

---

# Paleodieta: Estudio del patrón alimenticio en El Cerro de la Cabeza (Avila)

GJ. Trancho y B. Robledo  
Departamento de Biología Animal I (Antropología)  
Facultad de Biología. Universidad Complutense  
Madrid 28040  
e-mail: Gtrancho@ eucmax.sim.ucm.es

---

## INTRODUCCION

Es sobradamente conocido que la Antropología Biológica analiza aspectos relativos a la caracterización biomorfológica, paleopatológica y genética de las poblaciones humanas con el propósito de valorar la respuesta biológica del conjunto de nuestra especie ante determinados factores ambientales. En dicho contexto, creemos que el patrón alimenticio es una de las características que mejor definen la capacidad adaptativa de las poblaciones al medio. Cada ser humano intenta obtener el máximo aprovechamiento de la explotación del entorno con el propósito inicial de su supervivencia física. Esta depende de la disponibilidad de recursos y de la capacidad técnica alcanzada para su recolección, manipulación y procesado. Indudablemente, aseguradas las necesidades nutricionales podrá intentarse la reproducción, garantizando así la continuidad biológica y/o cultural hasta la generación siguiente.

Por tanto, establecer la forma de vida de las poblaciones del pasado y en especial conocer el tipo de dieta, permite entender algunos de sus patrones de comportamiento, estimando los modelos de adquisición de alimentos o su estado de salud, en otras palabras, su grado de adaptación al medio. Existen datos arqueológicos y antropológicos que aportan un sin fin de indicaciones alimentarias. Tres son las líneas esenciales de investigación que hasta hace unas décadas permitían estimar indirectamente la dieta de las poblaciones humanas del pasado: los recursos de flora y fauna disponibles (evaluación del material faunístico, coprolitos, análisis palinológicos, etc.); la evidencia arqueológica basada en estructuras (silos, análisis de herramientas o útiles, cerámica, basureros, etc.) y el estudio de indicadores de salud (presencia de caries, desgaste oclusal, procesos anémicos, etc.). Actualmente se dispone, además, de protocolos de determinación de la dieta a partir del análisis químico o microscópico directo del esqueleto humano; de ese modo, en los últimos 30 años se han desarrollado nuevas técnicas para estimar el tipo de alimentación mediante la evaluación del material arqueológico que representan los huesos y las piezas dentarias.

Procedimientos como el análisis de elementos traza, estudios de isótopos estables como el  $dC^{13}$  o el  $dN^{15}$ , técnicas microscópicas como el patrón de estriación dentaria o la existencia de fitolitos, son hoy en día, métodos de diagnóstico esenciales para la reconstrucción e interpretación de los yacimientos arqueológicos (Price y Kavanagh, 1982; Price et al., 1985 y Schoeninger, 1989).

En trabajos previos (Trancho et al., 1996, 1997) se realizó una breve exposición de los principios básicos en los que se fundamenta la técnica que permite evaluar el tipo de dieta de un individuo atendiendo a la concentración de oligoelementos presentes en el hueso. A modo de resumen indicar aquí que los estudios de elementos traza como indicadores de paleodieta fueron iniciados por Toots y Voorhies en 1965 al reconstruir la cadena trófica basándose en el contenido de estroncio en huesos fósiles. Desde finales de los años ochenta se han integrado muchos otros elementos químicos en los estudios de paleodieta (Hatch et al., 1985; Oster, 1988; Zumkley y Spieker, 1988; Runia, 1988; Francalacci, 1989; Katzenberg, 1992 y Sandford, 1992). Algunos de ellos, aparecen referenciados en la Tabla 1, donde se muestra un resumen de las fuentes alimenticias y el comportamiento trófico de la mayoría de los elementos analizados en este trabajo.

	<b>Fuente alimenticia</b>	<b>Nexo trófico</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Ba</b>	Fibra vegetal, bayas, tubérculos, legumbres, frutos secos, carne	Herbívoro-Carnívoro	Algo diagenético
<b>Cu</b>	Crustáceos, moluscos, vísceras, carne, frutos secos, miel	Carnívoro-Herbívoro	Similar al Bario
<b>Mg</b>	Vegetales verdes, cereales, legumbres, frutos secos, carne	Herbívoro-Carnívoro	Altos niveles se asocian con dietas ricas en cereales
<b>Sr</b>	Ecosistemas marinos, dieta vegetal en general	Herbívoro-Carnívoro	Muy utilizado en paleodieta
<b>V</b>	Tubérculos, legumbres, frutos secos, leche	Herbívoro-Carnívoro	Poco conocido aún a nivel de paleodieta
<b>Zn</b>	Crustáceos, moluscos, carne, cereales	Carnívoro-Herbívoro	Diagenéticamente estable. Muy utilizado en paleodieta

Tabla 1: Fuente alimenticia y comportamiento biológico esperado de seis elementos químicos

Bario (Ba), magnesio (Mg), estroncio (Sr) y vanadio (V) se han considerado siempre como indicadores de ingesta de vegetales. El Ba es un elemento frecuente en todos los alimentos de naturaleza vegetal. Su mayor radio atómico respecto del Ca hace que la absorción del tubo digestivo sea menor, de forma que se detectan diferencias entre cada nivel trófico, y resulta un interesante marcador (Ezzo et al., 1995). El Mg tiene una distribución muy amplia; es abundante en vegetales verdes, cereales, legumbres y frutos secos. El Sr se ha utilizado sistemáticamente como indicador de dieta vegetariana,

aunque estudios recientes también asocian elevadas concentraciones de este elemento a los alimentos de origen marino. De forma que un aporte de dieta marina, crustáceos y moluscos especialmente, se verían reflejados en los niveles de Sr. El V ofrece indicación sobre el consumo de leche, legumbres, frutos secos y tubérculos, mientras que el cobre (Cu) y zinc (Zn) se utilizan como marcadores de dieta carnívora, incluya o no proteínas de origen marino.

En este trabajo se pretende evaluar la relación del individuo con el medio considerando que el tipo de dieta es reflejo del modo de adaptación al ecosistema. Dentro de ese marco trataremos de analizar los restos humanos descubiertos en la necrópolis de Cerro de la Cabeza. El yacimiento se encuentra situado a unos 3 km de la ciudad de Avila. Hasta 1998, se han descubierto cinco tumbas correspondientes a distintos períodos cronológicos. Una sepultura múltiple, que contenía los restos de seis individuos, y tres tumbas individuales se han datado como correspondientes al Calcolítico Final o principios de la Edad del Bronce (la denominaremos aquí Cerro de la Cabeza 1); mientras que una tumba con dos individuos se fechó a finales del Bronce o principios de la Edad del Hierro (y será denominada como Cerro de la Cabeza 2). El objetivo del análisis antropológico es doble: por un lado proceder a la identificación y caracterización de los restos exhumados analizando las características morfológicas y patológicas, y por otro, estimar el tipo de dieta de los pobladores de Cerro de la Cabeza mediante el análisis de la concentración de oligoelementos en los restos óseos. Por supuesto, debemos indicar al lector que no podemos extrapolar los resultados de este estudio al conjunto de la población que vivió en el entorno de Avila; las muestras aquí evaluadas representan un número de individuos muy reducido; aún así, pensamos que con su estudio podemos aproximarnos a un conocimiento más amplio de la forma de vida de estas poblaciones humanas.

## **MATERIAL y METODOS**

El material a estudiar fue depositado en la sección de Antropología de la Facultad de Biología de la UCM por D. Francisco Fabián, arqueólogo provincial de Avila. Inicialmente, se procedió a identificar el material orgánico, separando las muestras de fauna de las correspondientes a restos humanos. Posteriormente, se identificó el tipo de hueso y lado, determinando el sexo y edad de cada individuo (ver informe antropológico). En las muestras de suelo se analizó el contenido de agua del terreno.

La determinación de dieta se realizó mediante el análisis de nueve elementos, dos de ellos mayoritarios, calcio (Ca) y fósforo (P) y los siete restantes traza (Mg, Zn, Fe, V, Cu, Sr y Ba) en once muestras humanas y dos de fauna. El estudio se efectuó atendiendo a la concentración de elementos químicos mediante espectrometría de emisión de plasma de acoplamiento inductivo (ICP-AES). Para ello se obtuvo una muestra, inferior a 1 gramo del tejido óseo compacto de los huesos largos de la extremidad inferior (tibia o fémur). La extracción se produjo en condiciones asépticas, tras la eliminación mecánica

abrasiva de una capa superficial de unos 2 mm de espesor mediante broca de carburo. Se suprimía de ese modo la presencia de agentes contaminantes adheridos al hueso como restos de tierra, vegetación, etc. La muestra de análisis fue pesada y posteriormente sometida a desecación a 105°C hasta peso constante durante 24 horas. A continuación se calcinó en horno de mufla mediante una rampa de temperaturas desde 100°C a 600°C durante 10 horas. Se eliminaban así los posibles restos de materia orgánica en su práctica totalidad. Las muestras fueron digeridas, mediante horno microondas, en ácido nítrico y posteriormente filtradas para eliminar los restos de sílice. Finalmente, y hasta el momento de la lectura de resultados, se procedió a diluirlas en agua desionizada tridestilada. Idéntico tratamiento experimental se realizó para estudiar las muestras de suelo, exceptuando la abrasión mecánica.

La valoración analítica se realizó mediante el protocolo estandarizado por nuestro equipo de investigación (Martin, 1993; González-Abad, 1996) en el Servicio de Espectrometría de Plasma de la UCM, gracias a un equipo modelo JY-70 Plus. La concentración de Zn, Fe, Cu, Sr, Ba, V y Mg se indica en microgramos/gramo (partes por millón - ppm) de ceniza y las de Ca y P en porcentaje. Cada una de las muestras analíticas problema fue valorada en tres ocasiones de forma independiente, considerándose como valor definitivo el promedio de las tres estimas. Se utilizó por duplicado el material de referencia internacional NIST 400 como patrón de hueso interno y el SO-2 como patrón de muestras de suelo. Las líneas analíticas utilizadas se condicionaron a aquellas donde se produjese la menor interferencia entre los elementos a determinar. La Tabla 2 recoge la longitud de onda elegida para cada elemento y los resultados correspondientes a los patrones experimentales.

C. Cabeza	Ca	P	Mg	Fe	Zn	Sr	Cu	V
Líneas	317.923	213.618	279.553	238.204	213.856	407.771	324.754	292.40
NIST400 Experim.	38.60%	18.30%	6812	648	170	241	2.0	--
NIST400	38.18%	17.91%	6840	660	181	249	2.3	--
SO-2 Experim.	1.77%	0.27%	5600	54600	124	387	< 10	50
SO-2	1.96%	0.30%	5400	55600	124	340	7	64

Tabla 2: Líneas analíticas (nm) utilizadas en el ICP-AES y valores de patrones internacionales. Los valores de Ca y P son en porcentaje. El resto de elementos en ppm

La evaluación estadística se efectuó mediante test unifactoriales ( $X^2$ , Anova y Kruskal-Wallis) en función del tipo de variable a considerar, así como con procedimientos multifactoriales (correlaciones múltiples y análisis de componentes principales) a través del programa SPSS Pc+ 4.0 y Statística 4.1.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Diagénesis: el problema de la contaminación

La cuestión más crítica en los análisis de elementos traza hace referencia a la integridad biológica de las muestras óseas. Esto es lógico, ya que como consecuencia de procesos culturales o tafonómicos los restos humanos pueden verse sometidos a cambios estructurales de distinta naturaleza; alteraciones que casi siempre acaban modificando en mayor o menor grado su composición química inicial.

Los restos esqueléticos de Cerro de la Cabeza presentan rito de inhumación directa sobre el terreno; este procedimiento de enterramiento facilita la fragmentación de las estructuras anatómicas y su descomposición parcial debido a procesos postdeposicionales. Desgraciadamente, esta práctica aumenta la intensidad de la diagénesis disminuyendo la concentración inicial de ciertos elementos químicos o incrementando sus niveles a partir del medio más próximo, en general, el propio suelo (Price y Kavanagh, 1982; Kyle, 1986; Price, 1989; Sillen, 1989). Por supuesto la presencia de cualquier elemento de ajuar funerario podría potencialmente ser considerada como un factor diagenético añadido, tal y como se ha manifestado en otras muestras antropológicas (Trancho et al., 1995; Trancho et al., 1998), pero en este caso, según la información arqueológica, parece que sólo el suelo es el principal medio de contaminación.

Metodológicamente se ha planteado en los estudios de paleodieta la necesidad de minimizar el efecto que los cambios postdeposicionales producen en las muestras biológicas. Para ello se han seguido esencialmente dos procedimientos, la limpieza mecánica y la química. Algunos investigadores (Lambert et al., 1983; 1984; 1989) han estudiado el grado de contaminación de la superficie del tejido óseo por lo que conocemos que al menos los primeros 400 Fm no deben ser utilizados para valoraciones de paleodieta. Por otro lado, no todos los elementos químicos responden igual ante los agentes contaminantes, el Sr, Mg y Zn, son básicamente estables (Pate y Brown, 1985; Lambert et al., 1985; Buikstra, 1989) mientras que el Fe, manganeso (Mn), aluminio (Al) y Cu aumentan su concentración, lo que implicaría el paso desde el suelo al hueso. Sin embargo, debemos ser conscientes de que el resto óseo puede estar sometido a intercambio iónico a mayor profundidad de la capa superficial y la abrasión mecánica, aún la utilizada en nuestro caso que elimina aproximadamente 2 mm, pudiera no ser siempre suficiente para solventar el problema analítico.

La limpieza química se viene realizando mediante dos procedimientos distintos, ataque con ácido acético diluido (Krueger y Sullivan, 1984) o con hidrocloreto de hidroxialamina (Price et al., 1992). El primero persigue una reducción de la contaminación por carbonato cálcico y el segundo pretende eliminar la presencia de óxidos. El tratamiento químico tiene numerosos inconvenientes, de todos ellos, destacar

aquí la pérdida de material no diagenético a medida que se efectúan lavados de la muestra (Lambert et al., 1990), suceso que afecta de forma diferencial a ciertos elementos químicos e incluso que, en ocasiones, resulte técnicamente insuficiente para eliminar el carbonato del hueso (Baraybar y De La Rúa, 1995). Sea cual sea el procedimiento elegido, todos pretenden reducir al máximo los efectos de la diagénesis y en cualquier caso demostrar su existencia.

La incidencia de diagénesis también varía en función del tipo de hueso que se analiza. Sillen y Kavanagh, (1982) o Beck, (1985) han señalado que las muestras de tejido óseo esponjoso o trabecular arrojan resultados distintos si se comparan con los del hueso compacto. En un trabajo previo (Trancho et al., 1995; Jimeno et al., 1996) realizado sobre ambos tipos de tejido se detectaron diferencias significativas en la concentración elemental del Fe, Ba, Ca y P. Los dos primeros aparecen en proporciones más elevadas en el tejido esponjoso, mientras que los dos últimos están en menor cantidad. Estos resultados aconsejan el uso de tejido compacto para análisis de paleodieta, tal y como se ha realizado en el presente trabajo.

Asumiendo como inevitable la existencia de contaminación en todas las muestras arqueológicas, en Cerro de la Cabeza se valoró la concentración de elementos traza en muestras de suelo procedentes de distintas tumbas y se comparó con los valores observados en los restos orgánicos. También se evaluó el grado de conservación de la hidroapatita mediante la obtención del índice Ca/P.

Para valorar el posible flujo diagenético de los componentes minerales del suelo al hueso, o a la inversa, se obtuvo la concentración de los elementos químicos de dos muestras de tierra de diferentes áreas del Cerro de la Cabeza. Las muestras denominadas TC 510 y TC 701 corresponden a la tumba múltiple (Cabeza 1) y a la doble (Cabeza 2) respectivamente. En la Tabla 3 se recogen los valores de dichas muestras, entre las cuales no se detectaron diferencias estadísticas, por lo que podemos considerar que la composición mineral del suelo en los dos puntos muestreados de la necrópolis es similar. También se ofrecen en la misma Tabla los valores del patrón internacional (SO-2) de referencia (SO-2 experimental), valores que permiten comprobar la fiabilidad de medición del aparato de espectrometría, ya que los valores teóricos (Tabla 2) no difieren sustancialmente del patrón interno.

Los niveles de Ca y P encontrados en el suelo de Cerro de la Cabeza son claramente inferiores a los detectados en las muestras óseas tal y como cabía esperar. El suelo TC 510 presenta en promedio mayor contenido en Fe y Mg que el hueso, por lo que cuando se analicen estos elementos en el tejido humano tendremos que evaluar con especial cuidado el posible factor de contaminación en la dirección suelo-hueso para estos constituyentes y contar con la posibilidad *a priori* de la existencia de este flujo iónico. La muestra TC 701 tiene en promedio mayor contenido en Fe, Mg y Cu que las muestras óseas y la problemática diagenética parece similar a la detectada en la tumba múltiple anterior.

Suelo	TC 510	TC 701	SO-2 Experimental
<b>Ca</b>	2.08 ± 0.02	1.42 ± 0.01	1.77 ± 0.20
<b>P</b>	1.56 ± 0.04	1.24 ± 0.01	0.27 ± 0.02
<b>Mg</b>	0.99 ± 0.10	0.95 ± 0.10	0.56 ± 0.01
<b>Fe</b>	3.07 ± 0.03	2.96 ± 0.03	5.46 ± 0.10
<b>Zn</b>	106 ± 1	94 ± 2	124 ± 2
<b>V</b>	48.0 ± 0.5	50.7 ± 0.5	50 ± 5
<b>Cu</b>	34.4 ± 0.1	30 ± 1	< 10
<b>Sr</b>	160 ± 2	133 ± 4	387 ± 5
<b>Ba</b>	603 ± 3	549 ± 4	937 ± 6

Tabla 3: Resultado analítico del suelo y de los patrones internacionales SO-2 de tierra. Los valores de Ca, P, Mg y Fe son en porcentaje. El resto de elementos en ppm

La detección de valores elevados en Fe es un suceso frecuente dada la alta concentración de este mineral en la práctica totalidad de suelos (Ezzo 1994a); algo parecido ocurre con el Cu; recordemos que estos elementos desde un principio se han considerado susceptibles de diagénesis. El magnesio aunque no desplaza iones de la matriz cristalina del hueso puede ser retenido en la superficie de la hidroxiapatita y contribuir a la contaminación del tejido óseo (Buikstra et al., 1989), lo que sugiere su posible implicación en fenómenos de diagénesis, aunque - como se verá posteriormente - en las muestras óseas analizadas se demuestra una concentración muy homogénea y esto viene a sugerir la poco probable acción diagenética para este ion.

El resto de elementos presentan una concentración similar o ligeramente superior en el tejido óseo. Podría pensarse en un efecto diagenético desde el hueso al suelo, pero las diferencias en las concentraciones son tan evidentes que, caso de haberse producido, sería de pequeña intensidad y no influiría de forma significativa en la interpretación de los resultados. Señalar, sin embargo, que para estar seguros de esta apreciación, hubiese sido necesario analizar el terreno asociado a cada una de las muestras biológicas, lo que elevaría substancialmente el coste analítico.

### Integridad de las muestras analizadas: Índice Ca/P

El valor Ca/P fue calculado para obtener información sobre el estado de conservación de la matriz de apatita del hueso (Tabla 4). El valor teórico es de 2.16 aproximadamente, pero puede comprobarse que las determinaciones efectuadas muestran un índice promedio ligeramente inferior. Hoy se aceptan como normales índices de 2.2, si bien, el límite actual para considerar obvia la diagénesis se establece en torno a 2.5 (Buikstra et al., 1989), proporción que no alcanzan las muestras reseñadas. Tan sólo en un caso se alcanza el valor 2.24, lo que permite afirmar que según este índice parece no haberse

producido alteración significativa de la hidroxiapatita del hueso en ninguno de los individuos analizados.

Muestra	N	Min	Max	Media	Error	D.S.
C. Cabeza 1	9	2.01	2.24	2.09	0.03	0.08
C. Cabeza 2	2	2.09	2.13	2.11	0.02	0.03

Tabla 4: Relación calcio-fósforo (Ca/P) de las muestras humanas analizadas

Aunque los niveles Ca/P señalan que la matriz ósea no se ha destruido muy seriamente, el patrón general que refleja la Figura 1 indica un aumento de la concentración de ambos elementos químicos. En realidad, el hueso humano de las necrópolis de Cerro de la Cabeza ha ganado Ca y P, especialmente éste último. Dicho resultado nos hace sospechar la pérdida de integridad de la hidroxiapatita, plantear la posible incorporación de elementos químicos presentes en el suelo, y, por tanto, la existencia de un efecto diagenético desde éste al hueso.

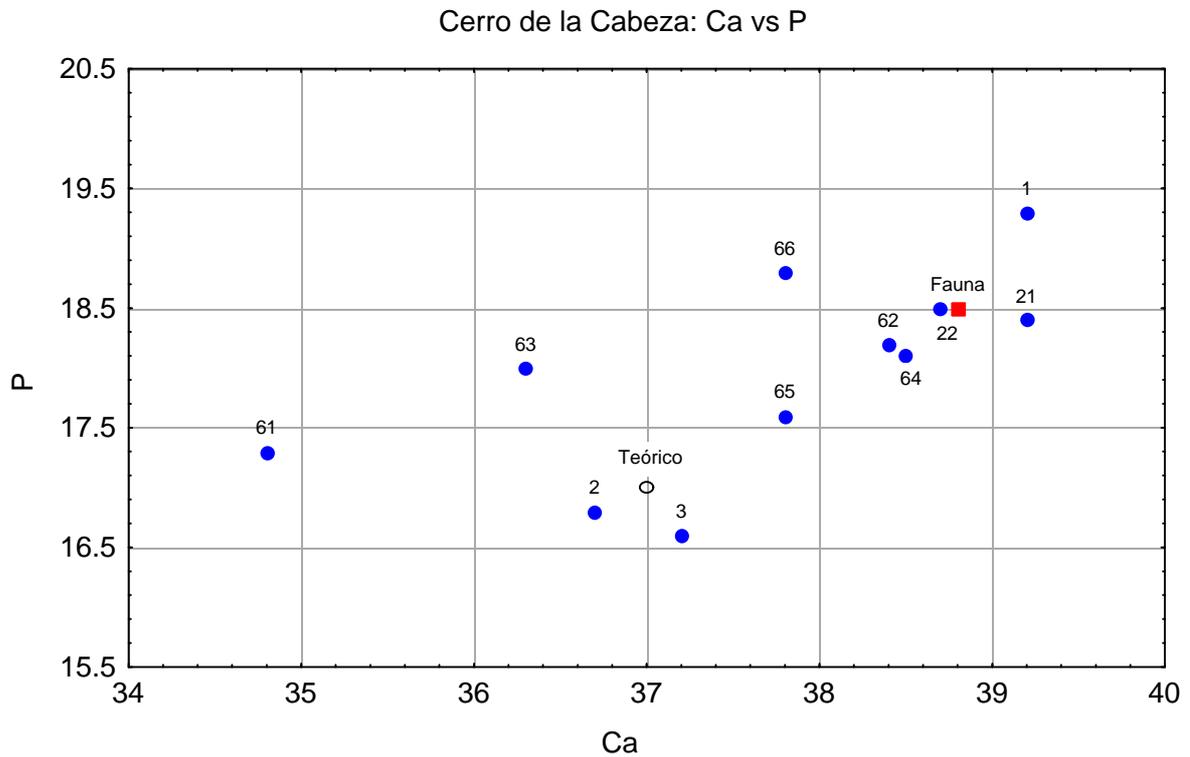


Figura 1: Contenido Ca vs P

Como vemos en la Figura 1, el 37% teórico del Ca que presenta la ceniza de hueso reciente sólo se ha reducido en tres muestras. No todos los restos presentan el mismo comportamiento para el Ca. El individuo 61 ha perdido un 2.2% lo que representa un 6% del valor teórico esperado, mientras que la tumba 1 ganó aproximadamente la misma cantidad. Más importantes son los cambios para el P; así la pérdida en la tumba 3 es menor del 0.5%, representando el 3% del valor esperado, pero el individuo 1 aumentó el equivalente al 13.5%. Estas cifras demuestran el posible efecto diagenético del suelo alterando la composición mineral de la hidroxiapatita, deterioro que le ha hecho vulnerable a la penetración de distintos iones aumentando la concentración de fosfatos y carbonatos (Lowenstam y Weiner, 1989).

Con respecto a la muestra de ovicáprido analizada se observa el mismo patrón de integridad de la hidroxiapatita, aumento de Ca y P. En general, e independientemente de su naturaleza, el comportamiento diagenético es similar en cualquier muestra de tejido óseo del yacimiento. Los restos de fauna han ganado hasta el 5% del Ca esperado y el 9% del P. Es factible que factores postdeposicionales derivados entre otras cuestiones, de las condiciones de humedad o del pH del suelo, hayan degradado primero el contenido orgánico del tejido óseo y posteriormente la hidroxiapatita. Esto nos obligará a tener en cuenta la diagénesis a la hora de interpretar los resultados analíticos obtenidos.

### Concentración de elementos traza: las muestras biológicas

Las Tablas 5 y 6 recogen los valores medios observados en las muestras analizadas. Aunque resulta difícil comparar estadísticamente ambas series debido al reducido tamaño muestral, los resultados demuestran que no se detectan grandes diferencias. Cerro de la Cabeza 2, constituida por un individuo inmaduro y una mujer, presenta concentraciones significativamente mayores de Mg y V y menores de Cu.

<b>C. Cabeza 1</b>	<b>n</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Media</b>	<b>D.S.</b>	<b>Fauna ± ds</b>
<b>CA</b>	9	34.8	39.2	37.4	1.34	38.8 ± 0.4
<b>P</b>	9	16.6	19.3	17.9	0.88	18.5 ± 0.2
<b>MG</b>	9	1351.0	2042.0	1534.0	210.16	1900 ± 11
<b>ZN</b>	9	97.4	196.0	145.4	29.92	95.1 ± 1.3
<b>FE</b>	9	154.0	982.0	382.4	280.7	191 ± 3
<b>V</b>	9	20.0	53.3	37.4	13.40	21.9 ± 0.2
<b>CU</b>	9	7.2	350.0	50.7	112.40	11 ± 1
<b>SR</b>	9	265.0	504.0	395.6	75.52	665 ± 8
<b>BA</b>	9	301.0	1432.0	691.3	316.9	996 ± 9

Tabla 5: Concentración de oligoelementos en las muestras de Cerro de la Cabeza 1. Los valores de Ca y P son en porcentaje. El resto de elementos en ppm

**Calcio y Fósforo:** ya comentamos anteriormente su valor como indicador diagenético en la muestra de Cerro de la Cabeza. Al ser macroconstituyentes, es decir, elementos mayoritarios del tejido óseo, no son útiles para la determinación de paleodieta. Sin embargo, el posible efecto contaminante de un suelo rico en carbonatos y fosfatos sugiere la necesidad de considerar posteriormente una corrección al estimar los índices respecto del Ca y en especial en el estudio Sr/Ca.

C. Cabeza 2	n	Mínimo	Máximo	Media	D.S.	Fauna ± ds
CA	2	38.7	39.2	38.9	0.35	38.8 ± 0.4
P	2	18.4	18.5	18.4	0.07	18.5 ± 0.2
MG	2	1931.0	2366.0	2148.5	307.59	1900 ± 11
ZN	2	97.9	137.0	117.4	27.65	95.1 ± 1.3
FE	2	281.0	504.0	392.5	157.68	191 ± 3
V	2	48.1	76.0	62.0	19.73	21.9 ± 0.2
CU	2	5.0	5.0	5.0	0.00	11 ± 1
SR	2	421.0	556.0	488.5	95.46	665 ± 8
BA	2	414.0	492.0	453.0	55.15	996 ± 9

Tabla 6: Concentración de oligoelementos en las muestras de Cerro de la Cabeza 2. Los valores de Ca y P son en porcentaje. El resto de elementos en ppm

**Magnesio:** es un elemento presente en cereales, vegetales verdes y legumbres, mostrando valores relativamente altos tanto en las muestras humanas como en la de fauna. En los herbívoros, por su consumo mayoritario de vegetales verdes, debería observarse la concentración más elevada. El suelo tiene niveles promedios de casi 10000 ppm, valor muy alto que podría sugerir la posibilidad de contaminación en las muestras biológicas, pero no parece ser una hipótesis aceptable dado el comportamiento homogéneo del conjunto de tumbas analizadas.

**Zinc y Cobre:** Ambos elementos químicos son componentes esenciales de enzimas deshidrogenasas. En los últimos años algunos investigadores han cuestionado la utilización del Zn como un indicador fiable de dieta cárnica. (Ezzo, 1992). Por otro lado, tampoco se conoce hasta hoy el modelo fisiológico que explique su uso (Ezzo, 1994b) lo que nos hace ser muy prudentes en su interpretación. González-Abad (1996) en un estudio sobre roedores, detectó variaciones significativas en los niveles de Zn como consecuencia de la exposición a distintas situaciones de estrés fisiológico, aunque en ningún caso se alteró la alimentación recibida por los animales. A pesar de los inconvenientes comentados, este oligoelemento sigue siendo mayoritariamente empleado por los distintos investigadores de este campo, aunque nuestro equipo ya ha planteado la necesidad de dilucidar en los próximos años su utilidad como elemento paleodietético (Trancho et al., 1997; Robledo, 1998). En las muestras humanas valoradas en este trabajo también se analizó el contenido en Zn, pero se ha relacionado con otros elementos, por ejemplo

el Cu, para contrastar su fiabilidad.

En Cerro de la Cabeza los valores de Zn difieren significativamente de los de la fauna, lo que en principio, aceptando su utilidad, nos hace pensar en la existencia de una dieta en la que se incorporan claramente las proteínas. El Cu, que tiene una concentración superior en el suelo, dada su homogeneidad tampoco parece haberse incorporado al hueso de forma importante, incluso el valor de 350 ppm del individuo 1, marcadamente superior al resto, sugiere que el nivel detectado no se debe a contaminación con el terreno.

**Hierro:** Si observamos la concentración de este elemento que es, casi unánimemente, considerado un indicador de diagénesis, vemos como existen diferencias importantes entre el valor máximo (982 ppm) y mínimo (27.1 ppm) de las muestras humanas. La concentración del suelo superior a las 30000 ppm nos indica claramente que la diagénesis de existir sería del suelo al hueso.

**Vanadio:** No existen muchos trabajos en los que se haya valorado el vanadio, sustancia nutritiva esencial para el metabolismo de las grasas. Una dieta rica en algunos tubérculos, cereales, legumbres o leche parecen elevar las concentraciones de este elemento en el hueso. Trancho y colaboradores (1996) estudiaron este microconstituyente en individuos de época prehistórica y detectaron la presencia de niveles superiores de V en niños, relacionándolo con el consumo preferente de leche y productos vegetales. En 1998 Robledo ha relacionado niveles altos de V con la ingesta de dieta blanda y derivados de la leche en población hispanomusulmana. En Cerro de la Cabeza el nivel máximo alcanzado aparece en el individuo inmaduro de la serie 2.

**Estroncio y Bario:** El Sr se asocia con el consumo de productos vegetales y de origen marino. Una relación similar se ha establecido para el Ba en cuya concentración también intervienen los vegetales y el pescado (Burton y Price, 1990). En las muestras humanas de Cerro de la Cabeza encontramos valores de Sr claramente inferiores a los de la fauna.

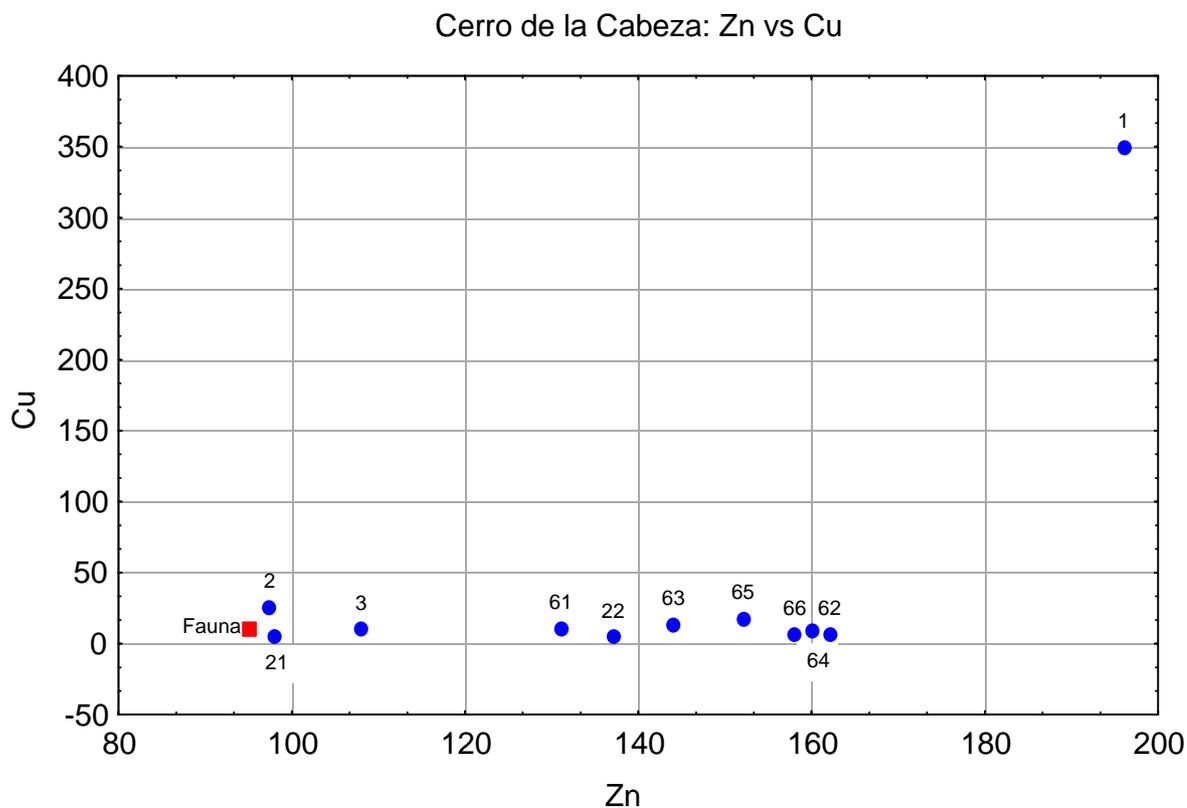
También el Ba permite valorar la ingesta vegetal y se asocia, en general, con productos ricos en fibra como las bayas, frutos secos, tubérculos y legumbres. Como consecuencia de la elevada concentración en el suelo, podemos esperar que los vegetales también lo fijen en su estructura en cantidades importantes, transmitiéndolo al nivel trófico superior y fraccionándolo en los sucesivos. Esta idea parece confirmarse, pues la muestra de herbívoro tiene valores claramente superiores a los humanos.

## Estudio de las necrópolis: variabilidad individual

El análisis se ha realizado representando ambas series osteológicas dado que no tiene sentido biológico el estudio independiente de una muestra de tan sólo dos individuos, máxime cuando no se corresponden ni en el sexo ni en la edad.

Si atendemos a los valores de Zn (Figura 2), todas las muestras humanas tienen concentraciones superiores a las observadas en la fauna. Si aceptamos que este elemento evalúa la ingesta

de proteínas animales, el consumo de este tipo de alimentos parece haber tenido alguna relevancia en los individuos analizados. Sin embargo, los niveles de Cu no aportan grandes diferencias salvo para el individuo 1 claramente distinto del resto. Este resultado sugiere que el individuo 1 tiene la dieta más rica en productos cárnicos de todos los analizados.



**Figura 2:** Contenido Zn vs Cu

La Figura 3 muestra la distribución de Zn-Ba. No se observa variación importante entre las muestras humanas de la tumba múltiple si exceptuamos las 1432 ppm de Ba del individuo 63, claramente superiores a las 576 ppm del suelo, por lo que puede desecharse el efecto diagenético. Según nuestros resultados, esta mujer presenta una marcada ingesta de vegetales ricos en fibra, mientras que el individuo 1 manifestaría los niveles más bajos.

La concentración de V respecto del Zn aparece representada en la Figura 4. Es evidente el mayor contenido de V en los restos humanos, especialmente en la muestra 22 de Cerro de la Cabeza 2. Los niveles más reducidos aparecen en las tumbas 2 y 3. Es obvio que existen marcadas diferencias en los resultados analíticos de ambas series; en nuestra opinión, el contenido de V podría estar reflejando diferencias en la dieta o una variabilidad asociada a la edad. Sabemos que el individuo 22 es un subadulto (ver informe antropológico), y su dieta debe relacionarse con una ingesta mayor de leche y productos vegetarianos.

Cerro de la Cabeza: Zn vs Ba

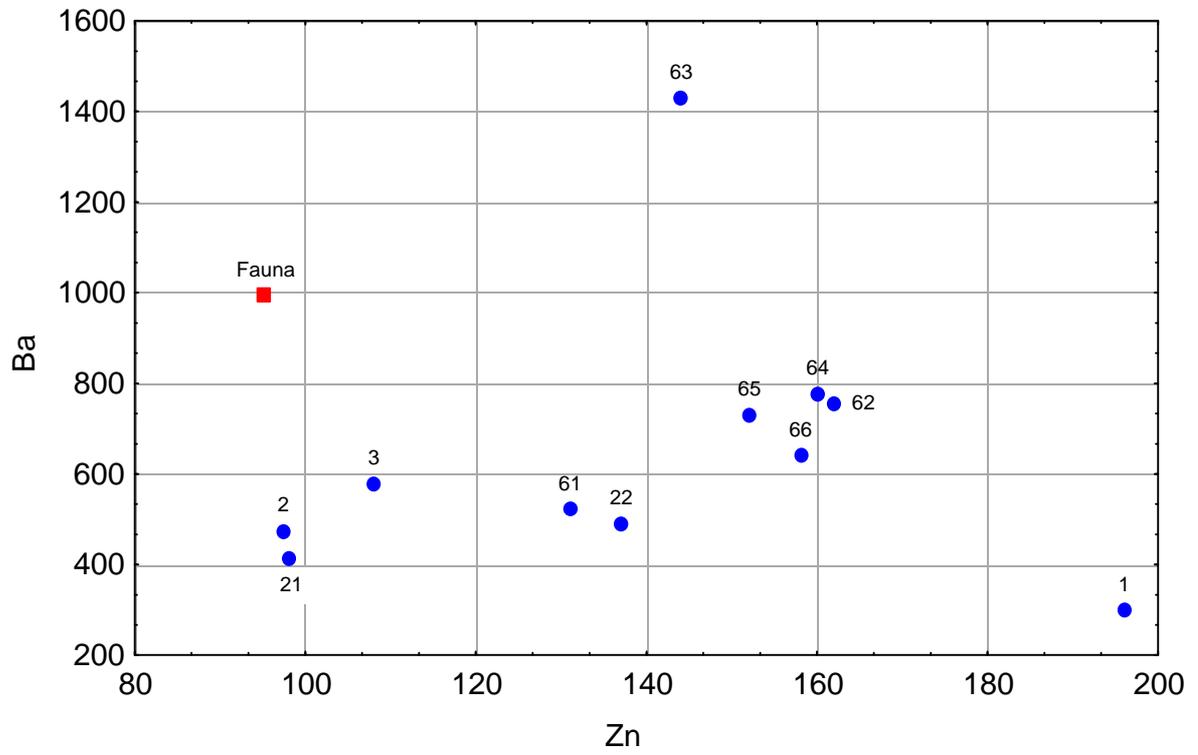


Figura 3: Contenido Zn vs Ba

Cerro de la Cabeza: V vs Zn

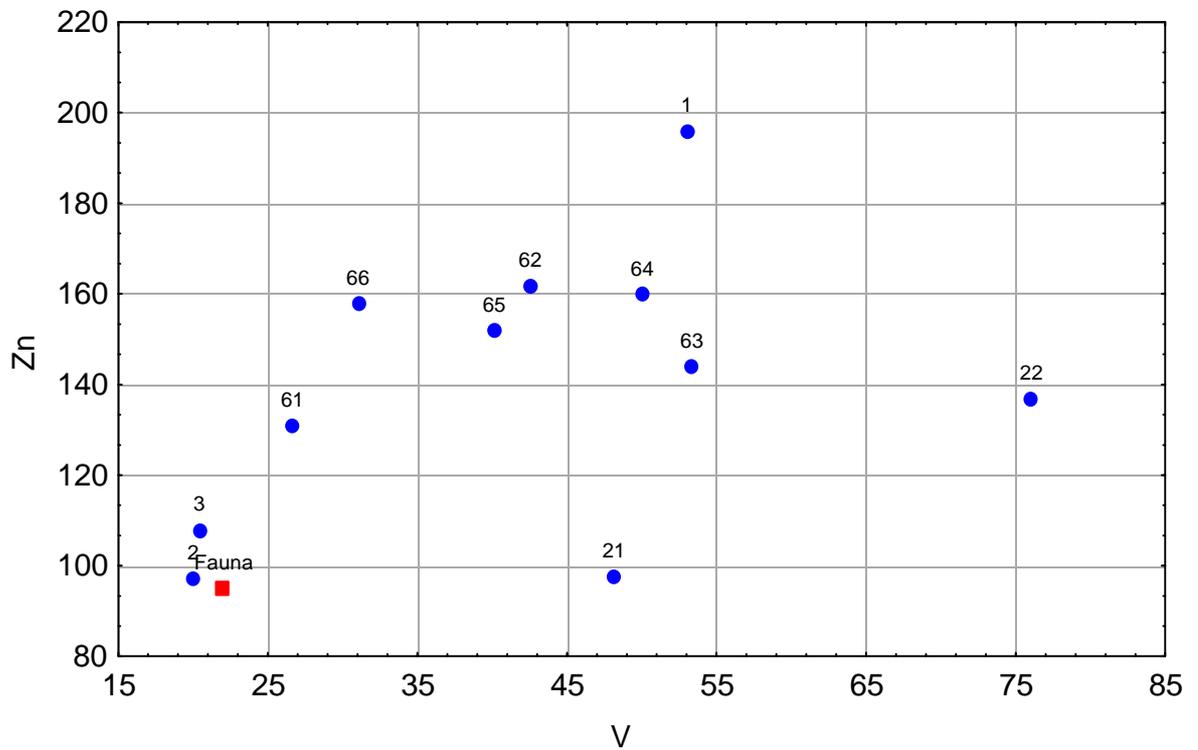
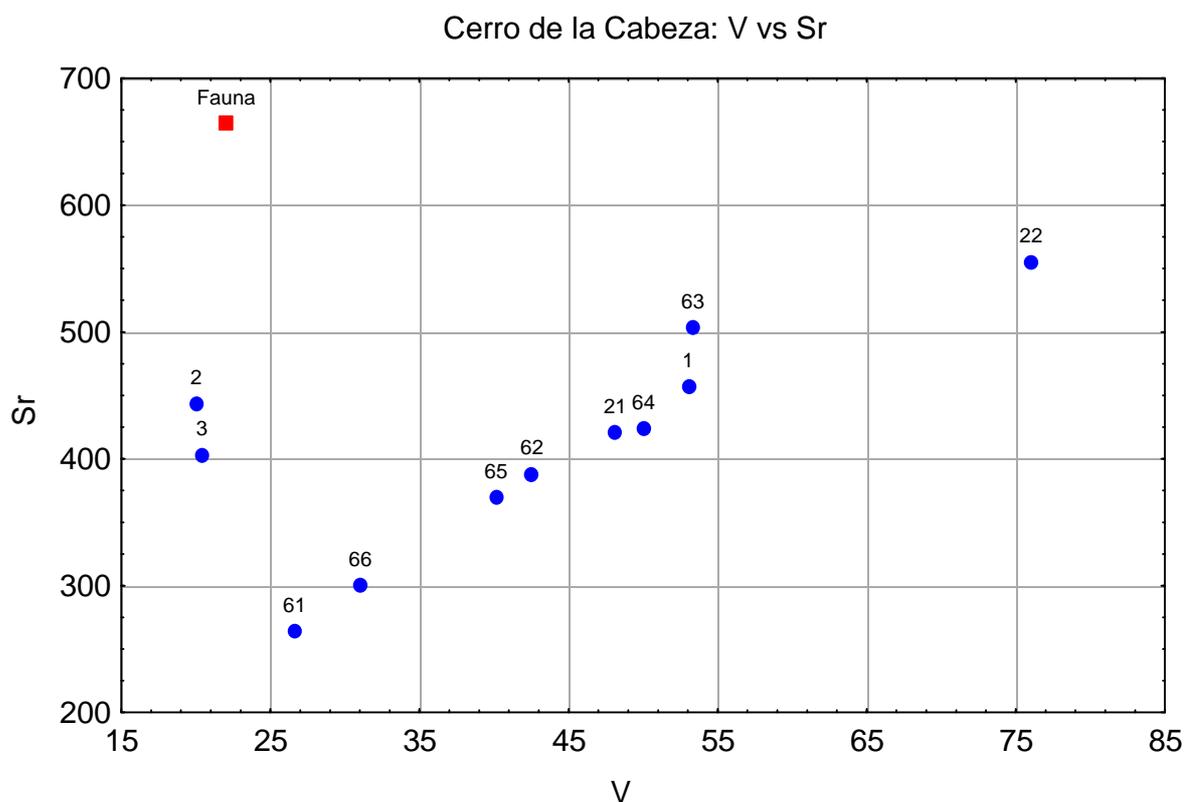


Figura 4: Contenido V vs Zn

Este resultado parece confirmarse por su posición ocupada en la representación V-Sr (Figura 5). Existe una correlación positiva entre los niveles de Sr y V en las muestras humanas y esto sugiere que el nivel de V podría estar relacionado, al menos en parte, con el consumo de vegetales. De ese modo, la fauna tiene, como era de esperar, los valores de Sr más elevados, siendo el individuo 22 el que ocupa el vértice superior derecho debido a la elevada concentración en ambos elementos químicos.



**Figura 5:** Contenido V vs Sr

La mujer 21 tiene niveles bajos de Ba pero altos de Mg (Figura 6) lo que sugiere una dieta más pobre en frutos secos y más rica en cereales. Su comportamiento sería casi idéntico al detectado en el individuo 22, lo que parece sugerir un patrón homogéneo en ambos restos de la tumba doble. Más similar es el contenido en Mg para Cerro de la Cabeza 1, excepto el individuo 3 cuyos valores son parecidos a los del periodo cronológico posterior.

Sin duda uno de los microconstituyentes más útiles para la reconstrucción de paleodieta es el Sr. Este elemento no se encuentra controlado metabólicamente y por esa razón la cantidad ingerida y la retenida en el hueso están fuertemente relacionadas (Ezzo, 1994a). La Figura 7 muestra los resultados para el Sr y el Ba. De acuerdo con el mecanismo de fraccionamiento del estroncio, el herbívoro debería tener una concentración superior a las muestras humanas y los resultados obtenidos en este análisis son consistentes con el comportamiento biológico esperado. Los individuos 22 y 63 serían los de dieta más rica en productos vegetales, diferenciándose entre sí porque el primero consumiría vegetales verdes o cereales mientras que el segundo incorporaría alimentos ricos en fibra como bayas y frutos secos.

Cerro de la Cabeza: Mg vs Ba

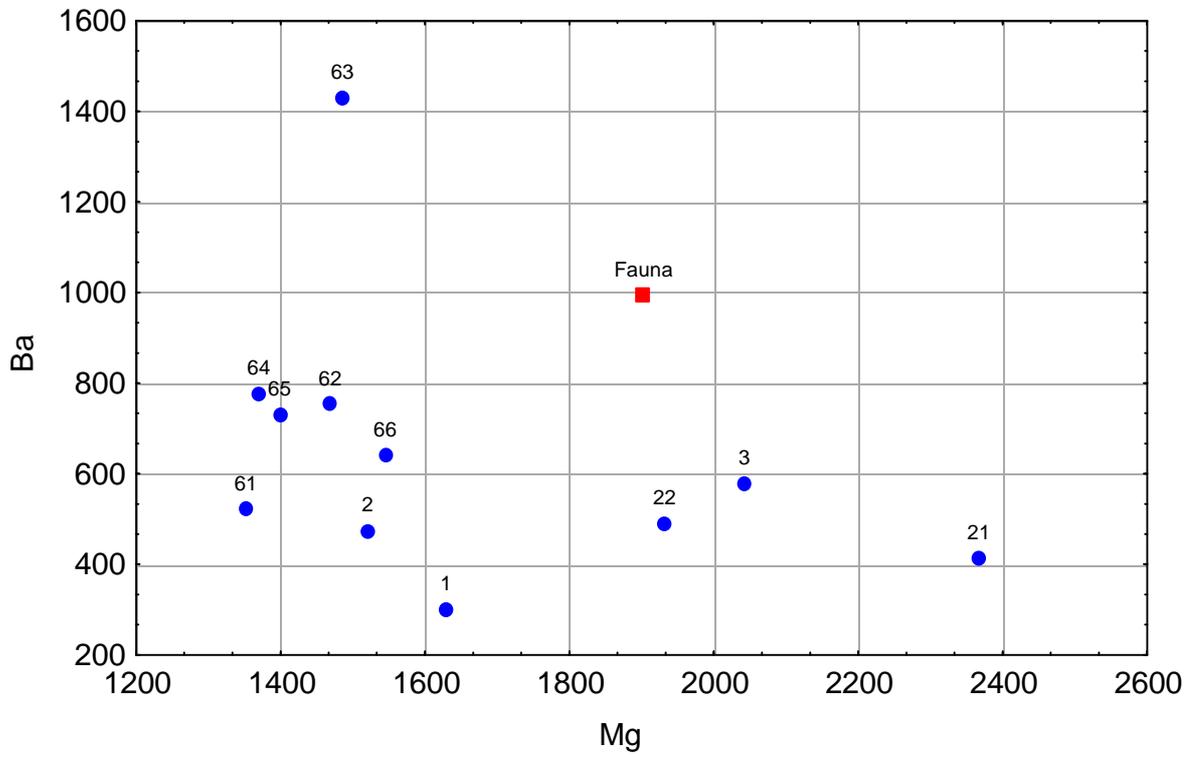


Figura 6: Contenido Mg vs Ba

Cerro de la Cabeza: Sr vs Ba

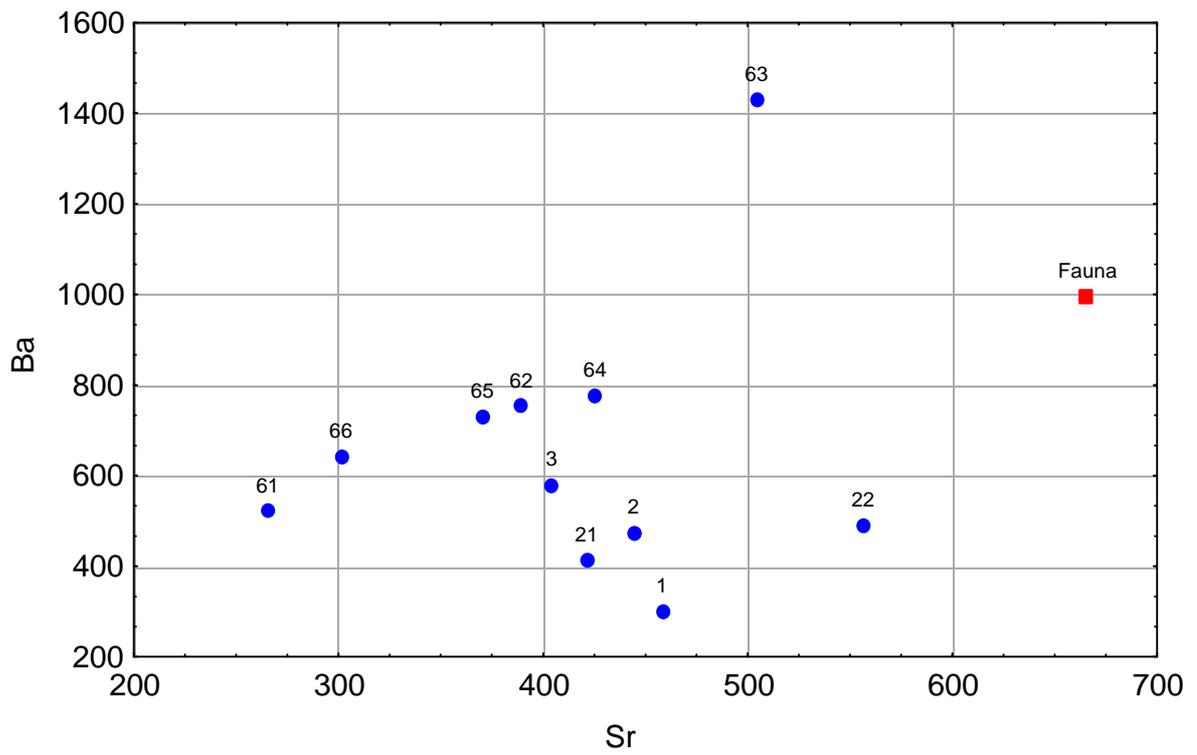
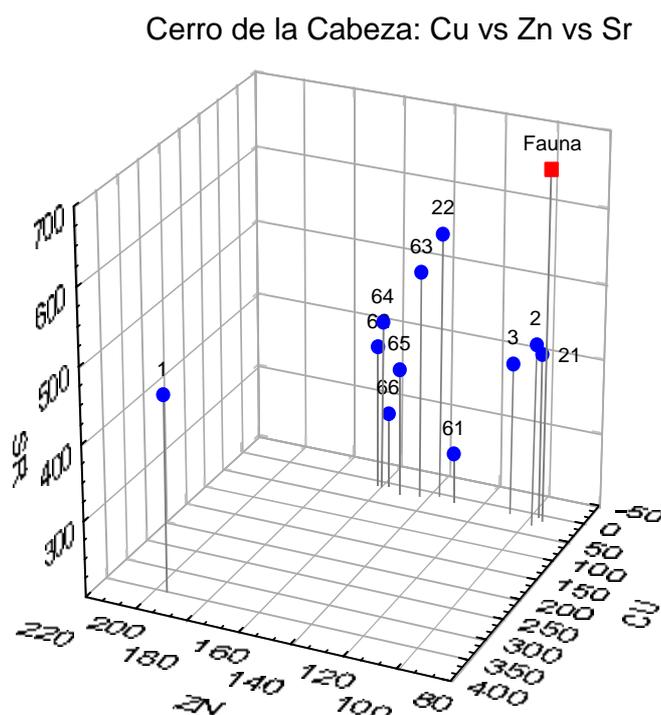


Figura 7: Contenido Sr vs Ba

Si representamos en tres dimensiones las concentraciones de Cu, Zn y Sr (Figura 8) podemos apreciar la marcada diferencia del individuo 1 respecto del resto de los casos analizados. Sin duda tiene la dieta más rica en proteínas animales de todos los estudiados. Los individuos de la tumba múltiple pueden diferenciarse por sus niveles de Sr, algo más elevados en la mujer 63 y más bajos en el varón joven 61. Respecto a Cerro de la Cabeza 2 el subadulto 22 tiene una mayor ingesta de productos ricos en Zn y Sr que la mujer 21. Al representar en la Figura 9 el contenido en V, Sr y Ba, podemos detectar alguna de las diferencias apuntadas en párrafos precedentes; el caso 63 tiene niveles de Ba significativamente superiores a los del resto de muestras analizadas y el individuo 22 se separa marcadamente por sus altos valores de V.



**Figura 8:** Contenido Cu vs Zn vs Sr

Es difícil sospechar un consumo elevado de pescado en Cerro de la Cabeza, de cualquier modo y siguiendo la hipótesis de un aprovechamiento integral del medio, puede pensarse en la ingesta de peces, moluscos o crustáceos del río próximo al yacimiento. Para evaluar esta idea y siguiendo a Burton y Price, (1990) calculamos el índice  $\log(Ba/Sr)$  para estimar la importancia de la ingesta de pescado en las series analizadas. Dichos autores sitúan aproximadamente en -1.6 el valor promedio del índice observado en poblaciones americanas con consumo de pescado. La Figura 10 muestra la relación entre el  $\log(Ba/Sr)$  y el contenido en V y a partir de ella puede deducirse que ninguno de los individuos tiene una alimentación que incluya pescado o crustáceos de forma importante. Todos ellos tienen una dieta basada en productos terrestres. En cualquier caso, según nuestros resultados, parecen más homogéneos entre sí los individuos de la tumba múltiple respecto a los de las individuales.

Cerro de la Cabeza: V vs Sr vs Ba

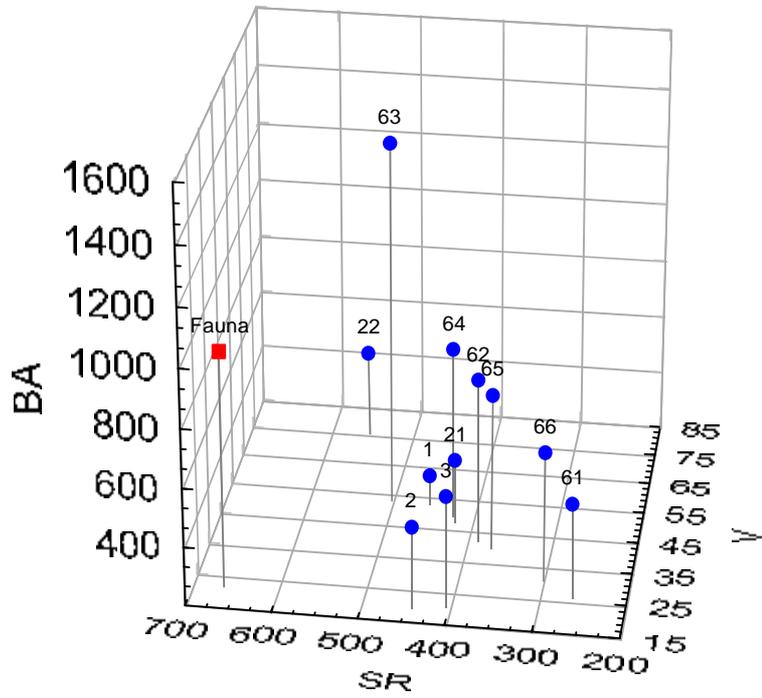


Figura 9: Contenido V vs Sr vs Ba

Cerro de la Cabeza: Log (Ba/Sr) vs V

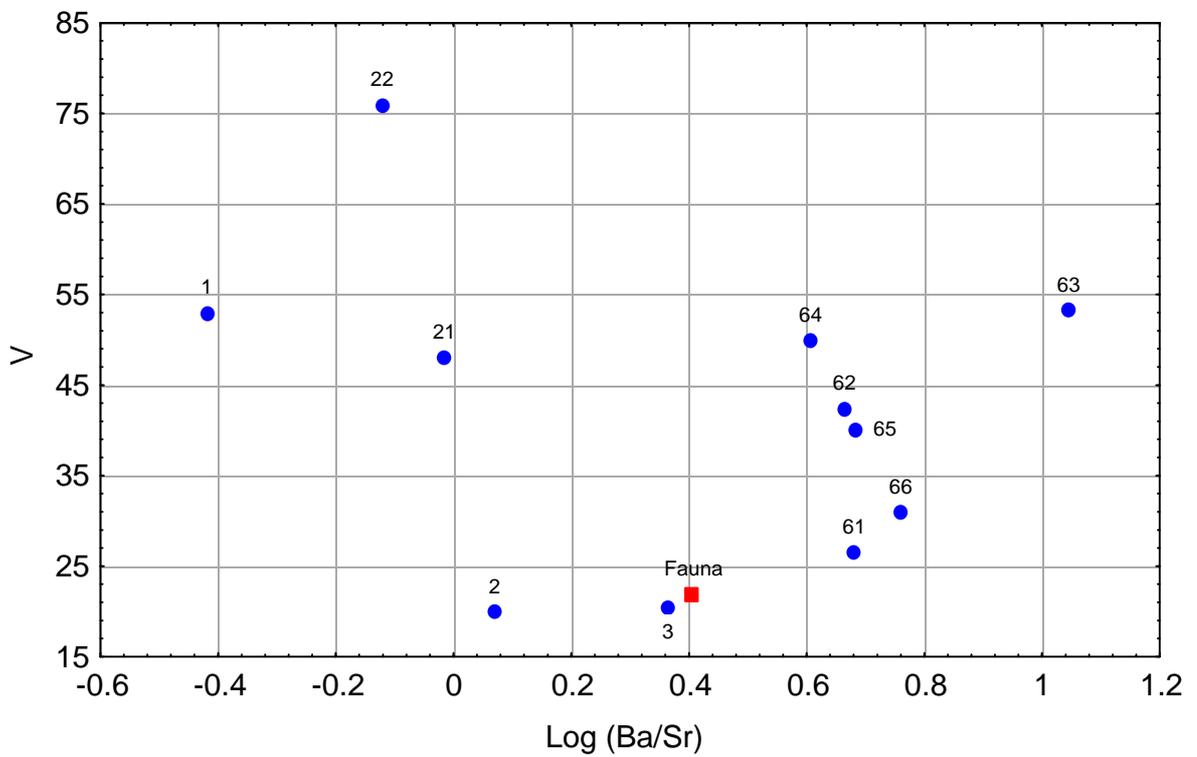
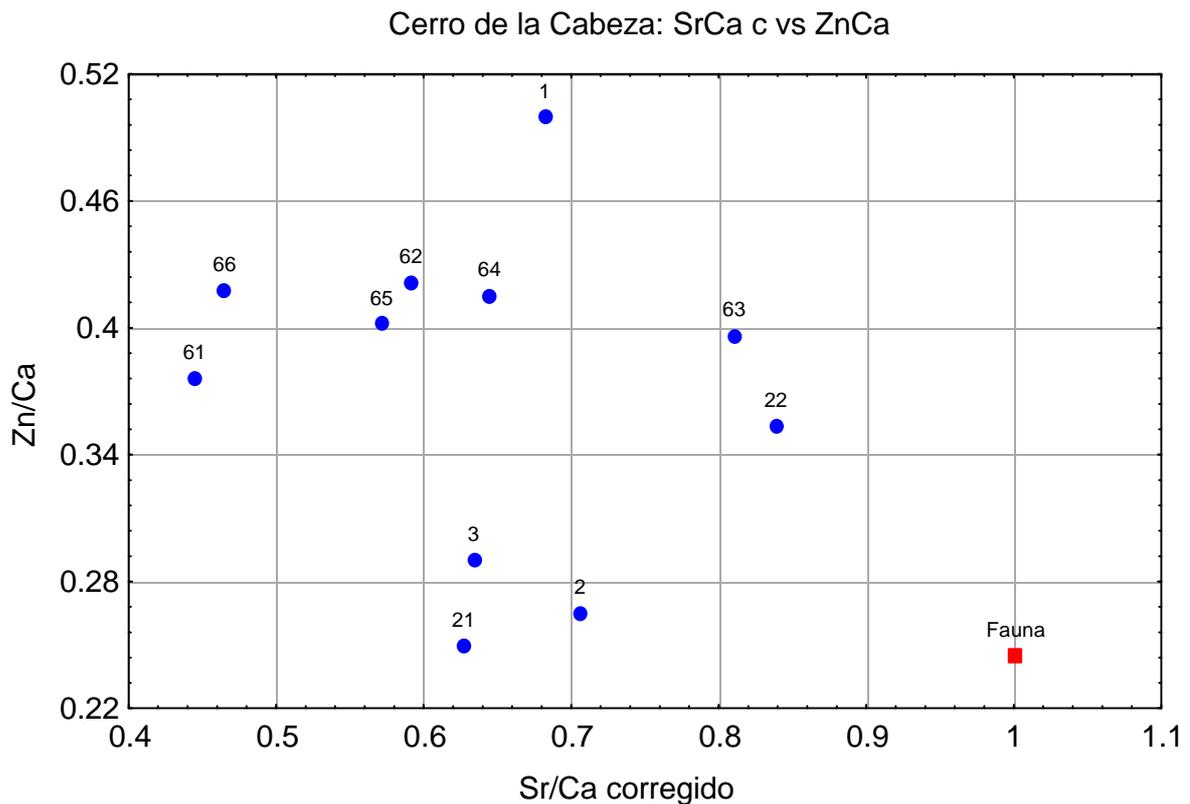


Figura 10: Contenido Log (Ba/Sr) vs V

Para evaluar el patrón económico de un grupo humano los resultados de cada microconstituyente se corrigen respecto al contenido en calcio; éste puede considerarse un valor de referencia al guardar una relación molecular constante en la hidroxiapatita. Recordemos que la concentración de Sr en los distintos niveles de la cadena trófica depende del que posea el suelo, por lo que el índice Sr/Ca se ha corregido con respecto al nivel trófico anterior, es decir, un herbívoro estricto; esto permite comparar distintos yacimientos y referir los niveles de Sr/Ca corregido al patrón definido por Fornaciari y Mallegni en 1987. En cualquier caso, en Cerro de la Cabeza los índices referidos al contenido en Ca deben considerarse sólo como aproximaciones, ya que las muestras perdieron o ganaron calcio con respecto al 37% teórico esperable. A pesar de todo, los índices referidos al Ca, tal y como puede verse en la Figura 11, no difieren de forma significativa de los resultados obtenidos para cada uno de los elementos sin corregir.



**Figura 11:** Índice de vegetarianismo vs Zn/Ca

Si atendemos al índice Sr/Ca corregido (Sr/Ca c) casi todos los individuos analizados se encuentran dentro de los parámetros de una sociedad agrícola, puesto que se sitúan por encima o muy próximos al valor 0.6 establecido para este patrón económico (Figura 11). Sólo los individuos 61 y 66 están claramente por debajo de dicho umbral y serían clasificados como de economía mixta. Como se indicaba anteriormente, el individuo 63 es más vegetariano que el resto de las muestras de la tumba múltiple y el juvenil 22 consume más vegetales que la mujer 21 de la tumba doble. Los niveles de Zn/Ca corresponden, según la metodología de Fornaciari y Mallegni, a una población con ingesta media de

proteínas animales basadas en carne roja. Sólo tres individuos no superan el nivel 0.35 asociado a niveles bajos, los varones 2 y 3 y la mujer 21. El índice del juvenil 1 confirma su alta ingesta de proteínas animales siendo, indudablemente, el de dieta cárnica más rica.

Sin duda los valores reales no son los detectados analíticamente por el ICP-AES. El efecto diagenético estimado mediante el índice Ca/P señalaba la necesidad de corregir las determinaciones del calcio. Dado que la mayoría de las muestras presentaban aumento de este elemento, los valores Sr/Ca y Zn/Ca serían, en general, algo más altos. Sin embargo, la clasificación de ambas poblaciones de Cerro de la Cabeza como series con patrón económico basado en la agricultura no se modificaría de forma esencial, ni afectaría a la consideración de poblaciones con una ingesta media de proteínas basadas en la carne roja.

### Análisis multifactorial: la relación entre elementos traza

También se realizó un análisis de componentes principales (ACP) para valorar la relación existente entre los elementos estudiados reduciendo la variabilidad total observada a tan sólo tres factores que explican el 69% de la misma. El método de extracción fue un ACP con rotación varimax normalizada. La varianza explicada por cada factor aparece en la Tabla 7. Igualmente en ella se reflejan las coordenadas de cada variable para evaluar el significado del análisis factorial. No se tuvieron en cuenta los elementos mayoritarios del hueso, calcio y fósforo, ni tampoco el hierro.

El primer factor está definido por la contribución del Zn, elemento tradicionalmente relacionado con el consumo de carne. Este factor explica el 23% de la variabilidad detectada en las muestras de Cerro de la Cabeza; valor similar al 27% del segundo factor que está caracterizado por Mg y Zn. El magnesio se relaciona con la ingesta de cereales, aunque teóricamente podría asociarse también con fenómenos de contaminación. El tercer factor, explicando el 19% de la varianza, está definido por el Ba, el consumo de frutos secos.

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3
<b>Ba</b>	- 0.172	0.177	<b>- 0.803</b>
<b>Cu</b>	0.639	0.051	0.265
<b>Mg</b>	0.012	<b>- 0.840</b>	0.153
<b>Sr</b>	0.300	- 0.572	- 0.609
<b>V</b>	0.546	- 0.086	- 0.103
<b>Zn</b>	<b>0.756</b>	<b>0.736</b>	0.093
<b>Varianza</b>	23.3%	26.9%	18.8%

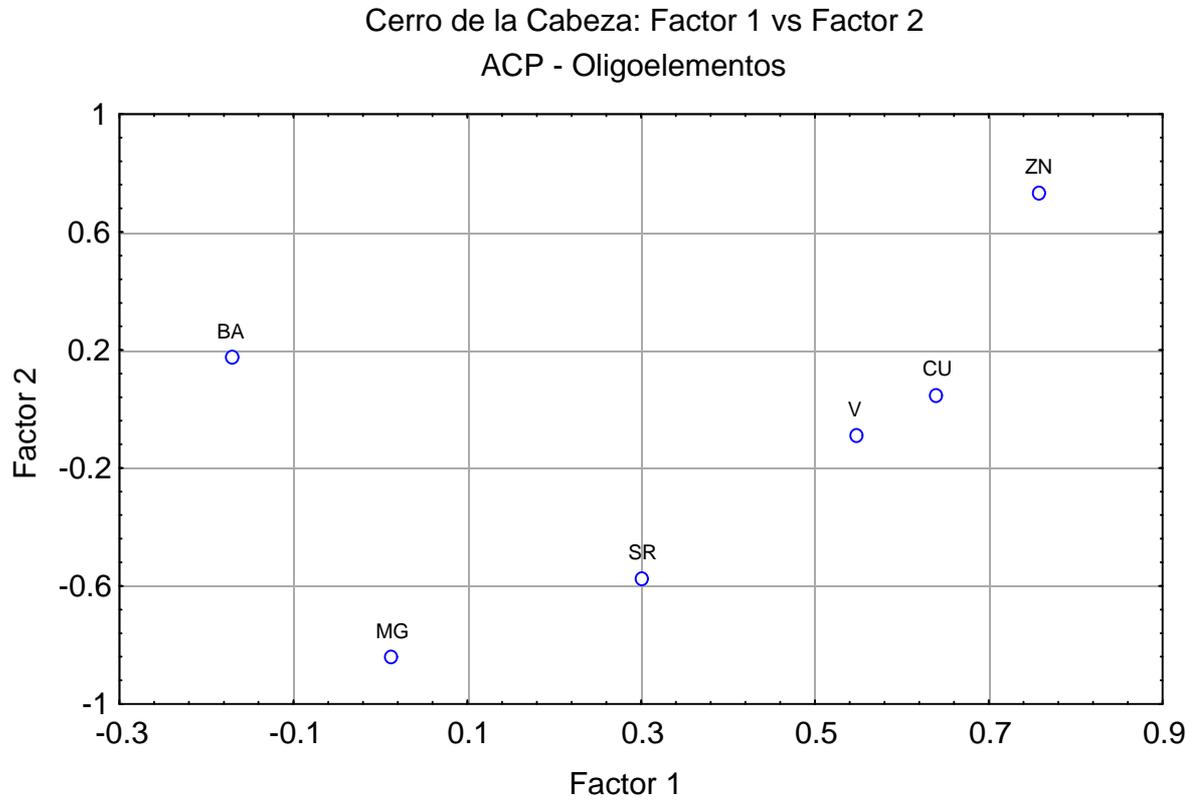
Tabla 7: Coordenadas de las variables analizadas y varianza explicada por cada factor

En negrita aparece la contribución significativa de cada factor

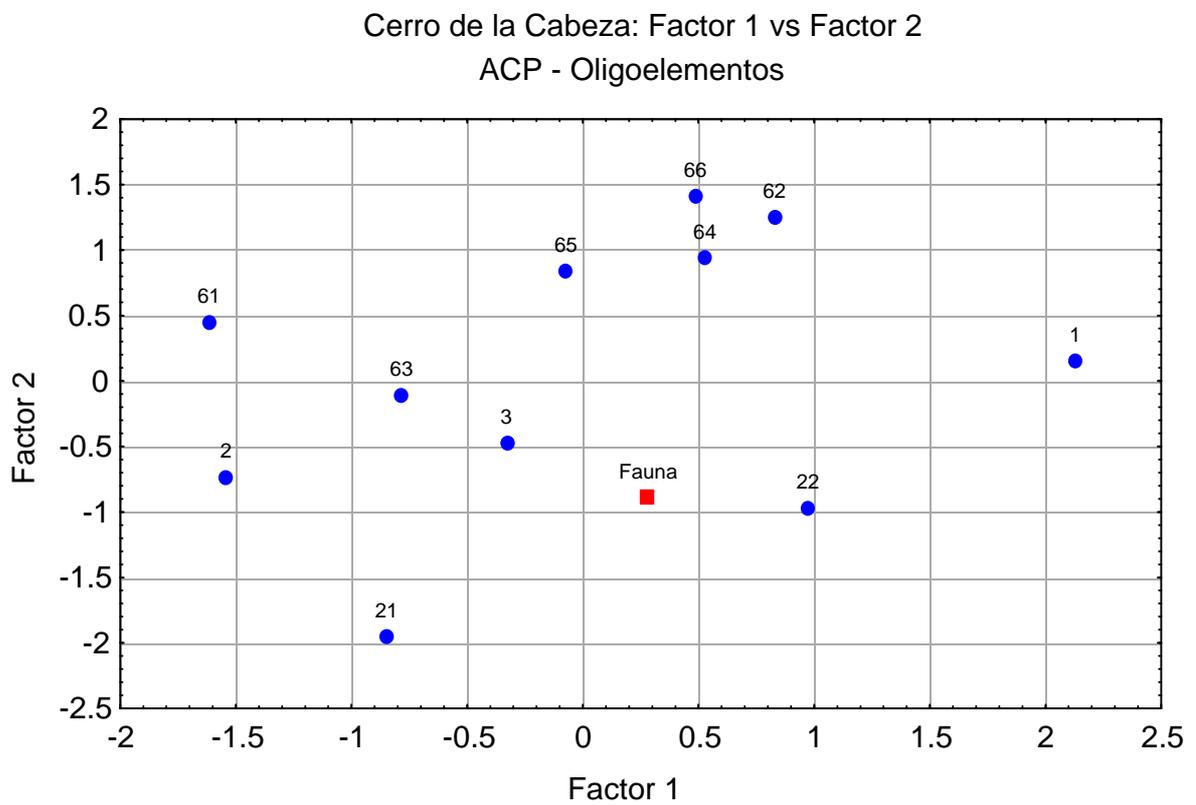
La Figura 12 permite conocer la posición espacial de los factores 1 y 2 que definen las variables anteriores, y a partir de ella podemos interpretar de forma simple la posición relativa del conjunto de muestras óseas analizadas. En el lado derecho con valores positivos aparecen los elementos asociados con el consumo de carne y productos lácteos: Zn, Cu y V. En la parte negativa inferior aparece el Mg indicador de ingesta vegetal de cereales. Los restos juveniles 1 y 22 (Figura 13) se sitúan en la zona derecha de la gráfica poniendo en evidencia la fuerte influencia en la dieta del Zn y V, es decir de proteínas animales y productos lácteos. En la zona superior podemos observar como se sitúan los casos 62, 64, 65 y 66, con valores elevados de Zn y bajos de Mg, son individuos con una dieta pobre en cereales pero con ingesta de productos cárnicos superior a la de las tumbas 2 y 3. La mujer 63 se caracteriza por consumir elementos ricos en Ba, probablemente más frutos secos, mientras que la 21 se diferencia claramente por su dieta basada en productos ricos en Mg y el individuo juvenil 61 presenta una alimentación menos definida en la que no predomina ninguno de los elementos químicos evaluados.

En conclusión, y aceptando estos resultados como provisionales debido a las limitaciones impuestas por el tamaño muestral, el patrón económico general detectado en Cerro de la Cabeza se ha visto ligeramente modificado con el tiempo. Cerro de la Cabeza 1 corresponde a una sociedad mixta o agrícola con una dieta basada en productos vegetales, ricos en fibra, bayas, legumbres y frutos secos, pero con una ingesta media en proteínas de origen animal. Este patrón es más marcado en los individuos enterrados en la tumba múltiple, ya que los restos de las tumbas 2 y 3 tienen una ingesta pobre de productos cárnicos y algo más rica en cereales. El individuo 1 es sin duda el caso más discrepante de todos los evaluados. Su situación sugiere una dieta vegetariana, muy rica en carne, pobre en frutos secos, pero con algo de leche y cereales. Sin embargo, Cerro de la Cabeza 2 representa a una sociedad con patrón económico claramente agrícola en la que predominan los cereales y los productos lácteos, pero con ingesta de carne más baja que la fase anterior. Representada tan sólo por dos individuos, una mujer y un subadulto, queda el interrogante del patrón alimenticio correspondiente a los varones, problema que sólo puede solucionarse incrementando el número de individuos analizados en la zona. Se plantea así en este trabajo, la importancia de desarrollar nuevas excavaciones en el área de Cerro de la Cabeza o en sus proximidades para confirmar los resultados analíticos obtenidos.

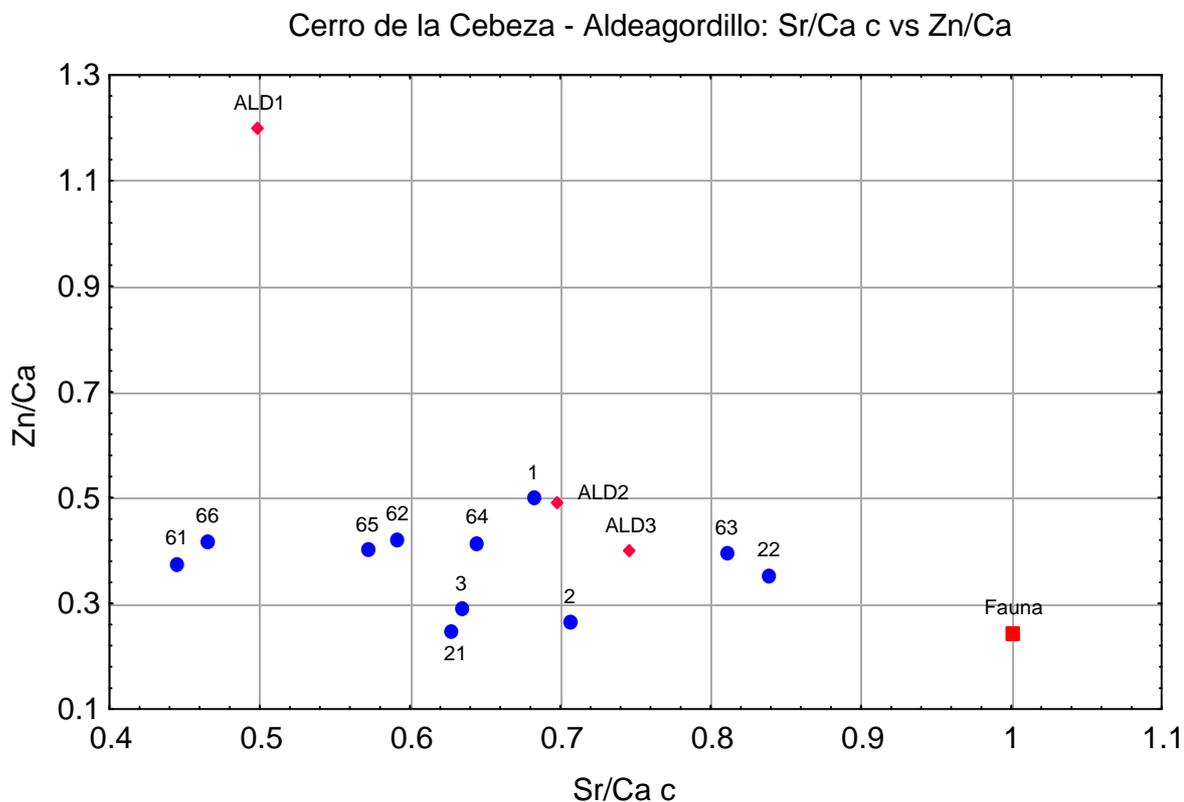
Análisis previos (Trancho et al., 1996) realizados en Aldeagordillo (1735 ± 25 a. C. hacia 2080 cal. BC) permiten comparar el tipo de dieta detectado en ambos yacimientos. La Figura 14 indica que el patrón alimenticio de Cerro de la Cabeza 1 y Aldeagordillo es muy similar. ALD2 y ALD3 presentan un índice de vegetarianismo elevado y una ingesta de proteínas animales que no difiere de la detectada en la tumba múltiple o en el subadulto de la tumba 1. Siendo ambos individuos infantiles, su posición relativa demuestra una marcada dieta vegetal con un contenido alto de vanadio. En nuestra opinión, parece existir un comportamiento común entre los individuos inmaduros, si exceptuamos el caso 61, tienen una dieta más vegetariana que los varones adultos y un consumo de carne casi idéntico. Sólo la mujer 63 ingiere más productos vegetales, sugiriendo una diferenciación sexual en el aprovechamiento dietético de los recursos. Los niños y las mujeres incluyen en su dieta más alimentos ricos en vanadio que los varones adultos, probablemente productos lácteos, ya sea leche o queso.



**Figura 12:** Análisis de Componentes Principales. Posición relativa de las variables analizadas



**Figura 13:** Análisis de Componentes Principales. Posición relativa de los individuos analizados



**Figura 14:** Índice de vegetarianismo corregido vs Zn/Ca en Cerro de la Cabeza y Aldeagordillo

Difiere claramente el varón adulto ALD1 que parece caracterizarse por una ingesta muy elevada en proteínas animales pero sólo media en productos vegetales. ¿Podría tratarse de un individuo exógeno a la población de Aldeagordillo y Cerro de la Cabeza? o ¿como consecuencia de su enterramiento secundario se ha producido una diagénesis importante?. Resulta muy difícil decidirse por una u otra posibilidad, en especial al no contar con ninguna analítica del suelo para evaluar el contenido elemental en la muestra de tierra y poder desechar la última hipótesis. Quizá una reevaluación arqueológica pudiese aportar luz a este problema.

Los restos infantiles de Aldeagordillo no difieren significativamente del individuo inmaduro 22 de Cerro de la Cabeza 2; simplemente parecen ser algo menos vegetarianos y consumir más carne. Sin embargo su dieta difiere claramente de la mujer 21, son más carnívoros y como casi todos los inmaduros, ingieren más productos vegetales.

El análisis de oligoelementos realizado en Cerro de la Cabeza y Aldeagordillo parece mostrar un modelo económico basado en los productos vegetales en ambas zonas arqueológicas. Cerro de la Cabeza 1es más similar a Aldeagordillo que Cerro de la Cabeza 2, pero se hace preciso contrastar estos resultados debido al reducido tamaño muestral analizado y a las diferencias en la distribución por sexo y edad. Cerro de la Cabeza 1 está bien representado para los varones, pero sólo se ha detectado un individuo femenino adulto en esta serie; Cerro de la Cabeza 2 está constituido por un niño y una mujer;

mientras que Aldeagordillo está definido por dos niños y un varón adulto. Es evidente la dificultad de reconocer diferencias específicas con un número tan reducido de casos, sin embargo, el análisis de elementos traza parece indicar que las características ecológicas y de aprovechamiento del entorno de ambos yacimientos fueron similares. Queda por dilucidar la posible existencia de diferencias sociales, pero para ello se hace imprescindible relacionar el ajuar funerario con el contenido químico elemental evaluado aquí; sin duda una tarea de extraordinario interés en posteriores trabajos coordinados y, al mismo tiempo, de gran complejidad al tratarse mayoritariamente de enterramientos con más de un individuo.

## BIBLIOGRAFIA

- BARAYBAR J.P. y DE LA RUA C. (1995) Estudio antropológico de la población de Pico Ramos (Muskiz, Bizkaia). *Munibe*47: 151-175.
- BECK L.A. (1985) Bivariate analysis of trace elements in bone. *J. Hum. Evol.* 14 (5): 493-502.
- BUIKSTRA J.E., FRANKENBERG S. LAMBERT J.B. y XUE L. (1989) Multiple elements: multiple expectations. En: **The chemistry of prehistoric human bone**. T.D. Price (Ed). Cambridge University Press.
- BURTON J.H. y PRICE T.D. (1990) The ratio of barium to strontium as a paleodietary indicator of consumption of marine resources. *J. Archaeol. Science.* 17: 547-557.
- EZZO J.A. (1992) A test of diet versus diagenesis at Ventana Cave, Arizona. *J. Archaeol. Science.* 19: 23-37.
- EZZO J.A. (1994a) Putting the "chemistry" back into archaeological bone chemistry analysis: modeling potential paleodietary indicators. *J. Anthrop. Archaeol.* 13: 1-34.
- EZZO J.A. (1994b) Zinc as a paleodietary indicator: an issue of theoretical validity in bone-chemistry analysis. *Am. Antiquity.* 59 (4): 606-621.
- EZZO J.A., LARSEN C.S. y BURTON J.H. (1995) Elemental signatures of human diets from the Georgia Bight. *Am. J. Phys. Anthrop.*98: 471-481.
- FORNACIARI G. y MALLEGNIF. (1987) Palaeonutritional studies on skeletal remains of ancient populations from the Mediterranean area: an attempt to interpretation. *Anthrop. Anz.* 45 (4): 361-370.
- FRANCALACCI P. (1989) Dietary reconstruction at Arene Candide Cave (Liguria, Italy) by means of trace element analysis. *J. Archaeol. Science.* 16: 109-124.

- FRANCALACCI P. (1995) DNA recovery from ancient tissues: problems and perspectives. *Hum. Evol.* 10 (1):81-91.
- GONZALEZ-ABAD M.J. (1996) **Efectos del estrés crónico y actividad GC sobre el crecimiento: modificaciones en el esqueleto craneal de la rata.** Tesis doctoral. Universidad Complutense.
- HATCH J.W. y BLAKELY R.L. (1985) Status-specific dietary variation in two world cultures. *J. Hum. Evol.* 14 (5): 469-476.
- JIMENO A., TRANCHO G.J., MORALES F., ROBLEDO B. y LOPEZ-BUEIS, I. (1996) Ritual y dieta alimenticia: la necrópolis celtibérica de Numancia. *Numantia, Antropología en Castilla y León* 6, 31-44.
- KATZENBERG M.A. (1992) Advances in stable isotope analysis of prehistoric bones. En: **Skeletal biology of past peoples: research methods.** S.R. Saunders y A. Katzenberg (Eds). Wiley-Liss.
- KLEPINGER L.L. (1990) Magnesium ingestion and bone magnesium concentration in paleodietary reconstruction: cautionary evidence from an animal model. *J. Archaeol. Science.* 17: 513-517.
- KRUEGER H.W. y SULLIVAN C.H. (1984) Models for carbon isotope fractionation between diet and bone. En: **Stable Isotopes in Nutrition.** J.R. Turnland & P.E. Johnson, Eds. Washington DC: Am. Chem. Soc. Symp. Series nº 28: 205-220.
- KYLE J.H. (1986) Effect of post-burial contamination on the concentrations of major and minor elements in human bones and teeth- The implications for palaeodietary research. *J. Archaeol. Science.* 13: 403-416.
- LAMBERT J.B., XUE L. y BUIKSTRA J.E. (1989) Physical removal of contaminative inorganic material from buried bone. *J. Archaeol. Science.* 16: 427-436.
- LAMBERT J.B., SIMPSON S.V., BUIKSTRA J.E. y HANSON D. (1983) Electron microprobe analysis of elemental distribution in excavated human femurs. *Am. J. Phys. Anthropol.* 62: 409-423.
- LAMBERT J.B., SIMPSON S.V., SZPUNAR C.B. y BUIKSTRA J.E. (1984) Copper and barium as dietary discriminants: the effects of diagenesis. *Archaeometry* 26: 131-138.
- LAMBERT J.B., SIMPSON S.V., SZPUNAR C.B. y BUIKSTRA J.E. (1985) Bone diagenesis and dietary analysis. *J. Hum. Evol.* 14 (5): 477-482.
- LAMBERT J.B., WEYDERT J.M., WILLIAMS S.R. y BUIKSTRA J.E. (1990) Comparison of methods for the removal of diagenetic material in buried bone. *J. Archaeol. Science.* 17: 453-468.
- LOWENSTAM H.A. y WEINER S. (1989) **On biomineralization.** Oxford University, Oxford.
- MALGOSA A. y SUBIRA M.E. (1996) Antropologia i dieta: metodologies per a la reconstrucció de l'alimentació

de poblacions antigues. *Cota Zero*, 12: 15-27

- MARTIN O. (1993) **Determinación elemental de componentes mayoritarios, minoritarios y traza en tejido óseo por espectrometría de emisión por plasma de acoplamiento inductivo**. Memoria de Licenciatura. Universidad Autónoma de Madrid.
- OSTER O. (1988) The diagnosis of disease by elements analysis. En: **Trace elements in environmental history**. G. Grupe y B. Hermann (Eds). Springer-Verlag.
- PATE D. y BROWN K.A. (1985) The stability of bone strontium in the geochemical environment. *J. Hum. Evol.* 14 (5): 483-491.
- PRICE T.D. (1989) Multi-element studies of diagenesis in prehistoric bone. En: **The chemistry of prehistoric human bone**. T.D. Price (Ed). Cambridge University Press.
- PRICE T.D. y KAVANAGH M. (1982) Bone composition and the reconstruction of diet: examples from the midwestern United States. *Midcontinental J. Archaeol.* 7: 61-79.
- PRICE T.D., SCHOENINGER M.J. y ARMELAGOS G.J. (1985) Bone chemistry and past behaviour: an overview. *J. Hum. Evol.* 14 (5): 419-447.
- PRICE T.D., BLITZ J., BURTON J. y EZZO J.A. (1992) Diagenesis in prehistoric bone: problems and solutions. *J. Archaeol. Science.* 19: 513-529.
- ROBLEDO B. (1998) **Dieta, indicadores de salud y caracterización biomorfológica de la población medieval musulmana de Xarea (Vélez Rubio, Almería)**. Tesis doctoral. ISBN 84-922857-2-9. UCM. Madrid.
- RUNIA L. (1988) Discrimination factors on different trophic levels in relation to the trace element content in human bones. En: **Trace elements in environmental history**. G. Grupe y B. Hermann (Eds). Springer-Verlag.
- SANDFORD M.A. (1992) A reconsideration of trace element analysis in prehistoric bone. En: **Skeletal biology of past peoples: research methods**. S.R. Saunders y A. Katzenberg (Eds). Wiley-Liss.
- SCHOENINGER M.J. (1989) Reconstructing prehistoric human diet. En: **The chemistry of prehistoric human bone**. T.D. Price (Ed). Cambridge University Press.
- SILLEN A. (1989) Diagenesis of the inorganic phase of cortical bone. En: **The chemistry of prehistoric human bone**. T.D. Price (Ed). Cambridge University Press.
- SILLEN A. y KAVANAGH M. (1982) Strontium and paleodietary research: a review. *Yearbook Phys. Anthropol.* 25: 67-90.

- TOOTS H. y VOORHIES M.R. (1965) Strontium in fossil bones and the reconstruction of food chains. *Science*, 149: 854-855.
- TRANCHO G.J., LOPEZ-BUEIS I. y ROBLEDO B. (1997) **Paleodieta de la población ibérica de Villasviejas del Tamuja. Análisis de la necrópolis de El Mercadillo (Botija, Cáceres)**. ISBN 84-922857-1-0. UCM. Madrid.
- TRANCHO G.J., ROBLEDO B. y LOPEZ-BUEIS I. (1995) **Necrópolis celtibérica de Numancia: determinación de la dieta mediante elementos traza. (Informe correspondiente a la campaña de 1993)** UCM. Madrid.
- TRANCHO G.J., ROBLEDO B., LOPEZ-BUEIS I. y FABIAN F.J. (1996) Reconstrucción del patrón alimenticio de dos poblaciones prehistóricas de la Meseta Norte. *Complutum*, 7: 73-90.
- TRANCHO G.J., ROBLEDO B. y LOPEZ-BUEIS I. (1998) **Numancia: análisis paleonutricional de una población celtíbera**. ISBN 84-922857-3-7. UCM. Madrid.
- WHITE C.D. (1993) Isotopic determination of seasonality in diet and death from Nubian mummy hair. *J. Archaeol. Science*. 20:657-666.
- WHITE C.D. y SCHWARCZ P. (1994) Temporal trends in stable isotopes for Nubian mummy tissues. *Am. J. Phys. Anthropol.* 93: 165-187.
- ZUMKLEY H. y SPIEKER C. (1988) The bioavailability of trace elements and age-specific trace element metabolism. En: **Trace elements in environmental history**. G. Grupe y B. Hermann (Eds). Springer-Verlag.