

ESTUDIOS DE ANTROPOLOGÍA BIOLÓGICA

VOLUMEN XIII

*

Editoras

Magalí Civera Cerecedo
Martha Rebeca Herrera Bautista



Instituto Nacional
de Antropología
e Historia



Consejo Nacional
para la
Cultura y las Artes



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ANTROPOLÓGICAS
INSTITUTO NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA
ASOCIACIÓN MEXICANA DE ANTROPOLOGÍA BIOLÓGICA
MÉXICO 2007

Comité editorial

Xabier Lizarraga Cruchaga
Abigail Meza Peñaloza
Florencia Peña Saint Martin
José Antonio Pompa y Padilla
Carlos Serrano Sánchez
Luis Alberto Vargas Guadarrama

Todos los artículos fueron dictaminados

Primera edición: 2007

© 2007, Instituto de Investigaciones Antropológicas
Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad Universitaria, 04510, México, D.F.

© 2007, Instituto Nacional de Antropología e Historia
Córdoba 45, Col. Roma, 06700, México, D.F.
sub_fomento.cncpbs@inah.gob.mx

© 2007, Asociación Mexicana de Antropología Biológica

ISSN 1405-5066

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización
escrita del titular de los derechos patrimoniales

D.R. Derechos reservados conforme a la ley
Impreso y hecho en México
Printed in Mexico

DIAGÉNESIS EN HUESOS HUMANOS DE LA ÉPOCA COLONIAL DEL ESTADO DE HIDALGO, MÉXICO¹

Jesús A. Arenas Alatorre
Serafín Sánchez Pérez*
Andrés del Ángel Escalona**
Osvaldo Sterpone***
Cristina Zorrilla
Arturo Gómez Serrano****

Instituto de Física, UNAM

**Escuela Nacional de Antropología e Historia, INAH*

***Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM*

****Centro INAH Hidalgo*

*****Posgrado en Antropología, UNAM*

RESUMEN

En este trabajo se evalúa la diagénesis de restos óseos arqueológicos del siglo XVI provenientes del estado de Hidalgo, México. Fueron correlacionadas imágenes de microscopía electrónica de barrido (SEM) en la microestructura del hueso con la composición de elementos químicos de la parte exterior, media e interior de la diáfisis de fémures de esqueletos de ambos sexos. Los resultados de la composición química de los huesos se correlacionaron con la composición química del suelo del lugar de su enterramiento. Se trata de la continuación de un estudio anterior en el que se analizó la densidad y porosidad ósea en otra muestra de esqueletos excavada en el mismo sitio (Gómez *et al.* 2003).

¹ Esta investigación forma parte del proyecto arqueológico “Geografía histórica: investigación acerca del urbanismo, demografía y medioambiente en el norte de la cuenca de México y regiones periféricas”, dirigido por el arqueólogo Osvaldo Sterpone, del Centro INAH-Hidalgo. El trabajo específico para la excavación de los entierros estuvo a cargo de los antropólogos físicos Margarita Meza, en el año 1998, y de Jorge Arturo Talavera, en el año 2000.

PALABRAS CLAVE: diagénesis, hueso humano, suelos, microscopía electrónica.

ABSTRACT

In this work we evaluate the diagenesis in archaeological bone, coming from the state of Hidalgo, Mexico and date from the XVI century. The images were correlated and the Scanning Electron Microscopy (SEM) with the microstructure bone with their elementary chemical composition in the exterior, mediate and interior parts of the femur. For this study we selected the middle sections of the femur diaphysis of human skeletons of both sexes. The chemical composition results from the bones are correlated with the chemical composition of the funeral lands. This is a continuation of a preceding research which we analyzed bone density and porosity in another skeletons sample excavated in the same site (Gómez *et al.* 2003).

KEY WORDS: diagenesis, human bone, soils, electronic microscopy.

Desde los años setenta se han realizado análisis de elementos químicos en huesos humanos de origen arqueológico sobre todo con fines paleodietarios (Buikstra *et al.* 1989). En los años ochenta aumentó el interés por estudiar el grado de acidez del suelo (pH) de los lugares del enterramiento para el entendimiento y explicación de la diagénesis. Gordon y Buikstra (1981) documentaron una fuerte correlación entre el pH del suelo y la preservación del hueso, observaron un deterioro marcado en éste cuando estaba en contacto con suelos de entre 6 y 7 puntos de potencial hidrógeno. White y Hannus (1983) afirman que la estructura del hueso es relativamente insoluble en pH cercano a 7.5 y con una solubilidad que se incrementa rápidamente si el valor es de 6.

Lambert *et al.* (1983, 1984, 1985, 1990 y 1991) han realizado estudios de elementos químicos en restos humanos de diversos sitios. Su investigación se ha centrado en determinaciones dietarias, biológicas y metodológicas, con énfasis dirigido a la diagénesis. Han evaluado estroncio, cinc, magnesio, calcio, sodio, cobre, hierro, aluminio, manganeso, potasio, cadmio y plomo, utilizando costillas y fémures, y han analizado la composición química de los sitios de enterramiento. Plantean que los elementos externos pueden moverse en el interior de la matriz del hueso a través de diferentes mecanismos, incluyendo el intercambio con

los constituyentes naturales del hueso (intercambio heteroiónico), a espacios no llenos o con defectos y absorción en la superficie. También han reportado que algunos elementos en el hueso son significativamente enriquecidos o consumidos por la diagénesis, y observan, por medio de análisis de microscopía electrónica, concentraciones de hierro, aluminio, potasio, manganeso y magnesio, sugiriendo que esos elementos se adicionan al hueso por contaminación después del enterramiento. Además, han discutido que algunos elementos o compuestos del suelo penetran con más facilidad en los huesos más porosos.

En los últimos años, con el acceso a variadas técnicas, ha sido posible apuntar más explicaciones de la diagénesis del tejido óseo (Rodríguez 2005). Ésta involucra todos aquellos cambios físicos y químicos que ocurren en el hueso durante el enterramiento, sobre todo cuando comienzan las reacciones químicas entre los componentes del hueso y los del suelo (Sandford 1993). “La diagénesis del tejido esquelético es afectada por factores intrínsecos; el tejido del organismo, tamaño, porosidad, estructura química y molecular; y por factores extrínsecos, como el pH del sedimento, regímenes de agua, temperatura y acción bacteriana” (Lyman 1999: 417).

El objetivo del presente estudio consiste en evaluar la diagénesis de fémures de esqueletos humanos de la época colonial, analizando su porosidad y realizando estudios físicos y químicos del suelo del sitio de enterramiento, así como utilizando pruebas de microscopía electrónica de barrido de bajo vacío (SEM-LV) y espectroscopía por dispersión de energía de rayos X (EDS), tanto en el suelo como en el hueso.

METODOLOGÍA

Muestra ósea. Los entierros estudiados estuvieron asociados con una capilla franciscana del siglo XVI y se excavaron en los años 1998 y 2000 en lo que hoy es la comunidad de Los Olmos, localizada al sur del estado de Hidalgo, México;² de una muestra de 40 esqueletos que estuvieron enterrados en la misma profundidad (70-90 cm), se usaron 28;

² La región de Los Olmos tiene un clima semiárido estepario con lluvias en verano y la vegetación se caracteriza por tener una serie de arbustos espinosos, se trata de plantas que no requieren demasiada agua para desarrollarse.

se calculó su edad en el momento de la muerte entre 20 y 40³ años; se utilizaron sólo fémures de ambos sexos y de éstos se obtuvieron fragmentos de la sección media de la diáfisis,⁴ de 2.5 cm. de largo por 1.5 de ancho. También como muestra se usaron dos fragmentos de diáfisis de fémures de dos esqueletos pertenecientes a individuos femeninos, con una edad aproximada de 25 años en el momento de la muerte. Se usaron únicamente fémures, debido a que ya se han obtenido parámetros de comparación con respecto a estudios químicos y físicos enfocados a la degradación ósea (Gómez *et al.* 2003) y a la diagénesis (Galloway *et al.* 1997).

Análisis físicos y químicos del suelo. Se recurrió a 15 muestras de suelo de dos unidades de excavación; sobre todo considerando el suelo que estaba en contacto con los huesos. Con el objetivo de entender los mecanismos de retención de humedad en el lugar de enterramiento se analizó las densidad real y aparente, además de la textura del suelo; por otra parte, con el fin de conocer su química se evaluó el pH, la materia orgánica, la conductividad eléctrica y la capacidad de intercambio catiónico total (Sánchez 2005).

Porosidad ósea. Esta prueba se consideró importante para sopesar la degradación mineral y se aplicó en 28 diáfisis de fémures arqueológicos y en dos de fémures modernos. La prueba consistió en obtener el porcentaje de agua que absorbió cada fragmento de hueso.

Microscopía electrónica de barrido de bajo vacío (SEM-LV). De cada fragmento de hueso se obtuvo una lámina transversal de aproximadamente 3 mm de espesor, incluyendo la zona externa, media e interna de la diáfisis, que fueron observadas en el SEM-LV. Esta técnica se aplicó a 14 muestras de fémur (figura 1).

Espectroscopía por dispersión de energía de rayos X (EDS). Con esta técnica se hace microanálisis químico y se encuentra acoplado a un microscopio electrónico. La técnica utiliza los rayos X característicos emitidos por la muestra durante el bombardeo con el haz de electrones (Díaz

³ Se eligió este grupo de edad porque en esa etapa ontogenética la fracción inorgánica de los huesos es más constante en comparación con otros periodos de desarrollo. La densidad y porosidad ósea normalmente se estabilizan durante esta etapa.

⁴ Se utilizó una microsierra y se realizó el trabajo en el Laboratorio de Suelos de la Escuela Nacional de Antropología e Historia.

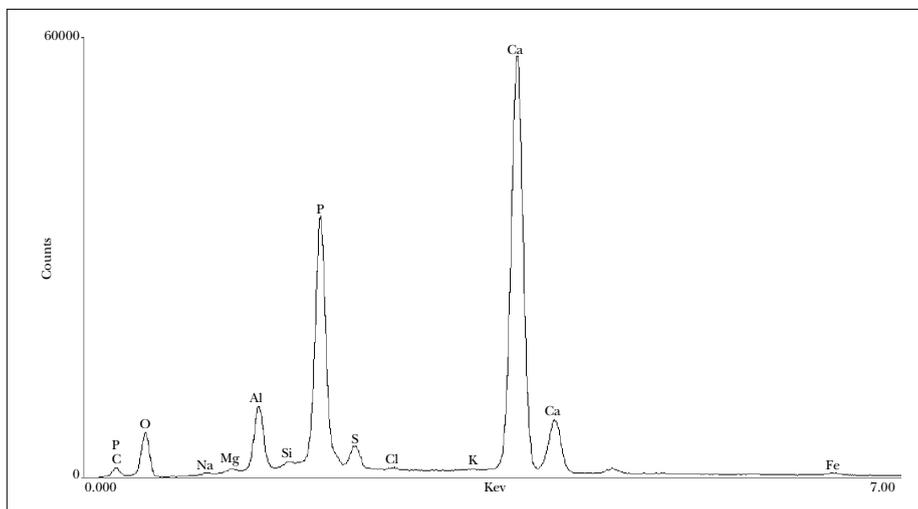


Figura 1. Identificación cualitativa de elementos a partir de su espectro característico EDS para una muestra de hueso arqueológico. Hay presencia relevante de Ca, P y Al. Estos resultados se obtuvieron para las tres secciones de cada uno de los 14 fragmentos de fémur.

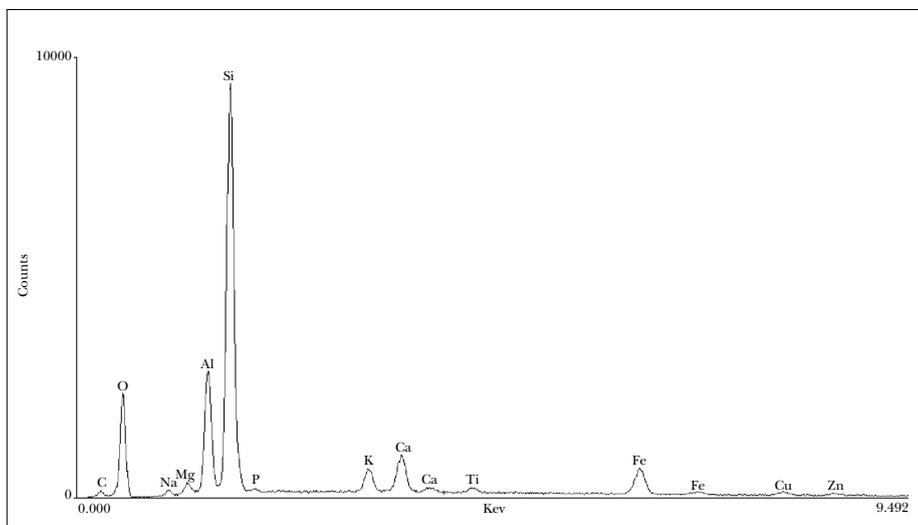


Figura 2. Identificación cualitativa de elementos a partir de su espectro característico EDS. En esta muestra de suelo se aprecia la presencia relevante de Na, Mg Ca, P, Fe y Al. Estos análisis se obtuvieron para cada una de las cinco muestras de suelo.

2003) y se obtiene el análisis cualitativo y semicuantitativo de los constituyentes de áreas hasta del orden de nanómetros ($1\text{nm} = 1 \times 10^{-9} \text{m}$). Por esta técnica se analizaron las 14 muestras de hueso, las mismas que se analizaron por la técnica SEM-LV. En cuanto al suelo, se eligieron cinco muestras y se analizaron por medio de EDS, sobre todo se escogieron muestras de diferentes profundidades para tener un panorama del comportamiento de la química del suelo en sus distintos estratos, inclusive los cercanos al esqueleto (figura 2).

Procedimiento estadístico. De los análisis en restos óseos y para comparar los datos entre grupos, primero se hizo un análisis exploratorio de los datos obtenidos a partir de todas las pruebas analíticas con el objetivo de tener un panorama general de la información. Utilizamos el programa computacional SYSTAT versiones 10 y 11. Se obtuvieron algunas medidas descriptivas de cada variable, como el tamaño del grupo, la media, la mediana, la desviación estándar, los valores mínimos y máximos. Se hicieron las pruebas no paramétricas Kruskal-Wallis para las comparaciones entre elementos químicos de acuerdo con el sitio de enterramiento y la sección del hueso (Márquez de Cantú 1991).

RESULTADOS

Características físicas y químicas del suelo. Las propiedades físicas de los suelos estuvieron dirigidas a la explicación de su propio drenaje, pues de él dependen los diferentes grados de diagénesis del hueso, determinado por la retención de agua y los procesos de lixiviación (cuadro 1).

A pesar de que la textura arenosa del suelo favoreció la filtración del agua, los valores de limos y arcillas, 33% y 6%, respectivamente, dieron cuenta de las condiciones de humedad en el lugar de enterramiento. Por el tipo de textura se hubieran esperado densidades altas, características de suelos con partículas grandes como las arenas; sin embargo, se encontraron densidades más bajas de lo esperado. La densidad aparente, con valores entre 1.1 y 1.2 g/cm^3 , típicos de texturas finas, indicó que, aunque es bajo el porcentaje de estas partículas, fue lo suficientemente considerable, aunado al valor de arcillas, para considerar retención de humedad; además, estas densidades aparen-

Cuadro 1
Resultados de los análisis físicos y químicos del suelo

DA	DR	Propiedades físicas				Propiedades químicas			
		EP	Arcilla	Limo	Arena	pH	MO	CE	CICT
gr/cm ³	gr/cm ³	%	%	%	%	1:2.5	%	mmhos/cmmeq/100g	
Atrio									
1.16	2.2	47.27	3	33	65	7.84	5.21	6.70	30.1
1.20	2.5	52.00	7	34	59	8.05	3.11	2.11	23.3
1.21	2.1	42.38	7	33	60	8.00	5.23	2.45	21.9
1.15	2.1	45.23	3	34	63	8.21	4.64	1.46	22.8
1.10	2.6	57.69	5	34	61	8.11	4.81	2.34	19.3
1.20	2.2	45.45	5	41	54	8.29	4.21	1.50	17.9
1.11	2.4	53.55	4	35	61	8.28	3.97	2.65	19.9
1.14	2.3	50.43	6	34	60	8.10	4.12	2.40	21.4
Capilla									
1.14	2.1	45.71	3	40	57	7.02	5.84	1.49	25.1
1.20	2.4	50.00	4	39	57	7.94	7.45	4.30	22.1
1.18	2.1	43.80	5	38	57	7.95	7.34	9.28	26.3
1.17	2.1	44.28	6	37	57	8.07	7.19	6.87	23.7
1.22	2.3	46.95	5	39	56	7.99	7.74	8.11	26.1
1.19	2.3	48.26	8	40	52	8.03	8.55	7.21	28.1
1.24	2.3	46.08	6	34	60	8.50	7.46	5.73	24.7

Nota: DA, densidad aparente; DR, densidad real; EP, espacio poroso; MO, materia orgánica; CE, conductividad eléctrica; CICT, capacidad de intercambio catiónico total.

temente bajas fueron el resultado de los altos contenidos de materia orgánica, la cual hizo menos denso al suelo. La densidad real, alrededor de 2 g/cm³, se debió también a los valores altos de materia orgánica, entre 5.2% y 3.1%. La fracción orgánica generó condiciones de porosidad permitiendo un mejor drenaje. Las características físicas aunadas a la precipitación variable que hay en Los Olmos, y a la profundidad de enterramiento de los esqueletos, no promovieron condiciones fuertes de humedad en los entierros; en consecuencia, las reacciones químicas resultaron escasas.

Por otra parte, los suelos presentaron pH básico, alrededor de 8, condición desfavorable para el hueso a causa de los compuestos quí-

micos promovidos por los oxhidrilos (OH^-). Con estos valores, la producción de compuestos agresivos, como carbonato de calcio (CaCO_3), fue abundante, los cuales precipitaron en el hueso. El hidrógeno es muy inestable y rápidamente reacciona con materiales de su exterior; además, la cantidad de hidrógeno tiene que ver con la solubilidad de otros elementos. Por otro lado, muchos hidrógenos se combinan con Ca, Mg, Na y K formando compuestos químicos que posiblemente precipitaron en los huesos. Las condiciones básicas del suelo, cuando los OH^- exceden a los iones hidrógeno (H^+), generan reacciones que perjudican la parte inorgánica del hueso (Bohn *et al.* 1993).

La capacidad de intercambio catiónico fue alta al pasar los 10 miliequivalentes en cien gramos de suelo, entre 17.9 y 30.1 meq/100g. Esto generó condiciones de equilibrio favorables entre los elementos del hueso y su entorno. Aunque la escasa precipitación del lugar no interfirió en la lixiviación de gran cantidad de elementos, lo cual hubiera creado poca estabilidad en el complejo de cambio como para que el suelo extrajera elementos del hueso generando su degradación (Bohn *et al.* 1993, Pate y Hutton 1988).

Se registraron conductividades menores a 5 mmhos/cm, lo que indicó escasez de humedad. Hubo pocas sales en movimiento y escasos materiales desequilibrantes. Los valores más altos de esta característica química, registrados en los estratos cercanos a la superficie, se debieron a que hay cierta tendencia de las sales a acumularse en la superficie, sobre todo por movimientos de capilaridad, un fenómeno frecuente en las zonas semiáridas. Esto fue consecuencia del clima. Pese al buen drenaje, favorecido por las texturas gruesas, el suelo lixivió sales generando un desequilibrio constante aunque moderado por su movimiento.

Por medio del análisis por EDS, el suelo mostró diferencias significativas, principalmente en calcio, magnesio y sodio (cuadro 2). Se trató de elementos básicos que estuvieron presentes en suelos también básicos. Estos tres elementos desde el punto de vista edafológico son secundarios y abundan en zonas semiáridas; en Los Olmos generaron carbonatos y bicarbonatos de calcio. En estos suelos se estableció un equilibrio entre sus minerales, la capacidad de intercambio catiónico y el hueso, lo cual provocó su integración al hueso. Inclusive, pudieron adherirse a las cavidades óseas otros elementos, de los muchos que hay en el suelo. En éste hay impurezas de cualquier mineral como estroncio,

Cuadro 2
Resultados de la química del suelo por medio de (EDS)
(porcentaje en peso).

Elemento	Atrio			Capilla	
	No. de muestra, profundidad			No. de muestra, profundidad	
	2, 20 cm	7, 70 cm	8, 80 cm	4, 40 cm	6, 60 cm
Na	0.88	0.81	0.76	0.70	0.73
Mg	1.33	1.33	1.75	1.66	1.49
Al	13.07	12.44	11.92	12.56	12.14
Si	50.62	51.04	48.74	48.56	47.99
P	0.82	0.98	1.17	0.67	1.11
K	4.58	5.06	4.81	5.38	5.40
Ca	8.07	7.27	9.55	9.55	10.27
Ti	1.44	1.82	1.38	1.33	1.72
Fe	13.17	13.60	11.84	12.61	13.05
Cu	3.27	3.13	5.15	3.86	3.62
Zn	2.73	2.52	2.94	3.12	2.48
Ca/P	9.80	7.40	8.10	14.20	9.20

Se puede apreciar que los porcentajes de Mg, P, Ca, Cu y Zn aumentaron con la profundidad. También hay cantidades reconocibles de Al, importante en la diagénesis del hueso.

que no es ajeno al suelo y pudo estar atrapado en la precipitación. Si en las muestras analizadas fue abundante la incrustación de carbonatos, pudo suceder que algunos elementos traza penetraran en los huesos.

Porosidad ósea. La porosidad fue más alta en los huesos arqueológicos en comparación con los modernos. Estos últimos presentaron valores medios de 8.2%. La porosidad media de 24.3% y de 20.2% de los fémures del atrio y la capilla, respectivamente, indicó que perdieron masa (figura 3, figuras 4 a, b y 5 a, b, c, d).

Para complementar lo anterior, y por tratarse de tres poblaciones de estudio, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. La porosidad mostró diferencia significativa entre los tres grupos. Aunque la muestra arqueológica indicó más porosidad, en comparación con los huesos modernos, los fémures del atrio mostraron ser más porosos que los excavados en el interior de la capilla (cuadro 3). El mismo fenómeno ocurrió con el estudio anterior, y la diferencia de porosidad entre las dos muestras arqueológicas se debió a que en la capilla había

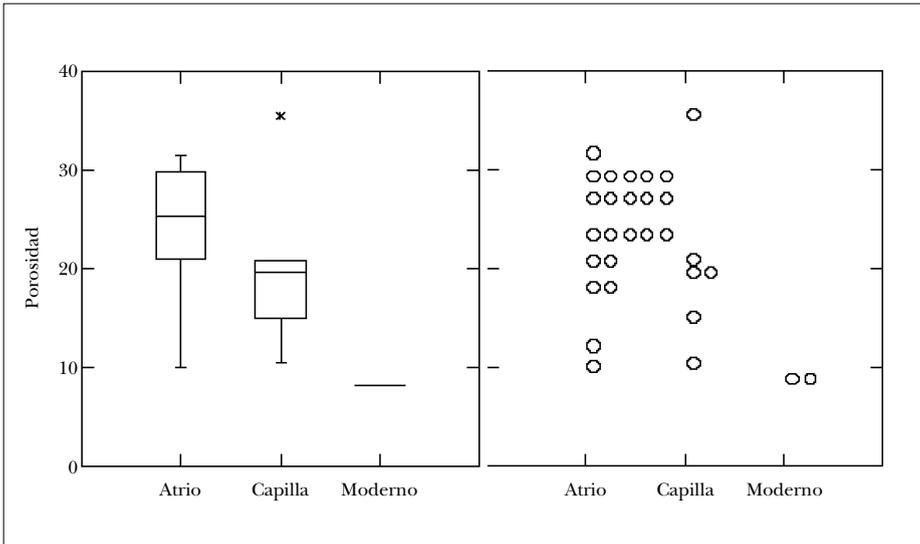


Figura 3. Diagramas en donde se aprecia que los huesos del atrio y la capilla presentan valores de porosidad más altos, utilizando como referencia los huesos modernos. El diagrama de puntos muestra que los huesos arqueológicos tienen porosidades alrededor de 20%.

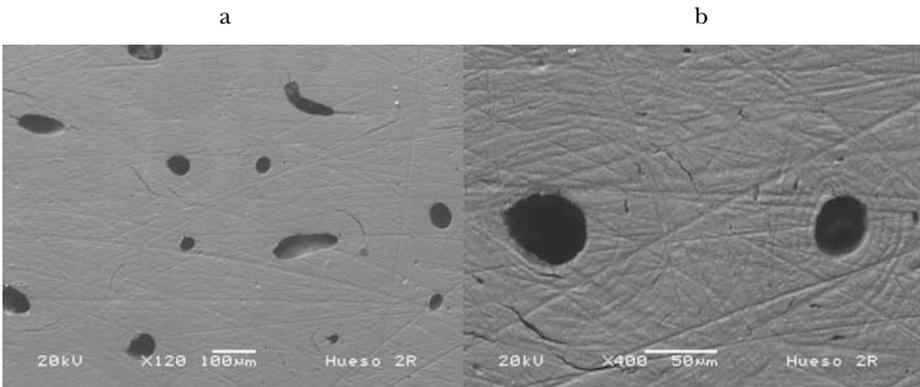


Figura 4. Imagen (a, b) obtenida en un SEM-LV a 120 X y 400 X, que muestra el corte transversal de la diáfisis de fémur de un hueso moderno. Se notan los canales de Havers y las lagunas, pero no hay una densidad de poros que indique destrucción, como se observa en la imagen siguiente.

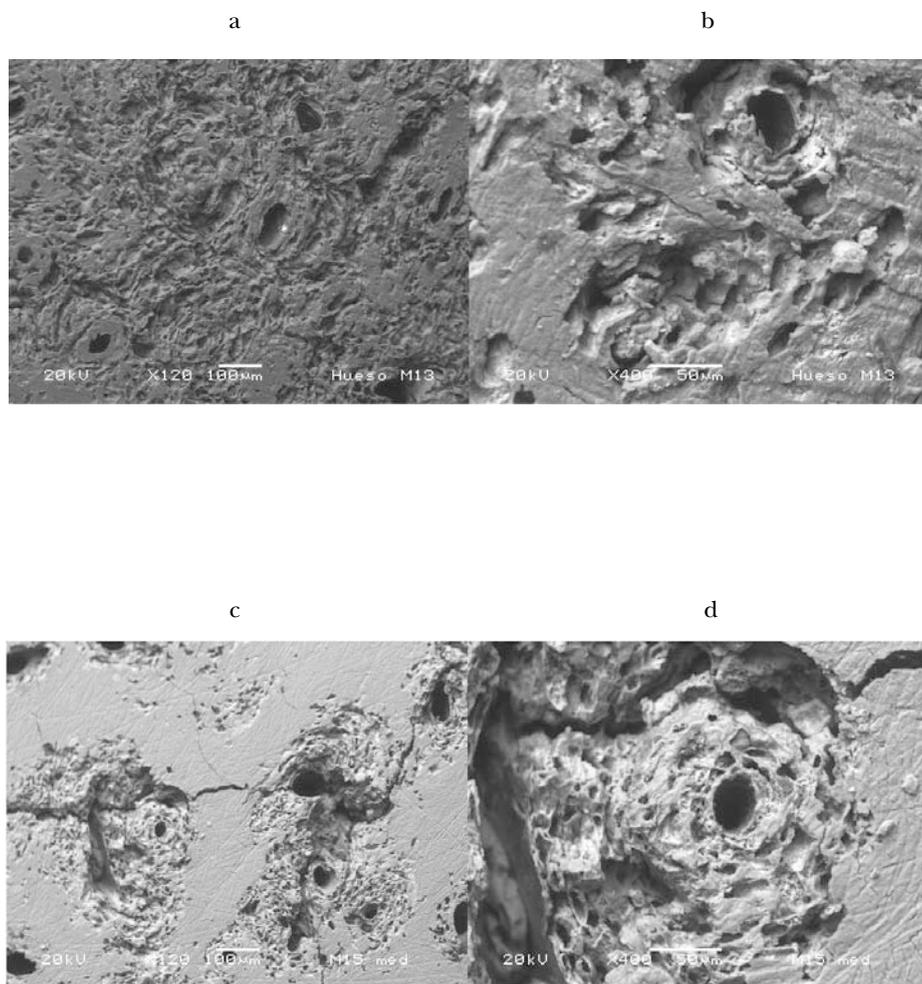


Figura 5. Imagen (a, b, c y d) obtenida en un SEM-LV a 120 X y 400 X que muestra el corte transversal de la diáfisis del fémur de dos de los huesos analizados. Se notan los canales de Havers y la destrucción alrededor de éstos debido al intemperismo químico que provocó aumento de su porosidad. Inclusive, en la imagen b hay grietas que se deben al intemperismo físico provocado por la filtración del agua y los cambios de temperatura.

un piso de estuco que modificó un poco la humedad en el contexto de enterramiento (Gómez *et al.* 2003).

La pérdida de masa de las secciones medias de los fémures, que incluye pérdida de minerales y de componentes orgánicos, tuvo relación con el drenaje del suelo en el sitio de enterramiento. Los procesos diagenéticos que causaron la porosidad del hueso ocurrieron sólo en temporadas de lluvia, por las reacciones químicas producto de la presencia del agua.

Elementos químicos en hueso (cuadro 4). Para saber si algunos elementos químicos del tejido óseo tenían diferencias significativas, en cuanto a la sección del hueso analizada y por el sitio de enterramiento, nuevamente se sometieron los datos al análisis de varianza no paramétrica antes referida, con diferencias significativas para tres elementos químicos (cuadro 5). Considerando los resultados de la prueba, de acuerdo con la sección del hueso, el sodio en la zona media del corte transversal de la diáfisis mostró una significancia a $p=0.04$. La concentración de este elemento fue mayor en los fémures del atrio y los de la capilla y menor en el hueso moderno, aunque en los de la capilla fue menor la concentración que en los del atrio. El magnesio también mostró diferencias significativas a $p=0.01$ para la zona media, con la misma tendencia que el sodio, así como el calcio $p=0.02$ en la zona media con mayor proporción en los huesos arqueológicos.

La relación calcio/fósforo (Ca/P) también fue diferente en la zona media del hueso ($p=0.03$), siendo mayor la relación en los huesos arqueológicos en comparación con el moderno. Para esta relación Ca/P en hueso moderno se utilizó el dato obtenido a partir de los estudios anteriores que especifican un valor esperado de 2.16 para el mineral

Cuadro 3
Análisis de varianza y pruebas *a posteriori* de la porosidad

Grupo	Conteo	Suma de rangos	Rango promedio (ordenado)
Atrio	22	390	17.7
Capilla	6	72	12.0
Moderno	2	3	1.5

Nota: prueba de Kruskal-Wallis, seguida de una comparación pareada por rangos de Wilcoxon-Mann-Whitney, $K = 7.4$, $p = 0.02$, ji cuadrada con 2 grados de libertad.

Cuadro 4

Porcentaje en peso de elementos químicos en hueso a partir de (EDS)

Muestra	Zona	Elemento porcentaje							Ca	Ca/P*
		Na	Mg	Al	P	S	Cl			
Atrio										
15 B	Externa	0.44	0.37	0.00	24.70	0.15	0.19	74.15	2.32	
	Media	0.58	0.53	0.00	25.73	0.00	0.00	73.16	2.19	
	Interna	0.12	0.14	0.00	16.03	0.00	0.13	83.58	4.02	
12 B	Externa	0.00	0.15	0.09	15.40	0.00	0.00	59.37	2.97	
	Media	0.10	0.15	0.06	14.96	0.08	0.09	56.10	2.89	
	Interna	0.00	0.14	0.21	15.20	0.15	0.09	62.83	3.19	
30 A	Externa	0.37	0.30	0.00	25.22	0.00	0.28	73.83	2.26	
	Media	0.27	0.27	5.23	22.42	2.50	0.34	67.71	2.33	
	Interna	0.00	0.28	1.05	19.21	0.00	0.24	79.22	3.18	
4 B	Externa	0.31	0.38	0.00	24.66	0.00	0.13	74.52	2.33	
	Media	0.24	0.26	0.00	24.28	0.00	0.31	74.90	2.38	
	Interna	0.15	0.26	0.00	23.06	0.00	0.31	76.22	2.55	
1 A	Externa	0.38	0.25	0.00	24.13	0.00	0.52	74.71	2.39	
	Media	0.30	0.34	0.00	24.00	0.07	0.50	74.79	2.40	
	Interna	0.27	0.35	0.00	24.19	0.00	0.35	74.84	2.39	
2 B	Externa	0.45	0.39	0.00	24.31	0.09	0.17	74.40	2.36	
	Media	0.61	0.31	0.00	25.06	0.14	0.00	73.88	2.27	
	Interna	0.49	0.38	0.35	24.84	0.00	0.00	73.95	2.30	
22 A	Externa	0.22	0.24	0.22	22.43	0.00	0.24	75.84	2.61	
	Media	0.23	0.25	0.00	22.21	0.00	0.34	76.44	2.65	
	Interna	0.16	0.27	0.00	23.72	0.00	0.35	74.46	2.42	
7 B	Externa	0.00	0.46	0.00	25.06	0.00	0.00	73.56	2.26	
	Media	0.47	0.56	0.00	25.21	0.00	0.00	73.76	2.26	
	Interna	0.21	0.46	0.21	25.29	0.00	0.00	73.83	2.25	
3 A	Externa	0.28	0.24	0.00	23.50	0.04	0.36	75.59	2.48	
	Media	0.32	0.33	0.30	23.88	0.16	0.38	74.61	2.41	
	Interna	0.00	0.24	0.00	24.32	0.07	0.41	72.81	2.31	
Capilla										
13 B	Externa	0.00	0.15	0.00	23.07	0.00	0.00	76.27	2.55	
	Media	0.18	0.14	0.00	23.41	0.02	0.00	76.16	2.51	
	Interna	0.25	0.19	0.00	23.31	0.00	0.00	75.82	2.51	
44 A	Externa	0.26	0.23	0.00	24.40	0.00	0.00	75.11	2.37	
	Media	0.00	0.10	0.00	13.07	0.00	0.00	86.83	5.13	
	Interna	0.00	0.10	0.05	13.95	0.00	0.00	85.89	4.75	
51 A	Externa	0.38	0.49	0.00	25.32	0.42	0.47	72.52	2.21	
	Media	0.00	0.15	0.04	16.56	0.19	0.27	82.78	3.86	
	Interna	0.14	0.26	0.01	24.53	0.32	0.61	73.86	2.32	
35 A	Externa	0.25	0.13	0.00	23.06	0.54	0.46	75.57	2.53	
	Media	0.23	0.00	0.00	23.79	0.31	0.62	75.06	2.43	
	Interna	0.27	0.16	0.47	24.15	0.31	0.86	73.96	2.36	
Hueso moderno										
2 R	Externa	0.34	0.25	0.15	24.20	0.00	0.00	75.06	2.16	
	Media	0.13	0.14	0.00	20.29	0.00	0.00	79.28	2.16	
	Interna	0.28	0.29	0.23	18.47	0.00	0.00	80.74	2.16	

* Valores teóricos de la relación Ca/P para hueso moderno (Pate y Brown 1985, Kyle 1986).

Cuadro 5

Prueba de Kruskal-Wallis con respecto a la sección media del hueso para los tres grupos

Elemento	Grupo	Rango promedio	K*	p
Na	Atrio	9.6	6.4	0.04
	Moderno	4.0		
	Capilla	3.6		
Mg	Atrio	9.9	8.6	0.01
	Moderno	3.5		
	Capilla	3.0		
Ca	Moderno	12.0	7.4	0.02
	Capilla	11.5		
	Atrio	5.2		
Ca/P	Capilla	11.5	6.6	0.03
	Atrio	6.4		
	Moderno	1.0		

* K, estadístico de prueba; p, nivel de significación descriptivo, probabilidad con base en la distribución ji-cuadrada con 2 grados de libertad.

del hueso, considerando que no es puro, ya que hay otros elementos presentes además de la hidroxiapatita (Katzenberg, 1984: en Buikstra *et al.* 1989, Kyle 1986).

Por lo anterior, fue evidente la diagénesis moderada en toda la sección del hueso; es decir, si consideramos que las diferencias significativas se encuentran en la zona media, tomando en cuenta un plano transversal, la interacción química sucedió en toda la estructura del hueso, independientemente si se trató de tejido compacto o tejido esponjoso. Los resultados revelaron que la parte más activa químicamente fue la zona media, donde predomina hueso compacto. Por este motivo se debe reflexionar la pertinencia de aquellas propuestas que afirman que la diagénesis sucede únicamente en la superficie del hueso.

En cuanto al sitio de enterramiento, se encontraron diferencias significativas entre los grupos del atrio y la capilla para magnesio, calcio y la relación Ca/P (cuadro 6). Los huesos del atrio y la capilla mostraron concentraciones altas de magnesio en comparación con los modernos.

El calcio también fue más abundante en los huesos arqueológicos. La relación Ca/P fue más alta en los del atrio y la capilla en comparación con los modernos.

Los análisis químicos por medio de EDS hicieron notar que la fracción química de los materiales óseos excavados en Los Olmos se alteró a lo largo y ancho de la sección de fémur utilizada. Esta información ayuda a explicar por qué los diferentes huesos del esqueleto se degradan en diferentes intensidades, lo que nos obliga a considerar que la diagénesis también sucede de forma diferencial en las distintas secciones de cada uno de los huesos.

Es evidente que algunos elementos químicos no fueron homogéneos en la misma sección. Los estudios diagenéticos relacionados con el tipo de tejido que comparan costillas con huesos largos han mostrado que durante el tiempo de enterramiento el tejido poroso es más propenso a la degradación en comparación con el compacto (Lambert *et al.* 1983, 1984, 1985, 1990, 1991). Aquí notamos que la diagénesis no necesariamente ocurre indistintamente en los dos tipos de tejido.

En los análisis a través de SEM-LV se observó que los fémures arqueológicos adquirieron, en su estructura cristalina, carbonatos de calcio provenientes del suelo, el cual está conformado de partículas minerales,

Cuadro 6

Prueba de Kruskal-Wallis con respecto al sitio de enterramiento

Elemento	Grupo	Rango promedio	K*	p
Mg	Atrio	26.1	11.5	>0.01
	Moderno	18.1		
	Capilla	11.8		
Ca	Moderno	33.5	8.6	0.01
	Capilla	27.5		
	Atrio	17.4		
Ca/P	Capilla	26.7	9.8	>0.01
	Atrio	21.3		
	Moderno	2.0		

* K, estadístico de prueba; p, nivel de significación descriptivo, probabilidad con base en la distribución ji-cuadrada con 2 grados de libertad.

y dentro de ellas hay arcilla, como el caolín o la ilita, entre otros, y al tener cargas negativas pueden reaccionar químicamente con sodio, magnesio y calcio, formando compuestos químicos que se precipitan en el hueso. El agregado de carbonatos se debió al pH básico del sitio de enterramiento. Con un pH alcalino y CO_2 en el suelo, el calcio se removió. Aunque el carbonato de calcio es poco soluble en agua con un pH medio de 8.2 se puso parte del compuesto en solución. En la solución del suelo siempre hay muchos compuestos libres que pueden reaccionar con otros y precipitarse en el hueso.

La porosidad del hueso hizo fácil la precipitación de CaPO_4 (fosfato de calcio) y CaCO_3 (carbonato de calcio). Estos compuestos se precipitaron sin estar relacionados con la hidroxiapatita del hueso, sino como objetos extraños.

Las diferencias significativas en el aumento de la relación Ca/P indicaron que el calcio se incrementó en las muestras arqueológicas debido a que el CaCO_3 penetró en los espacios porosos del hueso por precipitación, aunque también puede suceder por sustitución y recristalización.

COMENTARIOS FINALES

De acuerdo con los resultados, podemos afirmar que la composición química de los huesos estudiados se modificó debido a procesos diagenéticos. El grado de porosidad de la sección analizada de los fémures arqueológicos, comparado con el del hueso moderno, hizo evidente que hubo intemperismo químico, el agua fue abundante y estuvo en contacto con los huesos, parte de la composición de éstos reaccionó químicamente. En el suelo de Los Olmos los valores altos de sodio, magnesio y calcio indicaron que los compuestos extraños en el hueso probablemente se debieron a la precipitación de esos elementos en forma de cristalitas, principalmente de carbonato de calcio. El hierro y el aluminio, encontrados en mínimos porcentajes en algunas muestras, mostraron una inclusión de material de origen geológico. El agregado de carbonatos desde el suelo y la pérdida de fósforo del hueso se reflejaron en el aumento de la relación Ca/P, indicación adicional del proceso de diagénesis.

Para algunos estudios, la información que aportan los elementos químicos del hueso a la antropología física deben obtenerse a partir de la valoración acerca del origen de los elementos que se van a medir; es decir, si proceden del propio organismo o son producto de la diagénesis, así como por la cuantificación de sus concentraciones. Sin duda, es útil seguir comparando huesos modernos con huesos arqueológicos, ver la variabilidad en un hueso único y entre los tejidos esponjoso y compacto; tomar en cuenta la edad en el momento de la muerte del sujeto y considerar la química del suelo del lugar de enterramiento. También lo es recordar que, por la afinidad química entre elementos, la presencia de uno de ellos en el hueso genera la inclusión de otros; por ejemplo, a partir de la precipitación de carbonatos desde el suelo, puede presentarse la integración de estroncio (Pate y Brown 1985), dada la afinidad de este elemento con el calcio, factor importante a considerar en el estudio de la dieta antigua a partir de la cuantificación de elementos químicos en el hueso, porque no necesariamente el contenido refleja la dieta sino la diagénesis.

Asimismo, es indispensable el estudio del clima y la vegetación de la zona geográfica del lugar de enterramiento, ya que el primero constituye un factor fundamental en la distribución de los suelos y de las plantas que en él crecen. Además, es necesario describir la composición química y la estructura física del suelo para entender los intercambios químicos entre los elementos o compuestos tanto del suelo como del hueso.

La información expuesta nos ha permitido reconocer que la diagénesis es un proceso multifactorial, penetrante y dinámico aunque no lineal. Es notorio que hay variación en el grado de intercambio químico entre el suelo y el hueso, y también es incuestionable que los modelos para el cambio diagenético no pueden aplicarse fácilmente en los diferentes contextos de enterramiento.

Agradecimientos: Los autores agradecemos la gentil colaboración del doctor Carlos Serrano Sánchez, de los antropólogos físicos Alberto Prado Gómez, Margarita Meza Manzanilla, Jorge Arturo Talavera González, Xabier Lizarraga Cruchaga y Francisco Ortiz Pedraza, así como a Diego Quiterio Vargas, del Laboratorio Central de Microscopía del Instituto de Física de la UNAM.

REFERENCIAS

- BOHN H., B. MCNEAL Y G. O'CONNOR
1993 *Química del suelo*, Limusa, México, 370 p.
- BUIKSTRA, J. E., S. FRANKENBERG, J. B. LAMBERT Y LI-ANG XUE
1989 Multiple elements: multiple expectations, *The chemistry of prehistoric human bone*, T. T. D. Price (ed.), Cambridge University Press, Cambridge, pp. 155-210.
- DÍAZ, SUSANA
2003 *Caracterización de minerales zircón para fechado geológico por trazas de fisión*, tesis Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México, 108 p.
- GALLOWAY, A. P. WILLEY Y L. SNYDER
1997 Human bone mineral densities and survival of bone elements: a contemporary sample, *Forensic taphonomy. The postmortem fate of human remains*, W. D. Haglund y M. H. Sorg (eds.), CRC Press, Nueva York, pp. 295-317.
- GÓMEZ, ARTURO, SERAFÍN SÁNCHEZ P. Y JOSÉ LUIS CASTREJÓN C.
2003 Efectos de las características del suelo en el deterioro de los restos óseos coloniales del siglo XVI en la comunidad de Los Olmos, Hidalgo, *Estudios de antropología biológica*, X1: 851-869.
- GORDON, C. C. Y J. E. BUIKSTRA
1981 Soil pH, bone preservation, and sampling bias at mortuary sites, *American antiquity*, 46: 566-571.
- 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 paleodietary research, *Journal of archaeological science*, 5 (13): 403-416.
- LAMBERT, J. S. SIMPSON, J. E. BUIKSTRA Y D. HANSON
1983 Electron microprobe analysis of elemental distribution in excavated human femurs, *American journal of physical anthropology*, 4 (62): 409-423.

- LAMBERT, J., S. SIMPSON, C. B. SZPUNAR Y J. E. BUIKSTRA
1984 Copper and barium as dietary discriminants: the effects of diagenesis, *Archaeometry*, 26 (2): 131-138.
1985 Bone diagenesis and dietary analysis, *Journal of human evolution*, 5 (14): 477-482.
- LAMBERT, J., J. M. WEYDERT, S. R. WILLIAMS Y J. E. BUIKSTRA
1990 Comparison of methods for the removal of diagenetic material in buried bone, *Journal of Archaeological Science*, 4 (17): 453-468.
- LAMBERT, J., L. XUE Y J. E. BUIKSTRA
1991 Inorganic analysis of excavated human bone after surface removal, *Journal of archaeological science*, 3 (18): 363-383.
- LYMAN, R. L.
1999 *Vertebrate taphonomy*, Cambridge University Press, Cambridge, 524.
- MÁRQUEZ DE CANTÚ, M. J.
1991 *Probabilidad y estadística para ciencias químico-biológicas*, Mc Graw-Hill, México, 657.
- PATE, D. Y K. A. BROWN
1985 The stability of bone strontium in the geochemical environment, *Journal of Human Evolution*, 5 (14): 483-491.
- PATE, F. D. Y J. T. HUTTON
1988 The use of soil chemistry data to address *postmortem* diagenesis in bone mineral, *Journal of archaeological science*, 15: 729-739.
- RODRÍGUEZ, ROBERTO
2005 La medición de parámetros diagenéticos: comprensión de los modelos de diagenesis, *Estudios de Antropología Biológica*, XII: 997-1019.
- SÁNCHEZ, SERAFÍN
2005 Descripción de perfiles estratigráficos en campo. Análisis físico-químico de suelos y sedimentos, CONACULTA-INAH, Escuela Nacional de antropología e historia, ciudad de México, 79.
- SANDFORD, M. K.
1993 Understanding the biogenic-diagenetic continuum: interpreting elemental concentrations of archaeological bone, M. K. Sandford

(ed.), *Investigations of ancient human tissue. Chemical analyses in anthropology*, vol. 10, Gordon and Breach Science Publishers, EUA, pp. 3-57.

WHITE, E. M. Y L. A. HANNUS

1983 Chemical weathering of bone in archaeological soils, *American antiquity*, 1 (48): 316-322.