

LA MEDICIÓN DE PARÁMETROS DIAGENÉTICOS: COMPRENSIÓN DE LOS MODELOS DE DIAGÉNESIS

Roberto Rodríguez Suárez

*Laboratorio de Arqueometría del Museo Antropológico "Montané",
Facultad de Biología, Universidad de La Habana*

RESUMEN

Se presentan los resultados de la evaluación de un conjunto de parámetros diagenéticos con la finalidad de determinar las posibles relaciones entre ellos y las consecuencias para el estado de conservación del material óseo. El análisis de las interdependencias de los mismos permite la construcción del modelo que ilustra el patrón de diagénesis en el proceso dinámico de interacción entre el hueso y su contexto de enterramiento. Para ello se partió del análisis de dos colecciones óseas: una formada por restos esqueléticos infantiles correspondientes a un sitio arqueológico del Occidente de Cuba y la otra, una muestra de huesos de cánidos prehispánicos recuperados de cuevas y túneles de Teotihuacan, México.

PALABRAS CLAVE: restos óseos, proceso diagenético, tafonomía, paleodieta.

ABSTRACT

The results of the evaluation of a group of diagenetic parameters are presented with the intention of determining the possible relationships between them and the consequences for the state of conservation of the bony material. The analysis of the interdependences of the same ones, allows the construction of the model that illustrates the diagenetic pattern in the dynamic process of interaction between the bone and its burial context. For this, we developed the analysis of two bony collections; one conformed by infantile skeletal remains correspond-

ing to an archaeological site of Western Cuba and the other one, a sample of prehispanic dog bones recovered from caves and tunnels of Teotihuacan, Mexico.

KEY WORDS: osteological remains, diagenetic process, taphonomy, paleodiet.

INTRODUCCIÓN

El hueso es un material complejo caracterizado por poseer información almacenada en diferentes niveles, como el molecular, isotópico, bioquímico y estructural, los cuales se alteran por efectos de la *diagénesis*.¹ Durante este proceso, los cambios que se producen en el tejido óseo son disímiles e implican pérdidas, adiciones y sustituciones que se manifiestan tanto a escala macroscópica como microscópica. Esto trae implícito alteraciones que alejan al hueso de su condición normal modificando y, en muchos casos, anulando en variable medida la validez de la señal biogénica.

Entre los cambios que tienen lugar en el tejido óseo durante el entierro se encuentran: la ruptura y posterior pérdida del colágeno; el ataque microbial; la incorporación de cationes y sustancias orgánicas circulantes; la alteración y lixiviación de la matriz mineral, así como la infiltración con depósitos minerales (Hedges 2002). Tales cambios tienen un origen multifactorial y la magnitud de los mismos es una función directa de los nichos particulares en que se encuentran inmersos los huesos. Es decir que, aun para un mismo sitio, las alteraciones pueden ser de variable magnitud en correspondencia con las condiciones naturales del contexto o por modificaciones culturales, tanto de los huesos como del sustrato mismo.

De esta manera, la medición de *parámetros diagenéticos*² permite caracterizar la existencia de *patrones de alteración*³ que se afilian con

¹ Procesos físico-químico-biológicos que tienen lugar en el hueso debido a la interacción con el contexto de enterramiento y que lleva implícito alteraciones de su composición y estructura.

² Indicadores físico-químicos de posible deterioro del tejido óseo.

³ Estado general del hueso como resultado de la incidencia de los parámetros diagenéticos en los contextos particulares.

modelos diagenéticos,⁴ los cuales explican en cierta medida las interrelaciones entre dichos parámetros y las consecuencias para el diagnóstico de la condición de un hueso seleccionado con fines arqueométricos. Estos patrones no son únicos y dependen de las condiciones ambientales; de tal manera que en sitios diferentes podrán describirse patrones igualmente diferentes.

Dado que el tejido óseo resulta el sustrato de incidencia para los disímiles enfoques de investigaciones en las que se recaba una señal biogénica de calidad, en el presente trabajo nos proponemos el estudio de diferentes parámetros diagenéticos. Tomamos como ejemplo su evaluación en los materiales esqueléticos de dos sitios arqueológicos partiendo del principio que es posible llegar a consenso en cuanto a la factibilidad en la realización de un análisis posterior si se comprende la dinámica de los cambios ocurridos.

La intención en este caso es mostrar cómo el estudio integral de los indicadores de deterioro permite comprender la forma como se interrelacionan y la posible interpretación acerca del “estado de salud” del material óseo.

HUESOS INFANTILES DE LA CUEVA DEL INFIERNO Y LOS CÁNIDOS DE LA CUENCA DE MÉXICO

La Cueva del Infierno se encuentra aproximadamente a 6 km de la cabecera municipal de San José de las Lajas, provincia de La Habana, y a 150 m sobre el nivel del mar, en las elevaciones de San Francisco de Javier, aproximadamente a 20 km al sureste de la ciudad de La Habana, Cuba (figura 1).

El sitio dentro de la cueva es denominado “Bacuranao” por la cercanía al nacimiento de un río con este nombre. Fue excavado en 1995, estudiándose un área de 27 m² y hasta una profundidad de 0.45m. Entre los 0.12 y 0.45m se encuentran 54 enterramientos conformados por nueve adultos, dos adolescentes y el resto de niños con edades entre 0 y cinco años en el momento de la muerte (García 1997).

⁴ Esquema interpretativo que permite describir y comprender la dinámica de los procesos que tuvieron lugar en la historia de las interacciones del tejido óseo y su contexto.

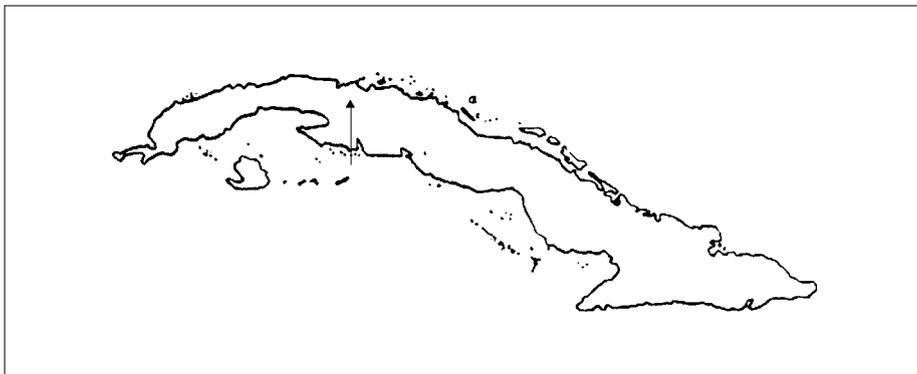


Figura 1. Ubicación de la Cueva del Infierno.

Por su parte, los huesos procedentes de Teotihuacan corresponden a cánidos rescatados de la Cueva del Pirul y de la Cueva de las Varillas, ambas excavadas en la década pasada por la doctora Linda Manzanilla dentro del proyecto “Túneles y cuevas”. La muestra empleada está compuesta por perros comunes e híbridos de lobo y perro (loberros), así como dos ejemplares de coyote. La temporalidad se determinó por ^{14}C y el material arqueológico asociado (Rodríguez *et al.* 2003).

MEDICIÓN DE PARÁMETROS DIAGENÉTICOS

Las dos colecciones incluidas en este estudio fueron analizadas en diferente momento, por lo cual algunos indicadores fueron medidos en un sitio y en otro no. En el caso de la Cueva del Infierno, tanto las muestras de suelo como de hueso utilizadas en este estudio proceden del área de enterramientos.

CUEVA DEL INFIERNO

Análisis de suelo

Se tomaron 25 muestras de suelo, todas asociadas con material óseo excepto una. Las mismas se secaron al aire y se tamizaron, empleando

una malla 50 con la finalidad de eliminar pequeñas raíces y piedras, así como fragmentos de hueso.

-Determinación del color:

Se precisó empleando la Carta de Color Munsell. Dado que los colores determinados se encuentran dentro de la misma hoja, fue posible hacer la conversión de las lecturas a una expresión numérica para procesarlas estadísticamente.

-Determinación del pH:

Se determinó utilizando un medidor de pH portátil con aproximación de dos decimales en las lecturas, en una relación suelo: agua de 1:2.5.

-Materia orgánica:

Se utilizó el método de pérdida por ignición (Stein 1984).

-Carbonatos como CO₂:

Se empleó el método volumétrico (Pequeño y López 1968).

-Humedad:

Se secó en estufa 1 g de suelo tamizado en crisol de porcelana durante una hora a 90-100°C. Transcurrido este tiempo, se enfrió bajo desecadora a temperatura ambiente y se volvió a pesar calculando el contenido de humedad por diferencia.

Análisis de huesos

Se utilizaron 26 fragmentos de diáfisis de huesos largos, fundamentalmente fémures y tibias. Dadas las pequeñas dimensiones de los huesos infantiles estudiados, en las determinaciones sólo fue posible utilizar una cantidad de muestra entre 0.3 y 0.5 gramos.

-Humedad:

Siempre que hubo muestra disponible se pesó 0.5 g de polvo óseo en un crisol de porcelana y se secó en estufa a 60°C durante cuatro horas. No se empleó una temperatura superior para evitar posibles pérdidas de materia orgánica por descomposición. El resto de la operación se realizó como en el caso del suelo.

-Porosidad:

Se partió de fragmentos óseos secados a 60°C durante cuatro horas. Después de enfriados en desecadora se pesaron. Posteriormente se introdujeron en vasos de precipitado durante 30 minutos, con agua destilada a 60°C cubriendo los mismos.

Los fragmentos fueron extraídos y se les secó la superficie con papel secante; se pesaron y se calculó posteriormente la cantidad de agua absorbida como porcentaje con respecto al peso de la muestra.

-Densidad:

Se determinó la relación masa/volumen de los fragmentos óseos previamente secados y pesados, por desplazamiento de agua, empleando una microprobeta con precisión de 0.02 cm³ por división.

-Materia orgánica:

El contenido de materia orgánica se midió indirectamente por cuantificación del colágeno residual. De acuerdo con esta técnica, el incremento del valor del Índice Colágeno se corresponde con menor cantidad de materia orgánica presente en el hueso (Vento *et al.* 1981).

Cánidos de Teotihuacan

-Cenizas:

El contenido de cenizas se determinó partiendo de las muestras trituradas y secadas a 60°C durante cuatro horas; después de enfriadas en desecadora se pesaron. Posteriormente se incineraron a 550°C durante 2.5 horas (Eastoe y Eastoe 1954), pesándolas después de enfriadas y refiriendo los resultados al peso seco de la misma.

La porosidad, la densidad y el Índice Colágeno se determinaron de la misma forma que para la colección analizada de Cueva del Infierno.

-Efervescencia:

Este indicador es una medida semicuantitativa del contenido de carbonatos en el hueso por la acción de un ácido (Dent y Young 1981).

-Calcio (Ca):

El contenido de calcio se determinó por volumetría.

-Fósforo (P):

El fósforo se determinó por el método de azul de molibdeno.

-Características organolépticas (CO):

Se incluyó en este estudio un parámetro empírico: las características organolépticas (CO), que responde a la manifestación macroscópica de un hueso como evidencia de cambios a escala microscópica, teniendo en cuenta que las propiedades del hueso resultan del compromiso entre los componentes orgánicos e inorgánicos del mismo. Se propuso por el autor una escala de 1 a 5, según la apreciación de la resistencia

al corte de un fragmento óseo con una segueta y la percepción de olor a sustancia orgánica quemada durante el corte.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cueva del infierno

En el cuadro 1 se presentan los resultados de los análisis de suelo y el procesamiento de los mismos mediante Estadística Descriptiva, observándose *a priori* bastante homogeneidad en sus características, a los efectos de evaluar la posible incidencia diferencial sobre las muestras óseas. Se destacan las bajas variabilidades de los parámetros color y pH, así como los comportamientos comparables del contenido de materia orgánica (MO) y de carbonatos. Esto permite considerar, en nuestra opinión, que los restos óseos estuvieron expuestos a similares condiciones geoquímicas.

Partiendo de la premisa anterior, el efecto que sobre los huesos tuvo el suelo se refleja en los resultados que se presentan en el cuadro 2. Ante todo, los valores de densidad, porosidad y humedad muestran una variabilidad comparable que apoyaría el criterio anterior de similares influencias del contexto. Esto trajo como consecuencia alteraciones de la porosidad y la densidad, que por una parte se explicarían por la reducción del contenido mineral del hueso, y por otra como consecuencia de la pérdida de materia orgánica, principalmente colágeno.

Los valores mínimo y máximo de densidad encontrados en la colección de la Cueva del Infierno se alejan bastante del correspondiente a un hueso no alterado que se encuentra entre 1.9-2.0 g/cm³ (Cook y Heizer 1953; Facchini y Pettener 1979). El contenido de materia orgánica, expresado por los valores del Índice Colágeno, muestra una alta variabilidad que aproximadamente duplica la correspondiente a los otros parámetros.

Si aceptamos las similares incidencias del contexto sobre la colección ósea infantil analizada, el comportamiento del Índice Colágeno podría tomarse para establecer una cronología relativa entre los individuos, lo que expresaría que la Cueva del Infierno fue utilizada durante bastante tiempo para inhumar a estos niños. Esto tendría implicaciones importantes, pues el hecho que en un espacio de 27 m², que constituye

el área excavada, exista tal cantidad de enterramientos de infantes, podría apuntar a la consideración de que estuviéramos en presencia de muertes masivas por efectos de epidemia; sin embargo, los valores del Índice Colágeno excluyen esta posibilidad, como lo demuestra su alta variabilidad (cuadro 2).

Con la finalidad de entender la dinámica del patrón diagenético que caracteriza a la colección osteológica de la Cueva del Infierno, las interrelaciones entre los parámetros se pueden observar en la matriz de correlación de el cuadro 3.

Cuadro 1
Análisis de suelo. Cueva del Infierno

Muestra	%Hum.	%MO	%Carb.	Color	pH
1	7.01	7.36	0.3	1054	7.17
2	6.29	7.65	0.36	1054	7.47
3	8.01	11.04	0.22	1053	7.1
4	6.67	9.52	0.35	1052	7.62
5	7.2	10.64	0.3	1053	7.27
6	7.91	9.24	0.23	1043	7.23
7	8.9	8.18	0.19	1043	7.26
8	6.12	8.68	0.35	1053	7.37
9	6.06	8.47	0.31	1053	7.5
10	7.15	9.22	0.35	1044	8.15
11	7.36	9.33	0.32	1053	7.32
12	6.2	6.85	0.36	1053	7.46
13	6.92	4.07	0.4	1053	7.47
14	6.84	6.19	0.31	1053	7.57
15	5.91	9.01	0.3	1044	7.43
16	6.86	9.72	0.25	1053	7.27
17	6.06	7.81	0.29	1043	7.4
18	7.08	7.3	0.33	1052	7.44
19	6.62	7.72	0.45	1062	7.49
20	6.14	8.9	0.29	1053	7.29
21	4.9	8.13	0.3	1044	8.81
22	5.15	7.04	0.36	1043	8.09
23	5.83	7.97	0.34	1054	7.53
24	6.43	8.2	0.38	1044	7.6
25	6.23	8.73	0.41	1043	7.84
Máximo	8.9	11.04	0.45	1062	8.81
Mínimo	4.9	4.07	0.19	1043	7.1
Media	6.63	8.28	0.32	1050	7.52
D. Estándar	0.87	1.44	0.06	5.32	0.37
C. Variación	13.12	17.39	18.75	0.5	4.92

Cuadro 2
Análisis de huesos. Cueva del Infierno

Muestra	I. Colág.	%Poros.	Dens. (g.cm ⁻³)	%Hum.
1	686	33.9	1.16	4
2	393	26.3	1.39	5.47
3	783	43.9	1.69	8.7
4	609	51.8	1.35	5.35
5	558	33	1.62	6.54
6	1271	32.9	1.35	5.36
7	1111	43.6	1.84	4.08
8	498	51.1	1.82	5.44
9	224	31.7	1.43	4.77
10	667	36.6	1.33	7.28
11	870	34	1	5.1
12	441	34.2	1.12	5.82
13	357	41.1	1.52	4.23
14	675	50.2	1.67	6.73
15	348	29.8	1.24	5.63
16	500	30.1	2.01	8.86
17	275	23	1.46	6.18
18	347	31.5	1.37	5.67
19	513	40.7	1.62	6.22
20	430	36.2	1.24	5.62
21	714	50.5	2.02	3.9
22	382	42.4	1.11	5.77
23	539	46.1	2.13	5.16
24	426	44.9	1.01	5.26
25	673	44.5	1.16	8.52
26	544	44.2	1.97	4.87
Máximo	1271	51.8	2.13	8.86
Mínimo	224	23	1	3.9
Media	570	38.8	1.48	5.79
D. Estándar	242	8.06	0.33	1.34
C. Variación	42.4	20.8	22.3	23.1

En términos generales, lo que en el ámbito estadístico aparece correlacionado en la misma, se corresponde con una asociación causa-efecto que ilustra acerca de la dinámica del proceso que lleva al tejido óseo a su estado final. De esta manera, por ejemplo, se observa una alta correlación positiva entre el Índice Colágeno con la porosidad del hueso y la humedad del suelo. Es decir, un factor incidente del contexto como lo es el agua circulante se constituye en el medio móvil que no sólo en

Cuadro 3
Matriz de Correlación. Cueva del Infierno

	COLAGHUE	DENSHUE	HUMSUE		CARBSUE	PHSUE			
	PORHUE	HUMHUE	MOSUE		COLSUE				
COLAGHUE	1	0.4	0.15	-0.07	0.55	0.37	-0.33	-0.05	-0.22
PORHUE		1	0.24	-0.19	-0.1	-0.03	0.28	-0.04	0.43
DENSHUE			1	-0.05	0	0.04	-0.34	0.24	-0.12
HUMHUE				1	0.12	0.24	0.03	-0.05	-0.01
HUMSUE					1	0.32	-0.29	0.03	-0.54
MOSUE						1	-0.43	-0.14	-0.32
CARBSUE							1	0.18	0.66
COLSUE								1	-0.21
PHSUE									1

Valores en negrita $p < 0.05$.

el aspecto mecánico, sino físico-químico contribuye a la disminución de la materia orgánica fundamental del hueso, siendo la porosidad observada en el material óseo el resultado de la ruptura fase orgánica-fase mineral. Si a esto le sumamos que a su vez la porosidad del hueso está íntimamente vinculada con el pH del suelo, entonces las alteraciones de la porosidad natural de los huesos podría explicarse por dos mecanismos: el incremento de basicidad propiciará las condiciones adecuadas para que tenga lugar la hidrólisis del colágeno y su subsecuente pérdida, como es el caso en los que se agrega cal o cal apagada a los cadáveres, lo cual podría tener el efecto de elevar el pH y acelerar potencialmente este proceso (Collins *et al.* 2002), y/o los incrementos de la acidez provocan disolución mineral dejando al colágeno susceptible al ataque microbial. En las muestras de suelo analizadas el valor promedio de pH encontrado, ligeramente básico, es propicio para estas incidencias, si bien no necesariamente fueron éstas las condiciones en curso en las que se encontraban los huesos durante el entierro.

Por su parte, la humedad del suelo está inversamente correlacionada con el pH, una vez más comportamiento lógico en la naturaleza, pues la disminución en la humedad condicionaría incrementos del pH, toda vez que se verían alterados los efectos de la lixiviación que reducirían la concentración de sales.

Una relación también inversa se aprecia entre la materia orgánica y los carbonatos del suelo, en la que la preservación de la primera depende

de la concentración de estos últimos o viceversa, pues, en este último caso, determinadas formas de materia orgánica del suelo condicionan valores de acidez que provocan la disolución de los carbonatos presentes en el suelo.

Finalmente, la alta correlación positiva entre los carbonatos y el pH del suelo explicarían que los valores del último parámetro se encuentran condicionados por este tipo de compuestos, cuestión perfectamente factible si se tiene en cuenta que estos enterramientos se encuentran en el interior de una cueva de origen cársico, cuyas calizas tributan al suelo y condicionan los niveles de carbonatos responsables de los valores de pH encontrados. En cuanto al color del suelo, no exhibe ningún tipo de asociación por no ser un parámetro de incidencia diagenética.

Adicionalmente, con la finalidad de aclarar aún más la dinámica de la historia diagenética de la colección osteológica de la Cueva del Infierno, la aplicación de Análisis Multivariado a los parámetros aquí evaluados, mediante Escalamiento Métrico Multidimensional, confirma cuáles están interactuando entre los huesos y su contexto de enterramiento y las consecuencias para el estado final de los huesos; esto es, un incremento de la porosidad a expensas de la disminución en el contenido de colágeno, descartando el color del suelo como factor contribuyente (figura 2).

CÁNIDOS DE TEOTIHUACAN

Los resultados obtenidos de la medición de los parámetros diagenéticos en la colección osteológica de cánidos de Teotihuacan se presentan en el cuadro 4 y el resumen de la Estadística Descriptiva en el cuadro 4a.

Ante todo, desde el punto de vista de la estabilidad de la composición mineral de la muestra, los niveles promedio de P y Ca se encuentran dentro del rango de los valores fisiológicos (Ca= 38.18% y P= 17.91 %),⁵ si bien se aprecia una ligera disminución en el contenido de P como promedio.

⁵ Certificate of Analysis. Standard Reference Material 1400. National Institute of Standards & Technology.

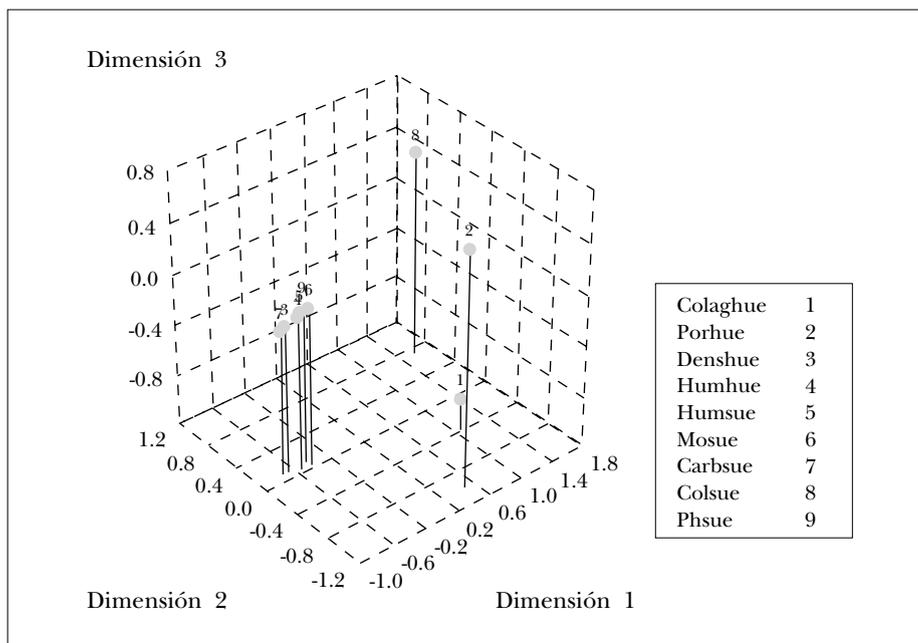


Figura 2. Escalamiento Métrico Multidimensional. Se agrupan los parámetros que se interrelacionan. Cueva del Infierno.

Con respecto a la porosidad, difiere bastante de lo esperado en huesos humanos si se tiene en cuenta que aun cuando el promedio de la muestra está dentro de los valores fisiológicos, es decir del orden de 15% (Hedges y Millard 1995), los valores mínimos sugieren características propias de la arquitectura ósea del género. Lo anterior podría tener su explicación en que, considerando que el grosor promedio del tejido cortical de fémures y tibias de la colección analizada se encuentra entre 1.51 y 2.86 mm (Rodríguez *et al.* 2003), existe una compensación en la existencia de una micromorfología más “apretada”, que contrarreste la deficiencia de masa ósea, determinando así el comportamiento de la porosidad que observamos.

En general, las variabilidades en los parámetros porosidad, Índice Colágeno y C.O. resultan comparables, además de ser muy altas, lo que *a priori* sugiere una interconexión entre los mismos; esto es, todo parece indicar que la pérdida de colágeno determina el comportamiento de

Cuadro 4
Datos correspondientes a la colección de huesos de cánidos. Teotihuacan

Muestra	Registro	Ejemplar	Hueso	%Cen.	%Por.	Eferv.	I. Colág.	%Ca	%P	Dens. (g. cm ⁻³)	C.O	Cronología
1	3b	P.en E.	T	84.34	22.22	0	539	38.6	16.6	1.58	5	s.XIII-X
2	4c	P.en E.	T	83.04	21.12	0	490	35.8	14.2	1.42	5	s.XIII-X
3	12b	P.en E.	F	82.86	21.74	0	484	36.4	16	2.3	5	s.XIII-X
4	13c	P.en E.	F	77.29	20.97	0	340	35.8	14.7	1.24	5	s.XIII-X
5	18	P.prob.A	T	73.66	9.28	0	280	36.2	13.6	2.42	5	0-200ap
6	19g	Loberro	F	72.05	16.28	0	258	35.2	14.8	0.86	2	s.XIV-XV
7	20g	Loberro	F	72.91	8.22	0	269	34.4	12.3	1.82	2	s.XIV-XV
8	21	Perro	T	67.94	6.94	3	212	35.8	16.7	1.8	2	700-800d
9	22	Perro	F	68.8	9.65	0	221	34.7	16.2	2.85	1	—
10	24*	Perro	F	68.48	8.77	0	217	35.4	15.7	1.9	2	800-900d
11	25*	Perro	F	71.59	11.63	1	252	36.1	15.2	1.43	2	750-800d
12	26	Perro	F	73.13	9.09	3	272	36.4	16.1	2.2	1	700-800d
13	27	Perro	T	81.37	20.83	3	437	37.1	14.9	1.6	5	700-800d
14	28	Perro	T	74.5	20.41	1	292	35.7	15.7	1.22	4	0-200ap
15	29	Perro	F	86.61	18.75	0	647	33.2	13.6	1.2	5	s.XII-XI
16	30	Perro	T	68.15	11.11	0	214	36.1	15.7	1.57	4	800-900d
17	31	Perro	F	68.3	10.14	1	215	35.3	16.2	1.38	4	800-900d
18	32h	Loberro	T	72.34	7.69	0	262	35.8	14.9	2.17	4	800-1000
19	33h	Loberro	F	67.98	7.06	1	212	34.7	16.5	2.12	1	800-1000
20	34i	Coyote	T	80.74	21.52	0	419	34.6	15.1	1.58	5	s.XVI-XV
21	35i	Coyote	F	80.07	15.82	0	402	35.8	16.7	2.1	5	s.XVI-XV
22	36	Perro	T	67.65	11.11	1	209	36.5	16.9	1.57	4	800-1000

Clasificación de las Características Organolépticas (C.O.)

P. en E.: Perro en Entierro.

P. prob. A: perro probablemente abandonado.

1. Muy resistente al corte; olor a materia orgánica.

2. Bastante resistente al corte; olor a materia orgánica.

3. Algo resistente al corte; olor a materia orgánica.

4. Fácil de cortar; olor a materia orgánica.

5. Muy fácil de cortar; no olor a materia orgánica.

Cuadro 4a
Estadística descriptiva. Cánidos de Teotihuacan

Parámetro	N	Media	Mínimo	Máximo	D.Estándar	C.Variación
Cenizas	22	74.72	67.65	86.61	6.23	8.34
Porosidad	22	14.11	6.94	22.22	5.78	40.96
Efervescencia	22	0.64	0	3	1.05	164
I. Colágeno	22	324	209	647	127	39.19
Ca	22	35.71	33.2	38.6	1.07	3
P	22	15.38	12.3	16.9	1.19	7.74
Densidad	22	1.74	0.86	2.85	0.47	27.01
C. O.	22	3.54	1	5	1.56	44.06

la porosidad y las C.O., cuestión lógica si se tiene en cuenta que las características físicas del hueso (dureza, elasticidad y fragilidad) dependen del compromiso entre la fase orgánica e inorgánica.

Los niveles de P y cenizas varían en un rango muy estrecho, lo que habla a favor de cierta homogeneidad en el comportamiento del componente mineral de la colección como un todo.

De igual forma que para el tratamiento de los datos de los infantes de la Cueva del Infierno, los correspondientes a los cánidos de Teotihuacan fueron evaluados mediante una Matriz de Correlación para visualizar las posibles interrelaciones entre los diferentes parámetros diagenéticos con vistas a tratar de dilucidar el patrón de deterioro que caracteriza a la colección.

Los resultados se aprecian en el cuadro 5, donde existen interdependencias que describen la historia diagenética del material óseo. Así, la correlación significativa entre el contenido de cenizas y la cuarteta que conforman la porosidad, el Índice Colágeno, el contenido de P y las características organolépticas (C.O.) explica un rompimiento en el equilibrio del par orgánico-inorgánico del hueso.

Esto queda demostrado en la correlación casi exacta entre el contenido de cenizas y el Índice Colágeno, que a su vez determina el incremento de la porosidad y la manifestación de las características organolépticas, parámetro empírico que mide indirectamente la resistencia al corte y la trituration y la magnitud de pérdida de materia orgánica.

La correlación negativa entre el contenido de cenizas y el de P podría explicar la presencia de algún otro componente en la fase mineral, probablemente en forma de carbonatos, de lo cual se tiene alguna

Cuadro 5
Matriz de correlación. Cánidos de Teotihuacan

	Cenizas	Porosidad	Efervesc.	I. Colágeno	Ca	P	Densidad	C.O
Cenizas	1	0.74	-0.38	0.99	0.1	-0.43	-0.12	0.74
Porosidad		1	-0.29	0.74	0.24	-0.15	-0.43	0.73
Efervesc.			1	-0.37	0.29	0.42	-0.04	-0.38
I. Colágeno				1	0.11	-0.43	-0.12	0.74
Ca					1	0.29	0.19	0.28
P						1	0.24	-0.27
Densidad							1	-0.22
C. O.								1

evidencia en las muestras analizadas, pues la evaluación de la efervescencia es una medida de la presencia de tales compuestos, si bien sólo encontramos valores promedio (valor 3 en la escala de Dent y Young 1981) en tres casos de los restos analizados (cuadro 4). La presencia de algún otro mineral no se descarta, a pesar de que no tenemos evidencia experimental que lo demuestre.

Otra correlación importante, que aporta más luz acerca de los resultados observados de porosidad, es la que existe entre ésta, el Índice Colágeno, la densidad y las características organolépticas. El incremento del Índice Colágeno, que se traduce en una pérdida de dicha escleroproteína, determina un aumento de la porosidad; esto significa que la asociación colágeno-bioapatita se rompe, quedando espacios vacíos susceptibles de ser ocupados por otros contaminantes. Es de esperar que en algún momento de la historia diagenética de estos huesos de cánidos los factores de deterioro incidieron para producir dicha ruptura. Sin embargo, los valores absolutos de porosidad encontrados (cuadros 4 y 4a) no son de una magnitud tal que sugieran una alteración marcada de la histomorfología del tejido óseo. En consecuencia, las características organolépticas se constituyen en un parámetro muy útil para explicar este fenómeno. Por su parte, la relación inversa entre porosidad y densidad explica el comportamiento esperado en un hueso no alterado *in extenso*, pero la presencia de otros compuestos como contaminantes podría alterar esta relación.

La efervescencia se correlaciona positivamente de forma significativa con el contenido de P, lo que parece confirmar que los niveles bajos de carbonato probables están asociados con la matriz mineral del

hueso en forma de carbonatoapatita, cuestión bastante frecuente; sin embargo, como ya dijimos antes, en una magnitud no apreciable, según los valores obtenidos para este indicador.

Finalmente, la correlación negativa entre el índice colágeno y el contenido de P expresa el antagonismo entre las fases orgánica e inorgánica del hueso, mientras que la interdependencia positiva con las características organolépticas reafirma una vez más que este comportamiento macroscópico es el resultado de la ruptura del equilibrio entre ambas fases fundamentales del hueso.

La interpretación de estas asociaciones y los parámetros que más contribuyen al comportamiento de esta colección osteológica de Teotihuacan se pueden visualizar mediante el empleo del Análisis Multivariado con el estudio de Componentes Principales, como se muestra en la figura 3. En efecto, el contenido de cenizas, la porosidad, el Índice Colágeno y las características organolépticas explican más del 45% de la varianza total, mientras que el Ca y el P explican un 20% de la misma.

De lo anterior se podría asumir que la presencia de carbonatos u otros componentes presentes en los huesos no incide en el patrón diagenético de este material, y que el agrupamiento de los parámetros de deterioro más importantes explica un mecanismo de ruptura del equilibrio orgánico-inorgánico como función de una lenta pérdida de la fase orgánica, teniendo en cuenta que en los ambientes de cueva las fluctuaciones de temperatura están fuertemente reguladas y las características geoquímicas representan generalmente un ambiente óptimo para la estabilización de la biopatita de los huesos (Collins *et al.* 2002).

PROPUESTA DE MODELO DIAGENÉTICO PARA AMBAS COLECCIONES ESTUDIADAS

Cueva del infierno

De acuerdo con los resultados obtenidos al evaluar los parámetros diagenéticos en la colección osteológica, que nos permitió una aproximación al patrón de deterioro de la misma, la disponibilidad de un corte histológico procedente de la porción media de la diáfisis de un fémur de uno de estos niños permite completar el cuadro para la proposición de un modelo de diagénesis aplicable.

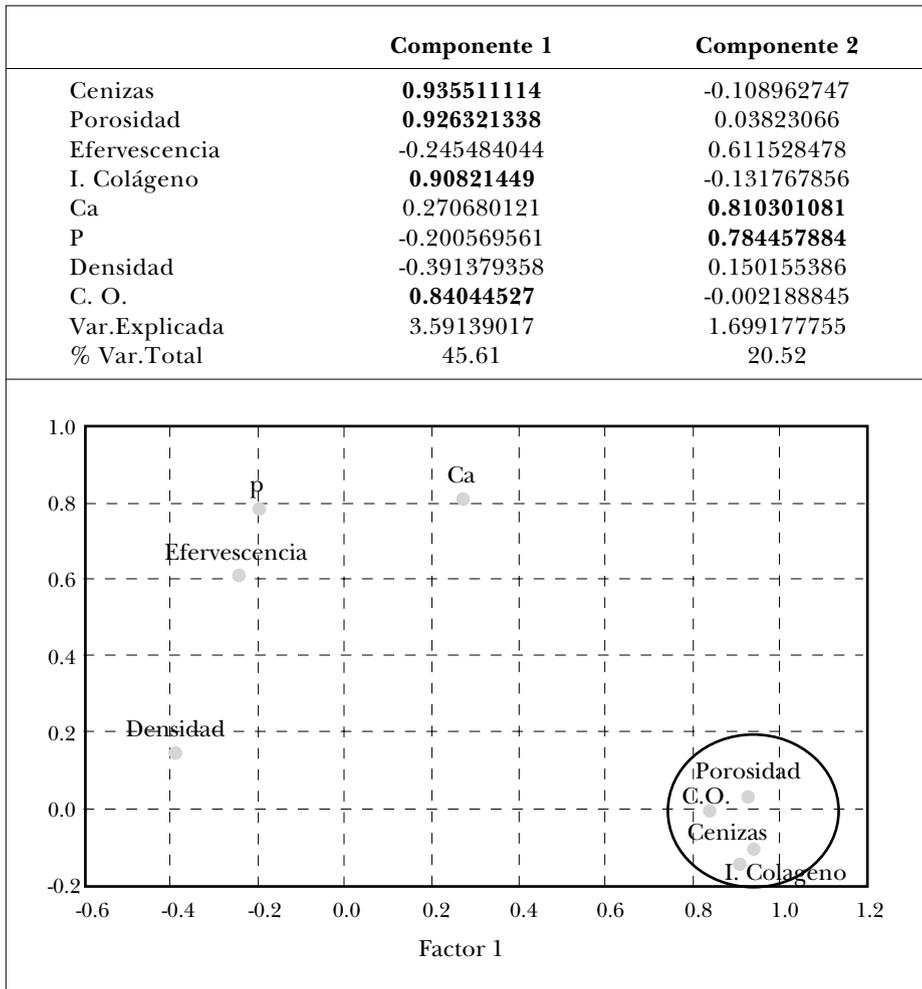


Figura 3. Análisis de Componentes principales con rotación varimax. Cánidos prehispánicos. Cuevas de Teotihuacan.

En la figura 4 se ilustra este modelo construido no sólo a partir de la interpretación de los resultados obtenidos, sino que se enriqueció con la visión microscópica del corte histológico. En principio, la alta porosidad que manifiestan los huesos de Cueva del Infierno por la distribución de “túneles”, tanto en la zona perióstica como en la cercana al canal medular (ampliaciones del corte histológico), sugiere dos posibi-

lidades que pudieron actuar por separado o simultáneamente: la distribución y morfología de estas oquedades a escala microscópica responden a un modelo de disolución química como resultado de modificaciones en el pH propias del contexto y/o por las alteraciones de este factor de deterioro, en que bacterias y hongos participaron activamente atacando el componente orgánico. Esto, previa disolución de focos de bioapatita que dejaron al descubierto porciones de colágeno susceptibles de ser atacadas.

Durante este proceso de bioerosión se forman los llamados Túneles de Wedl Tipo 1, que se caracterizan por ser ramificados en ocasiones; en otras aparecen como túneles simples concentrados en la superficie del hueso, generalmente en los márgenes del periostio y el endostio. Los de Tipo 2, de menor diámetro, se encuentran asociados con el sistema osteonal del hueso (Trueman y Martill 2002). Como consecuencia de estas acciones bioerosivas, mediante procesos de difusión se produce pérdida de materia mineral y en consecuencia de materia orgánica, siendo la preservación de esta última una función de la posible reconfiguración ulterior de la fase mineral en un momento de la historia diagenética del hueso. Esto permite la existencia de una cantidad medible de ella, pues entre ambas fases existe una relación de *mutua protección*; o sea, para que los microorganismos tengan acceso al colágeno del hueso se requiere que dicha molécula esté expuesta por remoción de la fase mineral, pero como las reacciones de disolución tienen lugar en la superficie de los cristales de hidroxapatita, éstos son protegidos de la disolución por una capa de la proteína (Trueman y Martill *op. cit.*).

Como en los huesos existe una superficie reactiva muy grande, la pérdida ósea será una función de la proporción de ésta disponible. Agréguese a ello que el hueso inmaduro, menos calcificado, contiene una más alta proporción de mineral amorfo (Neuman 1980), mientras que la presencia de esta fase en adultos está restringida a zonas específicas, incluyendo las superficies del endostio, el periostio, las trabéculas y los canales haversianos (Buikstra *et al.* 1989; Hare 1980). La fase amorfa del mineral óseo es más soluble que la fase cristalina, la hidroxapatita. Esto favorecería la susceptibilidad a un periodo de supervivencia menor en contextos arqueológicos (figura 4).

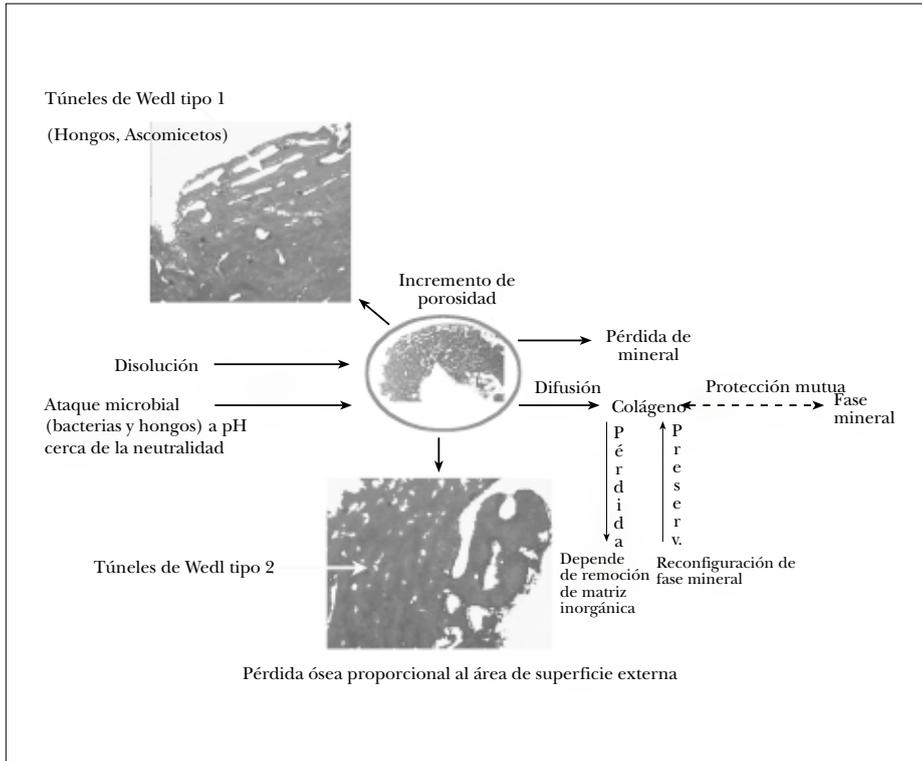


Figura 4. Modelo diagenético. Cueva del Infierno.

CÁNIDOS DE TEOTIHUACAN

Para el caso de los restos osteológicos procedentes de los túneles y cuevas de Teotihuacan, el modelo difiere de la colección ósea infantil de Cuba. El comportamiento de los parámetros diagenéticos y la histomorfología del corte de hueso que se muestra en la figura 5 sugiere un modelo más en correspondencia con una pérdida de colágeno como una función de las condiciones ambientales que no actuaron de manera drástica sobre la estructura del hueso, respetando la porosidad fisiológica que lo caracteriza y a una velocidad en la que la pérdida de colágeno se corresponde con la evolución natural de los huesos en el contexto de enterramiento como una función del tiempo transcurrido.

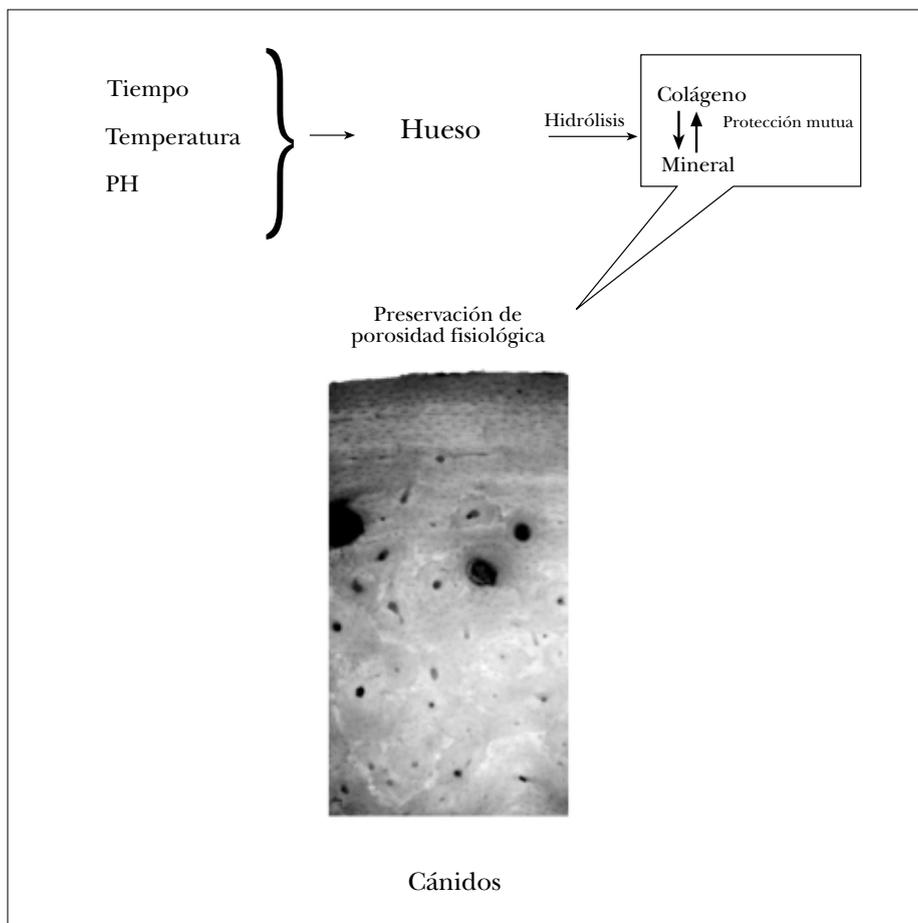


Figura 5. Modelo de diagénesis. Cánidos de Teotihuacan.

Consideramos también que a esto contribuyeron las características de los huesos de cánidos por su micromorfología propia, diferente en la distribución espacial a la de los huesos humanos, por las necesidades mecánicas de estos cuadrúpedos que, al menos, en cuanto a porosidad y densidad se alejan del patrón humano según evidencia experimental obtenida por el propio autor. Esto propiciaría que el proceso de mutua protección entre las fases mineral y orgánica sea más efectivo en los huesos de perro, haciéndolos menos susceptibles a la diagénesis.

CONCLUSIONES

Los parámetros diagenéticos aquí propuestos, caracterizados por la sencillez en los requerimientos de laboratorio, han permitido una aproximación al entendimiento de la dinámica de los procesos que tienen lugar en la relación hueso-contexto de enterramiento para los dos sitios analizados.

En el caso particular de la Cueva del Infierno, la población esquelética infantil estuvo expuesta a condiciones de degradación en las que el ataque microbial unido a las condiciones geoquímicas del suelo provocaron la disolución mineral localizada del tejido óseo, rompiendo el equilibrio de mutua protección entre dicha fase y la fase orgánica, acelerando el proceso de deterioro en condiciones de pH óptimas en algún momento de su historia diagenética.

En nuestra opinión, el factor edad contribuyó de manera importante, dadas las características de inmadurez del tejido óseo de la colección analizada, compuesta por niños de corta edad, lo que propiciaría un arreglo estructural más susceptible a la incidencia de las condiciones del entorno.

Para los cánidos de Teotihuacan, las características del contexto los afilia a un proceso de deterioro en el que la pérdida de colágeno parece ser una función del tiempo transcurrido, mediante un lento proceso hidrolítico propiciado por la poca fluctuación de las temperaturas, la estabilidad del agua circulante en el suelo y las condiciones de pH de las cuevas. Esto representó condiciones óptimas para la estabilización de la estructura ósea, como se aprecia en las características histológicas, en las que el arreglo microestructural propio del género pudo desempeñar su papel en la resistencia a los factores de deterioro.

Las evidencias experimentales e histomorfológicas permitieron la aproximación a un modelo que ilustra acerca de la historia diagenética de una colección osteológica, con la finalidad de evaluar la validez de la señal biogénica para otros estudios arqueométricos en los que se requiera recabar información almacenada en las fases orgánica y mineral del hueso.

REFERENCIAS

- BUIKSTRA, J. E., S. FRANKENBERG, J. B. LAMBERT Y I. XUE
1989 Multiple elements: multiple expectations, T. D. Price (ed.), *The chemistry of prehistoric human bone*, Cambridge, Cambridge University Press: 155-210.
- COOK, S. F. Y R. F. HEIZER
1953 Archaeological dating by chemical analysis of bone, *Southwestern Journal of Anthropology* 9: 231- 238.
- COLLINS, M. J., C. M. NIELSEN-MARSCH, J. HILLER, C. I. SMITH, J. P. ROBERTS, R. V. PRIGODICH, T. J. WESS, J. CSAPÓ, A. R. MILLARD Y G. TURNER-WALKER
2002 The survival of organic matter in bone: a review, *Archaeometry* 44(3):383-394.
- DENT, D. Y A. YOUNG
1981 *Soil survey and land evaluation*, Londres, George Allen and Unwin.
- EASTOE, J. E. Y B. EASTOE
1954 The organic constitution of mammalian compact bone, *Biochemistry Journal* 57:453-459.
- FACCHINI, F. Y D. PETTENER
1979 Chemical and physical methods in dating human skeletal remains, *American journal of physical anthropology* 47: 65-70.
- GARCÍA, L.
1997 *Estudio antropológico de los restos esqueléticos aborígenes procedentes de la Cueva del Infierno, San José de las Lajas*, tesis de licenciatura en ciencias biológicas, Universidad de La Habana, Cuba.
- HARE PE.
1980 Organic geochemistry of bone and its relation to the survival of bone in the natural environment, A.K. Behrensmeyer, A. P. Hill (eds.), *Fossils in the Making*, Chicago, University of Chicago Press:208-219.
- HEDGES, R. E. M.
2002 Bone diagenesis: an overview, *Archaeometry* 44 (3):319-328

HEDGES, R. E. M. Y A. R. MILLARD

- 1995 Measurements and relationships of diagenetic alteration of bone from three archaeological sites, *Journal of archaeological science* 22: 201:209.

NEUMAN, W. F.

- 1980 Bone mineral and calcification mechanisms, M. R. Urist (ed.), *Fundamental and clinical bone physiology*, Philadelphia, J. B. Lippincott: 83-107.

PEQUEÑO, J. Y A. LÓPEZ

- 1968 *Agroquímica*, t. 2, Editorial Ciencia y Técnica, Instituto del Libro, La Habana.

RODRÍGUEZ, ROBERTO, RAÚL VALADEZ, LUZ LAZOS Y LUIS BARBA

- 2003 Características fisicoquímicas de los restos óseos de cánidos prehispanicos del centro de México, *Antropología y técnica* 7:67-80.

STEIN, J. K.

- 1984 Organic matter and carbonates in archaeological sites, *Journal of field archaeology* 11:239-246.

TRUEMAN, C. Y D. M. MARTILL

- 2002 The long-term survival of bone: the role of bioerosion, *Archaeometry* v, 44 (3):371-382.

VENTO, C. E., R. RODRÍGUEZ S. Y L. FRANCO M.

- 1981 La datación absoluta por el método colágeno en Cuba, *KOBIE* 11:165-172.

