropológica

El enfoque antropológico del estudio de la dieta de las poblaciones prehistóricas e históricas ha sido hasta hace poco una fuente de información adicional de tipo indirecto. Sin embargo, la aparición de nuevas técnicas de análisis del material óseo permiten actualmente extraer un volumen de información mucho mayor a partir de dicho material.

3.2.1. Aspectos indirectos asociados a la alimentación

Ya se han comentado anteriormente diversos aspectos antropológicos relacionados de modo indirecto con la alimentación. En este sentido, existe una relación de causalidad entre la **caries dental** y una dieta de elevado contenido en hidratos de carbono (PERZIGIAN *et al.*, 1984). El **tamaño dentario** también sería un factor adaptativo (PERZIGIAN, 1975) a nivel filogenético asociado a determinados tipos de dieta.

3.2.2. Indicadores alimentarios o de la dieta

Podemos distinguir tres técnicas de determinación de la dieta a partir del estudio del material óseo: 1) análisis de **oligoelementos** o **elementos traza**, 2) estudio del patrón de **estriación dentaria** y 3) determinación del contenido de **isótopos estables** del Carbono (^{13}C) y del Nitrógeno (^{15}N).

Son técnicas que nos informan de la preponderancia de los distintos recursos alimentarios en la dieta a partir del análisis de los efectos directos de los alimentos ingeridos sobre el material óseo y dentario. Cuanto mayor sea la correlación entre los alimentos ingeridos y ciertos marcadores esqueléticos, más fiable será la determinación de la dieta a partir de dichos marcadores. Es una valoración directa de la dieta que no informa, sin embargo, del estado nutricional de la población.

Los próximos apartados abordan la problemática de los indicadores alimentarios, especialmente respecto al análisis de oligoelementos y de la estriación dentaria, objetivo principal del presente trabajo. Como veremos más

adelante, son pocos los estudios paleonutricionales a partir de restos esqueléticos realizados en España. La metodología utilizada no está estandarizada, por lo que la escasa información disponible no es comparable en la mayoría de los casos.

Enfocaremos inicialmente el fundamento de las técnicas de estudio paleonutricional, para abordar a continuación el análisis de las series consideradas.

4. Análisis de Oligoelementos

El estudio de la dieta humana a partir del contenido en oligoelementos en hueso se basa en que ciertos minerales, que son abundantes en determinados alimentos, al ser ingeridos se mantienen en el organismo a niveles proporcionales a la magnitud de su aporte a través de la dieta. Además, dichos elementos se almacenarían preferentemente en hueso, donde su proporción dependería de los niveles circulantes en los tejidos.

La determinación de la concentración de oligoelementos en hueso supone, bajo estas premisas, una aproximación al estudio de la dieta. El estroncio (Sr) ha sido el elemento en el cual se ha puesto mayor énfasis tradicionalmente. Un enfoque multielemental basado en la determinación de las concentraciones en hueso de distintos elementos puede ser en ocasiones más informativo (FRANCALACCI y BORGOGNINI, 1987). En cualquier caso, debe cuestionarse la relación directa entre concentración de oligoelementos en muestras arqueológicas y componentes específicos de la dieta (LAMBERT *et al.*, 1982), con el fin de profundizar en la relación entre ésta y determinados elementos minerales.

4.1. Composición del hueso

La composición del hueso fresco puede variar de forma considerable con la edad. Puede, además, ser diferente para cada hueso o variar, en particular, con la zona del hueso considerada. En promedio se considera que el hueso está constituido por un 70% de minerales, 20% de colágeno, 8% de agua y 2% de otros componentes no colagenosos. La parte mineral del hueso está formada principalmente por fosfato de calcio, presente tanto en la fase cristalina del hueso como en la amorfa. La forma dominante en adultos es la **hidroxiapatita** cristalizada, representada por la molécula $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ (NEWESELY, 1988). La fase amorfa del hueso compacto adulto representa un 40% del contenido mineral total. Sin embargo, dado que en presencia de agua el fosfato de calcio amorfo se transforma en hidroxiapatita, en el material

óseo de origen arqueológico o paleontológico la fase mineral se encuentra generalmente en forma cristalina (KLEPINGER, 1984).

La estructura de la apatita no es, por supuesto, pura. En general, los iones extraños que se incorporan a la estructura de la apatita tienden a estar más concentrados en la superficie cristalina ya que son incorporados al cristal después de que este se haya formado. Algunos autores sugieren que la red cristalina sería capaz de discriminar en contra de inclusiones foráneas en favor de las usuales (Ca), existiendo una competencia selectiva entre el Ca y otros elementos como el Sr, entre otros. Estudios con isótopos radioactivos de Sr y Ca revelan un patrón característico de una aceptación inicial de Sr en el hueso, seguida de una preferencia creciente de Ca (SILLEN y KAVANAGH, 1982). Así, fuerzas termodinámicas favorecerían la migración de iones extraños hacia la periferia del cristal para ser eventualmente eliminados (KLEPINGER, 1984). Sin embargo, otros autores consideran que no parece existir una discriminación inicial contra el Sr por parte de la hidroxiapatita del hueso, ni tampoco una eliminación selectiva del Sr respecto al Ca en la estructura mineral madura del hueso y, por ello, la cantidad de Sr en el hueso se considera un reflejo de la cantidad de Sr disponible en la sangre (SCHOENINGER y PEEBLES, 1981).

En cualquier caso, la sustitución iónica en la estructura cristalina de la hidroxiapatita está limitada por el radio iónico (NEWESELY, 1988). En principio, sólo serían posibles aquellos cambios isomórficos entre iones cuyo radio no suponga una variación en tamaño superior al 15% y siempre que se mantenga la neutralidad eléctrica del conjunto. Sin embargo, este no es el único factor determinante de una posible sustitución iónica.

En la sustitución del ión Ca^{2+} en la apatita del hueso por otros elementos se requiere, entre otras características, que los iones divalentes que lo sustituyan estén ligeramente polarizados. De hecho, un incremento superior al 15% en el radio iónico no es siempre un factor limitante de la actividad respecto a la sustitución iónica en la apatita del hueso (tabla I.1.).

Tabla I.1. Radio iónico de algunos elementos divalentes y porcentaje de cambio en el tamaño del ion respecto al Ca^{2+} . En la última columna se indica su capacidad de sustitución del Ca en la apatita del hueso

Ion	Radio iónico	% de cambio	actividad
Ba^{2+}	1.34 A	35.4%	posible
Sr^{2+}	1.12 A	13.1%	posible
Ca^{2+}	0.99 A		
Cd^{2+}	0.97 A	- 2.0%	negativa
Mn^{2+}	0.80 A	-19.2%	posible
Fe^{2+}	0.74 A	-25.3%	posible
Zn^{2+}	0.74 A	-25.3%	negativa
Co^{2+}	0.72 A	-27.3%	negativa
Ni^{2+}	0.69 A	-30.3%	negativa
Mg^{2+}	0.66 A	-33.3%	posible

Como veremos más adelante, los factores posdeposicionales que actúan tras la muerte del individuo pueden afectar a la composición del hueso. Sin embargo existe gran disparidad de opiniones al respecto.

En relación a los procesos diagenéticos, los elementos químicos que integran el hueso podrían ser clasificados en dos grupos (LAMBERT *et al.*, 1979): aquellos que son representativos de la composición del hueso en el momento de su enterramiento (Sr, Zn, Mg, Ca y Na) y aquellos cuya proporción podría verse alterada tras el enterramiento (Fe, Al, Mn y K). La distinción es relevante para la determinación de su utilidad como indicadores nutricionales o de contaminación.

4.2. Elementos indicadores nutricionales o metabólicos

Respecto a la composición elemental del hueso, el Ca y el P forman la parte principal de la matriz. El Sr, Ba, Zn, Cr, Fe, Cu, Cd y Pb se encontrarían sólo como elementos traza en el hueso humano normal. Estos elementos podrían ser considerados **indicadores paleonutricionales** o del **metabolismo** (NAVARI *et al.*, 1982). Si es posible demostrar que los resultados obtenidos reflejan concentración de elementos y no error de medición, se puede asumir que, controlando posibles efectos diagenéticos, los valores obtenidos de las concentraciones de dichos elementos en hueso reflejarían los niveles de ingesta de determinados alimentos en la dieta. La utilización de dichos elementos químicos para la caracterización de la dieta requiere que los niveles obtenidos reflejen las cantidades originales o que estas sean proporcionales a aquellas (LAMBERT *et al.*, 1983). Por otra parte, otros elementos como el Cd, Pb y Hg reflejarían la exposición del hueso a metales pesados que no forman parte de la dieta, siendo en ocasiones elementos tóxicos a determinados niveles plasmáticos.

4.2.1. Elementos mayoritarios en hueso

4.2.1.1. Calcio

El 99% del Ca del organismo se encuentra concentrado en el esqueleto, constituyendo un 21-22% del peso del hueso fresco. El resto del Ca se encuentra en los dientes, tejidos blandos y plasma. Se trata de un elemento esencial durante el crecimiento y la vida del hueso, por lo que su carencia afecta principalmente a los individuos infantiles. Por su gran importancia en la transmisión nerviosa, en caso de deficiencia el organismo tenderá a mantener constante el nivel plasmático obteniendo el Ca necesario del tejido óseo. La absorción de Ca varía con la edad. Es mayor en los niños por acción de la hormona del crecimiento (STH) y de la paratohormona, siendo la absorción intestinal en ellos dos o tres veces superior a la del adulto. La mujer grávida presenta también una mayor absorción de Ca. La vitamina D es la variable más importante en la regulación de su absorción. Las mayores fuentes de Ca son la leche y sus derivados. Se encuentra también, aunque en pequeñas cantidades, en algunas leguminosas y cereales, siendo éstos la fuente

mayoritaria cuando la dieta está basada principalmente en los cereales (NAVARI *et al.*, 1982; FORNACIARI *et al.*, 1984).

4.2.1.2. Fósforo

El esqueleto contiene el 85% del fósforo presente en el organismo, mientras que un 14% se encuentra en tejidos blandos y el resto en dientes, sangre y otros fluidos. El P constituye el 11% del peso del hueso fresco, encontrándose sobre todo en la estructura de la apatita y de la fase amorfa (WOODWARD, 1964). La homeostasis del P es distinta a la del Ca. La fluctuación de los niveles plasmáticos es considerable en relación con su absorción o con la actividad renal excretora. La disminución del nivel plasmático no se compensa con la obtención de P del esqueleto, como en el caso del Ca, a menos que la pérdida sea muy grave (caso de raquitismo y osteomalacia). Sin embargo, son raras las carencias de P, en particular si la ingesta de proteínas es adecuada, puesto que se trata de un elemento ampliamente difundido en los alimentos (NAVARI *et al.*, 1982).

4.2.1.3. Relación Calcio-Fósforo

La relación Calcio-Fósforo expresada por el índice Ca/P se mantiene, en principio, a un nivel aproximado de 2.15 (ZIPKIN, 1970). Sin embargo se trata de un equilibrio complejo. BISEL (1980) muestra una fluctuación entre 1.68 y 2.36 en poblaciones antiguas. Los estudios realizados por NAVARI *et al.* (1982) sugieren que las concentraciones de P y de Ca son más elevadas en los individuos infantiles que en los adultos, siendo también superior el índice P/Ca en los primeros. Esta mayor concentración de Ca en infantiles podría ser el reflejo de una alimentación principalmente láctea en este grupo.

4.2.2. Elementos Alcalinotérreos

4.2.2.1. Estroncio

El estroncio es el elemento más estudiado en relación a su importancia como indicador de la dieta en poblaciones humanas. Los estudios de este elemento se iniciaron a raíz del impacto ambiental de los isótopos radioactivos fruto de las explosiones nucleares de los años sesenta. Para una revisión completa sobre el papel de Sr en la cadena alimentaria véase SILLEN y KAVANAGH (1982).

Este elemento se encuentra justo debajo del calcio en la tabla periódica, por lo que ambos comparten muchas propiedades químicas. Puede incluso sustituir al Ca en muchos procesos metabólicos de vegetales y animales (KLEPINGER, 1984). Sin embargo, sus constantes de ionización, producto de solubilidad, radio iónico y otras propiedades difieren considerablemente de las del Ca (SILLEN y KAVANAGH, 1982).

La utilización del Sr en la determinación de la dieta depende del su fraccionamiento en el sistema trófico y en los tejidos de un mismo organismo (SCHOENINGER, 1982). En general las plantas no discriminan contra el Sr, por lo que la proporción de este elemento en ellas reflejará los niveles ambientales (SILLEN y KAVANAGH, 1982; SCHOENINGER y PEEBLES, 1981). Los mamíferos, en cambio, discriminan el Sr en favor del Ca a nivel intestinal y eliminan selectivamente el Sr del plasma (SILLEN, 1984). Además, la eliminación del Sr a nivel renal es unas tres veces superior a la del calcio (KLEPINGER, 1984). En cualquier caso, todas las plantas y sus partes contienen más Sr que la carne de animales de la misma zona (SCHOENINGER, 1979). Debido a esta incorporación diferencial de Sr en las plantas respecto a los animales, la ingesta de Sr en animales herbívoros estrictos será relativamente superior a la de los carnívoros (SCHOENINGER, 1982). Al mismo tiempo, dado que el Sr presenta un tropismo casi selectivo por el tejido óseo (FORNACIARI, 1982), menos de un 1% del Sr del organismo se almacena en tejidos blandos y más del 90% del Sr del cuerpo se almacena en el hueso (SCHOENINGER, 1982). Organismos estrictamente carnívoros tendrán una ingesta muy inferior de Sr que los herbívoros (SCHOENINGER, 1982; FORNACIARI, 1982; FORNACIARI y MALEGNÍ, 1987). Se deduce así que el hueso del herbívoro debe contener una mayor

concentración de Sr que el del carnívoro, lo que ha sido comprobado a partir de análisis de fauna moderna (SCHOENINGER, 1982).

En general, se acepta que los niveles de Sr en hueso reflejan la cantidad de este elemento en la dieta. Una dieta basada prioritariamente en la carne proporcionará menos Sr que otra que contenga mayoritariamente materia vegetal. Aplicando ciertos controles, el Sr proporciona un método para detectar la preponderancia de materia vegetal en la dieta humana (SCHOENINGER, 1982). Por extensión, una mayor o menor concentración de Sr significará una dieta más pobre o más rica, respectivamente, en proteínas de origen animal (FORNACIARI, 1982; NAVARI *et al.*, 1982).

En poblaciones humanas en las que todos los individuos presentan una dieta comparable, cabe esperar un coeficiente de variación del 20% con un promedio en torno a los 250 ppm de Sr (SCHOENINGER, 1982).

4.2.2.2. Relación Estroncio-Calcio

Dado que el Sr es capaz de sustituir al Ca en la matriz del hueso, el nivel de discriminación contra el Sr puede expresarse mediante la relación Sr/Ca. Este cociente expresa el número de sustituciones de Ca por Sr y viene determinado por la mayor o menor disponibilidad de ambos elementos. El índice Sr/Ca de las plantas tiende a reflejar el índice Sr/Ca disponible en el agua o en nutrientes del suelo. La discriminación selectiva del Sr en la cadena trófica producirá un índice menor en los niveles superiores que en los inferiores (SILLEN, 1984). Obviamente, el índice de Sr/Ca en las plantas y en los animales dependerá de la cantidad de elemento disponible en el agua y en el propio suelo (FORNACIARI y MALEGNI, 1987).

En general, el índice Sr/Ca será menor en los animales que en los alimentos por ellos consumidos. Los animales omnívoros deberán presentar en promedio valores intermedios entre herbívoros y carnívoros, dependiendo de la proporción de los recursos animales o vegetales en la dieta (KLEPINGER, 1984). Sin embargo, será necesario demostrar la eficacia del índice Sr/Ca en cada uno de los yacimientos en que se aplica por referencia a herbívoros y carnívoros asociados a ellos (SILLEN, 1984).

La aplicación del índice de Sr/Ca al estudio faunístico ha dado resultados diversos. SILLEN (1981a), respecto al índice de Sr/Ca en el esqueleto, ha hallado diferencias considerables entre los valores obtenidos para herbívoros y carnívoros de forma predecible en función de la dieta de los animales analizados, en una muestra de fauna Natufiense. En cambio, para la fauna Auriñaciense analizada no se observaron diferencias significativas. Ello indica que en ciertas circunstancias el Sr/Ca puede no aportar información relevante desde el punto de vista de la dieta. En cualquier caso, es necesario analizar fauna herbívora y carnívora del yacimiento antes de inferir conclusiones sobre la dieta de las poblaciones humanas.

Para poder relacionar los niveles de Sr/Ca a lo largo de la cadena trófica es preciso definir el **Índice Observado (O.R.)** o **Índice Corregido** para el yacimiento (**Sr/Ca(c)**). Se calcula como el cociente entre la relación Sr/Ca de un nivel trófico y su precursor (SILLEN y KAVANAGH, 1982). Este cociente refleja el tipo de absorción y su metabolismo en la matriz del hueso (FORNACIARI y MALEGNI, 1987). Se trata de una corrección respecto al yacimiento que permite realizar comparaciones entre diferentes poblaciones (FORNACIARI, 1982).

La relación vendría definida de la siguiente forma:

$$\text{O.R. (Sr/Ca(c))} = \frac{\text{Sr/Ca nivel trófico}}{\text{Sr/Ca precursor}}$$

Este índice tomará valores que en condiciones normales estarán entre 0 y 1 en función de la importancia de los recursos de origen vegetal en la dieta. Un valor de 1 indicará que un determinado nivel trófico presenta un nivel de absorción e incorporación de Sr respecto al calcio similar al de su nivel trófico precursor. Dada la discriminación selectiva que actúa sobre el Sr en la cadena trófica, es de esperar que el índice Sr/Ca(c) sea menor que 1 al comparar dos niveles tróficos sucesivos. Sin embargo, si la importancia en la explotación de los recursos alimentarios vegetales en un grupo humano se aproxima a la del nivel de los animales herbívoros, el índice tenderá a 1.

Aplicando al estudio de la importancia de los recursos animales y vegetales en la dieta de poblaciones humanas, FORNACIARI y MALEGNI (1987) interpretan el contenido de Sr en función de la relación entre los huesos humanos y los de animales herbívoros, de nivel trófico inferior, a partir de los valores observados (O.R.) tal como se muestra en la tabla I.2.

Tabla I.2. Interpretación del índice O.R. respecto al tipo de explotación de recursos alimentarios

Índice Observado	Tipo de explotación
$0.7 < \text{O.R.}$	recursos vegetales casi exclusivamente
$0.7 > \text{O.R.} > 0.6$	recursos vegetales principalmente
$0.6 > \text{O.R.} > 0.4$	recursos vegetales y animales (mixta)
$0.4 > \text{O.R.}$	recursos animales principalmente

En el cálculo del índice corregido Sr/Ca(c) se utilizan para el nivel trófico precursor únicamente animales herbívoros, puesto que la cantidad de alimentos no estrictamente cárnicos incluida en la dieta de los carnívoros es impredecible (SCHOENINGER, 1982). Además, los restos de carnívoros son un material raro a nivel arqueológico (SILLEN, 1988) siendo lo más frecuente encontrar pequeños cánidos (zorros o perros) supuestamente carroñeros que se alimentaban probablemente de los desperdicios humanos. El estudio del contenido de Sr de los mismos no sería un fiel reflejo de dieta estrictamente carnívora. En cuanto a los herbívoros, también existen variaciones entre distintas especies. Se han encontrado diferencias en los niveles de Sr/Ca(c) entre herbívoros comedores exclusivamente de pastos (*grazers*) y herbívoros más diversificados comedores de hojas y ramas en general (*browsers*) (SILLEN, 1988). Es aconsejable para la aplicación del índice en poblaciones humanas la utilización de herbívoros de poca movilidad y dieta estable conocida.

Debido a las diferencias observadas en la relación Sr/Ca mediante el Índice Observado (*Observed Ratio*, O.R.) dentro de un mismo nivel trófico, especialmente en vegetales, se ha propuesto la utilización del Índice de Distribución (*Distribution Ratio*, D.R.) para reflejar la relación del índice Sr/Ca entre partes de un mismo nivel trófico (RUNIA, 1987; 1988)

4.2.2.3. Bario

Aproximadamente el 93% del bario corporal se localiza en el hueso y los tejidos conectivos. El epitelio intestinal discrimina contra la absorción de Ba con mayor fuerza que en el caso del Sr. Por tanto, pueden aplicarse en este caso los mismos argumentos para la identificación de niveles tróficos. El Ba también parece discriminar entre hueso de mamífero terrestre y marino. KLEPINGER (1984) sugiere que los niveles de Ba son bajos en especímenes marinos y altos en animales terrestres. El Sr presentaría la misma tendencia aunque con una mayor superposición de rangos de variación (KLEPINGER, 1984).

Otros estudios también apuntan la idea de que el Ba funciona mejor en la discriminación de la dieta herbívora, separando mejor los animales herbívoros, omnívoros y carnívoros (FRANCALACCI y BORGOGNINI, 1987). Sin embargo, la bibliografía sobre el Ba es notablemente escasa.

4.2.2.4. Magnesio

El Mg se encuentra generalmente en mayores proporciones en vegetales que en la carne. El esqueleto posee entre el 60 y el 65% del total presente en el organismo. Además, la concentración en hueso de pacientes normales está correlacionada con los niveles séricos. El 30% del Mg en hueso es rápidamente movilizable, pero el 70% restante se encuentra formando parte de la estructura cristalina. El nivel de Ba en hueso trabecular es consistentemente mayor que en el cortical. Mientras que la concentración de Mg en hueso compacto está altamente correlacionada con los niveles plasmáticos cuando estos son inferiores a lo normal, no es así para el hueso trabecular. El Mg sustituye al Ca en la apatita de forma análoga al Sr, de modo que es la

fracción Mg/Ca la que se puede interpretar en un contexto arqueológico ya que, al igual que el Sr, la concentración de Mg depende de su disponibilidad en el medio (KLEPINGER, 1984).

Dado que forma parte de la estructura de la clorofila, el Mg está disponible en grandes cantidades en las plantas (BYRNE y PARRIS, 1987). Además, si el nivel de Mg está fuertemente correlacionado con el consumo de frutos secos de ciertas plantas (GILBERT, 1985; BYRNE y PARRIS, 1987), una variación en su proporción podría explicarse por una variación en el consumo de dichos frutos (LAMBERT *et al.*, 1982).

4.2.3. Elementos de Transición

4.2.3.1. Manganeseo

La mayor parte de Mn del hueso está asociada a la fase mineral. Interviene en la formación del hueso, crecimiento y funciones neurales y reproductoras. La concentración usual en ceniza de hueso humano es del orden de 2 ppm, habiéndose encontrado variaciones entre 1 y 4 ppm, que se depositan, en su mayor parte, en la fase inorgánica. Su utilidad deriva del hecho de que es más abundante en recursos vegetales que en animales. Suele obtenerse de frutos secos y cereales. Los tejidos de mamíferos y de alimentos marinos no proporcionan Mn. A pesar de todo, su utilización no ha sido en general muy fructífera (KLEPINGER, 1984).

4.2.3.2. Hierro

Se encuentra asociado a la fase orgánica del hueso, principalmente al colágeno. Su concentración en hueso está relacionada tanto con cuestiones metabólicas como con la dieta, incluso con los métodos de preparación del alimento. El Fe se obtiene tanto de recursos animales como vegetales, aunque es más abundante en estos últimos (KLEPINGER, 1984).

Es de esperar la existencia de una marcada correlación entre un bajo contenido de hierro en hueso y la presencia de *cribra orbitalia*. Esta

deficiencia es atribuible a procesos de anemia crónica. En cambio, una anemia hemolítica causaría un aumento de la concentración de Fe en hueso (FORNACIARI *et al.*, 1982).

4.2.3.3. Zinc

El Zn se encuentra en el organismo formando parte de enzimas metálicos como la **Anhidrasa Carbónica**, que interviene en los procesos de formación de CO₂ y regulación de la acidez, la **Carboxipeptidasa**, imprescindible en los procesos de asimilación de las proteínas, y la **Alcohol Deshidrogenasa**, reguladora del metabolismo de los alcoholes (FRIEDEN, 1972).

En el hueso el Zn no se encuentra en la estructura de la apatita. Está presente principalmente en los metalo-enzimas que intervienen en los procesos de mineralización. Entre ellos, la **Fosfatasa Alcalina** y la **Anhidrasa Carbónica** son los que contienen mayor cantidad de Zn y se encuentran en proximidad al hueso. Si el Zn es abundante en el medio, puede entrar a formar parte del componente amorfo de hueso en el momento de la calcificación, siendo estable frente a la reabsorción, que tiene lugar sólo si se produce una remodelación completa de la estructura del hueso. Además, la Fosfatasa Alcalina se encuentra justamente en el tejido óseo, siendo muy sensible a la carencia de Zn y afectando, en este caso, al contenido del propio hueso. La concentración de Zn en hueso puede ser, pues, un buen indicador del contenido de Zn en todo el organismo (BISEL, 1980).

El requerimiento de Zn es mayor durante periodos de crecimiento y desarrollo (gestación, infancia y enfermedad) pero es necesario siempre. La principal fuente es la carne, especialmente la roja, y el pescado. Algunos alimentos vegetales también lo contienen, como algunos frutos secos y legumbres (LAMBERT *et al.*, 1979; NAVARI *et al.*, 1982; FORNACIARI *et al.*, 1984).

La concentración media de Zn en el suelo es de 50-100 ppm, siendo el máximo de unas 900 ppm. En conjunto, el Zn disponible por las plantas es considerablemente alto, del orden de un 5-20% del Zn total. Se acumula en la zona húmifera del suelo y su concentración aumenta a medida que lo hacen el

humus y la materia orgánica. La textura del suelo también influye en la concentración de Zn. Las arcillas lo retienen. El pH tiene una cierta influencia sobre el Zn disponible. Un pH ácido facilita la solubilización de los compuestos de Zn, por lo que fácilmente serán transportados y eliminados o absorbidos por las plantas (cereales, caña de azúcar) (AUBERT y PINTA, 1978).

El Zn se acumula en los tejidos duros una vez que las necesidades del organismo están cubiertas, en concentraciones usuales entre 150 y 250 ppm. Parece que el Zn es rodeado por la matriz mineral durante la calcificación del hueso. No está, pues, disponible para el intercambio iónico ni con los tejidos ni con el suelo tras su deposición. Es un buen discriminador de dieta cárnica. Sin embargo hay que tener en cuenta que también se encuentra en concentraciones relativamente altas en frutos secos, bayas y alimentos marinos (BYRNE y PARRIS, 1987).

4.2.3.4. Relación Zinc-Calcio

El índice Zn/Ca puede considerarse casi directamente representativo de la proporción de recursos cárnicos en la dieta. Los valores máximos obtenidos en americanos actuales, cuya alimentación es notoriamente rica en carne, son próximos a 0.7 (FORNACIARI *et al.*, 1984). FORNACIARI y MALLEGGNI (1987) consideran que niveles de Zn/Ca entre 0.35 y 0.5 se interpretarían como intermedios. Por encima de 0.5 sería altos y por debajo de 0.35 bajos.

Un índice elevado de Zn/Ca debe interpretarse como una dieta con un elevado aporte de proteínas de origen animal. Sin embargo en aquellas poblaciones en las que el contenido de Sr sugiere una dieta eminentemente vegetal, (NAVARI *et al.*, 1982) el elevado contenido de Zn deberá interpretarse como procedente de cereales, frutos secos y legumbres.

4.2.3.5. Cobre

Al igual que el Zn, el Cu es más frecuente en alimentos de origen animal. Sin embargo, su importancia como indicador de la dieta es difícil de

establecer debido principalmente a las numerosas interacciones que existen entre los constituyentes alimentarios. La vitamina C disminuye la disponibilidad de Cu, pero algunos aminoácidos la aumentan.

Está presente en numerosas enzimas cuya principal función es reducir el oxígeno del agua. Las fuentes de Cu en la dieta humana son los alimentos marinos, frutos secos, legumbres y algunas vísceras. Los vegetales proporcionan poco Cu. Su carencia produce en niños problemas de anemia y en la formación de la matriz de colágeno del hueso. En ceniza de hueso humano normal hay unas 20 ppm (BYRNE y PARRIS, 1987).

4.2.4. Sodio

El Na es un elemento crucial para un gran número de procesos metabólicos. El hueso lo contiene en gran cantidad. Aunque su función estructural es incierta, parece que la sustitución de Ca por Na se realiza a nivel superficial, sin penetrar en el interior del cristal. Hay cierta evidencia de que el índice Na/Ca es relativamente constante en hueso, pudiéndose movilizar rápidamente del mismo en caso de necesidad. Parece, sin embargo, que la disponibilidad de Na es variable. Los mamíferos marinos presentan las mayores concentraciones, seguidos de los carnívoros, omnívoros y herbívoros (BYRNE y PARRIS, 1987). Sin embargo, la importancia de la contribución en Na de componentes alimentarios marinos, carne de origen terrestre o recursos vegetales se desconoce totalmente. Dado que el tejido animal presenta mucho más Na que el vegetal, los organismos herbívoros deben presentar mecanismos de retención de Na. Por otra parte, datos arqueológicos sugieren que los procesos diagenéticos que afectan al Na no son predecibles.

4.2.5. Elementos contaminantes

4.2.5.1. Plomo

Es un elemento no esencial, incluso tóxico, procedente de la dieta (0.45 mg/día) o por inhalación (0.03 mg/día) (VENUGOPAL *et al.*, 1978). La absorción intestinal es, sin embargo, escasa ya que no parecen existir mecanismos específicos para el transporte de Pb. El plomo incorporado se

almacena mayoritariamente (96%) en el hueso, donde permanece por largo tiempo sin causar efectos nocivos (BARRY, 1975). El contenido de Pb puede utilizarse como indicador del grado de contaminación ambiental, sobre todo en muestras de hueso de época romana, ya sea por el "azúcar de plomo", las cañerías de plomo o su presencia en mineros de galena argentífera, fundidores etc. (NAVARI *et al.*, 1982; FORNACIARI *et al.*, 1984).

En ocasiones especiales el contenido de plomo puede proporcionar información suplementaria respecto a la estructura social y funcional de la población. Es el caso de la asociación entre los niveles de Pb y la riqueza o posición social en grupos de blancos americanos respecto a los esclavos negros (AUFDERHEIDE *et al.*, 1985), o la discriminación entre grupos sociales y raciales (propietarios de plantaciones y trabajadores) (AUFDERHEIDE *et al.*, 1981). En otros casos permite detectar la fuente de contaminación *post-mortem* (ataúdes de plomo) (WALDRON, 1981).

4.2.5.2. Cadmio

Es también un elemento no esencial y tóxico. Su absorción a nivel intestinal es muy baja (3-8%). En cambio, la absorción por inhalación es completa y rápida, tratándose pues de un indicador de la exposición a ambientes con cadmio (posible inhalación de humo de fuego de leña contaminada) (NAVARI *et al.*, 1982).

4.3. Interpretación del contenido de oligoelementos

Los resultados que se obtienen del análisis del contenido de oligoelementos en hueso proporcionan una información paleonutricional que debe ser interpretada en función de diversos factores. Básicamente hay que distinguir entre factores inherentes a los elementos analizados y aquellos que dependen de los individuos estudiados.

4.3.1. Procedencia de los elementos traza

Ya hemos comentado, al hablar de cada elemento en particular, su procedencia. Aquí agruparemos los elementos según el tipo de información que nos proporcionan desde el punto de vista de la dieta, a modo de resumen.

4.3.1.1. Dieta cárnica

El Zn y el Cu se encuentran predominantemente en carne roja y alimentos de origen marino. El Zn también se encuentra en concentraciones relativamente altas en frutos secos, bayas y alimentos marinos (BYRNE y PARRIS, 1987). El Zn y el Cu son elementos antagonistas. Una mayor concentración de Cu hace disminuir los niveles de Zn (BLAKELY y BECK, 1981).

4.3.1.2. Dieta herbívora

El Sr y el Mg proceden preferentemente de cereales y semillas (BLAKELY y BECK, 1981). Sr y Ba son más abundantes en recursos de origen vegetal que animal (SILLEN y KAVANAGH, 1982).

4.3.1.3. Dieta marina

Los invertebrados parecen acumular el Sr de forma distinta a los vertebrados. Hay evidencias que indican que el Sr se acumula en la carne de moluscos y crustáceos, tanto marinos como de agua dulce. Por otra parte, los vertebrados marinos presentan en sus esqueletos niveles superiores de Sr que los vertebrados terrestres (SCHOENINGER, 1979). Los niveles elevados de Sr sugieren la utilidad de este elemento en la detección del consumo de moluscos y peces, especialmente en este último caso si se consume el pez entero, como sucede con las anchoas (KLEPINGER, 1984). Sin embargo, los estudios en este sentido han dado en algún caso resultados contradictorios donde herbívoros terrestres presentaban mayor concentración de Sr en hueso que mamíferos marinos (WESSEN, 1977).

La escala lineal entre carnívoros y herbívoros para el Sr puede no ser adecuada si se han incorporado moluscos a la dieta (SCHOENINGER y PEEBLES, 1981). Es probable que el consumo moderado de pescado tenga un efecto despreciable sobre el contenido de Sr, dado que muy poco del Sr y Ca presente en el cuerpo del pescado se encuentra en la parte comestible. Al igual que en los mamíferos, la mayor parte de los elementos alcalinotérreos esta contenida en el tejido esquelético. El Sr de los tejidos musculares comestibles representa aproximadamente un 0.1% del total. Resultados similares se observan en gasterópodos marinos. Por tanto, a menos que una población dependa fuertemente de estos recursos, es improbable que presente significativamente alterada la proporción de Sr (SILLEN y KAVANAGH, 1982). Además, se considera inadecuado inferir los valores de Sr/Ca de estos alimentos por referencia a restos de fauna marina de yacimientos arqueológicos, dado que no reflejan necesariamente los valores del músculo (SILLEN y KAVANAGH, 1982).

Los peces obtienen prácticamente la totalidad del Sr del agua circundante. Tienden, por tanto, a presentar mayores concentraciones de este elemento en sus tejidos y esqueleto que los vertebrados terrestres. El efecto parece aún más extremo en el caso de los moluscos. BYRNE y PARRIS (1987) sugieren que las conchas de los moluscos presentan menor concentración de Sr que el hueso, por lo que la ingesta de Sr proviene del consumo de su carne más que de la asociación de los huesos con las conchas en los sedimentos. La ingestión de moluscos tenderá a imitar los efectos del consumo de plantas en la dieta.

La técnica del Sr/Ca debe aplicarse teniendo en cuenta cada caso determinado. En algunos, valores bajos de Sr pueden ser interpretados como debidos a la ingesta de gran cantidad de productos lácteos. En otros, valores altos pueden ser debidos a dietas ricas en pescado y/o moluscos, más que a vegetales. El análisis debe, pues, ser utilizado conjuntamente con información adicional, especialmente sobre el tipo más probable de alimento ingerido (SILLEN y KAVANAGH, 1982).

4.3.2. Variabilidad del contenido de oligoelementos

Para algunos autores, cualquier correlación entre componentes específicos de la dieta y la proporción de ciertos elementos, incluido el Sr, es hasta el momento hipotética, pues falta una conexión biológica firme. Así, en el estudio del contenido de elementos en hueso es necesario considerar las diferencias metabólicas existentes. Por ejemplo, la tasa de recambio de los huesos infantiles es más elevada que la de los adultos. Se estima también que la tasa de recambio del hueso esponjoso o trabecular es entre 3 y 10 veces superior a la del hueso cortical (KLEPINGER, 1984).

Consideraremos a continuación diversos factores que dependen de las muestras analizadas y que pueden afectar a la interpretación del contenido de oligoelementos.

4.3.2.1. Diferencias interespecíficas

Como premisa inicial hay que apuntar que las diferencias metabólicas entre especies causan variaciones en el contenido de Sr de un orden de magnitud menor que el producido por diferencias en la dieta (SCHOENINGER, 1979). Si fuera a la inversa, no sería posible identificar patrones alimentarios entre los distintos niveles tróficos.

BOAZ y HAMPEL (1978) no encuentran, sin embargo, una correlación significativa entre el contenido de Sr y la dieta de *taxa* fósiles. Sus resultados pueden estar afectados por el hecho de que la dieta de los carnívoros puede ser variable, llegando en ocasiones a ingerir vegetales. Además, realizaron su estudio con esmalte dentario, lo cual puede representar un problema inicial. Los análisis realizados por ELIAS (1980) indican que el estudio de la concentración de Sr en diente no es un buen indicador de los hábitos alimentarios de poblaciones fósiles humanas ya que no hallaron correlación alguna entre dieta y contenido de Sr al analizar muestras dentarias de poblaciones vegetarianas y no vegetarianas modernas de la misma área geográfica (Calcuta, India).

4.3.2.2. *Diferencias sexuales en la proporción de oligoelementos*

Si las diferencias sexuales en la distribución del Sr que puedan existir entre dos poblaciones no se explican por diferencias fisiológicas inherentes a los individuos que las forman, cabría atribuir un posible dimorfismo sexual, observado para el Sr o cualquier otro elemento influenciado por la dieta, a un efecto de factores ambientales de tipo alimentario (LAMBERT *et al.*, 1982). En este sentido, niveles menores de Sr en hombres que en mujeres estarían asociados a una dieta más rica en proteínas de origen animal en aquéllos. Un mayor contenido de Zn en hombres que en mujeres podría indicar un acceso diferencial a ciertos tipos de alimentos: carne o ciertos frutos secos y legumbres relativamente ricos en este elemento (LAMBERT *et al.*, 1979).

Sin embargo, puede resultar muy arriesgado interpretar las diferencias sexuales detectadas en la concentración de Sr entre hombres y mujeres como consecuencia de dietas diferenciales. Hay que considerar que los niveles de Sr en hueso aumentan cuando existe una deficiencia de Ca. Además, la liberación de Sr del esqueleto materno durante la lactancia es muy escasa. Mientras que los mayores requerimientos maternos de Ca se satisfacen ampliamente en poblaciones occidentales actuales, no es necesariamente así en poblaciones del pasado. Esto, juntamente con el hecho de que existe una discriminación contra el Sr a nivel placentario y de las glándulas mamarias, puede hacer pensar que, al menos para algunos patrones de subsistencia, dietas idénticas entre hombres y mujeres pueden producir mayores índices de Sr/Ca en éstas últimas (KLEPINGER, 1984).

Es de esperar que las mujeres embarazadas y las lactantes tengan un mayor índice de Sr/Ca en sus esqueletos (especialmente en hueso esponjoso de la costilla) que los machos adultos y que otras hembras adultas. Por lo tanto es inapropiado inferir diferencias en la dieta de cada sexo en base a este método (SILLEN y KAVANAGH, 1982), aunque esto puede no ser siempre así (PRICE *et al.*, 1986).

LAMBERT *et al.* (1982) observaron que las diferencias en la proporción de Sr entre las poblaciones estudiadas, no podían atribuirse en su caso a frecuencias de embarazo diferentes entre las dos poblaciones analizadas, no sólo porque su muestra de mujeres se distribuía entre 12 y 50 o más años de

edad, lo cual diluía ese efecto, sino también porque el nivel observado de Sr en las mujeres de ambas poblaciones era muy similar.

4.3.2.3. Diferencias sociales en el contenido de oligoelementos

Algunos autores han interpretado las diferencias encontradas en las concentraciones de Sr, Zn, Mg y Na entre los distintos grupos sociales, definidos a partir del ajuar de enterramiento y su posición, como variabilidad debida a diferencias de estatus reflejadas en la dieta (LAMBERT *et al.*, 1979).

Sin embargo, la evidencia de que menores índices de Sr/Ca reflejan una mayor ingesta de carne no permite suponer que, además, indique mayor estatus social, a menos que se disponga de otro tipo de información complementaria. No todas las sociedades consideran la carne como indicativo de estatus social. Incluso, el contenido de Sr de multitud de alimentos considerados no-occidentales, como insectos, raíces, etc., es desconocido. Habría que distinguir ciertos alimentos dentro de cada tipo (carne o vegetal) como indicadores de estatus alto o bajo.

4.3.2.4. Variabilidad en infantiles

La suplementación de la dieta con comida sólida puede ser evidenciada mediante el índice Sr/Ca (RAZMILIC *et al.*, 1987). El nivel de Sr/Ca en la leche humana es generalmente muy bajo (del orden de 0.14-0.35 mg/g). La mayor parte de recursos vegetales tienen concentraciones mayores, dependiendo del alimento considerado (entre 3 y 6 mg/g). Los alimentos cárnicos tienen unos índices bajos, pero aún considerablemente superiores a los de la leche humana. En los alimentos de origen marino el índice Sr/Ca es también elevado.

El tracto intestinal de individuos infantiles discrimina poco contra el Sr, desarrollándose este mecanismo de forma significativa a partir de 1 año de edad. Teniendo esto en cuenta, es de suponer que en función de la edad el incremento del índice de Sr/Ca se deba presumiblemente a la incorporación de alimentos distintos a la leche materna en la dieta infantil (SILLEN y KAVANAGH, 1982; SILLEN y SMITH, 1984). La capacidad de absorción de

Sr es generalmente mayor en individuos infantiles, aunque su presencia sea menor en cantidades absolutas. Existe una gran variabilidad en el índice Sr/Ca entre los 4 y los 13 años, disminuyendo el coeficiente de variación a partir de los 14 (SILLEN y KAVANAGH, 1982). Debido a que la absorción de Sr es cuantitativamente mayor y más variable en individuos infantiles y juveniles, sólo se considera apropiada la comparación, para este elemento, entre huesos de individuos adultos (PRICE *et al.*, 1986).

4.3.2.5. Variación del contenido mineral del hueso con la edad

El estudio de poblaciones esquimales ha demostrado que en las mujeres el contenido mineral de la tibia se reduce en un 50% entre los 30 y los 60 años. En cambio, no se observa un descenso significativo en los hombres de la misma población (MARTIN *et al.*, 1985). La descalcificación progresiva del hueso con la edad es un factor a tener en cuenta al analizar individuos de edad avanzada.

4.3.2.6. Variabilidad intraindividual

Para algunos autores (LAMBERT *et al.*, 1982), los elementos más relacionados con la dieta (Sr, Zn, Mg) se encontrarían en idéntica proporción en la costilla y en el fémur. Estos elementos se mantendrían constantes en su concentración en los diferentes componentes del esqueleto humano, durante largos periodos de tiempo tras ser enterrados. La selección del hueso sobre el que realizar el análisis no sería, pues, crucial.

En cambio, los elementos asociados a contaminación del suelo (Fe, Al, K, Mn) se encontrarían en una proporción significativamente superior en la costilla que en el fémur, presumiblemente como consecuencia de un mayor grado de infiltración en el tejido esponjoso que en el compacto (LAMBERT *et al.*, 1982).

Otros autores consideran que, si no hay variación del Sr ingerido en la dieta, es de esperar valores de Sr/Ca similares para todos los huesos, reflejando la condición de equilibrio. Sin embargo, si se producen cambios

metabólicos o alimentarios, la fluctuación del Sr disponible a través de la dieta se reflejará primero en el hueso esponjoso de la costilla que en el compacto. Por tanto, una dieta variable o que dependa de ciclos estacionales, resultará en diferentes valores entre hueso compacto y esponjoso (SILLEN y KAVANAGH, 1982).

Otro tipo de variación intraindividual se puede observar entre la dentición y el hueso. El índice Sr/Ca del esmalte dentario refleja la proporción circulante del elemento en el momento de formarse el diente en el individuo joven (SILLEN y KAVANAGH, 1982). Una vez formado, su composición queda fijada y la variación en la composición de la dieta en el individuo adulto podrá modificar la composición elemental del hueso pero no la del diente.

4.3.2.7. Variabilidad debida a procesos diagenéticos

Los cambios diagenéticos posdeposicionales que se pueden producir en el hueso pueden ser debidos a 1) precipitación no biológica de apatita o 2) inclusión de carbonato durante la fosilización del hueso (SCHOENINGER, 1982).

La actuación de procesos diagenéticos *post-mortem* sobre el hueso puede ser evidenciada mediante cuatro tipos de estudios: 1) comparación de las concentraciones de elementos en material arqueológico y en material moderno no excavado, 2) análisis de costilla y fémur de un mismo individuo, 3) análisis de la tierra en contacto directo con el hueso para controlar los procesos de infiltración y lavado, y 4) estudio de la distribución de elementos a través de una sección transversal del hueso (LAMBERT *et al.*, 1983). La actuación de procesos diagenéticos sobre la estructura mineral del hueso se puede detectar también mediante el análisis del patrón de difracción de rayos X del hueso pulverizado no incinerado, mediante comparación de las curvas de difracción de la hidroxiapatita sintética (que es similar a la apatita geológica) de muestras de hueso reciente y del material arqueológico (SCHOENINGER, 1982).

Considerando las concentraciones de oligoelementos que se obtienen usualmente en el suelo en comparación con las del hueso analizado, algunos

autores sugieren que el Sr, Zn, Mg, Ca, Na y Cu podrían ser válidos para el estudio de la dieta, mientras que Fe, Al, Mn y K podrían verse afectados considerablemente por contaminación y no serían útiles para este tipo de estudio (LAMBERT *et al.*, 1984).

Análisis de la tierra próxima al hueso

El estudio de la concentración de elementos minerales en proximidad al hueso sugiere varios patrones de comportamiento de los elementos respecto a los procesos diagenéticos: 1) **Isotropía** en la concentración de elementos alrededor del hueso (en general se daría para Sr, Zn, Mn, Pb, Na) y 2) **Anisotropía** en la distribución alrededor del hueso estudiado (en general observable para Ca, Fe, Al, K y Mg). Según los resultados obtenidos por LAMBERT *et al.* (1984), el Ca y el Mg se liberarían del hueso al suelo, mientras que el Fe, Al y K serían transportados hacia el hueso. Por otra parte, la elevada proporción de Mg en el terreno podría deberse a la descomposición del tejido blando.

La opinión de que los cambios diagenéticos que afectan a las tierras alcalinas son mínimos está bastante generalizada pero no es, sin embargo, unánime. Una mayor concentración de minerales en el hueso que en el medio circundante parece sugerir que el hueso refleja la concentración original, no afectada por adición geoquímica. Por ello, se suele aceptar que el Sr no estaría sujeto a cambios diagenéticos (KLEPINGER, 1984). Sin embargo, por un lado, BOAZ y HAMPLE (1978) obtuvieron concentraciones en diente que reflejaban las del ambiente más que los hábitos alimentarios. SILLEN y KAVANAGH (1982) indican, sin embargo, los problemas relacionados con la utilización de diente para este tipo de análisis. La concentración de Sr en diente reflejaría los niveles circulantes en el momento de formación del esmalte. Por otra parte, SILLEN (1981a) encontró evidencias de cambio diagenético. Observó diferencias en los valores de los índices Sr/Ca entre herbívoros, carnívoros y humanos para los niveles más recientes que estudió pero no en los más antiguos. Al menos en algunos yacimientos un proceso diagenético lento podría variar el valor del índice Sr/Ca hacia un equilibrio con el ambiente, hecho que explicaría los valores similares encontrados entre hueso y diente en muestras del Terciario (KLEPINGER, 1984).

Para evitar el problema del posible intercambio de elementos entre el hueso y el terreno, se adopta el criterio de aceptar tan solo los valores que indiquen mayor concentración en hueso que en el terreno de la sepultura (NAVARI *et al.*, 1982).

Aquellos elementos que se encuentran en menor proporción en el suelo que en el hueso parece improbable que sufran procesos de contaminación. En este sentido, Sr, Zn, Ca, Na y posiblemente Cu y Mg proporcionan resultados representativos del hueso. Sin embargo, Fe, Al, Mn y K son elementos mayoritarios en el suelo y, por ello, los huesos estudiados pueden verse afectados por contaminación (LAMBERT *et al.*, 1979).

Distribución interna en el hueso

La distribución del Sr en diferentes muestras de un mismo hueso y en diferentes huesos de un mismo individuo varía dentro de los límites del error de medición (SCHOENINGER, 1982). Estudios de espectrometría de rayos-X sobre secciones transversales de fémur humano (LAMBERT *et al.*, 1983) muestran que las concentraciones de Sr y Zn son homogéneas a lo largo de toda la sección del hueso. Según esta técnica, estos elementos parecen libres de la acción de procesos diagenéticos, por lo que serían útiles en el estudio de la dieta prehistórica. En cambio, se observa un enriquecimiento en Fe, K, Al y Mn en la cara externa de la sección del hueso, siendo éstos posibles elementos contaminantes. Por otra parte, los citados autores observaron que las concentraciones de Pb, Na y Ca se mantenían constantes en todas las zonas del fémur (LAMBERT *et al.*, 1983).

Los elementos mayoritarios (Ca, Na) se encuentran en menor proporción en la costilla que en el fémur, posiblemente por procesos de lavado (LAMBERT *et al.*, 1982). La costilla sería más sensible a procesos diagenéticos que alteren la proporción de los elementos que el fémur. La naturaleza esponjosa del tejido óseo de la costilla favorecería una más rápida descomposición o mayores niveles de contaminación (LAMBERT *et al.*, 1982). La menor concentración de Pb en costilla respecto al fémur podría deberse a factores fisiológicos *ante-mortem* (LAMBERT *et al.*, 1982), mientras que el Na y el Ca podrían verse afectados por el lixiviado del material óseo.

Por otra parte, una reducción en torno al 33-37% de la concentración de Ca en hueso no sería observable mediante la técnica de rayos-X (LAMBERT *et al.*, 1983; 1984). No parece haber diferencias en la distribución de Sr en los diferentes hueso. Su distribución sería homogénea en todo el organismo (SCHOENINGER, 1979).

Otros estudios (KEPLINGER *et al.*, 1986) indican que hay una gran variación en la concentración de elementos a lo largo del córtex de la diáfisis del hueso. El tejido cortical podría no ser homogéneo respecto a la fase inorgánica. La variación entre huesos también sería alta. Ello plantearía enormes dificultades en la reconstrucción de los procesos diagenéticos y, por tanto, en la interpretación alimentaria del análisis resultaría problemática.

Transporte de elementos por lavado

Los cambios postdeposicionales que repercuten sobre el hueso no son el resultado de una simple incorporación de carbonatos del agua circulante, sino de un complejo de procesos de disolución y recristalización a escala microscópica (SILLEN, 1981b).

La posibilidad de que el Ca esté afectado por procesos de lixiviación levanta la cuestión de la validez de la concentración de Sr en muestras arqueológicas. Posibles procesos diagenéticos diferentes para el Ca y el Sr sugieren que se consideren por separado al estudiar material arqueológico (LAMBERT *et al.*, 1982). En este sentido, la eliminación del Ca del hueso por lavado indica que la utilización del índice Sr/Ca es incorrecta ya que depende de procesos diagenéticos y sólo se podrá utilizar el valor absoluto de las concentraciones de Sr y Ca para realizar inferencias sobre la dieta (LAMBERT *et al.*, 1984).

Los resultados obtenidos parecen sugerir que el proceso de lavado (lixiviación) es similar a todos los elementos químicos dado se produce a un ritmo proporcional a la concentración original del elemento. Las conclusiones sobre la dieta basadas en el Ca o el Na serían, por tanto, válidas para algunos autores mediante la utilización del índice de Sr/Ca para resolver el problema de la pérdida diferencial de Ca y P en las muestras de hueso, eliminando el

problema de eventuales contaminantes externos, extraños a la composición mineral del hueso (FORNACIARI, 1982; NAVARI *et al.*, 1982). Además, otros autores (SCHOENINGER, 1979) consideran que una vez que la estructura cristalina del hueso madura, el Sr no es eliminado selectivamente de la fase mineral del hueso, siendo prácticamente imposible su movilización. Por ello, la pérdida por diagénesis no sería un problema tan serio como la incorporación de elementos extraños por contaminación (Fe, Al, Mn, K) que puede enmascarar la concentración inicial de un elemento produciendo un nuevo nivel independiente del original (LAMBERT *et al.*, 1982). Otros autores consideran que el Sr sí podría verse afectado por procesos de lixiviación, en mayor medida que el Ba ya que este es menos soluble (AUBERT y PINTA, 1978).

En general se acepta que los elementos más útiles para el estudio de la dieta serían el Sr, Zn y Ba, pudiendo quizá incluirse Fe, Al, K, Na, Mg y Ca, pero descartando el Mn (LAMBERT *et al.*, 1983). El Mg podría sufrir procesos de transporte en ambas direcciones, saliendo hacia fuera y redepositándose en la superficie del hueso. El Mn mostraría los mayores niveles de contaminación (LAMBERT *et al.*, 1983).

Contaminación e índice Sr/Ca

Los procesos de cambio químico *post-mortem* pueden alterar tanto la cantidad absoluta de Sr en la estructura mineral del hueso como el índice Sr/Ca, a través de la precipitación de apatita geológica. Ello resultaría en un descenso general de la cantidad absoluta de Sr en dicho índice (SCHOENINGER, 1982). Sin embargo, dado que el Sr es un catión 2+ bien situado en la estructura cristalina del componente mineral del hueso maduro, no se trata de un elemento sujeto a un fácil intercambio de iones con soluciones que puedan rodear al hueso (SILLEN y KAVANAGH, 1982). Por ello, aún cuando, debido a condiciones específicas del agua, del suelo y de la temperatura, parte de la estructura mineral original del hueso pueda disolverse, en las partes intactas la cantidad de Sr por unidad de hueso mineral permanecerá constante, por lo que la proporción Sr/Ca se mantendrá (SCHOENINGER, 1982).

Además, la posición catiónica ocupada por el Sr y el Ca en la fase mineral del hueso en general parece no estar afectada por procesos diagenéticos en diferentes condiciones. Parece prácticamente imposible extraer Sr de la matriz mineral sin una completa desmineralización. El Sr y el Zn no se ven afectados de forma apreciable por el ambiente del enterramiento, por lo que son útiles como indicadores paleonutricionales. Sin embargo, el Fe, K, Mn, Cu y Ba son susceptibles de ser transportados del suelo al hueso mientras que en el Ca y el Na el transporte sería a la inversa (PATE y BROWN, 1985).

A pesar de la posible actuación de procesos diagenéticos, los huesos humanos y de animales de un mismo estrato en un yacimiento presentan un mismo patrón de difracción de rayos X. Esto sugiere que todo el hueso ha sufrido los mismos procesos diagenéticos. Por tanto, los niveles de Sr en humanos respecto a los de fauna asociada reflejarán los índices predeposicionales, a pesar de que las cantidades absolutas puedan haber variado debido a efectos postdeposicionales. Por ello, la relación entre los índices de Sr/Ca en humanos y otros animales puede ser utilizada para hacer comparaciones entre distintos yacimientos con el fin de establecer diferencias en la alimentación (SCHOENINGER, 1982; NAVARI *et al.*, 1982).

Dado que la cantidad de Sr presente en las plantas, y por tanto en los animales, de una determinada región dependerá de la cantidad de elemento disponible en el terreno y en el agua de dicha región, los datos absolutos no son comparables entre diversos yacimientos. Se requiere corregir el índice Sr/Ca del resto humano con el de un herbívoro estricto (*Ovis*, *Capra* o *Bos*) de la misma zona y nivel estratigráfico que las muestras humanas analizadas (FORNACIARI, 1982). La corrección del índice con *Bos sp.* es quizá la más adecuada, ya que se trata ciertamente de un animal herbívoro menos móvil en la búsqueda del alimento que la oveja o la cabra (NAVARI *et al.*, 1982).

SILLEN (1981a) sugiere la contrastación de los índices de Sr/Ca humanos no sólo con los de herbívoros sino también con carnívoros. Sin embargo, no suelen aparecer carnívoros salvajes en yacimientos arqueológicos. Los pocos que se encuentran son, en general, cánidos o félidos domésticos que suelen alimentarse de las sobras humanas. Los herbívoros presentan menos problemas en este sentido (KLEPINGER, 1984).

Incineración de los huesos

Existen muy pocos estudios a este respecto. Sin embargo, parece que la incineración de huesos produce una disminución del índice Sr/Ca (SILLEN, 1984). Ello podría variar las conclusiones sobre la dieta al estudiar este tipo de material. Sin embargo, si la disminución del índice fuese sistemática y constante, podría introducirse un factor de corrección.

HERRMANN y GRUPE (1988) sugieren que, respecto a los cambios diagenéticos, las alteraciones observadas son aproximadamente las mismas para hueso incinerado y no incinerado, por lo que el Sr y el Zn pueden utilizarse de la misma forma en huesos incinerados para la reconstrucción de cadenas tróficas. Sin embargo, los índices Sr/Ca no serían comparables.

SUBIRA (1989) sugiere que la incineración y también la calcinación de los huesos dejan a estos en un estado más susceptible a los cambios diagenéticos.

Si el estudio del material incinerado fuera viable, podría aplicarse a los numerosos restos de necrópolis de incineración del I milenio a.C. existentes en Europa. La determinación de la dieta en estas poblaciones sería de gran interés y contribuiría, sin duda, al esclarecimiento de otros aspectos de esta época, tan limitada en su reconstrucción por el citado ritual funerario.

5. Patrón de estriación dentaria

La relación entre dieta y el **Patrón de Estriación Dentaria** es consecuencia de la interacción entre los alimentos ingeridos y la superficie del esmalte dentario durante el proceso de masticación. La utilización de los dientes en actividades no sólo relacionadas con la alimentación, sino también durante la manipulación cultural de objetos o como herramienta para la realización de determinados trabajos (MOLNAR, 1971), produce un progresivo **desgaste dentario** que se manifiesta de forma evidente con la exposición de la **dentina** tras la eliminación del **esmalte protector**. Este desgaste, a nivel individual estaría relacionado con factores como la edad de la persona, la actividad realizada con los dientes, el tipo de alimento ingerido y el método de preparación de dicho alimento. Es difícil separar estos factores, por lo que el estudio del desgaste dentario se utiliza en general como un indicador de estrés generalizado. Sin embargo, recientemente están apareciendo técnicas que permitirían controlar las distintas variables que afectan al desgaste dentario.

WALKER (1990) ha sugerido un sistema para determinar la edad del individuo a partir del grado de desgaste dentario controlando en conjunto el resto de variables (población, alimentación, cultura, etc.). La determinación de la dieta a partir del desgaste dentario no parece evidente a nivel macroscópico, ya que no es posible aislar el componente alimentario. En cambio, parece más viable el estudio **microscópico** de la superficie del esmalte dentario.

Los términos **abrasión** y **desgaste** son imprecisos cuando se utilizan de forma coloquial y debería, por ello, emplearse el término **microdesgaste dentario** (GORDON, 1982). La abrasión es el efecto producido por partículas más duras que la superficie sobre la que actúan. Cada partícula penetra en la superficie de forma directamente proporcional a la presión aplicada, produciendo una indentación que no será de mayor diámetro que la propia partícula. La abrasión continuada produce a nivel microscópico un patrón de estriación específico. Si la penetración es débil resultará en el pulido de la superficie (PUECH, 1979), y si es suficientemente fuerte, causará la formación de **microestriaciones dentarias**. A nivel macroscópico la abrasión conduce al desgaste dentario.

La capacidad abrasiva de las partículas que constituyen los alimentos es muy variable, pudiendo éstos estar formados entre un 20 y un 98 % de su peso por partículas abrasivas. Dos tipos de factores afectan al grado de abrasión: 1) factores de composición (tipo de abrasivo, grosor del grano, grado de retención del grano, concentración y textura del aglutinante) y 2) factores de utilización (tipo de operación, zona de contacto, tiempo de utilización, precisión del trabajo, naturaleza del lubricante y estado físico-químico de la superficie de trabajo) (PUECH y PANT, 1980).

El estudio del microdesgaste dentario se ha desarrollado en dos vertientes de investigación principales: análisis de la cara oclusal del diente y de la vestibular.

Por un lado, el estudio de las facetas dentarias de la cara oclusal del diente, se basa en la existencia de una relación entre el tipo y el grado de esfuerzo que se produce durante la masticación del alimento (PUECH *et al.*, 1980; GORDON, 1982). En esta zona se presentan, sin embargo, dos problemas que es necesario evitar. La acción masticatoria *per se* contacto interdentario) puede causar abrasión del esmalte superficial (PUECH *et al.*, 1983a). En segundo lugar, el patrón de desgaste de la cara oclusal parece estar relacionado con la posición relativa del diente estudiado (GORDON, 1982). Es posible que el desgaste de la cara oclusal pueda variar por razones ajenas a la dieta, pero, en cambio, la cara oclusal podría ser un buen indicador de la biomecánica masticatoria (KAY, 1974; MOLNAR, 1977).

Por otro lado, el estudio de la cara vestibular del diente intenta evitar la problemática introducida por el contacto interdentario que afecta a la cara oclusal. En ambos casos, no son útiles aquellas zonas del diente donde se sospeche que el microdesgaste pueda ser debido a otras actividades distintas a la de la exclusiva masticación del bolo alimenticio, como en la dentición anterior (WALKER, A., 1976). Por ello, PUECH *et al.* (1980) propone el estudio de la cara vestibular de la dentición yugal, especialmente el segundo premolar y primer molar (Pm4 y M1). En la superficie vestibular sería posible determinar la naturaleza de las partículas de materia alimenticia ingerida en función de la orientación predominante de las estrías. Para PUECH *et al.* (1980) la cara vestibular sería más fiable que la oclusal en la determinación de variables directamente relacionadas con la dieta. Puech

(1979) asume que las partículas del alimento ingerido presentan una acción abrasiva que queda marcada en la historia funcional de, al menos, la dentición yugal, y que a corto plazo la **consistencia** de dichas partículas es un factor determinante del comportamiento de alimento en la boca. El patrón de estriación de molares y premolares sería similar, siendo causado por el movimiento del bolo alimenticio comprimido contra los dientes por la mejilla.

El objetivo principal del presente estudio consiste en profundizar en la problemática apuntada por GORDON (1982) en el sentido de que para que sea posible deducir aspectos de la dieta a partir del análisis del patrón de estriación dentaria, será necesario demostrar que la variabilidad **inter-poblacional** es significativamente mayor que la **intra-poblacional**.

Es necesario previamente incidir en tres aspectos importantes: 1) la **morfología** de las estrías, 2) las **causas** de su formación y 3) la **interpretación** del patrón de estriación.

5.1. Morfología de las estrías

Hay tres tipos principales de estructuras visibles en las facetas dentarias: **estriaciones**, **depresiones** (*pits*) y **crestas** o **crenulaciones** (*furrows*) (PUECH *et al.*, 1983b). Las estriaciones son depresiones lineales de longitud considerablemente mayor que su anchura (GORDON, 1982). Las depresiones son zonas deprimidas del esmalte donde la relación entre longitud máxima y anchura es un valor próximo a la unidad. Las crenulaciones son estructuras formadas por perturbaciones de tipo periódico que consisten en ondas de unos 0.2 mm de separación entre sí (PUECH *et al.*, 1983b), que difieren de las estrías por su regularidad, tamaño y espaciado (PUECH *et al.*, 1986). Otro tipo de estructura que podríamos observar son las **incisiones** (*gauges*), similares a una estría cuya anchura es mayor en proporción a su longitud que en las propias estrías, y en general bastante curvadas, incluso con forma de S, causadas por objetos duros aplicados sobre el esmalte.

Además de dichas estructuras, se pueden observar otros dos tipos de caracteres menos corrientes: por un lado la **Perikimata**, que estaría formada por depresiones periódicas formando crestas de pequeño tamaño debidas a

líneas de desarrollo del diente (PUECH y ALBERTINI, 1981) (foto I.1.), y por otro la **Hipoplasia**, que serían depresiones causadas por procesos de tipo patológico.

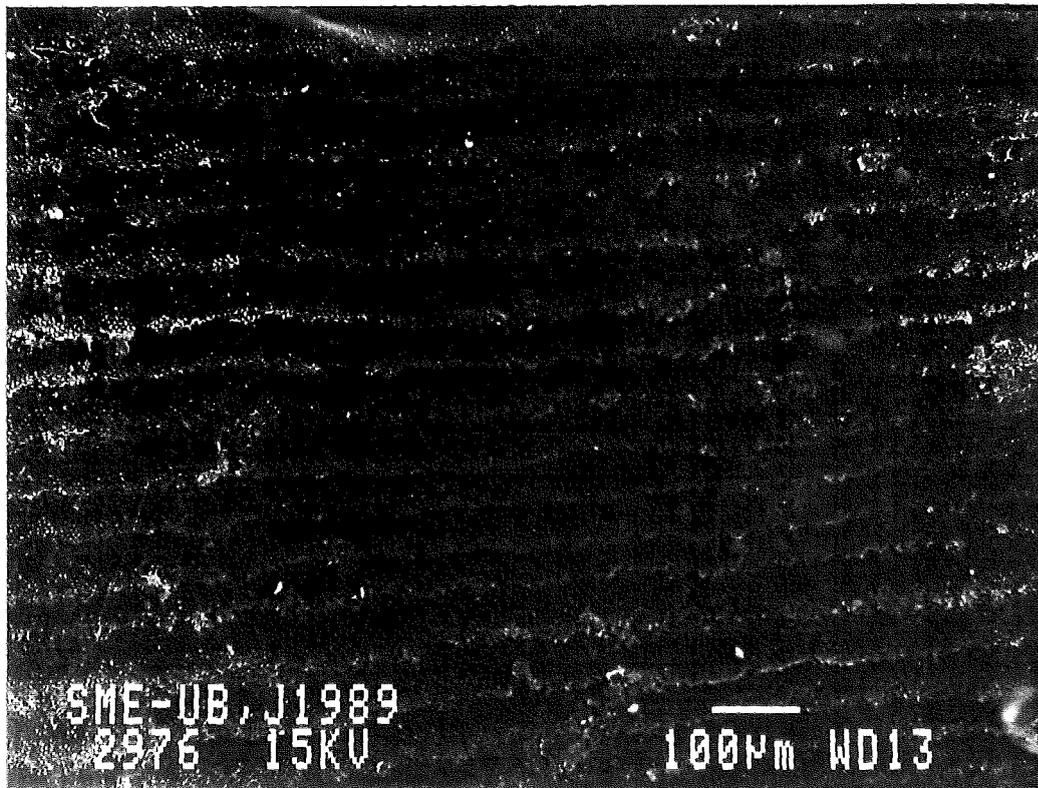


Foto I.1. Imagen microscópica de las líneas de crecimiento en el tercio cervical de la superficie vestibular de la dentición yugal

En relació a la determinació de la dieta, nos interessa considerar en la cara vestibular aquelles estructures causades per partícules alimentaries aïllades, més o menys consistents, sobre el esmalte dentari. Se trata en general de estriacions, de longitud variable. Las depresiones son más frecuentes en la cara oclusal por la acción aplastante del contacto interdentario. Las crenulaciones y perikimata son estructures múltiples no causadas por una partícula. Las incisiones y la hipoplasia son estructures lineales que no tienen relación con la dieta.

Las estriaciones presentan como características definitorias 1) un punto de inicio, 2) una dirección, 3) longitud, 4) anchura y 5) profundidad. El estudio de alguno de estos parámetros es susceptible de aportar información sobre la dieta.

Respecto a su localización, se ha observado que presentan una tendencia clara a disminuir en frecuencia relativa, respecto al total de estrías, depresiones y crenulaciones, en la cara oclusal, de delante hacia atrás en la serie de los molares de chimpancé (GORDON, 1982). Respecto a la cara vestibular, en un mismo diente, las estriaciones dentarias son más frecuentes en el tercio oclusal que en los tercios medio y cervical (FINE y CRAIG, 1981).

La superficie vestibular puede dividirse en sentido horizontal a efectos de su estudio en 6 franjas que se agrupan en tres zonas: 1) el primer sexto oclusal consiste en un eje redondeado situado entre las superficies oclusal y vestibular, que actúa como seccionador durante el movimiento lateral de la mandíbula, 2) los tres sextos siguientes forman la superficie vestibular principal, donde la orientación de las estriaciones evidencia el movimiento de la comida, produciéndose una mayoría de estrías verticales, 3) los dos sextos restantes localizados por debajo de la curvatura del diente, están relativamente protegidos de la abrasión producida por el alimento y conservan su aspecto inicial (PUECH *et al.*, 1980).

5.2. Causas de las estrías

Las estriaciones en la dentición de los primates pueden ser debidas a tres factores principales: 1) movimiento de la mandíbula cuando los dientes están en contacto directo unos con otros, 2) movimiento de la mandíbula mientras la comida u otra sustancia se interpone entre los dientes y 3) movimiento de comida u otros materiales que son estirados o empujados a través de los dientes por acción de la mano o movimientos de la cabeza (WALKER, A., 1976).

Para ciertos autores las estriaciones altamente orientadas que producen sobre la superficie del esmalte resultan del contacto entre el diente y materiales abrasivos, ya que consideran que el contacto directo entre dientes tiende a producir superficies pulidas carentes de estriaciones (WALKER, A., 1976).

El patrón de desgaste dentario dentro de una misma especie puede variar por motivos que no tengan nada que ver con la dieta. La definición de parámetros homogéneos en el estudio del microdesgaste dentario pasa por el control de variables como la función, posición de los molares, edad y sexo. Además, es necesario el estudio de especies animales de dieta distinta para saber cuál de dichos parámetros es determinante en la discriminación de los regímenes alimentarios (GORDON, 1982).

Estudios en primates indican que las estriaciones dentarias en los incisivos de monos arborícolas están con mayor frecuencia ausentes que en las especies terrestres. La frecuencia de estriaciones en los incisivos de monos actuales del Viejo Mundo parece estar correlacionada con la preferencia de hábitat y las características mecánicas de los alimentos explotados. La orientación de las estriaciones de la dentición anterior refleja la dirección de los movimientos mandibulares durante la masticación, y probablemente también la utilización de las manos para empujar o estirar de los alimentos a través de la boca (WALKER, A., 1976). Son, pues, múltiples las causas que pueden determinar un patrón de estriación determinado, y es necesario un estudio detallado para poder enfocar la cuestión de la relación entre dieta y estriación dentaria.

En algún caso se ha sugerido que la superficie vestibular del diente de individuos carnívoros primitivos presentaría más estriaciones y más largas que la de aquellas poblaciones con una dieta predominantemente herbívora. El patrón de desgaste de la superficie vestibular de premolares y molares es muy similar y consiste en estriaciones causadas por el movimiento del bolo alimenticio comprimido entre la dentición y la mejilla. La acción de la lengua en la cara lingual produce estriaciones curvadas (PUECH *et al.*, 1980).

5.3. Interpretación de las estrías

Uno de los factores que definíamos como determinantes del patrón de estriación dentaria es la mecánica mandibular. Existen estudios exhaustivos sobre el movimiento mandibular y la utilización de los dientes en primates fósiles y recientes (KAY y HIEMAE, 1974). En líneas generales se observa que la trituración herbívora comporta un movimiento de traslación lateral de la mandíbula que no presenta la trituración carnívora. Además, en el momento de comer, el comportamiento de los carnívoros se caracteriza por la rapidez. La masticación tiene por objeto el troceado de la carne, un alimento poco resistente que puede digerirse sin ser masticado. En cambio, el comportamiento del herbívoro discrepa radicalmente del carnívoro. En ellos la ingestión está precedida de una trituración prolongada de un material duro y resistente (PUECH y PANT, 1980).

El movimiento ordenado de los alimentos en el interior de la cavidad bucal ocasiona, a través de las partículas abrasivas, estriaciones cuya orientación y longitud dependen de la dinámica del bolo alimenticio y cuya profundidad depende de la diferencia entre la presión muscular y la resistencia a la compresión del aglomerante (alimentos ensalivados) (PUECH y PANT, 1980). Si existe un comportamiento diferencial de gradiente continuo de la mecánica masticatoria frente a la composición del bolo alimenticio, en función de la preponderancia de materia vegetal o animal, que afecte a la dinámica del bolo alimenticio, es de esperar que la abrasión que cause resulte en un microdesgaste dentario diferente en función de la dieta ingerida.

Un carnívoro estricto no presentará estriaciones si consideramos que la naturaleza de las estrías es debida a las características intrínsecas del alimento

(por ejemplo, presencia de fitolitos en los vegetales). Los vegetales absorben sílice del suelo y lo almacenan en forma de Si amorfo. Un análisis microscópico de tejido vegetal muestra numerosas partículas duras incrustadas en la membrana o entre las células (PUECH *et al.*, 1983a). Otra causa puede ser la acción de partículas de polvo o arena, que son de mayor tamaño que las concreciones de Si y son frecuentes en el material detrítico. Al ser dispersadas por el viento pueden ser depositadas sobre el alimento.

El hecho de que las estrías sean más frecuentes en la zona oclusal de la superficie vestibular del diente apoya la idea de que son debidas a la acción causada por el alimento durante la masticación ya que esta zona es más susceptible de entrar en contacto con él. Las diferencias (si existiese alguna) que puedan observarse en la aparición de estrías entre los molares y premolares podría deberse a su diferente morfología o al retraso en la aparición entre uno y otro diente (FINE y CRAIG, 1981).

Hay que tener en cuenta otras causas como la utilización de palillos de dientes que producen pequeñas depresiones paralelas entre sí y perpendiculares al eje principal del diente (PUECH, 1979).

Otro aspecto a considerar en el estudio del patrón de estriación dentaria es su vida media (*turn over*) que depende de factores como la sustancia ingerida, la frecuencia de la masticación y las fuerzas que se aplican (GORDON y WALKER, 1983). El desgaste continuo del esmalte de la cara vestibular del diente es de esperar que resulte en una adición y eliminación simultánea de estriaciones (FINE y CRAIG, 1981). Estudios experimentales (GORDON y WALKER, 1983) sugieren que la vida media de un determinado patrón de microdesgaste es superior a los tres meses que sugieren COVERT y KAY (1981).

Son frecuentes los estudios descriptivos de la estriación dentaria, pero sin un estudio estadístico no hay forma de interpretar la variabilidad intra-individual, intra-grupal o inter-grupal (GORDON y WALKER, 1983). En este sentido, (FINE y CRAIG, 1981) analizaron la variable suma-numérica de la longitud de las estriaciones verticales respecto a las horizontales y observaron una distribución logarítmica-normal. Ello sugiere la necesidad de una transformación logarítmica de los datos. En dicho estudio se consideraron las estrías preferentemente verticales y las horizontales, descartándose las oblicuas,

y se analizó la regresión entre las sumas de estrías verticales y las horizontales. WALKER, A. (1984) también encontró una distribución logarítmica-normal de la anchura de las estriaciones observadas en la dentina de un canino de babuino.

Los estudios poblacionales de las estrías dentarias son muy escasos. En la presente Memoria Doctoral el objetivo que se plantea es, principalmente, el de abordar un análisis estadísticamente representativo para caracterizar la variabilidad intrapoblacional de las estriaciones dentarias de la cara vestibular de la dentición yugal. Se presenta también una aproximación a la problemática de la variabilidad interpoblacional y de la determinación de la dieta a partir del estudio del patrón de estriación dentaria.

6. Análisis de Isótopos

El análisis del contenido en hueso de ciertos isótopos estables (^{13}C , ^{15}N) aporta también información sobre procesos biológicos relacionados con aspectos ecológicos y adaptativos de las poblaciones humanas.

La proporción de ^{13}C y ^{15}N respecto a sus respectivos isótopos básicos es útil para identificar determinados grupos de plantas de estrategia fotosintética diferente. A través del ^{13}C pueden diferenciarse las plantas de tipo fotosintético C_3 (trigo, arroz, frutos con cáscara y la mayoría de vegetales y frutas) de las de tipo C_4 y CAM (maíz, sorgo y ciertos pastos herbáceos, además de las cactáceas). Por medio del ^{15}N pueden distinguirse, a su vez, plantas marinas y determinadas plantas terrestres (leguminosas).

Esta distribución diferencial puede ser utilizada para el análisis de dietas vegetales, ya que dicha proporción se traspa de las plantas a los organismos herbívoros y se fija en el colágeno del hueso de los animales, incluido el hombre.

La composición isotópica de los tejidos animales refleja los índices de las plantas en base a la cadena trófica. En ella se observa un ligero enriquecimiento en ^{13}C y, aún mayor, en ^{15}N según ascendemos en la cadena trófica. El enriquecimiento en ^{15}N es suficientemente grande como para ser utilizado como indicador del nivel trófico.

AMBROSE Y DeNIRO (1986) han propuesto la utilización conjunta de los índices $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ para la determinación de la importancia de la explotación de recursos de origen marino (véase también MOORE, 1989). KLEPINGER (1984) proporciona una descripción detallada del fundamento de la técnica del $\delta^{13}\text{C}$ y del $\delta^{15}\text{N}$. WALKER y DeNIRO (1986) presentan algunos resultados en huesos humanos y de fauna terrestre y marina.

No ha sido posible utilizar esta técnica en el presente trabajo. Sin embargo, pronto estará disponible en los servicios técnicos de la Universidad de Barcelona.

II. MATERIAL

II. MATERIAL

El análisis de la evolución de la dieta se ha centrado en el área de **Cataluña y Baleares** con el propósito de circunscribir la problemática a límites fácilmente abarcables, en cuanto a número de muestras a analizar, a la vez que accesibles. La localización de las series de Cataluña y Baleares en pocos centros hacía aconsejable limitar, al menos inicialmente, a esta área geográfica el presente estudio. De esta forma se posibilita el planteamiento de un estudio en el tiempo intentando abarcar todas las épocas de ocupación humana de Cataluña desde el Paleolítico hasta la Edad Media.

La selección de las series a estudiar responde, pues, al intento de tener representadas todas las épocas en una zona geográfica particular, en función de la disponibilidad no sólo de restos humanos sino también de fauna, cuando era posible. Los principales periodos de ocupación en Cataluña, de los que se dispone de restos humanos, (**Epipaleolítico, Neolítico, Calcolítico, Bronce, Romano y Medieval**) están representados en mayor o menor grado. El periodo **Talayótico** de las islas **Baleares** está representado por uno de los más importantes yacimientos de esta época, que se complementa con el estudio de otra serie mallorquina realizado por otros autores.

También se han estudiado diversas series de la **Península Ibérica** (series del Bronce y musulmanas en Andalucía y series medievales en Castilla) con el propósito de disponer de algunos datos comparativos y de ilustrar algunas cuestiones metodológicas.

Otras series estudiadas proceden del Norte de Africa. El objetivo en este caso fue determinar los efectos de una dieta basada en recursos marinos sobre la composición elemental del hueso. Además, se estudiaron muestras de **Aborígenes de Tierra del Fuego** para contrastación de las técnicas utilizadas en una serie de dieta conocida, basada casi exclusivamente en recursos de origen animal.

Respecto al análisis del **Patrón de Estriación Dentaria** el estudio se centra básicamente en una serie medieval castellana cuyo estado de

conservación y tamaño permiten abordar un estudio amplio, con representatividad estadística, con el propósito de caracterizar la variabilidad intraindividual e intrapoblacional de diversos parámetros del patrón dentario.

Además, se analizaron las estrías de otras dos series de dieta conocida a partir de fuentes históricas y arqueológicas para realizar una aproximación a la cuestión de la variabilidad interpoblacional.

En este capítulo se expone en primer lugar una visión amplia de los periodos de ocupación humana en Cataluña y Baleares (apartado II.1.) con el fin de situar en su contexto las series estudiadas, que se presentan en el apartado II.2.

1. Evolución en Cataluña y Baleares

El estudio de la evolución de la dieta desde el punto de vista antropológico es inseparable del devenir de las sociedades humanas a través de la prehistoria y la historia. La sucesión y evolución cultural que tuvo lugar en Cataluña y Baleares marcó y condicionó profundamente la estructura social y económica de sus pobladores. La explotación de recursos alimentarios evolucionó a la par que los cambios tecnológicos y sociales, en función de las necesidades demográficas y, en ocasiones, políticas.

Por ello, es necesario tener una visión global del proceso de ocupación humana del área geográfica que estudiaremos. La visión que se da a continuación es obviamente incompleta, y por ello imprecisa, del pasado de Cataluña. Nos interesa retener de ella la situación del grupo humano respecto al medio que habitaba y la explotación de los recursos alimentarios que estaban a su alcance, ya sea de forma natural o por medio de mejoras tecnológicas.

Consideraremos aquí la evolución de las poblaciones humanas en Cataluña y Baleares a través de los principales periodos culturales definidos desde el punto de vista arqueológico: Prehistoria (Paleolítico, Epipaleolítico, Neolítico, Bronce y Talayótico), Mundo Antiguo (íberos, griegos y romanos), época Medieval y Moderna. La definición de los periodos y sus dataciones para Cataluña (GURT, 1982) y Baleares (PERICOT, 1975; ORFILA *et al.*, 1984) se encuentran en las tablas II.1. y II.2. respectivamente.

1.1. Evolución humana en Cataluña

Los principales periodos de ocupación humana en Cataluña se muestran en la tabla II.1. En ella se indican las principales subdivisiones de cada periodo, algunas particularidades que los caracterizan y la datación aproximada de su inicio.

Tabla II.1. Definición de los períodos de ocupación humana y sus características principales y dataciones para Cataluña

	Características	Datación aproximada
Paleolítico		
Inferior	primeras culturas líticas	= 300.000 a.C.
Medio	glaciación Würm	80.000 a.C.
Superior	interstadial Würm II-III	30.000 a.C.
Epipaleolítico	fin periodo glacial	9.000 a.C.
Neolítico		
Antiguo	agricultura	5.000 a.C.
Medio-reciente	sepulcros de fosa	3.500 a.C.
Final	megalitismo, cobre inicial	2.500 a.C.
Calcolítico		2.000 a.C.
Inicial	campaniforme, cobre	
Reciente	campaniforme pirenaico	
Bronce		
Inicial	bronce, cerámica incisa	1.800 a.C.
Medio	apéndice de botón	1.500 a.C.
Final	incineración, urnas	1.200 a.C.
Hierro	hierro	700 a.C.
Ampurias	colonia griega	600 a.C.
Culturas Ibéricas		
Periodo de Formación		750 a.C.
Periodo Antiguo		600 a.C.
Periodo Ibérico		450 a.C.
Periodo Final Ibero-romano		218 a.C.
Mundo Romano		ss. II a.C. - V d.C.
República	sociedad agrícola, villas	218 a.C. - 49 a.C.
Imperio	sociedad urbana	49 a.C. - 409 d.C.
Epoca visigótica	estratificación social	409 d.C. - 587 d.C.
Epoca medieval	estamentos sociales	ss. V d.C. - XV d.C.

1.1.1. Paleolítico (\approx 4.000.000 - 9.000 a.C.)

El límite inferior del periodo Paleolítico es difícil de precisar. Se iniciaría con la aparición de las primeras culturas humanas de las que se han conservado principalmente útiles líticos, ya que se conservan mejor en los yacimientos arqueológicos que otros útiles fabricados en madera o hueso.

Con el límite superior marcado por el final de la Epoca Glacial, con la última glaciación Würm, el Paleolítico se divide en tres periodos: Inferior, Medio y Superior.

1.1.1.1. Paleolítico Inferior (\approx 4.000.000 - 80.000 años)

En Cataluña está documentada la presencia humana en este periodo en diversos yacimientos (FULLOLA, 1990). En el yacimiento de Puig d'en Roca (Gironès, Gerona) se encontraron materiales arqueológicos *in situ* que comprenden culturas del Paleolítico Inferior. Este yacimiento forma parte de un complejo de culturas arcaicas al Norte y Sur de los Pirineos.

El yacimiento de Cau del Duc (Torroella de Montgrí, Baix Empordà) forma parte del complejo de estaciones del macizo calcáreo de Montgrí. En él se ha identificado una cultura arcaica de hace aproximadamente 300.000 años.

La Mandíbula de Banyoles es el resto esquelético humano más antiguo descubierto en Cataluña, atribuida a un individuo femenino, poco o nada neandertalizado, de cronología probablemente alrededor de 120.000 b.P. Su datación es, sin embargo, muy discutida y por su morfología podría asociarse a formas anteneandertalianas europeas.

En este periodo la alimentación se basaba en la caza y la recolección de vegetales y frutos naturales. Entre otros, el hombre cazaba caballos, elefantes, bóvidos, rinocerontes, rebecos, cabras, conejos y jabalíes.

1.1.1.2. Paleolítico Medio (80.000 - 30.000 años)

El Paleolítico Medio se inicia con la última glaciación del Cuaternario (glaciación Würm) y termina en el interestadial Würm II-III. En esta época toda Europa está ocupada por el hombre de Neandertal y la cultura Musteriense es dominante.

Durante este periodo el hombre instala sus lugares de habitación tanto en zonas montañosas del Pirineo (**Tut de Fustanyà** en Queralbs, Ripollès, o **Els Ermitons** en Sadernes, Garrotxa) como en la montaña baja (cuevas de **Serinyà**, Ripollès, o **Abric Romaní** en Capellades, Anoia), zonas planas (**Graveres del Secanet** en Artesa de Lleida, Segrià) o en la zona costera (**Cova del Gegant** y **Cova del Muscle** en Sitges, Garraf). Usualmente se asocia a este periodo frío la ocupación de las cuevas (**Mollet I** y **L'Arbreda** en Serinyà, Gironès, o **El Toll** en Moià, Bages) o abrigos rocosos durante los interestadiales (**Abric Agut** en Capellades, Anoia). Sin embargo, también se encuentran yacimientos superficiales en periodo frío (**Forn del Sugranyes** en Reus, Baix Camp). Quizá el elemento determinante sea la disponibilidad de agua en la zona ocupada y la ausencia de cuevas en zonas planas próximas a las fuentes de agua.

Son abundantes los restos de Oso de las Cavernas (*Ursus spelaeus*), ciervo (*Cervus elaphus*), cerdo (*Sus scrofa*), caballo (*Equus caballus*), rinoceronte (*Rinocerus merckii*) y hiena (*Hyaena spelaea*), entre otros.

1.1.1.3. Paleolítico Superior (≈ 30.000 años - 9.000 a.C.)

Cronológicamente ocupa la segunda parte de la última glaciación (Würm III, interestadial III-IV y Würm IV).

Destaca como zona de ocupación humana en este periodo el núcleo de **Serinyà**, formado por una serie de cuevas que abarcan la secuencia completa del Paleolítico Superior. En la **Cova de l'Arbreda** (Passatge del Reclau, Serinyà, Ripollès) están representados diversos periodos culturales. El más antiguo es el Auriñaciense y le siguen el Gravetiense y el Solutriense. El Gravetiense también está representado en **El Roc de la Melca** (Sant Aniol de Finestres, Garrotxa, 20.900 ± 400 b.P. datado por ¹⁴C). El último periodo del

Paleolítico Superior es el Magdaleniense que está representado en la Bora Gran d'en Carreres (Serinyà, Ripollès, 11.470 ± 500 b.P. también por ^{14}C).

El hombre del Paleolítico Superior es el cazador por excelencia. Utilizaba armas complejas y técnicas de caza especializadas. También pescaba en los ríos. Los animales más frecuentes son el caballo y los bóvidos, y al final del Magdaleniense, con la mejora del clima, aumentan los ciervos que serán entonces los más cazados.

1.1.2. Epipaleolítico (≈ 9.000 a.C. - 5.000 a.C.)

El Epipaleolítico o Mesolítico se inicia al final de la Glaciación Würm. El clima empieza a mejorar y el paisaje, que había sido de praderas fundamentalmente, se cubre de bosques y la fauna típica de este hábitat se hace más abundante.

La subsistencia se basaba en la recolección de frutos silvestres, la pesca y la caza de aves y mamíferos (bisonte, jabalí, ciervo, cabra salvaje, conejo y pequeños carnívoros).

De esta época datan los yacimientos del Cingle Vermell en Vilanova de Sau (Osona), un pequeño abrigo rocoso datado en 9.760 ± 160 a.P., utilizado como campamento de otoño-invierno, y del Roc del Migdia, también en Vilanova de Sau (Osona), con una datación de 11.520 ± 200 a.P., donde se encontró un enterramiento perfectamente conservado de una mujer (Cota Zero 1988, N°4) (FULLOLA, 1990).

1.1.3. Neolítico (5.000 a.C. - 1.800 a.C.)

El periodo Neolítico se caracteriza por el desarrollo de la agricultura y la ganadería, que causan una profunda transformación de la cultura y la sociedad humanas. Este proceso se desarrolla en Cataluña hacia el 5.000 a.C. cuando aparecen en los asentamientos humanos especies domésticas de animales (cabra, oveja, buey, cerdo), cereales (trigo, centeno, cebada) y árboles frutales.