

01042
1



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
DIVISION DE ESTUDIOS POSGRADO
PROGRAMA DE POSGRADO EN ESTUDIOS
MESOAMERICANOS

RESIDUAL APLICADO EN 7 SITIOS ARQUEOLOGICOS DE LA
CUENCA DE MEXICO.

(ESTABLECIMIENTO DE LA CURVA DE CALIBRACION PARA EL
FECHAMIENTO POR COLAGENO RESIDUAL EN LA CUENCA DE MEXICO)

T E S I S
QUE PARA OPTAR EL GRADO DE
MAESTRA EN ESTUDIOS MESOAMERICANOS
P R E S E N T A :
H E J U / J A N G C H O



DIRECTOR DE TESIS: DR. LUIS BARBA PINGARRON.

MEXICO, D. F.

2000



278478



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Para mi hijo Yeon Su Lee Jang

Mi agradecimiento a mi esposo y compañero de la vida, Lee Jong Deuk por su amor incondicional y apoyo espiritual.

Muchas gracias a todas mis familiares quienes me han dado el amor infinito durante mi estudio en México.

En agradecimiento al Dr. Luis Barba Pingarrón. Su figura espiritual está presente en el fondo de este trabajo como un reconocimiento de gratitud, admiración y cariño.

En agradecimiento a mis maestros, Maestro. Arturo Romano, Doctor. Jaime Litvak King, Doctor. Carlos Serrano, Doctor. Lauro Bucio por sus valiosas comentarios.

En agradecimiento a mi colega, Hea Joo Chung por su gran amistad y cariño.

Índice

1. Introducción

1.1 Planteamiento del problema -----	1
1.2 Objetivo del estudio-----	6

Capítulo 1. Antecedentes

1.1 La importancia del fechamiento en Arqueología -----	7
1.2 El método de fechamiento -----	9
1.2-1 La Estratigrafía -----	10
1.2-2 Dendrocronología -----	11
1.2-3 Radiocarbono 14 y La Espectrometría de masas de aceleración-	13
1.2-4 La Termoluminiscencia -----	17
1.2-5 El Arqueomagnetismo -----	19
1.2-6 La Hidratación de obsidiana -----	22
1.2-7 El Potasio –Argón -----	25
1.2-8 Las huellas de Fisión -----	26
1.2-9 Sinopsis de los métodos de fechamiento -----	27

Capítulo II . El material óseo

2.1 El hueso	
2.1-1 Estructura del esqueleto y tejido óseo -----	31
2.1-2 Composición bioquímica del hueso -----	36
2.1-3 El proceso de diagénesis -----	40
2.1-4 Paleopatología -----	43
2.1-5 Paleodieta -----	44
2.2 Fechamiento del material óseo -----	46
2.2-1 Estimación de la edad del individuo con antropología física -----	47
2.2-2 Métodos de fechamiento de la edad arqueológica -----	49
2.2-2-1 Fechamiento por radiocarbono -----	49
2.2-2-2 La prueba del nitrógeno -----	50
2.2-2-3 Contenido de flúor y uranio -----	52

2.2-2-4	Raceminación de los aminoácidos -----	54
2.2-2-5	Difracción por rayos X -----	55
2.2-2-6	Comparación por colorímetro -----	56
2.2-2-7	Resonancia Electrónica del Spin -----	56

Capítulo III. Metodología

3.1	Características generales del colágeno -----	58
3.2	El método de fechamiento por colágeno residual-----	60
3.2-1	Antecedentes del método -----	60
3.2-2	El proceso del método -----	65
3.3	Selección de las muestras -----	69
3.3-1	El criterio para el muestreo -----	69
3.3-2	La condición climática de la Cuenca de México -----	71

Capítulo IV. Análisis

4.1	Descripción de muestras óseas y sitios arqueológicos -----	73
4.1-1	Cuicuilco-----	75
4.1-2	Oztoyohualco -----	80
4.1-3	Tlalocan de Teotihuacan -----	86
4.1-4	Xochimilco -----	89
4.1-5	Tlatelolco -----	96
4.1-6	Templo San Pedro y San Pablo -----	104
4.1-7	Ex- convento de San Jerónimo -----	116
4.2	El resultado del análisis de colágeno residual -----	121

Capítulo V. Conclusión

5.1	Interpretación de los resultados -----	127
5.2	Recomendación -----	131

Bibliografía - 134

1. Introducción

1.1 Planteamiento del problema

La ubicación en el espacio y tiempo de una sociedad desaparecida es un problema básico y fundamental que la arqueología intentó resolver desde su inicio. Teóricamente la ubicación en el espacio no es tan difícil como la determinación del tiempo. Mientras que el espacio se define por objetos visibles en forma casi directa, calcular con exactitud el tiempo es difícil de lograr.

Además hay varias razones por las que se necesita fechar al objeto o el sitio arqueológico. La más importante es que con el fechamiento se puede establecer tanto la cronología básica de una región o cultura, como la relación temporal entre diferentes regiones.

Antes del desarrollo de métodos físicos y químicos, para situar los eventos ocurridos en una escala de tiempo, se practicaba el método de estratigrafía, derivado de la geología, que es útil pero no se precisa a qué tiempo pertenece el objeto arqueológico.

Gracias al desarrollo de las nuevas técnicas, desde el siglo pasado comienza la aplicación de varios métodos de ciencias naturales, que permiten al arqueólogo tener la mayor posibilidad de situar un hallazgo en un tiempo determinado con un margen de error aceptable; muchas de estas técnicas son contribuciones de ciencias como la biología, física, química y matemáticas.

La mayoría de los procedimientos utilizados por la arqueología son métodos cuantitativos que miden el contenido de los elementos químicos presentes en el material arqueológico y sus características físicas. Por

ejemplo, el Radiocarbono 14, el Potasio - Argón, el Uranio, el Nitrógeno, etcétera.

Para experimentar con estos métodos se necesita equipo de laboratorio, contar con personal eficiente y tomar en consideración que el material arqueológico que se analiza puede destruirse completa o parcialmente.

Por eso, uno de los puntos más importantes para aplicar las técnicas de fechamiento en arqueología es la disponibilidad de materiales, pues deben ser fáciles de encontrar en contexto primario arqueológico y abundar en varios sitios excavados, y asegurar que exista una relación directa entre el material y el contexto arqueológico.

De acuerdo con los puntos anteriores, los restos óseos son uno de los materiales más indicados para este propósito, pues se trata del elemento biológico más común en cualquier sitio arqueológico. Además, el hueso humano es uno de los materiales más abundantes en las excavaciones y puede proporcionar información, como la paleodieta relacionada con el medio ambiente, patología, paleodemografía.

Después de la Segunda Guerra Mundial, los investigadores propusieron que bajo condiciones similares de enterramiento, la diferencia del grado de fosilización podría ser un indicador de la antigüedad del material óseo, y lo intentaron demostrar por medio del análisis químico cuantitativo de restos óseos.

Considerando que el hueso está constituido de una fracción mineral y una orgánica, el método de fechamiento puede aplicarse de dos formas diferentes y complementarias, de acuerdo con sus propiedades y comportamiento en el tiempo.

Para el material orgánico hay análisis como el contenido de nitrógeno, raceminación de los aminoácidos, y para el material inorgánico, como la

hidroxiapatita, se encuentra el análisis por difracción de rayos X que mide el tamaño de los cristales de este elemento.

Entre los métodos que utilizan el material óseo para la datación hay una nueva técnica que se aplica a los materiales orgánicos del hueso enterrado. Esta técnica se llama “ Fechamiento por colágeno residual”. Su teoría principal es que el contenido de colágeno en huesos enterrados bajo condiciones semejantes depende directamente de la antigüedad de los materiales; así, concluye que los materiales óseos más antiguos presentan menor contenido de colágeno que los restos más recientes.

Hasta este momento hay dos tesis sobre este método aplicado al material óseo encontrado en los sitios arqueológicos de México. El primero es de Lazos(1992), que aplicó esta técnica a las muestras óseas de la Cuenca de México. En su tesis, ella especificó la necesidad de determinar el tipo, cantidad y el tamaño de la partícula del resto óseo más adecuados para la técnica. Posteriormente, Berriel y Almaguer(1997) aplicaron este método a las muestras óseas de los sitios Cuertlajuchitlán, en Guerrero, y Monte Albán, en Oaxaca. Las dos tesis obtuvieron resultados que no sólo demuestran la gran aplicabilidad de este método, sino su fiabilidad como método de fechamiento relativo del hueso para la arqueología mexicana.

El propósito de este proyecto es, a partir de sus avances aplicados sitios, se propone aplicar esta técnica a los materiales óseos arqueológicos que comparten las mismas condiciones ambientales en una región determinada.

Antes de llevar acabo el análisis establecimos los criterios para el muestreo, como la condición del entierro y la edad del individuo, entre otros puntos, con la intención de tener un buen control sobre los materiales analizados.

De acuerdo con los criterios, seleccionamos 67 muestras correspondientes a 7 diferentes sitios arqueológicos que se encuentran en la Cuenca de México, con el fin de aplicar esta técnica.

La mayor parte de este trabajo consiste en el análisis de las muestras seleccionadas y en probar la fiabilidad del método como una técnica de fechamiento del hueso arqueológico.

En el primer capítulo se hablará de la importancia que tiene fechar los objetos encontrados en sitios arqueológicos y se discutirán los diferentes métodos de fechamiento aplicables a distintos materiales arqueológicos: Algunos ya se practican con absoluta confianza, mientras que otros aún están en una etapa de perfeccionamiento, por lo tanto todavía se necesitan más experimentos.

En términos generales, los dos métodos de fechamiento, el absoluto y el relativo, colaboran de manera conjunta para cumplir su función: determinar la temporalidad exacta de un objeto o sitio excavado.

El capítulo 2 se presentarán generalidades a cerca del hueso humano, la importancia que su investigación tiene en el estudio de una sociedad desaparecida, la fisiología, patología, paleodieta, la diagénesis, composición química y el método para calcular edad y sexo del hueso. Aparte, se expondrán los métodos de datación que se pueden aplicar especialmente a los materiales óseos, como son el de Carbono 14, el del contenido del Nitrógeno y Flúor, el de Uranio y Raceminación de los aminoácidos, entre otros.

En el capítulo 3 se establecerá la metodología principal para este proyecto, que es el método de fechamiento por colágeno residual. Empieza con una explicación general del colágeno, cuál es el proceso de pérdida de este material orgánico y los factores que afectan este proceso llamado diagénesis.

Para obtener mayor fiabilidad de la técnica empleada es necesario establecer los criterios para la selección de las muestras. Por lo tanto, también se hará referencia a estos criterios y, finalmente, sobre el procedimiento de análisis de esta técnica, que ha sido modificada en algunas ocasiones.

El capítulo 4 presentará las descripciones de las 67 muestras de los 7 diferentes sitios arqueológicos de la Cuenca de México, donde ha sido aplicado este método. Estos son Cuicuilco, Oztoyahualco, Tlalocan, Xochimilco, Tlatelolco, Templo San Pedro y San Pablo y Ex – convento de San Jerónimo. Por último, se explicarán los resultados del análisis en cada sitio.

En la conclusión discutiremos el resultado final del análisis y la fiabilidad y aplicabilidad de esta técnica como un método de fechamiento para la arqueología mexicana.

1.2 Objetivo del estudio.

1. Establecer un criterio para la selección de muestras para analizar, con el objeto de lograr un margen de error mínimo de fechamiento por colágeno residual.
2. Comprobar que entre los materiales óseos encontrados en los 7 sitios arqueológicos dentro de la Cuenca de México se observan contenidos diferentes del colágeno, que dependen de la antigüedad del material.
3. Calcular la tasa de pérdida del colágeno en los materiales óseos y establecer con esa medida un método de fechamiento relativo.
4. Comparar la fecha obtenida por el método de colágeno con la fecha obtenida por el de Carbono 14.
5. Establecer una curva de calibración con los datos de Carbono 14, que permita convertir esta técnica en absoluta. Una vez establecida, la diferencia cuantitativa y la cantidad del colágeno en los materiales óseos podrán considerarse como un índice que proporcione la fecha de los huesos encontrados.

Capítulo 1 Antecedentes

1.1 La importancia del fechamiento en Arqueología

La cronología es un aspecto fundamental en la investigación arqueológica; para comprender y fundamentar científicamente el pasado de la humanidad y sus etapas culturales, el arqueólogo debe situarlos dentro de un proceso evolutivo. El establecimiento de una cronología de los restos encontrados, por lo tanto, es la primera preocupación de la arqueología.

La obtención de datos cronológicos no sólo se logra a través de la aplicación de ciertos métodos propiamente arqueológicos, sino que también se apoya en técnicas provenientes de otras ciencias distintas a las que podemos llamar colaboradoras de la arqueología, en el sentido de que pueden aportarle métodos de fechamiento.

El método arqueológico cuenta con dos principios fundamentales: la estratigrafía y la tipología. Por otra parte, las ciencias colaboradoras, como las ciencias naturales, y en especial la física y la química, proporcionan a la arqueología medios de datación tales como la dendrocronología, el arqueomagnetismo, el carbono 14, el flúor, el potasio – argón, la termoluminiscencia, entre otros. (Ramos Fernández. 1977. p67)

Existen otros métodos de fechamiento y actualmente se desarrollan nuevas técnicas para calcular la edad de los restos arqueológicos; mientras, los que ya se aplican son perfeccionados. Debido al gran número de métodos pocas veces se llegan a practicar, para comprobar y extender su aplicación en combinación con otros. Un reporte arqueológico generalmente contendrá una sección que explica cuáles se usaron, por qué y cómo. (Litvak King 1986. P104)

En el campo arqueológico existen dos formas de fechamiento: el absoluto o directo, que significa la distancia de años desde el presente; y el

relativo o indirecto, que es en relación con otros eventos. (Goffe.1980.p286)

El primer sistema de datación es el fechamiento relativo. Este método más que una forma precisa de fechar, coloca un suceso con un orden cronológico antes, después o al mismo tiempo de otro acontecimiento cuya fecha si se conoce o no. Aunque esto parece complicado, la idea es bastante sencilla, si suponemos que algo pasó en una fecha determinada y otro acontecimiento sucedió después, podemos fechar esta segundo hecho en función del primero.

El fechamiento relativo, o cronología relativa, es una secuencia temporal que sólo puede determinar el orden en que han sucedido o han evolucionado las distintas culturas de las que tenemos vestigios materiales, y cuáles fueron las relaciones cronológicas entre estas culturas y otras. Este fechamiento trata simplemente de establecer órdenes de sucesión que aporten una clasificación en el tiempo de los objetos o de los estratos arqueológicos por estudiar, es una clasificación que únicamente nos podrá indicar la mayor o menor antigüedad de una pieza o de un estrato con respecto a otras piezas u otros estratos. (Ramos Fernández.1977.p64)

Por otra parte, la cronología absoluta precisa la datación de los objetos y estructuras arqueológicas dando su fecha exacta cifrada en años.

El término datación absoluta ha sido modificado por algunos investigadores. Ewer prefiere llamarlo “edad absoluta” con referencia a la contemporaneidad entre un yacimiento o una pieza y otros yacimientos o piezas. Oakley propuso sustituir “absoluta” por “cronométrica”, dando origen a lo que él llama datación cronométrica, que en realidad y fundamentalmente significan lo mismo. (*Ibid* .p65)

En suma, podemos definir la datación relativa, como una relación que guarda entre cada estratigráfica o de una pieza arqueológica o de un estrato

cultural; y datación absoluta es la edad de una pieza o un estrato cultural medida en años.

La arqueología recibe gran ayuda de otras ciencias para establecer cronologías, como la física, la química, la geología, la paleontología, la climatología, entre otras, que con sus análisis especializados dan a conocer, con suficiente precisión, una serie de fechas para poder establecer secuencias temporales de las distintas culturas de la humanidad.

Aunque cada técnica de fechamiento tiene sus cualidades para establecer una cronología arqueológica, en la práctica los métodos de fechamiento funcionan como un conjunto que se complementan y combinan perfectamente para asignar una fecha aceptable a una pieza o a una cultura arqueológica.

1.2 El método de Fechamiento

Hay muchos métodos de datación que se utilizan en el campo de la arqueología. Dentro de ellos, son considerados propiamente arqueológicos y otros provienen de distintos campos de las ciencias naturales.

Los métodos arqueológicos que se han practicado en la arqueología desde hace mucho tiempo son estratigrafía, tipología y seriación, entre otros.

A estos pertenece el que se conoce como fechamiento por asociación, y es uno de los métodos más comunes. Si se desconoce la fecha de un artefacto pero se sabe que está asociado con otro artefacto cuya fecha sí se conoce, entonces se puede determinar la fecha del primero. El peligro que tiene este método es la dificultad para determinar con exactitud la asociación que tienen entre sí. (Litvak King. 1986. p96)

Otra manera de fechamiento derivado de las ciencias naturales es la datación química, con la cual se determina la edad de los materiales antiguos al calcular su composición química o sus propiedades físicas.

Goffe dividió en cuatro categorías este tipo de fechamiento.

El primero calcula la cantidad relativa de un elemento estable o la composición química que presenta. Por ejemplo, la datación de acuerdo con el contenido de uranio y racemización de los aminoácidos.

En segundo lugar, se encuentra el método que mide la concentración relativa de un isótopo radioactivo. Por ejemplo, el fechamiento con radiocarbono 14.

El tercero es el que registra una disminución del elemento radioactivo; el método potasio – argón pertenece a esta categoría.

Finalmente, tenemos en cuarto lugar al método que se basa en evaluar un efecto causado por radioactivo, por ejemplo, la termoluminiscencia y las huellas de fisión. (Goffe.1980.p286)

1.2-1 La Estratigrafía

Este es un método fundamental para la arqueología, basado en el hecho de que toda capa geológica se ha depositado con posterioridad sobre la que tiene debajo. Así, al observar una serie de capas, las de más abajo se consideran como de mayor antigüedad y conforme se avanza hacia la superficie cada capa es más reciente que las anteriores. (Ramos Fernández.1977.p65)

Hasta hace pocos años éste era el único método, junto con la tipología, que permitía fechar ciertos estratos en relación con otros. Hoy en día existen más métodos, pero la estratigrafía sigue siendo la norma fundamental en el trabajo arqueológico. Si una capa que contiene material arqueológico se encuentra debajo de otra, a este material se le puede

asignar una fecha relativamente anterior a la de la capa de encima. Incluso en caso de que ésta no se pudiera fechar, sí se puede establecer una cronología en relación con el tiempo y determinar que la primer capa junto con su material arqueológico son más antiguos que las subsiguientes capas.

Aunque el método por posición estratigráfica sea uno de los más comunes en arqueología, es un fechamiento relativo, por lo tanto, para aplicarlo se requiere mucho cuidado y la verificación por otros métodos.

A veces, algunas capas de sitios arqueológicos pueden estar alterado por causas diversas, sobre todo en los puntos donde dos capas se unen o cuando su separación no es clara. El significado cronológico de las capas no siempre es decisivo, pues el grosor de éstas no es necesariamente proporcional al tiempo. La clave para cualquier fechamiento aceptable es una excavación perfectamente controlada. Para asegurarse de que la fecha de una capa es más antigua que otra por encontrarse debajo de la primera, en la excavación se deben tener bien documentados los objetos encontrados con fotografías y dibujos, y describir perfectamente las características de las capas. (Litvak King. 1986. pp96-98)

1.2-2 Dendrocronología

La dendrocronología es un tipo de fechamiento absoluto utilizado en arqueología, que tiene sólo un año de margen diferencia. Este método examina el crecimiento de los anillos en los troncos de algunos árboles, marcas muy definidas que se desarrollan anualmente. En algunos lugares esas marcas varían dramáticamente cada año de acuerdo con la cantidad de agua de la temporada.

Para analizar los anillos de crecimiento de los árboles, se hace un corte transversal en el tronco para observar las series de círculos

concéntricos que se conforman. El análisis también permite determinar las variaciones climáticas bajo las cuales se desarrollaron los árboles.

El espesor de cada anillo está condicionado por los factores climatológicos que actuaron durante un año; por ejemplo, durante la primavera los elementos de crecimiento son de gran tamaño y de color claro, mientras que los del verano son más estrechos y más oscuros; en contraste, los de otoño e invierno son casi nulos. Por otro lado, el crecimiento de los anillos es mayor durante los años cálidos y húmedos, que durante los secos y fríos.(Michels. 1973. p117)

Un árbol que se corte actualmente mostrará los anillos correspondientes a cada año desde que nació. Como esos anillos son tan distintivos en su secuencia, se puede ligar con los de otro árbol, cortado en un momento que se refleje en el primero y que llevaría la fecha hacia atrás, y así sucesivamente hasta calcular más de 2 000 años de antigüedad, con un margen de error menor de un año. (Litvak King. 1986. p99)

El iniciador de este método es A.E. Douglas, quien advirtió que todos los árboles de una misma región presentan una oscilación concéntrica de anillos y las mismas variaciones. Si se individualizan cada uno de esos anillos, equivalente a un año, y se estudian sus características y variaciones con respecto a los demás, se pueden establecer curvas de oscilación climática. Las curvas obtenidas con árboles permiten fechar cualquier madera contemporánea de la curva ya establecida y procedente de la misma región. A partir de las gigantescas secuías de California, Douglas consiguió establecer una serie cronológica que abarca más de 3 000 años.(Ramos Fernández. 1977. pp 99-100)

Sin embargo, este método no se puede aplicar a cualquier tipo de árbol. Comúnmente se puede fechar árboles como los pinos y secuías gigantes, y a veces hasta un *sagebrush*. (Thomas.1979. p194)

Por lo tanto, la dendrocronología ofrece posibilidades muy limitadas, y su aplicación se reduce exclusivamente a las áreas geográficas forestales; o sea, a las regiones donde la madera ha sido utilizada en forma intensiva y que además ofrezcan buenas condiciones para su conservación. Gracias a la dendrocronología se ha conseguido fechar poblados precolombinos del Sudoeste de los Estados Unidos, y en Alemania, Noruega, Gran Bretaña, Suecia y Escandinavia se han establecido series de este tipo para los últimos cinco siglos.(Michels. 1973. p126)

En la actualidad se intenta aplicarlo a Mesoamérica con buenas esperanzas para algunas regiones. Además, se han comprobado satisfactoriamente sus resultados por medio de otras técnicas. (Litvak King.1986. p99)

La dendrocronología ha sido uno de los apoyos más firmes a la hora de demostrar la fiabilidad del radiocarbono. En los anillos de crecimiento de los árboles, el carbono 14 queda impreso como una huella dactilar, y como cada anillo corresponde a un año y no todos los años son iguales debido a las cambiantes condiciones climáticas, se puede construir una escala cronológica de anillos según sus grosores. (Baillie.1991. pp230-231)

1.2-1-3 Radiocarbono 14 y La Espectrometría de Masas de Aceleración

Desde Willard F. Libby, químico atómico que presentó a principios de los años cincuenta su método de datación basado en el carbono 14, este método ha sido fundamental para la arqueología. Actualmente es uno de los mejores métodos de fechamiento absoluto. Libby se basó en dos hallazgos fundamentales: descubrir que toda materia orgánica es radioactiva y, segundo, hallar el tiempo exacto de desintegración de dicha radioactividad.

Los estudios experimentales de Libby comprueban que los rayos cósmicos procedentes de estrellas, nebulosas o galaxias, al penetrar en la

atmósfera de la tierra producen neutrones. Estos neutrones bombardean a los átomos de los elementos químicos existentes en la atmósfera terrestre.

Así, se produce una mutación de elementos, es decir, que el nitrógeno se transforma en un átomo de hidrógeno y otro de carbono catorce. Este carbono se combina con el oxígeno de la atmósfera para producir una molécula de anhídrido carbónico, que es absorbida por las plantas y se ubica en el protoplasma de las células de los tejidos orgánicos. Por lo tanto, los seres humanos y los animales lo adquieren en sus tejidos mediante la ingestión de las sustancias vegetales; también lo obtienen durante el proceso de la respiración. Con la muerte cesa la asimilación y el metabolismo, por tales razones ya no se introduce en el cuerpo ningún nuevo átomo del C14; posteriormente el equilibrio establecido entre el carbono 14 y el 12 se convierte en un proceso unilateral de desintegración no compensada del C14. En consecuencia, desde ese momento se pone en marcha el reloj radioactivo.(Pezzia.1961. pp4-6)

El valor del período de desintegración de carbono 14 a carbono 12 es la llamada vida media del átomo radioactivo. Cuando Libby presentó la vida media del carbono 14 era de $5\,568 \pm 30$ años y luego definieron tres determinaciones más sobre la vida media del carbono, $5\,580 \pm 45$ años, $5\,589 \pm 75$ años y $5\,513 \pm 165$ años. Finalmente, el Congreso Internacional de datación de radiocarbono (1962 y 1965) aprobó que el valor $5\,730 \pm 40$ años era el adecuado para la vida media del carbono 14, pues ese era el tiempo en el que la cantidad de carbono 14 queda reducida a la mitad.
(Michels.1973. p150)

Más tarde, los investigadores comprobaron los resultados de las experiencias y establecieron el siguiente cuadro:

A - Durante la vida de los organismos la radioactividad del carbono 14 es constante

B. – El potencial radioactivo después de la muerte humana, animal ó vegetal, presenta los siguientes promedios:

1. El carbono catorce pierde la mitad de su poder radioactivo a los 5 730 años.
2. El carbono catorce manifiesta la cuarta parte de su radioactividad a los 11 460 años.
3. La octava parte del poder radioactivo del Carbono catorce, se expresa a los 17 190 años.
4. Finalmente a los 45 000 años, la radioactividad del carbono catorce es nula.

En las muestras que requieren fechamiento por radiocarbono se deben tomar ciertas precauciones para su obtención y manejo, con el fin de evitar que se contaminen. Por ejemplo, conseguir las muestras con un instrumento metálico y no tomar las con las manos ni fumar durante el muestreo. Para evitar la contaminación durante el empaque, nunca se deben usar bolsas de papel, tela, o cartón; las muestras deben colocarse en papel aluminio, bolsas de plástico gruesas o en un frasco de vidrio. De preferencia, se tienen que mantener en el estado seco y meter en una bolsa oscura. (Mook y Groingen. 1985. p33)

No todos los materiales pueden fecharse por carbono 14. Éste método sólo se usa para los objetos que contienen materia orgánica, es decir, los que contienen el elemento carbono. Las muestras fechables por radiocarbono son, por ejemplo: carbón vegetal junto con madera carbonizada, conchas y productos marinos encontrado en sitios arqueológicos, huesos de humano o animales, hojas, semillas y fibras vegetales, suelos y sedimentos, etcétera. (García-Bárcena. 1982. pp32-33)

Las cantidades necesarias de cada tipo de muestra para procesar según el análisis de radiocarbono son; (Thomas. 1979.p 203; García-Bárcena. 1982. pp32-33 ; Laboratorio Geochron)

Material	Peso óptimo	Peso mínimo	AMS. El peso óptimo	AMS. El peso mínimo
Carbón	20 g	2 g	20 mg	2 mg
Madera	30 g	3 g	30 mg	3 mg
Conchas	50 g	7 g	50 mg	10 mg
Hueso	500 g	100 g	5000mg	500 mg
Sedimento o suelo	300 g	100 g	10 g	1 g

Tabla 1-1. Cantidad óptima de diferentes materiales para la aplicación de radiocarbono 14.

El gran problema al que debían enfrentarse los arqueólogos era cuando en las excavaciones no se recuperaban las cantidades suficientes de restos materiales para medir su radioactividad. Incluso, a veces los arqueólogos se niegan a realizar ciertos estudios por suponer que el material que han encontrado se quedará altamente deteriorado o sencillamente, desapareciera por el experimento. Con la Espectrometría de Masas de Aceleración (AMS) este problema ha quedado resuelto, porque se puede utilizar la mínima cantidad de las muestras arqueológicas sin que se destruya de alguna parte. Desgraciadamente el método AMS requiere máquinas muy complicadas y el proceso resulta demasiado caro como para que esté al alcance de todos. (Errico,F. Williams,C.T. Stringer. 1998. p786)

La datación del carbono 14 se puede utilizar a partir de 3 000 años a.P. (antes del presente). Y teóricamente si se mantiene el proceso regular y constante de desintegración del carbono 14, se pueden proporcionar cronologías absolutas de hasta 35 000 años de antigüedad. Aunque estudios recientes realizados con el carbono radioactivo extienden su datación hasta los 70 000 años, a partir de los 55 000 años sólo se ofrecen fechas

relativas. Éstas comienzan a perder fiabilidad y el proceso de medición se vuelve demasiado complejo y costoso. (Ramos Fernández. 1977. p92)

El fechamiento por carbono 14 está limitado por el tiempo que puede abarcar. Además, tampoco sirve para épocas muy modernas debido a la contaminación ambiental. Desde finales del siglo XVIII, a partir de la Revolución Industrial, se ha modificado la cantidad de carbono en la atmósfera. (Litvak King. 1986. p101)

Por tanto, es necesario corroborar las fechas obtenidas a través del carbono 14 con las que arrojan otros métodos históricos y arqueológicos.

1.2-4 La Termoluminiscencia

Este método fue dado a conocer por Boyle hace aproximadamente 300 años. A principios del siglo XX, Lind observó que al irradiar algunos cristales, éstos tomaban una coloración que anteriormente no poseían, la cual desaparecía por calentamiento. En la década de los cincuenta, Wick estudió la termoluminiscencia de fluoruros y carbonatos; observó que el fenómeno de termoluminiscencia se presentaba en el primer calentamiento de las muestras y que éstas podían reactivarse por exposición a rayos X o a emanaciones de radio. (De los Ríos Paredes. 1989. p7)

La aplicación de las curvas de termoluminiscencia a la datación arqueológica aparece en el trabajo de F. Daniels, en 1953. (Michels. 1973. p189)

Con la técnica de la termoluminiscencia hay grandes posibilidades de datar hallazgos de cerámica encontrados en cualquier sitio y condición. Los materiales del suelo con los que se fabrica la cerámica, como muchos de los minerales naturales, tienen la propiedad de conservar energía atrapando electrones como defectos atómicos o lugares de impureza. Esta energía

guardada puede liberarse calentando el material, con lo que éste emitirá luz visible; este fenómeno es conocido como termoluminiscencia. (Hall. 1982.p105)

Gradualmente, este método realiza contribuciones importantes no sólo para la arqueología, sino también en la paleolítica que la aplica en materiales como piedra quemada, barro cocido, calcita no quemada, entre otros más.(Aitken. 1981. p1)

La luminiscencia comprende las siguientes etapas: excitación del cuerpo luminoso por efecto de una radiación adecuada, almacenamiento de energía y finalmente, emisión luminosa. (Ramos Fernández.1977.p88)

La termoluminiscencia es el método más eficaz en la datación de restos de cerámicas que, por otra parte, son el material arqueológico más abundante. Pero también consigue dar fechas igualmente fiables para los restos de hornos de cocción y para cualquier objeto de arcilla cocida a más de 700 grados centígrados (estatuas, cuencos, entre otros).

Las cerámicas están formadas principalmente por arcillas que contienen cantidades muy pequeñas de partículas radioactivas de uranio, del orden de 3 partes por millón; de torio, con 12 partes por millón, y de potasio, que se encuentra en cantidades mucho más grandes, del 1 al 3 por ciento. En consecuencia, los minerales de estas arcillas están sometidos constantemente a una irradiación interna. La energía desprendida por la desintegración de estos elementos queda almacenada parcialmente en los cristales, y es proporcional al tiempo y a la cantidad de radioelementos presentes. (*Ibid.* p89)

En la datación de cerámicas por termoluminiscencia el hecho fundamental es que su calentamiento suprime toda termoluminiscencia anterior; es decir, que la termoluminiscencia que se mide en las cerámicas será aquella acumulada durante su fabricación, la cual ha sido cocida a una temperatura que oscila entre 700 y 1 000°C. (*Ibid.* p90)

Algunos museos utilizan esta técnica para detectar falsificaciones de piezas arqueológicas hechas de cerámica, apoyados en las curvas establecidas por la termoluminiscencia con las que se puede discernir casi perfectamente lo antiguo de lo moderno. (Litvak King.1986.p102)

Entre los materiales que hasta hoy han sido fechados con éxito están la cerámica, sedimento fino, materia orgánica, piedras quemadas, lava y estalactitas; cualquier material de este tipo es adecuado para ser fechado por termoluminiscencia. La fecha que da esta técnica es el momento en que la energía responsable de la termoluminiscencia fue eliminada por última vez del material. La causa de esto puede ser el calentamiento de la muestra a 500°C o más, recristalización del material y exposición a la luz y calor. Las muestras más adecuadas para propósitos arqueológicos son cerámica, muestras de hornos o de construcciones que fueron quemados, o piedras que formaron parte de hogares.(García-Bárcena. 1982. pp35-36)

1.2-5 El Arqueomagnetismo

El término “arqueomagnetismo” fue inventado por, el profesor E.Thellier, precursor de este investigación. Su estudio se enfoca al magnetismo residual en los restos arqueológicos. Se distingue del paleomagnetismo, que es el estudio del material geológico; sin embargo, ambos se basan en el hecho de que el campo magnético de la Tierra (cuyo efecto más conocido es el norte magnético de la brújula) cambia continuamente de dirección y en intensidad, y que tales cambios por lo común dejan registros naturales. El paleomagnetismo observa estos registros en las rocas sedimentarias, donde son el resultado del proceso de formación geológica; pero los estudios arqueomagnéticos se interesan en los registros del magnetismo originado por el calor provocado intencionalmente (magnetismo termorremanente). (Cook. 1982. p70)

La datación magnética es un método basado en la existencia del campo magnético terrestre, cuya dirección está definida por la declinación magnética o ángulo existente entre el norte geográfico y el norte magnético, y por el ángulo de inclinación o desviación de las líneas magnéticas en relación con la horizontal. (Ramos Fernández. 1977. p95)

El proceso de magnetización termorremanente es el siguiente: muchas rocas contienen óxidos de hierro magnéticos, por encima de una temperatura determinada, conocida como el punto Curie, las partículas de estos óxidos pierden su facultad para retener el magnetismo. Cada diferente óxido magnético tienen su punto Curie correspondiente; el más alto, de 670°C, es el de la hematita; para la magnetita es de 580°C. (Cook. 1982. p70)

Al momento de enfriarse, los óxidos se alinean de acuerdo con el al campo magnético terrestre existente en aquel momento de quema, quedando así fijada la dirección de dicho campo. Si se tiene en cuenta que dicho campo magnético se modifica anualmente, en teoría se puede establecer una curva de variaciones magnéticas. (Ramos Fernández. 1977. p95)

Una vez hecha esta curva será útil para los arqueólogos que necesitan fechar estructuras u objetos en los que se conoce el magnetismo remanente. Por ejemplo, en Londres se encontró un horno del tipo romano británico y la dirección de su magnetismo remanente tenía un valor de 57° para la declinación y de 1°E para la inclinación, su probable antigüedad podría ubicarse alrededor de 2 200 a.P. Tales afirmaciones son los objetivos esenciales del análisis arqueomagnético. (Cook. 1982. p73)

Para estos estudios hay ciertos requisitos importantes; primero, debe tener la orientación que tenía el objeto del estudio en el momento de haber sido magnetizado, como un punto de referencia. En el caso de estructuras

quemadas esto significa que para ser útiles deben estar estrictamente *in situ*, sin haber caído a tierra o cambiado de posición.

Otra condición es que deben contener una proporción suficiente de óxidos magnéticos y que hayan sido cocidos adecuadamente. Un punto importante es que no deben haberse expuesto durante mucho tiempo al aire libre o a la humedad, y que no estén demasiado fragmentados.

Por lo tanto, antes de seleccionar la muestra debe anotarse su posición geográfica. Para evitar la contaminación, la muestra *in situ* se envuelve parcialmente en yeso, alisando de forma horizontal su cara superior, y se marca en esta superficie del yeso la orientación geográfica. Así, una vez extraída la muestra, se hace posible determinar la orientación de aquella línea original. Finalmente, el análisis de laboratorio define la dirección magnética, y con ella se pueden determinar los ángulos de declinación e inclinación. (Ramos Fernández. 1977 .p96)

En la aplicación del método para materiales arqueológicos, los hornos son las estructuras que proporcionan los mejores resultados. En general, la parte inferior de los hornos son las que tienen mayores probabilidades de conservarse en buen estado; en la mayoría de los casos sus paredes fueron hechas de arcilla y posteriormente cocidas a temperaturas no menores de 800°C. Normalmente, los fogones y sitios de cremación no sufrieron temperaturas tan elevadas y la profundidad de magnetización suele ser mucho menor. Las paredes y pisos de los edificios que fueron incendiados también suelen dar buenos resultados.

Para medir la inclinación y declinación en el caso de ollas y otros objetos transportables como la cerámica, posiblemente existe el peligro de que hayan sido vueltos a magnetizar, sea total o parcialmente, debido a incendios accidentales durante el momento de cocinar o al efecto de una hoguera funeraria.

Otra aplicación importante es la detección de falsificaciones de figuras de terracota y de cerámica, si se prueba que hay una diferencia apreciable entre la intensidad antigua y la moderna.(Cook.1982.p80)

La teoría del magnetismo remanente no ha sido perfeccionada en todos sus detalles y las explicaciones de algunos fenómenos son aún tentativas. Lo más importante para poner en práctica el método por arqueomagnetismo es que la mayor parte de los objetos de arcilla cocida que se encuentren tengan un magnetismo remanente muy estable, el cual registre con bastante precisión el campo magnético de la Tierra en el momento de la magnetización; en general, y lamentablemente, las piedras son menos estables, especialmente si son de origen volcánico.(*Ibid.* p73)

No se conoce todavía con la suficiente precisión cuál es la posición exacta del polo magnético para cada fecha posible, por lo que este método no ha podido ser usado con la confianza con la que se empleará en el futuro. En la actualidad, se comprueban sus resultados y aumenta su precisión comparando con otro método de fechamiento con la muestra de misma procedencia.(Litvak King. 1986. pp102-103)

1.2-6 La hidratación de obsidiana

La datación relativa de artefactos de obsidiana, que es una variedad de vidrio volcánico, se basa en el hecho de que una superficie de obsidiana recién cortada empieza a absorber agua del medio ambiente para formar una capa de hidratación que se puede medir.

Según los resultados de la investigación, el rango de la edad del fechamiento por este método es de 200 a 100 000 años antes del presente, y el error de límite es más o menos 10 % entre 200 años y 2 000 años de antigüedad.(Aitken. 1990. pp217 – 218)

La hidratación se inicia en el momento en que la superficie queda expuesta debido a rotura o lasqueada y la penetración del agua en el artefacto avanza a un ritmo determinado. El espesor de esa capa de hidratación en el artefacto puede proporcionar el tiempo que ha transcurrido desde su fabricación hasta nuestros días. (Michels. 1973. pp203-204)

La técnica de medición es bastante simple y rápida. Se corta del artefacto, en ángulo recto con la superficie que se examina, una lámina delgada que puede ser tan pequeña de hasta 2 por 4mm de alto y ancho, por 0.5mm de espesor. Este corte se hace con una sierra de metal y diamante especialmente fina. Después se examina bajo el microscopio la diminuta sección, tomando en cuenta que la obsidiana hidratada tiene un índice de refracción más elevado que el de la obsidiana no hidratada. (*Ibid.* p205)

La hidratación depende principalmente de la temperatura a la que estuvo expuesta la obsidiana durante dicho proceso. De este modo, como ocurre en la mayoría de los procesos de difusión, el ritmo es más acelerado en medios cálidos y más lento en fríos. Por lo tanto, la datación de materiales de un sitio requiere principalmente un estudio de la climatología local, tanto pasada como presente; así como datos acerca de la temperatura del suelo y de la profundidad a la que fue encontrada la muestra. Lo importante es construir curvas de hidratación para cada área que presenta diferente clima; cuando se tienen zonas climáticas bien definidas se puede tener más control sobre esta variable. (Friedman, Smith y Clark. 1982. p56)

La composición química de la obsidiana también influye en la tasa de hidratación, por eso, según la diferencia de la composición química, tal como la que existe entre la obsidiana verde y de la gris, el agua será absorbida con diferente velocidad. (Fleming. 1976. P15)

La exposición al fuego del artefacto de obsidiana también afecta la superficie de la muestra y la hace inadecuada para la determinación de su

edad. Estas obsidianas quemadas son fácilmente reconocibles en el análisis de microscópico. Por lo tanto, los artefactos para fechar deben ser obtenidos en la excavación, pues el material de la superficie no es fechable. Además, las muestras deben provenir de un lugar que tenga una distancia de más de 50cm entre el sitio de muestreo y fuentes de alta temperatura, hogares, hornos, edificios incendiados. (García - Bárcena. 1982. p39)

Debido a que la tensión mecánica aumenta al engrosarse la capa de hidratación, finalmente se llega a un punto en el que la capa hidratada se desprende y la hidratación empieza nuevamente en la superficie fresca. Ese desprendimiento no siempre es completo y en algunas piezas de obsidiana muy antiguas se pueden encontrar rastros de una capa más gruesa. Se cree que este desprendimiento puede ocurrir cuando la capa es de un espesor mayor a 40 micras. Por lo tanto, en artefactos cuya antigüedad esté por encima de 50 000 años es prudente cortar varias secciones para buscar capas remanentes de ese tipo. (Friedman, Smith y Clark. 1982. p56)

Cuando se duda acerca de la antigüedad de una pieza, con este método es muy simple determinar si un objeto trabajado de obsidiana es auténticamente arqueológico o si se trata de una falsificación moderna. La falta de hidratación indica, sin lugar a dudas, que la manufactura data de este mismo siglo. (García-Bárcena. 1982. p41)

En algunas culturas, como las mesoamericanas, esta técnica tiene grandes posibilidades de aplicación, sobre todo porque en ellas se realizó mucho trabajo con obsidiana. Este material, que es un vidrio volcánico, fue utilizado por varios pueblos en la antigüedad antes del descubrimiento de la metalurgia. Con los artefactos manufacturados se comerciaba y por lo tanto tuvieron amplia distribución. Se puede, además, conocer su origen por medio de técnicas de análisis, por lo que es posible seguir su ruta de comercio desde la región de su extracción hasta los talleres, y de ahí a los usuarios. (Litvak King. 1986. p99)

1.2- 7 El Potasio - Argón

El método del potasio-argón es otra manera de datación absoluta basada en la radioactividad, al igual que el carbono 14; en este caso se observa la desintegración natural de materiales radioactivos como la proporción del potasio - argón que aparece en rocas de gran antigüedad.

El descubrimiento y aplicación de este procedimiento de datación se debe a Evernden quien, en colaboración con Curtis y Kistler, publicó en 1957 los resultados de su nuevo método, y fue admitido plenamente y se le reconoció el valor de sus resultados.(Ramos Fernández. 1977. p94)

El procedimiento consiste en evaluar la cantidad de argón radioactivo que conserva la muestra, y que fue producido por la alteración de un isótopo del potasio. El proceso de desintegración de potasio-40 da origen a la formación del argón radiogenético. (Thomas. 1979. p209)

El método de datación potasio-argón cubre la escala del tiempo en un espectro muy amplio, según los datos publicados se puede aplicar particularmente para fechas de las edades geológicas. También existen aplicaciones de este método en los estudios del Cuaternario. La determinación de edad absoluta del período terciario y del Pleistoceno es difícil, ya que la vida media de los isótopos disponibles es muy larga o muy corta para el período que interesa. Las edades para la aplicación de este método más bajas son de aproximadamente 10 millones de años. (Gentner y Lippolt. 1982. p98)

Este rango de la temporalidad se debe en parte a la extremadamente larga vida media del isótopo radioactivo de potasio-40 (1 300 millones de años); y, también, en parte al proceso estable de su desintegración a argón - 40.(Michels.1973.p168)

Por consiguiente, este método de fechamiento del potasio-argón completa e incrementa al alcance de la temporalidad de carbono 14.

Su uso determinó las fechas de los yacimientos paleontológicos en África occidental, donde se han encontrado restos de australopitecos - posibles ancestros humanos. (Litvak King. 1986. p102)

1.2-8 Las huellas de Fisión

Los métodos de datación que usan la descomposición radioactiva han presentado problemas para el período que abarca desde 70 000 años antes del presente hasta cerca de los comienzos del Pleistoceno. Para fechas más antiguas de 70.000años es inaplicable la vida media del carbono 14; en cambio, la técnica de datación por medio de las huellas de fisión ha sido usada para materiales con antigüedad de hasta mil millones de años antes del presente. (Fleischer, Price, Walker. 1982. p52)

La datación según las huellas de fisión es una de las técnicas nuevas de geocronología que se puede aplicar para la datación desde el tiempo histórico hasta más de billones de años antes del presente. Generalmente, los datos obtenidos por este método concuerdan con la edad determinada por otros métodos de fechamiento. Para aplicación en materiales arqueológicos el límite de eficiencia de este método es de 10 mil años a un millón de años antes del presente.(Michels. 1973. p181)

El análisis de huellas fisión permite determinar el tiempo de la formación del material y el momento en que se quema el material intencionalmente o no. Las muestras más utilizadas para esta clase de análisis son obsidiana, apatita y circón.(Miller. 1981. P54)

Este método se basa en el hecho de que a lo largo de los tiempos geológicos la fisión espontánea de las impurezas del uranio - 238 producen diminutas huellas submicroscópicas en los materiales tanto cristalinos como vítreos. Durante los largos períodos considerados, en muchos

materiales pueden quedar las huellas de este efecto. (Fleischer, Price, Walker. 1982. p52)

La datación de las huellas de fisión depende del contenido de uranio, así como de la edad de la muestra, y es necesario, por lo tanto, medir la concentración de uranio en cada muestra en la que han sido encontradas las huellas fósiles de la fisión. La densidad de estas huellas de se incrementa con la concentración de uranio y la edad de la muestra. (Michels. 1973. p184)

Los artefactos líticos que estuvieron en contacto con el calentamiento pueden perder sus huellas de fisión originales; en consecuencia, la datación de huellas acumuladas podría ser después del tiempo del calentamiento. (*Ibid.* p186)

La inmersión de la muestra en un reactivo químico adecuado permite un rápido ataque de las limitadas áreas dañadas y una disolución más lenta del material adyacente no dañado. (Fleming. 1976. pp134-135)

Hay dos requisitos importantes para considerar una muestra como adecuada para la aplicación de la datación por huellas de fisión: el primero es que el material cristalino o vítreo que se use sea susceptible de conservar las huellas durante largos períodos de tiempo; el otro requisito es que haya suficiente uranio como para producir una densidad de huellas que pueda contarse dentro de un tiempo razonable.(Fleischer, Price, Walker. 1982. p55)

1.2- 9 Sinopsis de los métodos fechamiento

Resumiendo el capítulo uno, la categoría del fechamiento absoluto pertenecen, los siguientes métodos: el carbono 14, dendrocronología y el potasio - argón, por su parte, la de fechamiento relativo incluye los demás métodos: la estratigrafía, la hidratación de obsidiana, entre otros.

Algunas técnicas están aún en la etapa de perfección, por lo tanto, según el experimento hay posibilidad de realizar la datación con menos margen de error, y convertir el fechamiento relativo a absoluto.

La división de las técnicas de datación no tiene gran importancia aunque se distinguieran en dos categorías, pues toda técnica de fechamiento tiene su importancia para la arqueología. Cada método tiene su material aplicable y el límite de rango de edad. A continuación se presentan las tablas donde se pueden consultar los detalles de cada tipo de fechamiento.

Dendroconología	Radiocarbono 14	El Potasio - Argón	El método Uranio	Las huellas de fisión	La Termoluminiscencia	Resonancia electrónica del spin	Raceminación de aminoácidos	La hidratación de obsidiana	Arqueomagnetismo	
●	●									Madera. Plantas. Semillas
	●		◐			○	◐			Hueso Dientes
	●		◐			◐	◐			Dientes
	◐		◐			◐	◐			Conchas
	○		●		◐	●			○	Calcita
	○				●	○			◐	Cerámica
	◐			◐	○					Slag
					●	○				Piedra quemado
					●				◐	Sedimento no quemado
				◐				◐		Obsidiana
				◐						Vidrio
		●	◐	●	◐	○			◐	Volcanico

Tabla 1-2 Los materiales aplicables para cada técnica de fechamiento. El círculo negro es apropiado para el método, el círculo menos pintado y el blanco significa la probabilidad ó limitación para aplicar el método. (Aitken. 1970.p3)

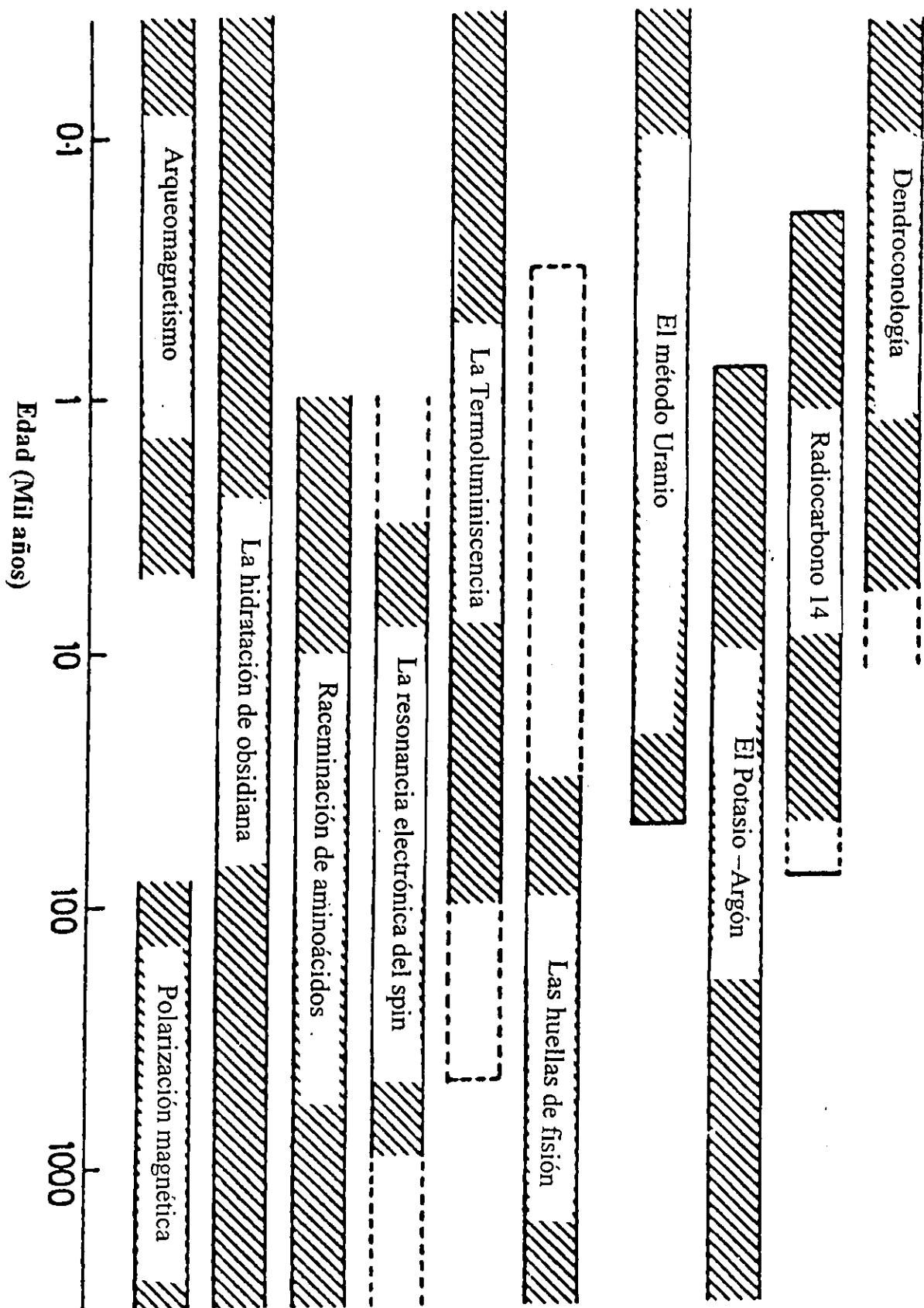


Tabla 1.3 El límite de rango de la edad para la aplicación de cada método de fechamiento. (Ibid. p4)

Capítulo II. El material

2.1 El hueso

2.1-1 Estructura del esqueleto y tejido óseo

Estructura del esqueleto

Los huesos son las piezas duras que sirven para el sostén y protección del cuerpo y que en conjunto forman el esqueleto. Este esqueleto es un armazón de huesos y cartílagos, unidos con gran firmeza, que realiza importantes funciones, como la de proporcionar a los músculos palancas para mover el cuerpo; como sostén de los tejidos adyacentes; para proteger los órganos situados dentro del cráneo, caja torácica y pelvis; encerrar la médula espinal en las cavidades de la columna vertebral y brindar un depósito de sales cálcicas que el cuerpo puede utilizar cuando sea necesario.(Lockhart, *et al.* 1965. p11)

El esqueleto humano está formado por el esqueleto axial simétrico, y el esqueleto apendicular de las extremidades. El primero comprende cráneo, raquis y caja torácica. El raquis, o columna vertebral, es un pilar de estructuras articuladas constituidas por las siete vértebras cervicales localizadas en el cuello; doce vértebras dorsales, que junto con los correspondientes pares de costillas y el esternón forman la caja torácica; cinco vértebras lumbares; el hueso sacro y el cóccix, que se encuentran en la pelvis. El esqueleto apendicular del miembro superior está unido al esqueleto axial mediante la cintura escapular e incluye las siguientes piezas: radio, cúbito, húmero, carpo y metacarpo y las falanges. El esqueleto apendicular del miembro inferior está formado por el coxal, el

fémur, la tibia y el peroné, tarso y metatarso, y las falanges del pie.(*Ibid*.p22)

Las propiedades del esqueleto como órgano de sostén se deben a sus características de rigidez y elasticidad. El hueso es una masa inorgánica compacta, que contiene una estructura orgánica de fibras y células entre las que se depositan, de forma característica, sales inorgánicas, en especial carbonato de hidroxapatita. Esta combinación en peso de aproximadamente una tercera parte de material orgánico y otras dos de material inorgánico proporciona al hueso resistencia y robustez, así como dureza y rigidez. (Oakley.1982. p37)

En términos prácticos es fácil demostrar la presencia de los constituyentes orgánicos del hueso al sumergir una muestra ósea dentro de un ácido durante un tiempo determinado. La inmersión elimina las sales y deja intacta la parte orgánica del hueso, principalmente en forma de fibras de colágeno, que si conservan la configuración original del hueso antes del tratamiento; en este estado resulta extremadamente flexible. De este modo, un hueso descalcificado puede anudarse fácilmente y regresar a su forma original cuando se desata. Si el contenido de calcio de un hueso enterrado se reduce considerablemente, es probable que produzca una ligera deformación. (Brothwell.D.R. 1987. p37)

A nivel morfológico se pueden distinguir, dentro de un esqueleto, cuatro tipos de huesos.

1. Huesos largos: por lo general, tienen forma cilíndrica como el fémur, tibia, peroné y el húmero, cúbito y radio, que forman parte de las extremidades inferior y superior, respectivamente.

2. Huesos cortos: estructuras cuyas tres dimensiones son aproximadamente iguales. Están formados por una lámina delgada de

tejido compacto que cubre la masa del tejido esponjoso, por ejemplo el carpo, metacarpo, tarso, metatarso y las falanges.

3. Huesos planos: son aquellos que se componen de una lámina delgada con forma de curva. Es el caso de los huesos del cráneo.

4. Huesos irregulares; aquí se agrupan todas aquellas estructuras óseas que no se incluyen en las categorías anteriores, como las vértebras y los huesos de la cara. (Sinclair,D. 1975. p 29)

Para facilitar su estudio, se ha dividido el esqueleto humano en ocho secciones, de acuerdo con la posición anatómica de cada hueso. Este ordenamiento permite además tener una idea de la función que guarda cada hueso dentro del organismo. (Brothwell,D.R. 1987. pp55-57)

I. Cabeza ósea: cráneo, cara, mandíbula, suturales.

II. Columna vertebral: cervicales (cuello), dorsales, lumbares, sacras.

III. Costillas: costillas verdaderas, costillas falsas.

IV. Esternón (hueso del pecho): manubrio, cuerpo, apófisis xifoides.

V. Cintura escapular: clavícula (Parte de la cintura), escápula (omóplato).

VI. Extremidades superiores: húmero, cúbito, radio, mano.

VII. Pelvis: ilión, isquión, pubis, cavidad citiloidea.

VIII. Extremidad inferior: fémur, tibia, peroné, pie.

Tejido óseo.

El hueso es una forma especializada de tejido conjuntivo que se caracteriza por la sustancia intercelular calcificada. Las células que constituyen la materia viva del hueso abarcan solamente del 1 al 5 % del volumen total de éste en un esqueleto adulto. Éstas pueden ser de cuatro tipos: osteoblastos, osteoclastos, osteocitos y células indiferenciadas. Los

osteoblastos son los que se encargan de la formación del hueso. (Ganong. 1990. p 341)

Mientras que los osteocitos, cuya forma es similar a los huesos de ciruela, se encuentran en pequeños espacios o lagunas que existen en la sustancia intercelular, constituida de fibrillas y sustancia fundamental calcificada. (Lockhart. *et al.* 1965. p15)

Desde el punto de vista macroscópico existen dos formas de tejido óseo:

a) Tejido esponjoso o canceloso: comprende gran parte del interior del hueso. La estructura esponjosa está compuesta por laminillas o placas ordenadas de tal manera en el hueso que le ofrecen una máxima resistencia a la presión y a la tensión.

b) Tejido compacto o denso: forma el revestimiento exterior completo de los huesos. Se producen considerables variaciones en cuanto al grosor de este hueso cortical o pericóndrico, tanto en relación con el sexo como con los diferentes grupos de edad.

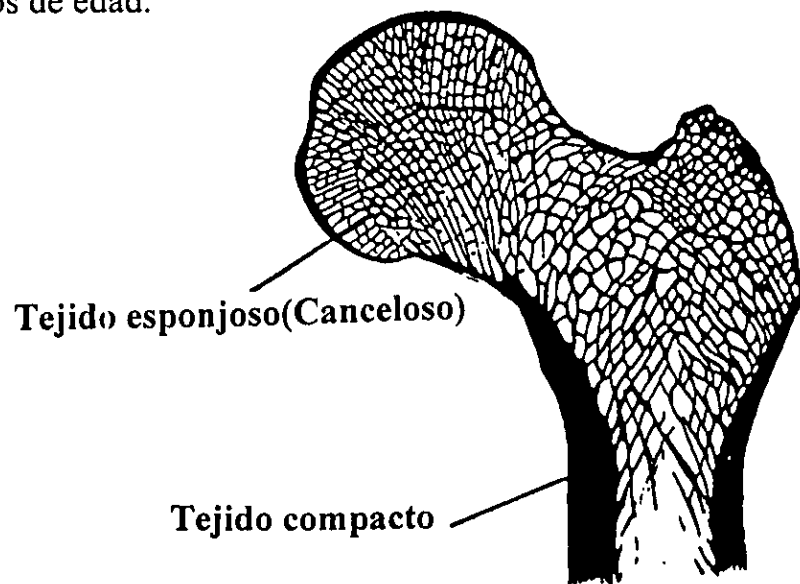


Figura 2-1. Estructura interna de un hueso revelada en la sección de un fémur. (Extremo proximal). (Brothwell.D.R. 1987. P36)

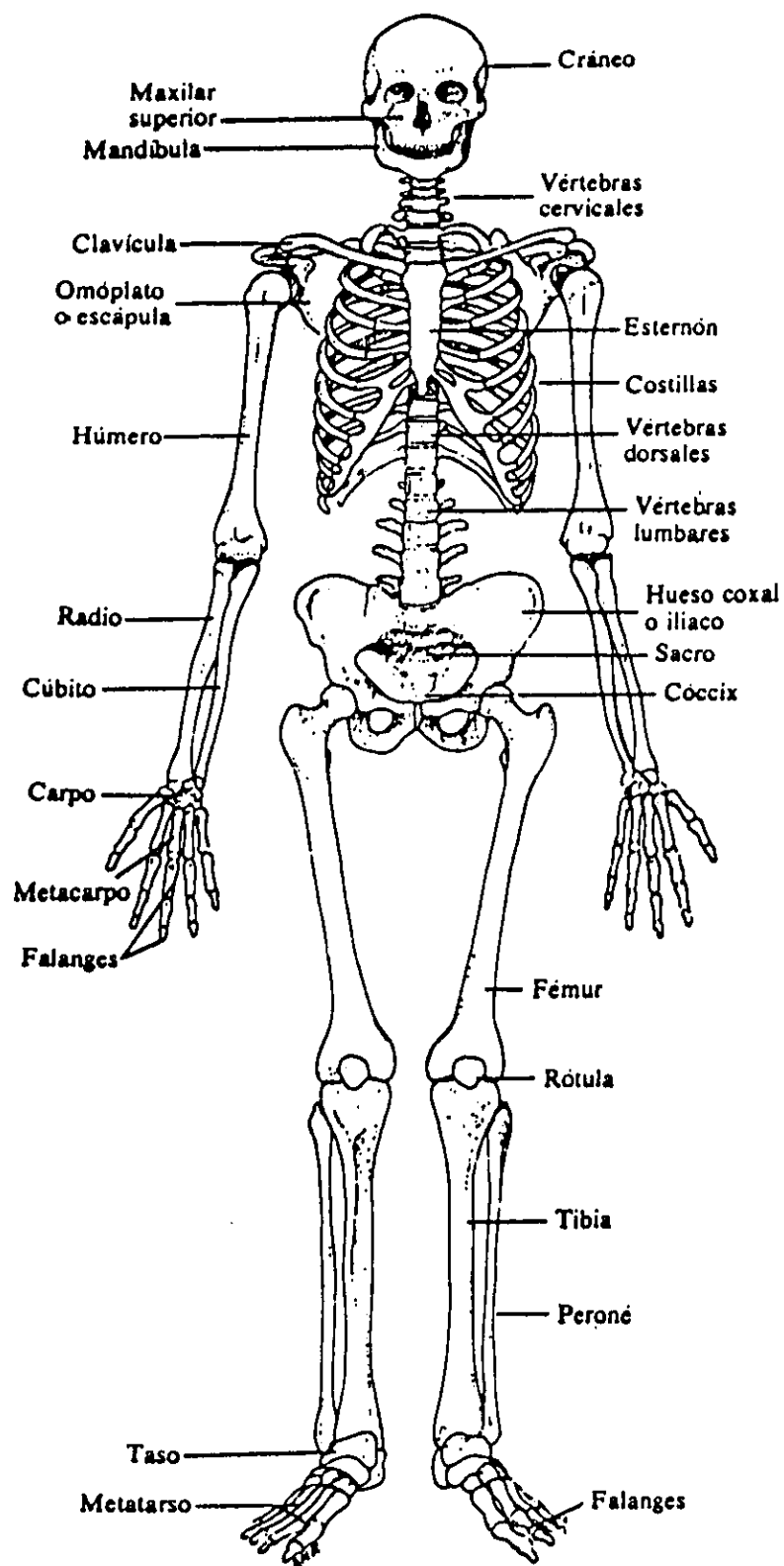


Figura 2-2. El esqueleto humano. (Brothwell,D.R. 1987. p42)

2.1-2 Composición bioquímica del hueso

El hueso es una parte sólida e invariable del organismo humano: Durante la vida de éste se encuentra tan vivo como cualquier otro tejido del cuerpo; no sólo crece y padece enfermedades, sino que posee la capacidad de sanar después de una infección o una rotura.

Como todo tejido conjuntivo, el hueso está constituido por células y una matriz extracelular. Ésta es una red de fibras osteocolágenas con un componente inorgánico que llena los espacios entre las fibras con cristales óseos de carbonato de hidroxapatita.(Lazos.1992. p15)

El hueso tiene tres componentes mayores: la fracción mineral, la matriz orgánica y el agua. La composición química del hueso, según el peso seco total de la matriz ósea, está formada por una parte orgánica que en su mayoría es el colágeno, ocupa aproximadamente el 30%, y el resto, 70% del hueso, consiste en una sustancia inorgánica que en su mayoría es carbonato de hidroxapatita, junto con pequeñas cantidades de sales cálcicas, principalmente fosfato de calcio. (Lockhart, *et al.* 1965. p11; Price. 1989. p4)

Después del enterramiento, el material orgánico se descompone gradualmente dejando al material inorgánico. Hay gran variabilidad en la velocidad de pérdida de la materia orgánica del hueso, especialmente en el caso del hueso enterrado. Aunque los huesos modernos contienen 35% de material orgánico en peso seco, los huesos de muestras arqueológicas pueden tener de cero a 35% de material orgánico. (El-Kammar ,Hancock, O.Allen. 1989. p337)

La proteína llamada colágeno, comprende del 90 al 95% de la porción orgánica del peso de la matriz extracelular del hueso; del 5 al 10% restante corresponde a otras sustancias. La fracción mineral del hueso posee

principalmente iones calcio(Ca), fosfato(PO_4), oxhidrilo(OH), carbonato (CO_3) y citrato, con pequeñas cantidades de otros minerales, en especial sodio(Na), magnesio(Mg), potasio(K), cloro(Cl) y flúor(F).

Parte orgánica (30-35%)	Parte mineral (70-65%)
Colágeno (32%)	Hidroxiapatita $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ (62%)
Otros componentes de la matriz extracelular (3%)	Carbonato de calcio, CaCO_3
Condroitinsulfato, silicosaminoglucanos y otros mucopolisacáridos.	Citrato de sodio
Mucoproteínas	Magnesio
Sialoproteínas	Potasio
Grasas	Cloro
	Flúor

Tabla 2-1. Composición química del hueso moderno dividido en dos partes. (Lazos.1992.p15)

Los estudios realizados por métodos químicos y por difracción de rayos X han demostrado que la fracción mineral del hueso posee la estructura cristalina de la hidroxiapatita. (Bartsiokas y Middleton.1992. p 63)

Los cristales están orientados por las fibras colágenas y su eje mayor es aproximadamente paralelo al eje mayor de las fibras, aunque con una ligera angulación. Las fibras colágenas del hueso dan gran resistencia a la tensión, mientras que los cristales óseos dan al hueso de gran resistencia a la compresión.

En la trama sólida del hueso pueden depositarse iones de plomo, radio, flúor, arsénico, estroncio, etcétera, debido a la exposición del organismo a dichos elementos. Estos minerales, después de estar temporalmente en el líquido extracelular, penetran en diferentes grados a las capas de hidratación, e incluso pueden llegar hasta el interior del cristal, quedando una serie de huellas grabadas en la composición química del hueso que pueden ser indicadores de los factores ambientales que

rodearon al individuo durante su vida.(Lambert, Liang, Buikstra, *et al.*1989. pp427-436)

Esta característica es de gran utilidad para la paleontología y la arqueología, porque los huesos son los restos orgánicos con que se cuenta para reconstruir un conjunto de medio ambiente.

El análisis de la composición del hueso actual y de los fósiles, ha sido empleado para hacer determinaciones cronológicas en los estudios del proceso de fosilización, paleoclimas y paleoambientes; así como para la reconstrucción de la dieta de diferentes grupos. (Price. 1989. p 1)

Composición del Hueso

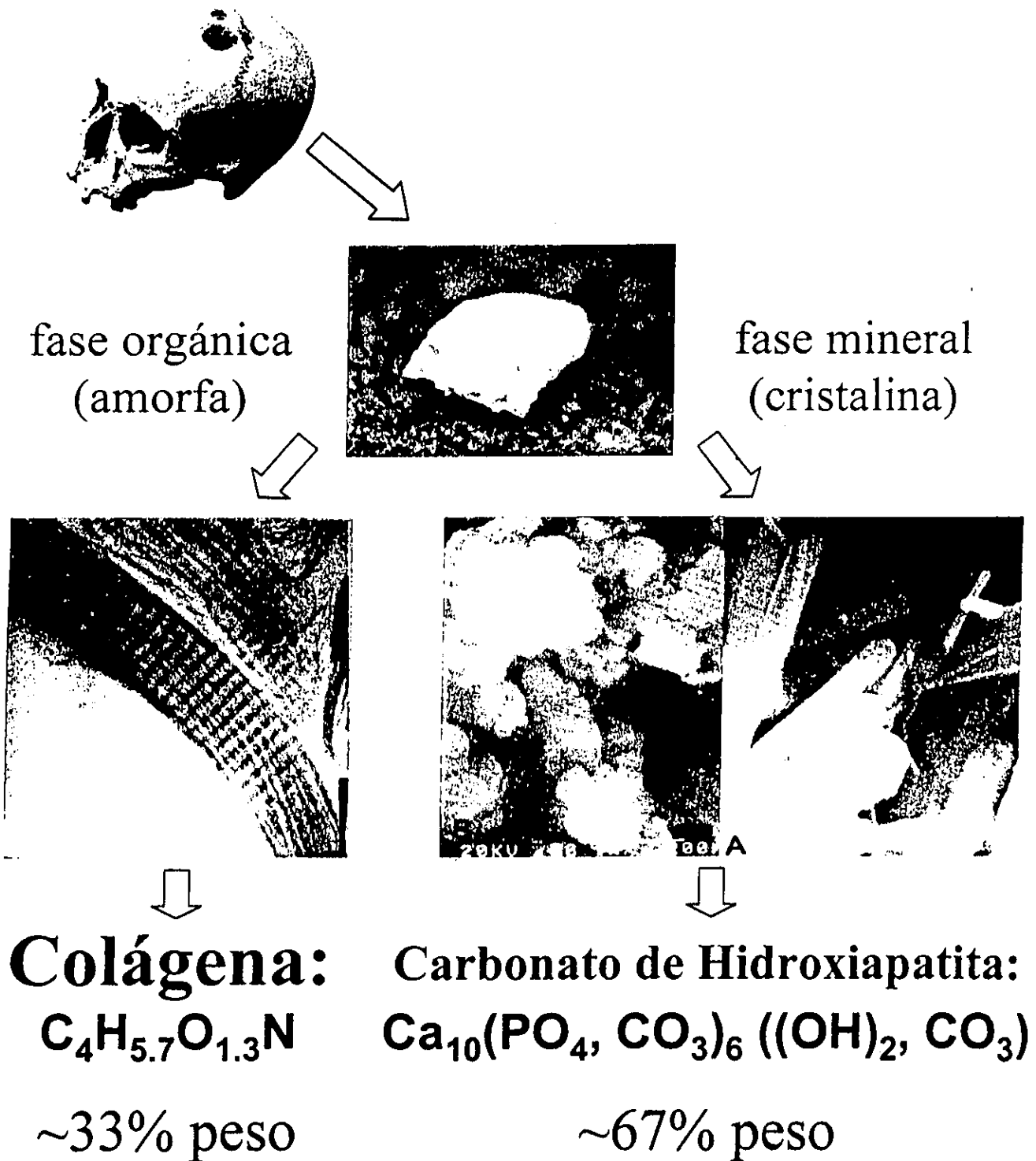


Figura 2-3. Composición química del hueso moderno. (Bucio, 1999)

2.1-3 El proceso de diagénesis

La diagénesis del material óseo se refiere a los cambios que experimentan los huesos en cuanto a sus propiedades físicas y químicas, tanto en sus componentes orgánicos como en los inorgánicos, es una reacción entre el hueso y el medio ambiente en donde quedó depositado. (Price.1989.p 4) Aunque es fácil reconocer las alteraciones características del hueso por efecto de la diagénesis, es difícil definir el proceso.

La diagénesis puede conducir la descomposición química del hueso enterrado hasta su destrucción total. También incluye reacciones como disolución, precipitación, reemplazamiento mineral, recristalización, crecimiento de cristales y sustitución iónica, relacionadas con los factores ambientales. Esto significa que al mismo tiempo en que las propiedades físicas del material cambian, los componentes orgánicos e inorgánicos sufren alteraciones. (Piepenbrink, 1986, p 427)

Los cambios en la materia mineral de los huesos enterrados dependen de la composición del agua subterránea que se filtra; así tenemos dos tipos de cambios:

- 1) alteración del material fosfático en el que se descomponen principalmente los huesos (Hidroxiapatita)
- 2) adición de nuevas sustancias minerales (como cal u óxido de hierro) en los poros del hueso.

Los cambios de este último tipo, y que implican un aumento en el peso, es lo que comúnmente se conoce como fosilización, pero con frecuencia conducen a errores si se emplean como un medio de datación relativa.(Oakley.1982.p31)

En periodos largos es probable que el colágeno se descomponga de otro modo. Las características del colágeno alterado del Pleistoceno y de

tiempos más antiguos sugieren un proceso de descomposición un poco menos específico. Se han sugerido factores ambientales como influencias en el ritmo con el que el colágeno se descompone. Entre estos factores están la composición, pH e hidrología de la matriz, oxigenación, temperatura y cambios producidos por la flora del suelo.(Garlick. 1982. p521)

Si se consideran diferentes aspectos del proceso de diagénesis, se pueden definir cuatro procesos: destrucción total de las propiedades físicas; pérdida del colágeno en la fracción orgánica; el crecimiento de cristales de la fracción inorgánica y la porosidad. (Hedges y Millard.1995.p 201) Cada proceso funciona independientemente de los demás, sin embargo, en conjunto conducen al hueso hasta la desintegración total.

En cuanto a la grasa y la proteína, que forman parte de la materia orgánica del hueso, la primera se pierde con rapidez después del entierro, mientras que la proteína tiene un proceso de pérdida que depende de las condiciones del enterramiento. Bajo condiciones climáticas frías, anaeróbicas y sin bacterias puede perdurar por miles de años. (Oakley.1982. p30)

Existen diversos factores que causan la degradación de la materia orgánica del hueso enterrado; los principales agentes involucrados son el agua, el oxígeno y la presencia de microorganismos cuyo crecimiento depende de la temperatura y la humedad. (Rottländer.1976. pp 83-88)

La degradación del hueso es proporcional al tamaño de sus poros, pues estos permiten que distintas soluciones del contexto penetren con más facilidad, lo que a su vez incrementa el grado de porosidad (Hedges y Millard.1995.p 201) Así, el aumento de porosidad del hueso lo hará

susceptible para la filtración de materiales ajenos. (Price, Blitz, Butron y Ezzo. 1992. p514)

El principal fenómeno de la diagénesis de materia inorgánica es el incremento de cristales e intercambio de iones. El intercambio que presentan los iones de la hidroxiapatita se debe a las reacciones de reemplazamiento que sufren el calcio y el fosfato que la constituyen. Los iones calcio y fosfato del suelo y la hidroxiapatita del hueso se encuentran en equilibrio en un primer momento del enterramiento. El hueso ganará o perderá iones calcio y fosfato dependiendo de la concentración que contenga el suelo de estos mismos iones para mantener al mineral en equilibrio. Si la concentración de iones Calcio del suelo aumenta, entonces pocos iones fosfato podrían permanecer en el hueso. Si, al contrario, es el fosfato el que aumenta, entonces bajará la concentración de Calcio. De esta forma, la proporción y la concentración de los iones en el suelo afectan la solubilidad de la hidroxiapatita. (White,E.M. y Hannus,L.A. 1983. p 316)

Por lo tanto, la diagénesis del hueso puede ser explicada como una serie de reacciones provocadas por la temperatura y la concentración de agua, ácidos, oxígeno y calcio, en suelo y hueso. Esta serie de reacciones está relacionada directamente con el grado de conservación del material óseo en un ambiente natural, el tipo de contexto y el tiempo de enterramiento.

De esta forma, los factores ambientales van a tener una gran importancia para la diagénesis del material óseo enterrado (Price, 1989); por otra parte, en una región o en sitios que compartan condiciones ambientales similares, el principal factor de variación del estado de conservación del material óseo será el tiempo que lleva enterrado (Vento. 1981. pp 166-170)

Debe mencionarse que en los estudios de proceso de diagénesis se toman en cuenta características tales como el tipo de hueso utilizado y la edad del individuo. Estos factores influyen en el proceso diagenético y por lo tanto en la calidad de la información que pueda obtenerse a partir de los análisis aplicados al material. Con el fin de posibilitar la comparación de los resultados entre distintos grupos de investigación, se ha recomendado para el experimento el uso de huesos largos de adultos, en especial fémur y húmero.

2.1-4 Paleopatología

La paleopatología es un término que acuñó por Ruffer, en 1913, para designar la ciencia que estudia las enfermedades que pueden ser demostradas en restos humanos y animales de tiempos antiguos y se aplica en el reconocimiento de enfermedades en tejidos antiguos por medio de diferentes estudios. Así, los materiales de interés para analizar son el esqueleto y los restos tejidos blandos, junto con la información escrita.

(Sandison. 1982. p515)

El hueso es el único tejido que puede mostrar evidencias de las enfermedades que han sufrido los seres vivos en el pasado más remoto. Las numerosas contribuciones de la patología del esqueleto están dispersas en la vasta literatura de la medicina, paleontología y antropología.

La variedad de técnicas que se utilizan en el estudio de la paleopatología es muy amplia, pues adopta métodos físicos y químicos para el análisis arqueológico del hueso humano.

C.A. Roberts dividió en cinco los procesos que se pueden aplicar al análisis de la paleopatología: histología, radiografía, análisis elemental y diagénesis, datación y análisis molecular. En cuanto al estudio histológico,

se encuentran dos métodos importantes, análisis de microscopía y el de microscopio electrónico (SEM, *Scanning electron microscope*). El estudio de histología de huesos humanos se ha desarrollado en los últimos diez años y ha dado resultados positivos en cuanto a la dieta, enfermedades y las características de estimación de la edad.(Roberts, C.A. 1991. p 375)

Puede decirse que los futuros estudios paleohistopatológicos darán más información acerca de las enfermedades vasculares, la presencia de lesiones que induzcan la fibrosis, tanto inflamatoria como neoplásica, y la presencia de parásitos, tales como huevos de helmintos, entre otros. Debe confiarse en que continúen los estudios de este tipo, así como el examen de huesos y articulaciones, ya que proporcionarían información valiosa tanto para el arqueólogo, el antropólogo y el patólogo, como para el historiador (Sandison. 1982. p515)

2.1-5 Paleodieta

La dieta y subsistencia de la sociedad prehistórica es uno de los temas más importantes que se estudian en la investigación arqueológica.

El análisis de la paleodieta, incluye también el tamaño del grupo y la organización social, el patrón de asentamiento y la ubicación geográfica, manufactura de instrumentos y la tecnología. La información que se obtiene está enfocada esencialmente al tamaño de la población, explotación del medio ambiente en un sitio determinado y la diferenciación de clase social.

Para estudios de paleodieta se cuenta con evidencia como los análisis de fauna y paleoetnobotánico, estudios de desecho y el hueso dental, y antropología física. Pero en la mayoría de los sitios arqueológicos es difícil encontrar residuos preservados de plantas y animales. Por lo tanto, se han

considerado los estudios de estructura ósea como uno de los indicadores para obtener información sobre la paleodieta. La longitud y espesor del hueso, por ejemplo, indica el tamaño y la altura de un individuo. Y el estudio de dientes y caries se ha utilizado como un indicador de la dieta y nutrición.

En particular, el análisis del contenido químico y físico del hueso humano ha sido empleado para la determinación cronológica, el estudio del proceso de fosilización y el clima y medio ambiente. La investigación del contenido químico para la paleodieta esta relativamente recién desarrollada.

Los métodos de análisis de composición elemental e isotópicas se han considerado para el estudio de reconstrucción de la paleodieta. Por otro lado, el análisis isotópico se concentra en la parte orgánica del hueso, mientras que el de composición elemental está enfocado al aspecto mineral del hueso.

El análisis isotópico de carbono 3 y 4 demostró su importancia en el estudio de introducción del maíz en el Nuevo Mundo, y lo esencial que fueron los recursos marinos durante la edad neolítica del norte europeo. Por su parte, el análisis elemental con estroncio y bario es empleado en las investigaciones sobre la transformación de cultura cazadores - recolectores a la de agricultura y del aprovechamiento de recursos marinos a terrestres. (Price, Burton, Blitz, Schoninger. 1989. pp1-18)

Algunos elementos se encuentran más abundantes en la dieta basada en carne que en la de vegetales. Por ejemplo, zinc, cobre y molibdeno están asociados con la proteína animal, y estroncio, magnesio, manganeso, cobre y níquel predominan en la dieta vegetariana. Los investigadores utilizan este dato como referencia del cambio y del tipo de comida que se consumió en el pasado.(Roberts, C.A. 1991.p377)

2.2. El fechamiento del material óseo

Uno de los primeros requisitos para aplicar la técnica de fechamiento en arqueología es la disponibilidad de materiales, y el indicado es el hueso humano, por ser uno de los más abundantes en cualquier sitio arqueológico.

Durante la última década ha progresado considerablemente la técnica de datación de huesos y se han creado diversas técnicas al respecto. Antes de revisar las nuevas técnicas es importante distinguir dos tipos principales de datación. El primero es la *datación relativa*, con ésta se ubica un espécimen, suceso o depósito, en relación con una secuencia establecida. Cuando es posible medir la edad real de un espécimen, o de su contexto, el procedimiento recibe generalmente el nombre de *datación cronométrica o datación absoluta*.(Oakley. 1982. p29)

Los principales métodos de datación absoluta para los restos óseos son el radiocarbono, raceminación de los aminoácidos y resonancia electrónica del spin (ESR); los métodos de datación relativa incluyen los análisis para determinar el contenido de nitrógeno, flúor y uranio. (Roberts,C.A. 1991. p379)

2.2-1 Estimación de la edad del individuo con antropología física

La antropología física es una rama de la antropología que se puede definir como la ciencia que abarca el estudio de la variabilidad y evolución del género *homo* en todos sus aspectos.(Comas. 1976. p40)

La investigación en torno a los restos humanos es una disciplina multifacética que puede ofrecer una considerable variedad de datos obtenidos mediante el conocimiento detallado del cuerpo humano. La materia de estudio incluye comparación del estatus biológico humano en varios estadios ecológicos con el fin de entender los procesos de cambio que han sufrido las poblaciones, los patrones de dispersión y migración, y su relación con la estructura genética, la adaptación al ambiente, morfología, evolución y el comportamiento humanos. (Comas. 1976. p 595)

Para la determinación sexual de restos óseos hay dos métodos: métrico y morfológico. Estos son igualmente válidos tanto para restos óseos prehistóricos como para modernos. El método métrico consiste en la elaboración de una serie de medidas que son comparadas con patrones ya establecidos para determinados grupos culturales; el morfológico, implica la observación de rasgos anatómicos que son evaluados para la identificación sexual del individuo. Prácticamente todos los huesos del cuerpo humano han sido sujetos de estudio para determinar el sexo; hasta cierto punto, todos contribuyen a determinar un diagnóstico. Sin embargo, se puede decir que hay tres áreas claves que deben considerarse en primer lugar, ya que proporcionan los mejores resultados. Estas son: la pelvis y sus características singulares; el cráneo y cara junto con en sus rasgos particulares, y las superficies articulares de los huesos largos.(Genovés 1. 1982. p447)

La estimación de la edad de un individuo menor de treinta años se puede calcular con una aproximación razonable. Para este propósito es necesario considerar metódicamente tres aspectos: la erupción dental, sinostosis de los huesos y la unión de las epífisis de los huesos, especialmente de los largos. Para los edades avanzadas se emplean la transformación de la superficie articular de la sínfisis púbica y algunos cambios estructurales en los mismos huesos. (Genovés 2. 1982. p 457)

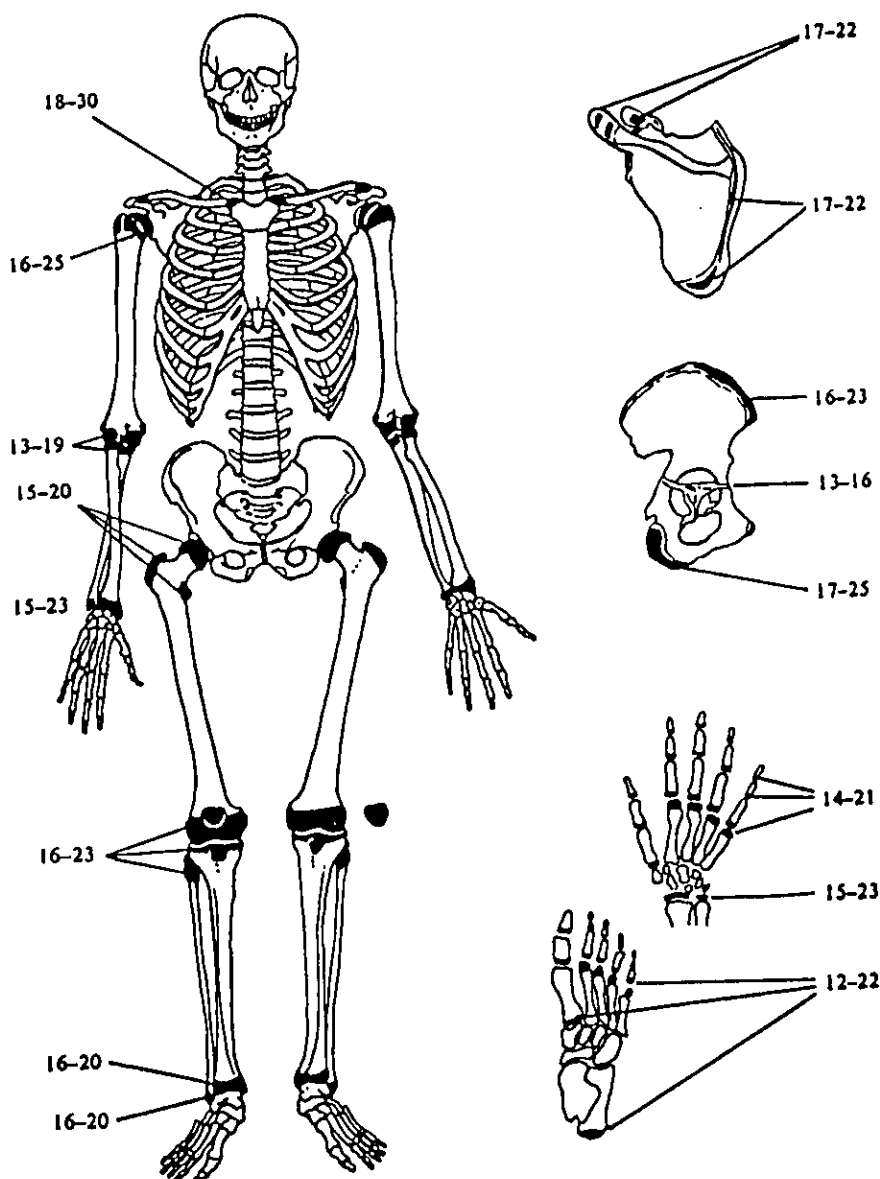


Figura 2-4. Edades de la unión epifisaria de varias partes del esqueleto. Los números indican rangos de edad. (Don Brothwell. 1987. p 98)

2.2-2 Métodos de fechamiento de la edad arqueológica

2.2-2-1 Fechamiento por radiocarbono

En 1947, el doctor W.F.Libby descubrió un proceso de disminución de radioactividad en la materia orgánica de muestras arqueológicas, con el cual es posible, dentro de ciertos límites, determinar la edad exacta en años de algunos especímenes. Todo ser vivo contiene una proporción pequeña, pero prácticamente constante, del isótopo radioactivo del carbono 14, que es producido por el bombardeo de los rayos cósmicos sobre los átomos de nitrógeno en la atmósfera exterior. (Oakley.1982.p29)

Durante su vida los seres vivos reciben constantemente la radioactividad del carbono 14. Cuando muere un animal o vegetal, el carbono radioactivo existente en sus tejidos deja de abastecerse de la atmósfera y se desintegra en una proporción constante, la cantidad de carbono 14 disminuye a la mitad en 5 730 +40 años. Esta cifra es el valor de Libby que significa la vida media del carbono 14 o radiocarbono. De este modo puede calcularse la edad de una muestra arqueológica de materia orgánica.

El límite de precisión del método de radiocarbono es 45 000 a.P, después la radiactividad será demasiado débil como para medirse. (Mook y Groningen.1985. p14)

Para aplicar el método del carbono 14, se debe tener material orgánico, por ejemplo, maderas, semillas, huesos, telas, frutas y productos marinos obtenidos en sitios arqueológicos. (Pzzia,A. 1961.p 7)

Por lo tanto, no es posible fechar con este método el hueso calcinado, en tanto que los huesos carbonizados son potencialmente fechables. (Oakley.1982.p29)

Tampoco se pueden usar las muestras que provengan de un lugar muy contaminado por el tránsito vehicular, ya que la gasolina alteraría el resultado, cuya fecha podría referirse a la del combustible en vez de la fecha de la muestra.

En cuanto a los huesos se debe tener mucho cuidado. En el momento de excavación, los huesos para el fechamiento por carbono 14 se deben guardar en papel aluminio o bolsas plásticas gruesas. No se debe utilizar papel, ya que se puede alterar el resultado. Las muestras óseas deben ser por lo menos de 20 a 50 gramos para obtener un resultado favorable. Para el análisis de "Espectrometría de Masas de Aceleración" la cantidad de las muestras disminuye, pero el precio para realizar es más elevado.

2.2-2-2 La prueba del Nitrógeno

Es una técnica de fechamiento relativo de material óseo, basada en la determinación de la cantidad de nitrógeno contenida en la materia orgánica del hueso.

El método de nitrógeno se basa en que el material orgánico se degrada conforme va avanzando el tiempo de enterramiento. Por lo tanto, mientras más antigua sea la muestra dará menor cantidad de nitrógeno en comparación con el hueso moderno.

El hueso fresco, seco de mamíferos contiene un promedio de entre 4 y 5 % de nitrógeno orgánico en relación con su peso. Más de nueve décimas del nitrógeno del hueso se encuentra en su proteína estructural, el colágeno. El resto está compuesto por otras sustancias orgánicas, incluyendo una pequeña porción de colágeno soluble de consistencia gelatinosa y de la proteína contenida en la red de vasos en el cuerpo. De este modo, las pruebas de nitrógeno en el hueso fósil son esencialmente

pruebas sobre el colágeno que haya permanecido y los productos de su descomposición. Una gran parte del nitrógeno no colágeno lo contienen sustancias solubles relativamente inestables, que generalmente no resisten largos períodos en el hueso enterrado.(Garlick.1982.p 519)

De las muchas pruebas cuantitativas disponibles para el nitrógeno orgánico una de las más empleadas por los investigadores es el método Kjeldahl, que consiste en sumergir las muestras durante doce horas o más en ácido sulfúrico caliente, en presencia de un catalizador adecuado. Esto convertirá el nitrógeno de las sustancias orgánicas en sulfato de amonio, que se mide como amoníaco liberado de la digestión por un fuerte álcali.(*Ibid.* p 520)

La prueba inicial para el nitrógeno orgánico fue el método Dumas, éste propone quemar el material por analizar en una atmósfera de dióxido de carbono y después recolectar el nitrógeno oxidado. Esta reacción convierte al nitrógeno en una forma gaseosa que se recibe y mide directamente. El método requiere procedimientos cuidadosos y puede ser poco confiable cuando se tratan cantidades muy pequeñas de nitrógeno.(*Ibid.* p521)

La determinación del contenido de nitrógeno se puede completar con el resultado obtenido del método de flúor y uranio. Ya que el primero se aplica a la parte material orgánica, y el segundo al material inorgánico.

2.2-2-3 Contenido de Flúor y Uranio

El contenido de flúor

Es un método de datación relativa, que mide la cantidad de flúor del material óseo enterrado.

Los huesos enterrados absorben el flúor contenido en el suelo en una proporción que aumenta de acuerdo con la duración del período que han permanecido enterrados. La determinación del contenido del flúor sólo es utilizable cuando se trata de grupos de materiales que se han conservado bajo condiciones semejantes. Sólo la cronología relativa de los vestigios óseos contenidos en un mismo yacimiento quedaría establecida. (Ramos Fernandez.1977.p94)

Este elemento se encuentra disuelto en forma de fluoruros solubles en casi todas las aguas subterráneas. Cuando los iones de flúor entran en contacto con los huesos y dientes son absorbidos y sustituyen a los iones hidroxilo en los cristales de la hidroxiapatita. Con el transcurso del tiempo, los huesos y dientes enterrados en depósitos permeables acumulan flúor progresivamente, el ritmo de incremento variará de acuerdo con el sitio, pero los huesos que han permanecido en un mismo depósito durante el mismo período tendrán concentraciones similares. (Oakley. 1982. p32)

Por lo tanto, un esqueleto que haya sido introducido en un depósito de entierro más antiguo, mostrará una concentración de flúor menor que la de otros huesos de una misma capa, porque tiene considerablemente menor contenido de flúor. De esta manera, la cantidad de flúor detectada en los restos óseos determinará el tiempo enterramiento.

El contenido de uranio

Éste es otro método de fechamiento relativo que se basa en medir el contenido de uranio radioactivo presentado en el hueso enterrado.

Lord Rayleigh estableció en 1908 que los fosfatos minerales, incluyendo los que encuentran en huesos fósiles, contenían uranio. Las investigaciones médicas recientes han demostrado que este elemento, en circulación a través del torrente sanguíneo, se fija en la materia mineral de los huesos, probablemente mediante el reemplazo de los iones de calcio de la hidroxiapatita. El mismo proceso de sustitución ocurre a los huesos enterrados en depósitos a través de los que se filtra agua subterránea con residuos de uranio. Cuanto mayor sea el tiempo que ha estado enterrado el hueso, mayor será la cantidad absorbida de uranio. Este elemento es radioactivo, y es posible estimar el contenido de uranio de un fósil, si se practica un análisis cuantitativo.

Los ensayos radiométricos de los huesos fósiles mostraron que hay un aumento progresivo en la radioactividad de huesos fósiles de creciente edad geológica; de acuerdo con esto, los huesos fósiles más antiguos tienen más concentración de uranio que los modernos. La ventaja de este método sobre el de datación del flúor, es que no implica la destrucción del material. (Oakley. 1982. p34)

Hay tantos factores que afectan la composición de los huesos y dientes fósiles que frecuentemente se utilizan las pruebas del contenido de flúor o uranio como una referencia general acerca de la edad geológica. Sin embargo, estos métodos, combinados con el análisis del nitrógeno, son útiles para establecer las edades relativas de los diversos restos óseos que han sido encontrados en ambientes semejantes, en el mismo sitio, o en sitios vecinos.

2.2-2-4 Raceminación de los aminoácidos

Los aminoácidos son una composición proteica que se encuentra en el organismo de todo ser vivo. Esta composición existe en dos formas, isómeros L e isómeros D. La mayoría de las proteínas del ser vivo son isómeros L. Cuando se muere, la proteína molecular se empieza a convertir en isómeros D. Por lo tanto, un ser vivo tiene principalmente aminoácidos-L, en cambio el material fósil contiene más aminoácidos-D. La reacción química de este cambio de isómeros L a isómeros D es lo que se llama raceminación.(Goffe.1980. pp292-293)

Los geofísicos se convirtieron esta reacción como una manera de fechamiento absoluto, al medir la proporción de los aminoácidos D y L. (Thomas. 1979. p197)

Tal proporción depende de la temperatura promedio del sitio donde fue sepultado el material. El agua es uno de los factores necesarios para que suceda el proceso de raceminación, por otro lado, la presencia de cobre y hierro en el suelo acelera la pérdida de colágeno.(Fleming. 1976. Pp 196-198)

Si el material óseo tiene más de 10 000 años a.P, los resultados del análisis por raceminación de los aminoácidos se pueden comparar con los del método por radiocarbono, pero si el hueso data de una fecha mayor de 70 000 años a.P, entonces el método de fechamiento por raceminación de los aminoácidos es el único utilizable. (Thomas. 1979. p198)

El rango de temporalidad de este método abarca entre 3 000 y 100 000 años antes del Presente y depende de la temperatura del sitio estudiado.(Belluomini. 1981. p113) Aunque este método se aplica principalmente fosilizado, también se puede estimar la temporalidad de las conchas, la madera fosilizada y sedimentos del mar.(*Ibid.* p109)

2.2-2-5 Difracción por rayos X

Esta técnica ofrece un modo relativamente rápido y preciso para determinar los principales componentes de un objeto desenterrado. Cuando se hacen pasar rayos X a través de una pequeña fracción pulverizada de la muestra para analizar, se obtiene y registra un espectro característico de la difracción del polvo. Por medio de dicho espectro puede identificarse la composición de la muestra.

Las ventajas de este método en términos prácticos es que requiere muy poca cantidad de material. Además es posible que la misma muestra sea usada igualmente para otros experimentos. (Brothwell. Molleson. Gray. Harcourt. 1982. p534)

Por la difracción de rayos X también se puede tener una fecha relativa, al medir la cantidad del colágeno del hueso enterrado. De acuerdo con la concentración de colágeno residual, las muestras óseas tendrán diferentes valores en la gráfica. Este método relativamente sencillo, puede ser de gran utilidad para el fechamiento relativo del hueso. Aunque todavía está en proceso de perfeccionamiento. (Bucio, L. comunicación personal)

Hay otro intento de establecer como un método de fechamiento por esta técnica, aunque todavía está en etapa de experimentación, Bartsioka y Middleton propusieron una posibilidad de fechamiento relativo, midiendo el tamaño de los cristales de hidroxiapatita del hueso. En general, hueso moderno tiene el tamaño de cristal de 0.05 μm por 0.028 μm por 0.002 μm , pero el hueso arqueológico tiene el tamaño de cristales más aumentado que de moderno. Por lo tanto, la propuesta de los investigadores es que si un hueso tiene un tamaño de cristal más grande que otro, significa que es más antiguo que el que tiene menos aumento de cristal. (Bartsiokas y Middleton. 1992. pp 62-72)

2.2-2-6 Comparación por colorímetro

Es un método aparentemente sencillo, basado en la medida colorimétrica del contenido de proteínas residuales en los huesos, que permite establecer criterios de contemporaneidad intraestratigráfica y cronologías relativas dentro de un sitio arqueológico. También es útil en el establecimiento de una cronología interestratigráfica dentro del mismo sitio, siempre y cuando los parámetros geoquímicos de influencia sobre la degradación orgánica en los huesos (humedad y acidez) sean semejantes. El procedimiento experimental propuesto ha sido probado con una serie de huesos humanos que previamente fue fechada con el método de colágeno, lo cual permitió distinguir diferencias en el tono violeta dependiendo de la antigüedad del hueso, aun en aquellos cuya distancia cronológica no era muy marcada. La determinación no exige grandes habilidades operacionales y está al alcance de cualquier investigador. Otra ventaja es que el equipamiento requerido es ligero y ocupa poco espacio, por lo tanto es un método ideal para utilizar en el campo de excavación. (Roberto Rodríguez. 1986. pp 669-676)

2.2-2-7 Resonancia Electrónica del Spin

Una de las técnicas más recientes es la datación por Resonancia Electrónica del Spin. Este método se aplica en los huesos humanos y animales que se han encontrado en las excavaciones arqueológicas.

Las conchas, huesos o dientes mineralizados, al ser colocados bajo un campo magnético fuerte tienen la cualidad de atrapar gran cantidad de electrones. La concentración de radiación natural ó radiación arqueológica

se puede calcular, comparando tal cantidad se puede proporcionar la fecha del objeto. La teoría principal es parecida la del método por termoluminiscencia. (Lkeya,M. Miki,T. 1981. pp39-40)

Capítulo III. Metodología

3.1 características generales del colágeno

El principal componente orgánico de la matriz extracelular de tejido conjuntivo es el colágeno, éste es una proteína fibrosa insoluble en el agua que llega a constituir un 35% de peso del hueso seco. La molécula básica del colágeno, está compuesta de tres cadenas polipeptidas unidas entre sí, y con una composición de aminoácido con un elevado contenido de glicina y de hidroxiprolina. Las tres cadenas están unidas por los eslabones del nitrógeno entre los residuos de glicina de las cadenas adyacentes.(Garlick. 1982. p520)

Estas cadenas están enrolladas entre sí y constituyen la estructura denominada triple hélice. La molécula así formada se llama tropocolágeno. La unión de varias de estas macromoléculas conforma las fibrillas colágenas que poseen estriaciones transversales cada 640 angstroms. (Ramachandran y G.Kartha. 1955. pp593 -595)

Los grupos de moléculas individuales de colágeno, con un diámetro aproximado de 1/10 000mm, están ordenadas en fibrillas de hasta 1/100 mm de diámetro, en las cuales la superposición de moléculas sucesivas producen el característico patrón 640 angstroms, que se puede ver bajo el microscopio electrónico. Orientados a lo largo de las moléculas de colágeno en el hueso, se encuentran cristales de hidroxiapatita inorgánica.(Garlick. 1982 p520)

La estructura del colágeno está constituida por varios niveles en el orden molecular y supramolecular. La forma compleja de esta organización y su relación con el estuche mineral favorece la permanencia del colágeno durante un tiempo prolongado. Esta proteína representa en el hueso fresco cerca del 90% del material orgánico dentro de la matriz ósea. Gracias a sus

características químicas es una de las sustancias orgánicas que perduran durante mucho tiempo en el material óseo enterrado, hasta 10 o 12 mil años. (Stout,1978. pp 601)

En ciertos aspectos, el colágeno es muy resistente a las enzimas proteolíticas, tales como la tripsina, particularmente cuando está asociada con hidroxapatita, además puede mantenerse en un medio ambiente de microorganismos que descomponen rápidamente otras proteínas. (Garlick. 1982. p520)

Según la investigación del análisis isotópico del colágeno de muestras óseas, en la última década se instrumentaron procesos básicos para extraer el colágeno del hueso con una pureza bastante aceptable. Entre estos procesos está la purificación cromatográfica o enzimática de los aminoácidos del colágeno. (Ambrose.1990. p435)

Las tendencias básicas de la diagénesis de la fracción orgánica indican que los huesos mejor preservados tienen mayor cantidad de colágeno que aquellos mal conservados. El componente protéico se halla en dos formas, la fracción HCl- insoluble y la fracción HCl- soluble. El colágeno se encuentra predominantemente en la fracción HCl- insoluble. Por un lado, la fracción orgánica HCl- soluble también compone la mayoría de colágeno, pero está constituida en su mayor parte por fragmentos de colágeno, que probablemente son producto del rompimiento de la fracción insoluble. Los huesos poco preservados tienen una baja concentración de proteína menos de 2%, y en el componente HCl- insoluble es poco o nulo. (Weiner y Bar – Yosef. 1990. p188)

Muchos investigadores tomaron el colágeno como el mejor componente orgánico para el análisis químico de huesos antiguos gracias a su alto nivel de conservación; aunque a pesar de presentar algunas propiedades desacuerdos

con el colágeno de hueso moderno por el efecto de la diagénesis. (Stout,1978. pp 601)

No obstante, según las investigaciones del análisis isotópico aplicado en huesos, se ha considerado al colágeno como el material indicado para la reconstrucción ambiental y climática de tiempos antiguos y la dieta de la sociedad desaparecida.

3.2 El método de Fechamiento por colágeno residual

3.2-1 El antecedente del método

La edad relativa de un hueso fósil puede determinarse mediante la comparación de su composición química con la de otros huesos fósiles de edad conocida encontrados en el mismo sitio o área, siempre y cuando se hayan conservado bajo condiciones semejantes. Tan pronto como los huesos quedan bajo la tierra, su composición está sujeta a cambios químicos, algunos mucho más lentos que otros. (Oakley. 1982. p30)

Mientras los materiales óseos hayan permanecido en el mismo contexto o en contextos semejantes, los cambios físicos y químicos que padezcan en muchos casos podrían ser usados como un índice de edad relativa.

De esta forma, los estudios analíticos llevados a cabo después de la Segunda Guerra Mundial han demostrado que algunos huesos que parecían estar fosilizados, en realidad todavía contenían considerables cantidades de proteína. Ya que los huesos pierden su proteína a un ritmo lento y, bajo las mismas condiciones, bastante uniforme, su edad relativa puede ser determinada al comparar su contenido orgánico. La materia orgánica del

hueso consiste principalmente en grasas y proteínas, como el colágeno (*Ibid.* p32)

La rapidez con la que un hueso pierde este contenido orgánico depende en gran medida del clima y del suelo. Pequeñas cantidades de materia orgánica pueden permanecer en los restos óseos durante miles años, este hecho se ha aprovechado en el método de datación relativa mediante el análisis del contenido orgánico. (Brothwell.D.R. 1987. p37)

Aunque es difícil calibrar la velocidad de pérdida de colágeno en correlación con otros factores además del tiempo que el hueso tiene bajo tierra, existe una teoría acerca de que la proporción química de restos óseos enterrados bajo condiciones similares de humedad, clima y suelo, podrían ser utilizados como una forma de fechamiento relativo, con el análisis del grado de mineralización o de pérdida de materia orgánica. (Rottländer, 1976. pp83-88)

A partir de las investigaciones realizadas en este campo se puede observar que el contenido de colágeno de huesos enterrados bajo condiciones semejantes, depende directamente de la antigüedad de los materiales óseos y que los materiales más antiguos presentan menor contenido de colágeno que los restos más recientes. Los datos anteriores fueron tomados en consideración para ser utilizados como una manera de calcular el fechamiento del material óseo.

Durante los años sesenta, en Europa del este se realizaron investigaciones sobre la interacción de las variaciones climáticas en el material enterrado durante el Cuaternario y el análisis químico cuantitativo de los restos óseos. (Vento. 1981. pp165-166)

A partir de esos trabajos, se consideró la cuantificación del colágeno residual como un método para establecer la ubicación temporal a partir de los restos óseos. Por esta razón, se denominó “fechamiento por pérdida de colágeno” o “fechamiento por colágeno residual”. Desde los años setenta, esta técnica realiza el fechamiento con bastante aproximación. (*Ibid*, pp166-170)

De Europa del Este, este método pasó a Cuba, donde fue ajustado con la calibración del carbono 14 a las condiciones de la isla; se observaron ciertas irregularidades debidas al cambio de clima; y se llegó a la conclusión de que en latitudes más cercanas al Ecuador la velocidad de pérdida del colágeno es mayor comparada con la de Europa. Mientras que en países fríos se llegaba a fechamientos mayores de 20 000 años, en Cuba el máximo que fue alcanzado no rebasó los 10 000 años. (*Ibid*. p165)

Por lo tanto, la técnica necesita una calibración específica de acuerdo con las condiciones del clima de cada sitio arqueológico. La importante influencia que tiene el clima en la velocidad de pérdida de colágeno, determina que esta técnica se considere como un método relativo de fechamiento, y que se lleve a cabo la estimación de la tasa de pérdida para cada región de acuerdo con su condición climática.

En 1990, el químico Roberto Rodríguez propuso a los investigadores de México, Luis Barba y Raúl Valadez el proceso de esta técnica como una manera de fechamiento relativo. En consecuencia, el laboratorio de prospección del IIA-UNAM inicia experimentos para adaptar la técnica en México. En 1992, la bióloga Lazos presentó su tesis, en donde proponía una adaptación de esta técnica a las condiciones climáticas de la Cuenca de México. En su investigación, ella modificó la cantidad y tamaño de la

partícula de la muestra ósea con el fin de adecuarla para aplicar este método; también especificó el tipo y la sección de hueso; diáfisis de huesos largos, más apropiados para el muestreo.

Posteriormente, los arqueólogos Berriel y Almaguer presentaron su tesis con las muestras óseas de sitios arqueológicos de Cuertlajuchitlán, Guerrero, y Monte Albán, Oaxaca.

Ambas investigaciones demostraron las grandes posibilidades de esta técnica para ser utilizada como un método de fechamiento aplicable para según los climas de México.

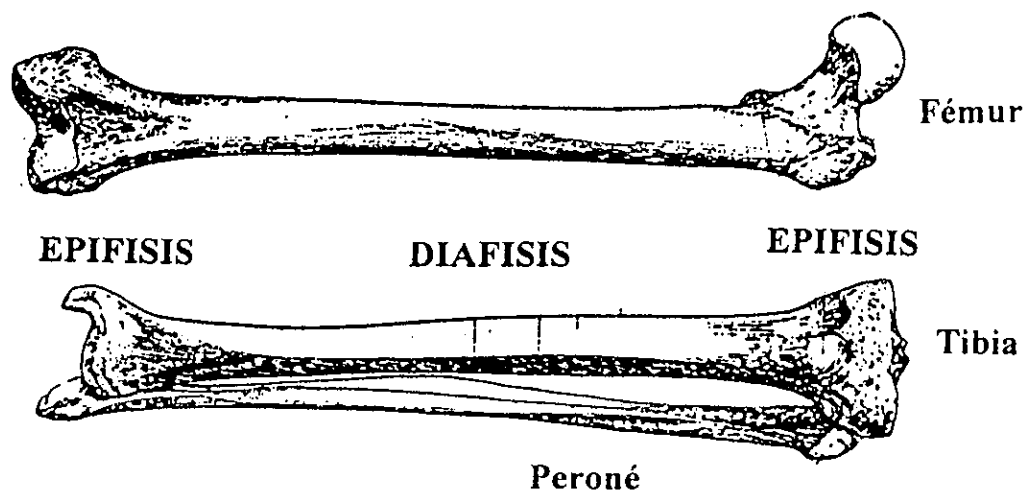


Figura 3-1. La división de los huesos largos. (Don Brothwell.1987.p51)

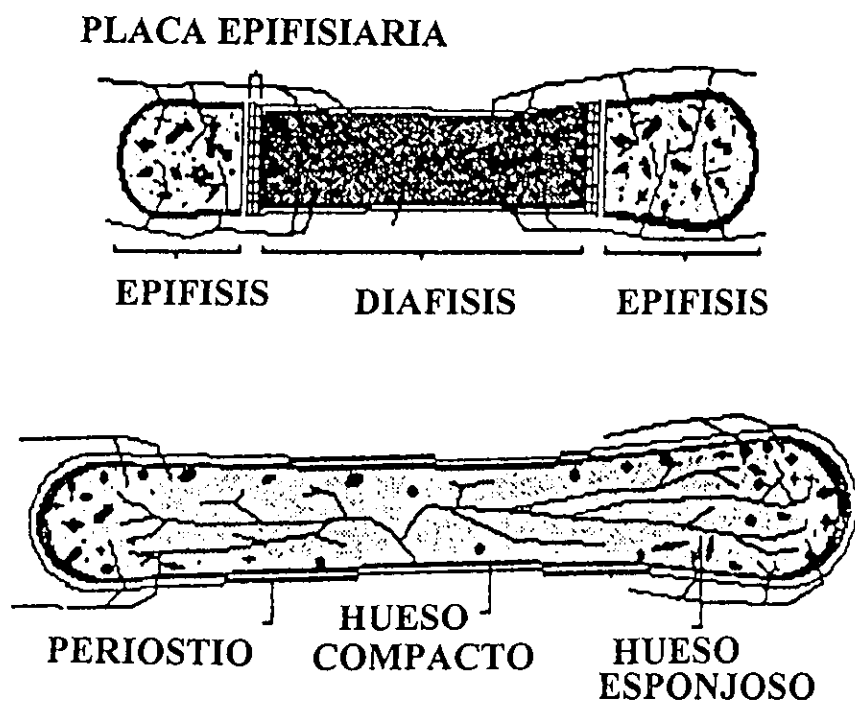


Figura 3-2. Estructura de un hueso largo de epífisis y diáfisis.
(Ganong. 1990. p340)

3.2-2 El proceso del método

El primer paso para la aplicación de la técnica de fechamiento por colágeno residual es seleccionar las muestras óseas en una zona determinada del sitio arqueológico. Las muestras deben tener las mismas condiciones de enterramiento y no se les debe aplicar ningún tipo de consolidante.

Después de llevar las muestras al laboratorio, se deben lavar con agua para eliminar los restos de tierra pegados en el hueso. El punto más importante es que ésta es una técnica destructiva, por lo tanto, antes de efectuar el análisis se deben practicar en la muestra todos los métodos y experimentos que se requieran. Sobre todo los datos de antropología física, como la edad, sexo y patología, entre otros, que son muy importantes y se han de tener en cuenta durante el muestreo.

El siguiente paso es la selección del hueso largo, de preferencia debe tratarse del fémur de adulto, y cortar un fragmento de la diáfisis del hueso largo, de aproximadamente 10 gramos de peso.

La muestra extraída, se debe pulverizar en un mortero de hierro o cerámica y hacer pasar el polvo a través una malla del número 30 y 50, para obtener partículas cuyas dimensiones sean más o menos de 0.97mm.

De este polvo se deben tomar 10 g que se dividirán en cinco porciones de 2g cada una y se colocarán en cinco tubos de ensayo, uno para cada porción. A cada tubo se le agrega agua destilada, se agita suavemente y se dejan en reposo para, posteriormente, decantar el agua. En caso de que existieran restos del suelo mezclados con el polvo del hueso, se debe repetir la operación hasta obtener una solución transparente y sin tierra.

Los carbonatos y ácidos húmicos que se adhirieron al material óseo durante el tiempo que se mantuvo enterrado y que debido a su naturaleza

química pueden ser confundidos con material orgánico del hueso, se consideran como impurezas que deben evitarse.

El burbujeo del HCl y la coloración que tome la solución con NaOH, son los indicadores que señalan la presencia de impurezas.

Después de eliminar los restos del suelo, se agregan 5 ml de HCl 0.1N y se lava cuidadosamente, si aparecen las burbujas, entonces la muestra se debe enjuagar varias veces más con la solución preparada, hasta que no vuelvan surgir las burbujas. Una vez que se obtenga una solución sin burbujas, se debe enjuagar con el agua destilada.

El siguiente paso, es agregar 5 ml de NaOH 0.1N. Si el color de la solución cambiara a un amarillo o café, se debe eliminar la solución y repetir el lavado hasta que se obtenga una solución transparente. Finalmente, se vacía la solución y enjuaga de nueva cuenta con agua destilada.

Después de esta serie de lavados, las muestras se colocan en recipientes de base extendida, para secarlas en un horno a 65 °C, durante 4 horas. Ya secadas, las muestras se ponen en crisoles y se guardan en una desecadora con sílica para evitar su hidratación. Antes de la incineración hay que obtener los pesos iniciales de las muestras por medio de una balanza analítica. Una vez pesada se incineran las muestras a 750°C durante una hora, en una mufla "Lindberg". Después de incinerar, se obtienen los pesos finales de las muestras con la misma balanza. Con los datos obtenidos se debe calcular el índice de cada muestra, así como los promedios de las repeticiones y desviaciones estándares.

Pasos de la técnica de fechamiento por colágeno, propuesta por Vento y Rodríguez. Con modificación de algunos detalles por Heju Jang.

1. Excavación para obtener muestra de hueso.
2. Escoger los huesos humanos largos, de preferencia fémur de adultos que no presentan patología.
3. Lavar perfectamente los huesos con agua destilada.
4. Después de secar, se deben pesar y medir los huesos largos.
5. Cortar una parte de la diáfisis cuyo peso debe ser mayor de 10g.
6. Pulverizarlo en un mortero de cerámica y hacerlo pasar a través de mallas del número 30 y 50 para homogeneizar las partículas cuyo tamaños debe ser aproximadamente de 0.97mm.
7. Tomar 10g de polvo de hueso y separarlo en cinco porciones de 2 g; cada una de éstas se colocan en 5 tubos de ensayo.
8. Agregar agua destilada y lavar varias veces hasta eliminar los restos de tierra y obtener una solución transparente.
9. Lavar con HCl 0.1 N con varias repeticiones hasta obtener una solución sin burbujas.
10. Enjuagar bien con agua destilada.
11. Agregar NaOH 0.1 N, y lavar cuantas veces sea necesario, hasta que desaparezca la coloración amarilla o café, para obtener una solución transparente.
12. Enjuagar varias veces con agua destilada y vaciar las muestras en cinco recipientes de base amplia, uno para cada muestra.
13. Secar en un horno durante 4 horas con una temperatura entre 60 y 65° C.
14. Enfriar las muestras dentro de una desecadora y vaciarlas en crisoles previamente pesados.

15. Pesar para obtener el peso inicial (Pi).
16. Incinerar a 750° C durante una hora.
17. Pesar para obtener el peso final (Pf).
18. Obtención del índice con la fórmula:

$$\text{Índice (\%)} = \frac{Pf \times 100}{(Pi - Pf)}$$

$$\text{Pérdida (\%)} = \left[\frac{Pi - Pf}{Pi} \right] \times 100$$

$$C.V = \frac{\text{índice} - X}{X \times 100}$$

X es el promedio de los índices de cada análisis

C.V es coeficiente de variación. (porcentaje de error)

3.3 Selección de las muestras

3.3-1 El criterio para el muestreo

Los principales factores que afectan la desintegración de material óseo son los fenómenos físicos, químicos y biológicos. Humedad, oxígeno, tipo de contexto y contaminación atmosférica, son las principales influencias químicas. Temperatura, luz solar y viento, son los agentes físicos de mayor importancia; mientras que los microorganismos e insectos forman parte de los principales factores biológicos involucrados en la degradación y destrucción del material óseo. Así, los factores extrínsecos, como la condición climática del medio ambiente y el tiempo que tiene enterrado el material óseo, también afectan la velocidad de la diagénesis.

Por otro lado, existen otros factores intrínsecos que influyen en la proporción de colágeno y en la velocidad de pérdida en el material óseo, como la edad del individuo, el sexo y estatura, nutrición, hábitos alimenticios o patologías, que afectan el desarrollo óseo.

Tanto los factores extrínsecos como los intrínsecos alteran la proporción de colágeno de un hueso humano vivo durante su crecimiento o en un contexto de enterramiento durante la diagénesis del material óseo.

Lo importante es seleccionar las muestras óseas adecuadas, que reúnen las mejores condiciones para el método; y con este propósito se establece el criterio de muestreo.

El material óseo óptimo para trabajar con esta técnica debe encontrarse dentro del rango considerado en estado de salud, es decir, que no tenga patología y debe tratarse de un adulto que haya completado la formación del crecimiento longitudinal de sus huesos. De preferencia se selecciona el

material óseo humano de diáfisis de huesos largos, con el fin de descartar las variables en la forma del hueso.

Para realizar el muestreo se debe tomar en cuenta, en primer lugar, el tipo de enterramiento, ya sea directo o indirecto, primario o secundario; y en segundo término, que las muestras tomadas tengan las mismas condiciones climáticas, de humedad y temperatura, etcétera, para eliminar toda posibilidad de variaciones que pudieran interferir en los resultados.

De acuerdo con la importancia que tiene la influencia del clima en la velocidad de pérdida de colágeno, se considera indispensable limitar el muestreo de los restos óseos encontrados dentro de una sola región climática bien definida, donde se pueda observar el comportamiento del colágeno con respecto al tiempo, y a la vez controlar otro tipo de factores que influyen en el proceso. También se debe considerar que en esta región sea posible obtener material óseo de distintas épocas de los sitios arqueológicos.

Por lo anterior, se elige la región con las mejores condiciones para este tipo de pruebas, como es la Cuenca de México por tratarse de un área donde se han efectuado estudios climatológicos completos. Desde el punto de vista arqueológico, la Cuenca de México tiene gran importancia, pues fue ocupada por el hombre desde época muy temprana y en su interior se encuentra un gran número de sitios relacionados con importantes culturas prehispánicas, así como los que corresponde a la época colonial. Además de que se cuenta con amplia información sobre su clima, también existe una bibliografía extensa que registra los cambios que ha tenido en el tiempo.

3.3-2 La condición climática de la Cuenca de México.

La Cuenca de México se encuentra situada dentro de los siguiente límites: al norte 20°19' de latitud N; al sur, 19° 01' de latitud N; al oriente, 98° 12' de longitud W, y al poniente, 99°31' de longitud.

Por su situación al sur del paralelo 20°N, la Cuenca de México está astronómicamente dentro de la zona tropical, pero su gran altura sobre el nivel del mar (más de 2 000m) le confiere ciertas características de los países templados.

La Cuenca de México está limitada al norte por los cerros de Alcaparrosa, Peña Blanca, Sincoque y Xalpan y por las sierras de Texontlalpan y Pánuco; al este, por la Sierra Nevada y sus estribaciones hacia el norte; al sur y suroeste, por la Sierra del Ajusco, finalmente al oeste la demarca las sierras de Las Cruces y Monte Alto. La gran influencia que la orografía ejerce en la temperatura, en la precipitación y en la circulación atmosférica puede explicar la diversidad de climas que se manifiestan, aun dentro de una zona tan pequeña como es la Cuenca de México.

Hasta el siglo XVIII, esta región era una unidad hidrográfica cerrada de 70 000 km, en cuyo centro se encontraba una serie de lagos poco profundos.

Debido a la baja latitud de la Cuenca, la insolación se distribuye casi uniformemente durante todo el año. La diferencia máxima en duración del día y la noche en la Ciudad de México, en la parte central, es solamente de 2 horas 20 minutos, lo cual trae como consecuencia que la variación anual de la temperatura no sea muy grande.

Los altos porcentajes de lluvia de los meses que van de mayo a Octubre varían del 80 al 94% de la precipitación total anual, esto indica que predomina un régimen de lluvias eminentemente estival. La precipitación alcanza un

valor promedio de 712 mm anuales, que varía de 450 mm en la parte norte, hasta más de 1 500 mm en las montañas del suroeste.

En cuanto a la distribución de la lluvia en esta región, existen fuertes variaciones. La zona donde la precipitación es más abundante corresponde en general a la parte sur, acentuándose en los ángulos sureste y suroeste, y las regiones de escasas lluvias corresponden a toda la parte norte y noreste.(García, E. 1967. pp27-48)

Como ya se ha mencionado, de acuerdo con los objetivos del presente trabajo, el material para analizar debe cumplir con cuatro requisitos principales:

Primero, debe pertenecer a algún sitio arqueológico ubicado dentro de la Cuenca de México.

El segundo es que se debe contar con la suficiente información tanto arqueológica como de la antropología física: fecha y ubicación del sitio, las condiciones ambientales, tipo de enterramiento, edad, sexo, patología y las referentes a las ofrendas, que pueden ayudar a estimar la temporalidad de la muestra ósea, entre otras.

El tercer requisito es que se debe tratar de un entierro directo y primario.

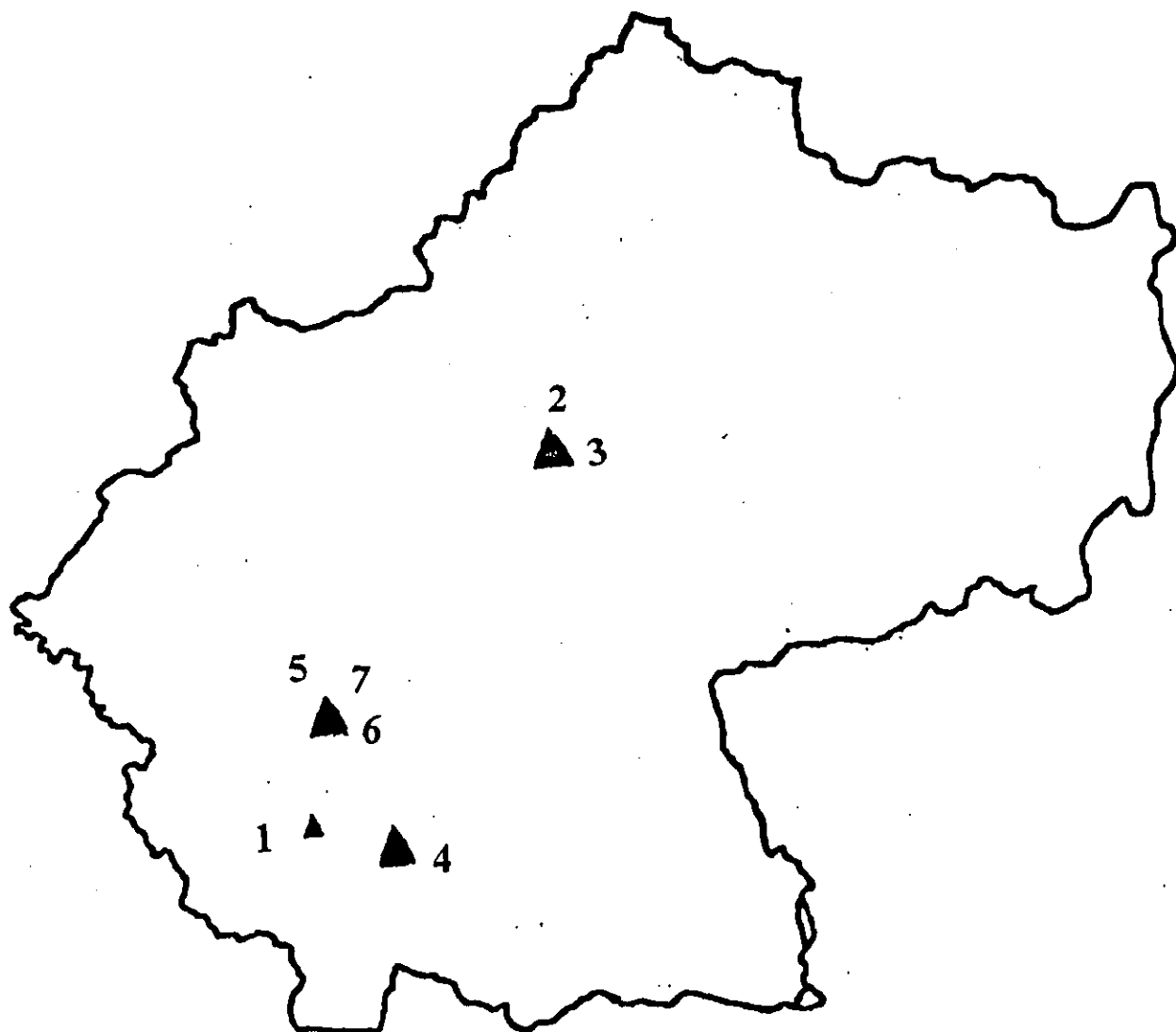
Por último, se tiene que seleccionar la diáfisis de los huesos largos de adulto, de preferencia el fémur.

Capítulo IV Análisis

4.1 Descripción de las muestras óseas y los sitios arqueológicos

Como ya se estableció en el capítulo anterior, el material óseo que se utilizará para el análisis debe cumplir cuatro requisitos principales. Estos criterios del muestreo se pueden restringir la cantidad de las muestras óseas para analizar. Durante el muestreo, fue difícil de aplicar estos criterios. Algunas muestras no cumplían los requisitos. Pero por falta de las muestras disponibles, tuvo que aceptarlos para el análisis. Finalmente, se obtuvo un total de 67 huesos largos de humanos correspondientes a 7 sitios de diferentes épocas, que se localizan en la Cuenca de México.(véase el mapa 4-1)

- 1) Cuicuilco, que pertenece al Preclásico Tardío (600 a.C- 300 d.C) de aquí tomamos 2 muestras óseas.
- 2) Oztoyahualco, de la fase Xolapan (450 – 650 d.C), tomamos 2 muestras. Más los resultados del análisis de 4 muestras que fue realizado por Lazos(1992), son en total 6 muestras.
- 3) Tlalocan, de la fase Coyotlatelco (700 – 1 000 d.C) o Mazapan (1 000 –1 250 d.C), aquí fueron seleccionados 2 fémures.
- 4) Xochimilco, sitio que tiene la temporalidad desde Preclásico Tardío hasta la época de la Conquista, se seleccionaron 12 fémures de diferentes épocas.
- 5) Tlatelolco, del Posclásico Tardío, localizado entre los años 1 250 y 1 521. De aquí se escogieron 15 muestras de diferentes huesos.
- 6) Templo de San Pedro y San Pablo, fechado entre 1 790 y 1 840. Se tuvieron 18 muestras de fémures.
- 7) Ex – convento de San Jerónimo, ubicado temporalmente de 1 626 a 1 850. De aquí fueron seleccionadas 9 muestras de fémures.



1. Cuicuilco
2. Oztoyahualco
3. Tlalocan
4. Xoxhimilco
5. Tlatelolco
6. Templo de San Pedro y San Pablo
7. Ex - convento de San Jerónimo

Mapa 4-1. La ubicación de los 7 sitios arqueológicos analizados en la Cuenca de México por el método del fechamiento por colágeno residual.

4.1-1 Cuicuilco

1. Localización

Se encuentra al sur de la Ciudad de México, junto a la Villa Olímpica.
(véanse la mapa 4-2)

2. Ubicación temporal

Se realizaron varias pruebas de radiocarbono 14, pero ninguna fecha está relacionada directamente con los dos entierros analizados. Por lo tanto, la temporalidad fue determinada tentativamente en el Preclásico Tardío que abarca de 650 a.C al 300 d.C, quiere decir del 2 300 a.P a 1650 a.P.

3. Descripción del entierro y la muestra ósea.

Para este trabajo fueron analizadas dos muestras de fémures que se encontraron durante la realización del “El proyecto Cuicuilco 1 996”.

Muestra 1. Cuicuilco 1.

Entierro adulto. Es un entierro primario con ofrenda, colocado en una matriz de la tierra. El esqueleto se encontraba cubierto con una delgada capa de tierra de 20cm de espesor de color café oscuro y sin piedras mezcladas, dentro de una sista de aproximadamente 60cm de ancho. La longitud de la sista no fue determinada porque más de la mitad del entierro había sido retirado cuando excavaron un túnel hace algún tiempo. Es un entierro de adulto en forma decúbito dorsal extendido y se encuentra en excelente estado de conservación. Desafortunadamente sólo se localizó la pelvis y los miembros inferiores, porque el túnel transversal construido destruyó el entierro y desapareció la parte superior del cuerpo. (Pérez Campa. 1996) Para el análisis se ha tomado diáfisis del fémur.

Muestra . 2 Cuicuilco 2.

Entierro infantil. Se encontró entre el contacto de la capa I y II de la zona de la Rampa E. Es un entierro primario infantil que fue depositado en el momento de la construcción de la última etapa de la rampa, posiblemente

como ofrenda constructiva. En general, el estado de conservación del esqueleto es bastante malo además de incompleto, pues las extremidades inferiores están erosionadas, y se encuentra muy fracturado debido a que fue depositado sobre una superficie irregular de rocas grandes y angulosas sin mortero interno. El entierro se efectuó entre las dos últimas etapas constructivas, anterior al desplazamiento del derrame de lava, cuyo calor y presión de 4m de espesor, fracturó y deformó considerablemente el cráneo de un individuo joven, clasificado por la edad entre la primera y la segunda infancia. La posición del entierro fue de cúbito lateral izquierdo en posición semiflexionada en la extremidades inferiores y con el brazo izquierdo semiextendido.(Pastrana. 1996) Para el análisis fue tomada la diáfisis del fémur.

4. Resultado del análisis

Muestra	Hueso	Edad	Índice	Pérdida	C.V
M1.Cui1	Fémur	Adulto	1088.8866	9.19 %	3.4 %
M2.Cui2	Fémur	Infantil	952.7775	9.485 %	3.785 %

Tabla 4-1. Resultado de la técnica de fechamiento por colágeno residual de las muestras óseas de Cuicuilco.

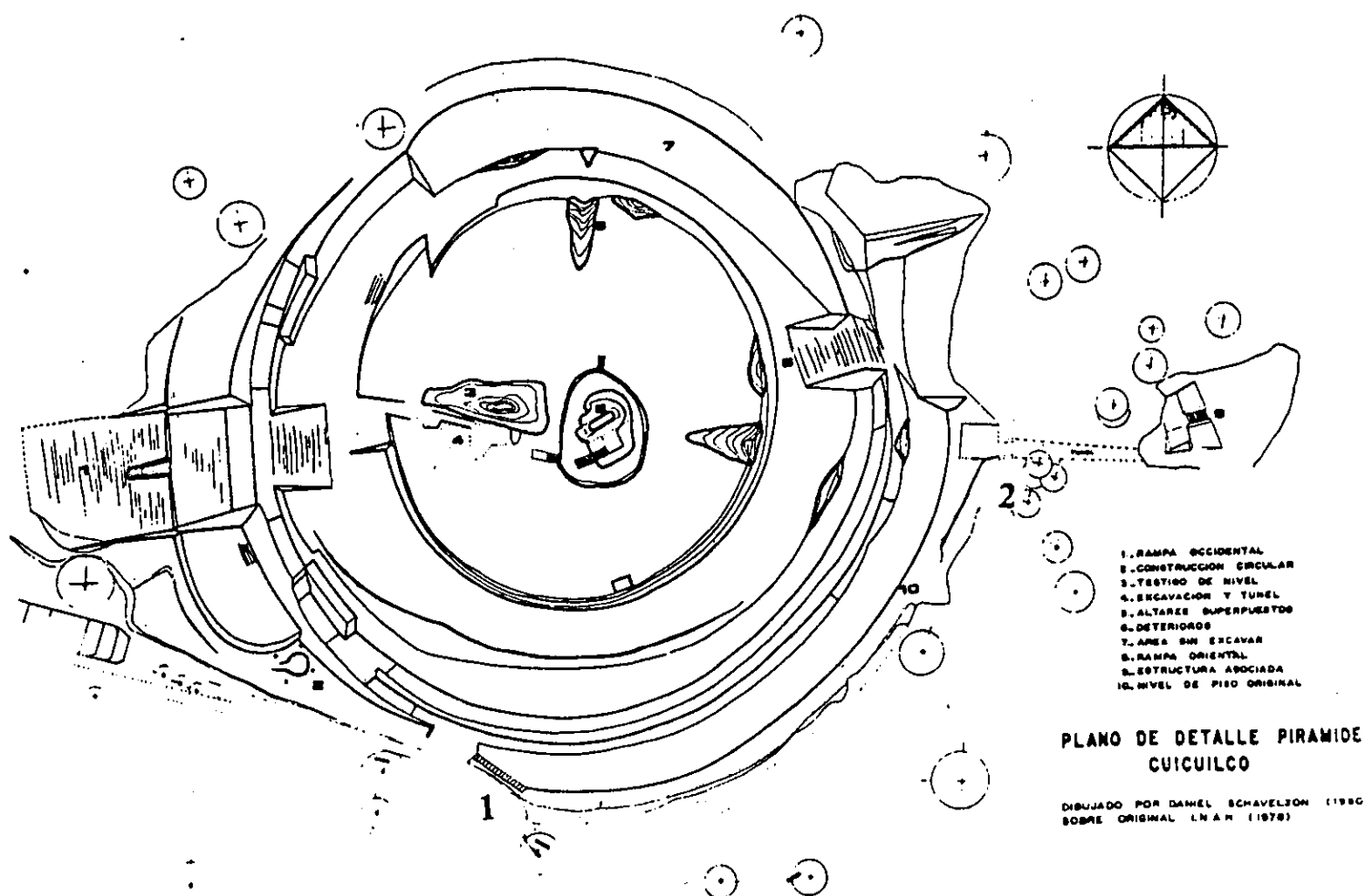
Para tener fiabilidad del resultado, el coeficiente de variación (C.V) de las repeticiones de la técnica de colágeno residual debe ser menor de un 5%, así se podrá tener más certidumbre de los resultados.

El promedio de desviación estándar es **3.5925%**, por lo tanto, el resultado tiene suficiente fiabilidad.

El promedio de los índices es **1020.832**, y el promedio de pérdida es **9.3375**.

A pesar de la diferencia de edad, las dos muestras presentan índices y pérdida del colágeno residual bastante similares. Además, si se toma en cuenta que el índice de un hueso moderno es 183, 1823 (véase Apéndice 1), los índices de estas dos muestras resultan demasiado altos, a pesar de su antigüedad.

Pero si se considera que el lugar donde fueron sepultados fue cubierto por lava, entonces hay posibilidades de que los índices hayan sido alterados por esa razón. Ya que el entierro infantil recibió de manera muy directa la influencia de este producto de la erupción del volcán Xitle, es de esperar que el peso de la lava haya destruido su cráneo. Por lo tanto se puede deducir que la parte material orgánica estuvo bajo una temperatura muy alta y en consecuencia fue alterada.

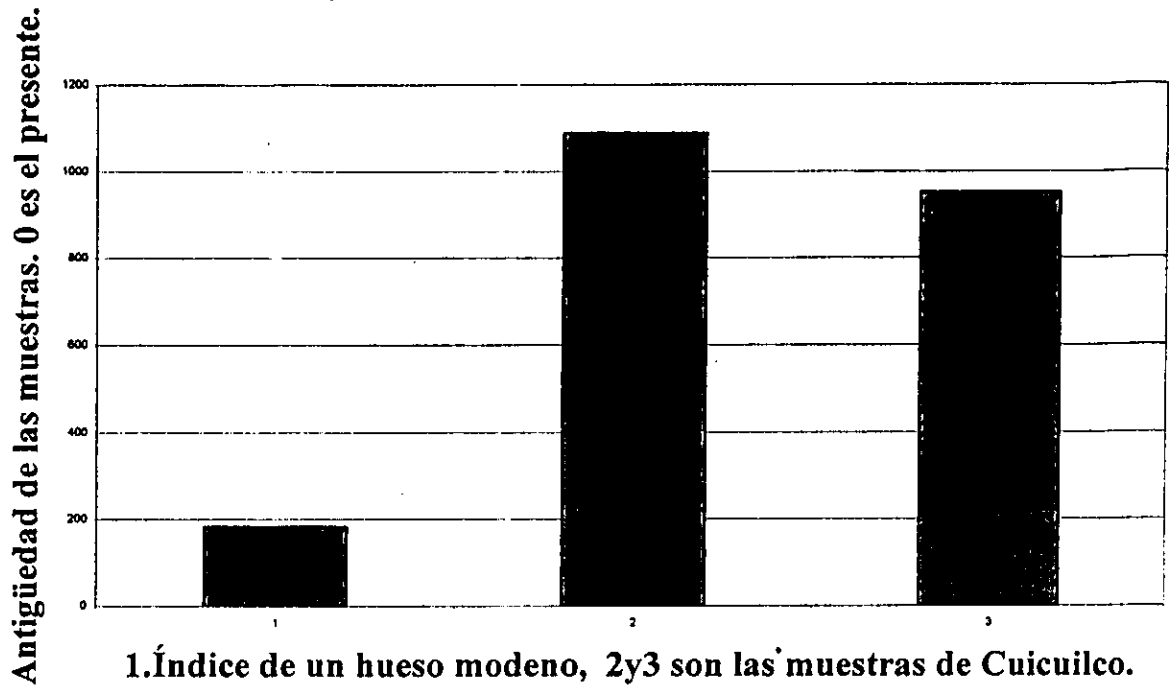


1. Muestra 1. Entierro adulto

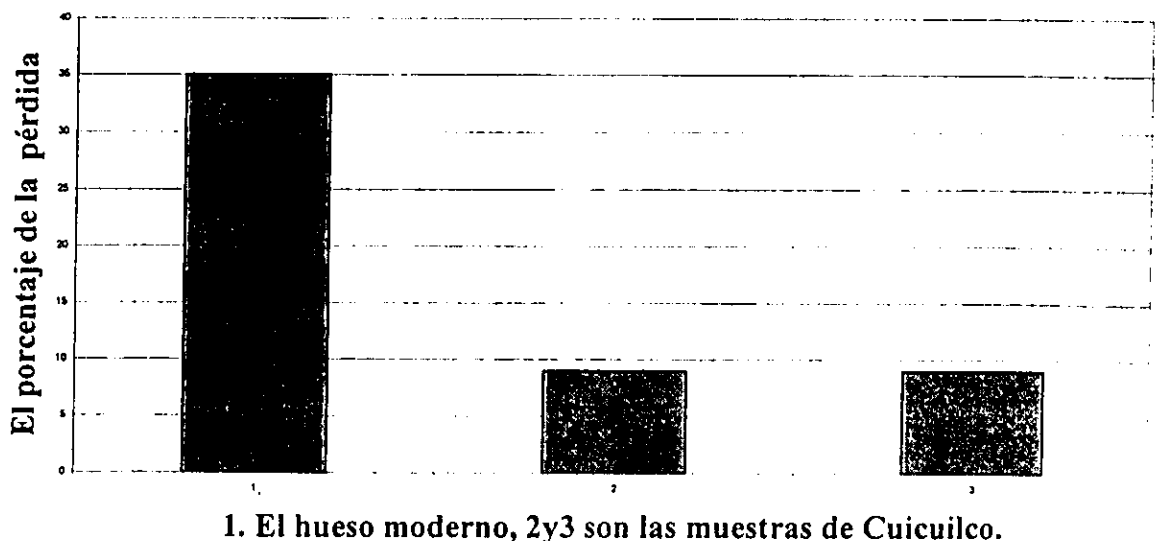
2. Muestra 2. Entierro infantil

Mapa 4-2. La ubicación de los entierros en Cuicuilco. (Schavelzon, 1993)

Gráfica 1-1. Relación entre el índice de un hueso moderno
y los índices de las muestras Cuicuilco.



Gráfica 1-2. Relación del porcentaje de la pérdida entre
el hueso moderno y las muestras óseas de Cuicuilco.



4.1-2 Oztoyahualco.

1. Localización

Oztoyahualco se encuentra ubicado en el margen noroeste de la ciudad de Teotihuacan. La excavación fue parte del proyecto interdisciplinario Antigua Ciudad de Teotihuacan; primeras fases de desarrollo urbano, dirigido por la Doctora Linda Manzanilla.

El sitio es una zona cubierta casi en su totalidad por construcciones continuas que, tal vez, sirvieron como áreas residenciales.

Durante las excavaciones realizadas en Oztoyahualco se recuperaron los restos óseos de los entierros de un conjunto residencial teotihuacano.

(véanse los mapas 4-3 y 4-4)

2. Ubicación temporal

Según los datos arqueológicos, se estima la cronología entre 450 – 650 d.C, es decir, 1 500 –1 300 a.P, con base en el análisis de material asociado que corresponde al tipo Xolalpan. (Linda Manzanilla.1993. pp 29-30)

3. Descripción del entierro y muestra ósea

Muestra 3. Oztoyahualco 1. Entierro 2.

Unidad familiar. Es un entierro secundario y su ubicación es N306 E279 C2. Se localizaron seis mandíbulas, dos fragmentos de maxilar, pequeños fragmentos de costillas, huesos correspondientes a mano y pies, y varios fragmentos de fémures, tibias y otros huesos largos de adulto.

Tres mandíbulas pertenecían a adultos del sexo femenino, cuyas edades oscilaban entre 25 y 45 años, y otras tres mandíbulas eran de adultos, género masculino, cuya edad oscilaba entre los 30 y 45 años aproximadamente. (*Ibid.* pp 526)

Para el análisis de fechamiento por colágeno fueron tomados fragmentos de hueso y no hay certeza de que correspondan a alguna de las seis

mandíbulas encontradas. Por lo tanto fue imposible determinar el sexo y la edad de la muestra.

En general, se trata de un apisonado de tierra arenosa, gravilla y tezontle molido, sobre el cual descansaba el entierro 2. Los fragmentos de apisonado que permanecieron presentaron altos valores de pH y fosfatos, y bajos en carbonatos. Todo el sector sur tuvo cuartos perturbados y rellenos de tezontle impregnado de carbonato de calcio. Esta impregnación sólo puede ocurrir cuando el bicarbonato de calcio se encuentra en solución, hecho que implica la presencia de agua y, seguramente, de hidróxido o bicarbonato de calcio. (*Ibid.* p100)

Muestra 4 y 5. Oztoyahualco. 2 y 3. Entierro 14.

Fue encontrado dentro de la fosa 42, al norte N322 E269 C28. Es un individuo masculino de 35 a 40 años, en posición sedente, posiblemente tenía deformada la cabeza. (*Ibid.* p527) Para el análisis fue tomado el fragmento del fémur (muestra 4. Oztoyahualco 2) y tibia (Muestra 5. Oztoyahualco 3).

Los huesos se encontraron en regular estado de conservación. El piso presentó un color café grisáceo. Se observa la presencia de altos valores de fosfato, bajos de carbonatos y un pH promedio. (*Ibid.* pp.155- 157)

Muestra 6. Oztoyahualco 4. Entierro 8 .

Se localizó en las coordenadas N 311 E 285 C21, procedente de una fosa sellada al este de la unidad, se trata de un entierro primario, perteneciente a un individuo adulto masculino entre 22 y 33 años en posición decúbito dorsal flexionada, con el cráneo hacia el noroeste. Presenta deformación de cráneo tabular oblicua

Por el tipo y cantidad de las ofrendas, se puede inferir que se trataba de un personaje importante en la unidad. (*Ibid.* pp 526 – 527)

En el cráneo existen evidencias de procesos patológicos conocidos como hiperostosis porótica, que son hipertrofias del tejido óseo ligadas a una anemia por falta de hierro. (*Ibid.* p138)

Para este análisis fue tomado un húmero de este adulto.

Muestra 7. Oztoyahualco 5. Entierro 1

El entierro 1 está en las coordenadas N 316 E 280 C39, dentro de la fosa 1. Es un entierro parcial secundario de un adulto, posiblemente masculino, con una edad de 30 a 35 años. (*Ibid.* pp528-529)

Para el análisis fue tomado el fragmento del fémur de este personaje.

Se trata de un cuarto en el sector norte de la unidad. Los rellenos sobre el piso 4 no tenían sales ,estaban sueltos y en seco, con una textura limo – arcillosa, con escasa gravilla de color café grisáceo.(*Ibid.* p168)

Muestra 8. Oztoyahualco 6. Entierro 6–B

Se localizó en el relleno 1 de la fosa 245, del cuarto 17. Se encontraron los restos de tres individuos adultos, dos de ellos masculinos y uno femenino.(*Ibid.* pp.529)

Para el análisis fue tomado el húmero de un adulto.

La matriz en la que estaba se componía de tierra suelta, fina y oscura y yacía sobre una compactación de tierra cubierta de grandes piedras.(*Ibid.* p128)

4. Resultado del análisis

Muestra	Hueso	Edad	Índice	Pérdida %	C.V %
M3.Oz1			890	10.10	2.33
M4.Oz 2	Fémur	Adulto	209.196	32.33	0.56
M5.Oz 3*	Tibia	Adulto	279.861	26.32	
M6.Oz 4*	Húmero	Adulto	239.554	29.45	
M7.Oz 5*	Fémur	Adulto	314.071	24.15	
M8.Oz 6*	Húmero	Adulto	198.199	33.55	

Tabla 4-2. Resultado de la técnica de fechamiento por colágeno residual de las muestras óseas de Oztoyahualco.

* Las muestras marcadas con el asterisco (*) fueron analizadas por Luz Lazos, y en las correspondientes a Oztoyahualco 4 y 5 se carece de la información completa para el análisis.

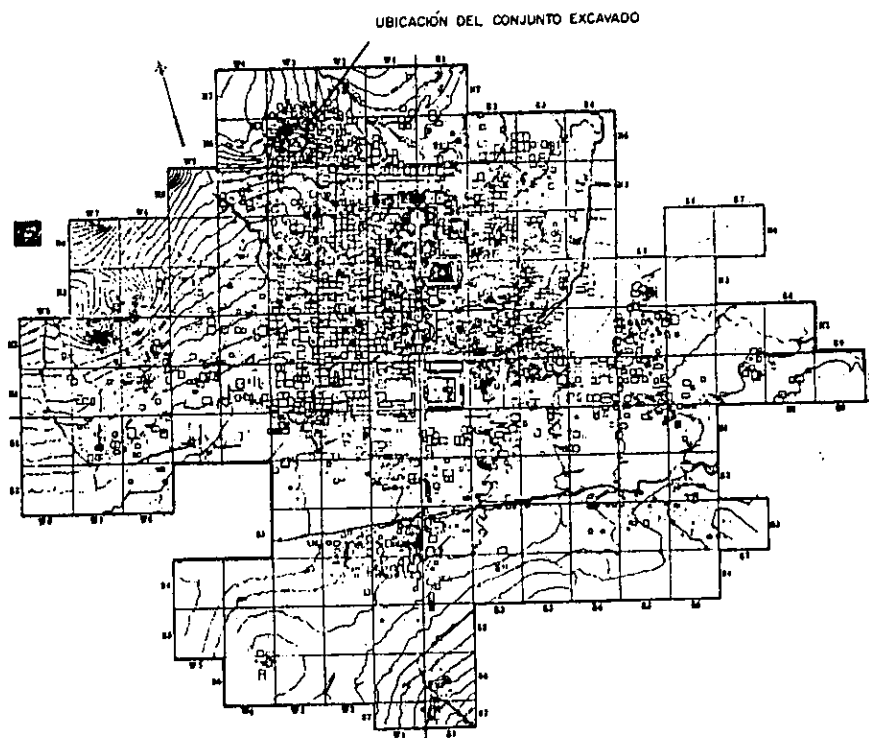
El promedio de los índices, especialmente las muestras 2, 3, 4 y 6, es **260.6705**, y el promedio de la pérdida de colágeno de 3 muestras 2, 3 y 6 es **30.73**.

Las muestras óseas de Oztoyahualco 1 y 5 pertenecen a entierros secundarios, en la gráfica 2-1 se nota que las muestras 1 y 5 tienen un índice mayor comparado con las demás, y por lo tanto, en la gráfica 2-2 también se nota que las dos muestras tienen la velocidad de pérdida colágeno más elevado.

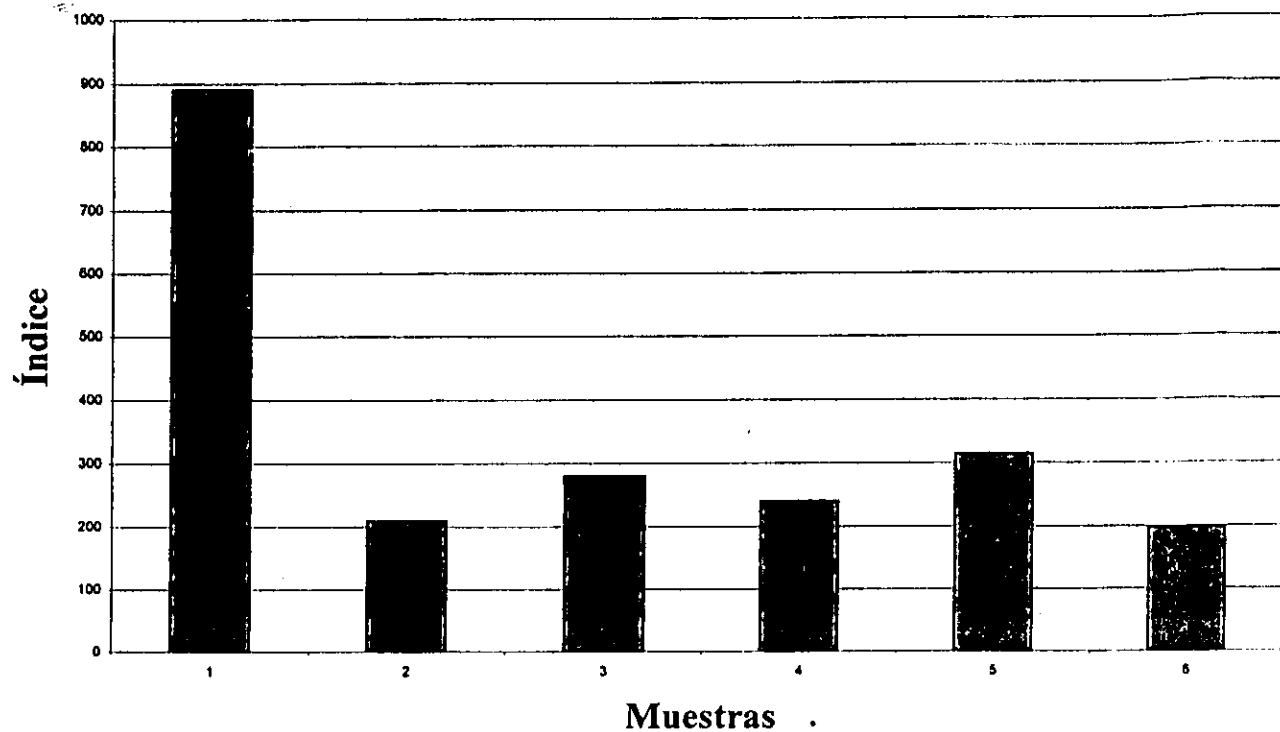
Ya que no cumplen uno de los cuatro criterios del muestreo, por lo tanto no se pueden considerar como muestras indicadas para este análisis. Al tratarse de un entierro secundario no tiene certeza de que comparta las mismas condiciones con los entierros de tipo primario. Además, la mayoría de las muestras provienen de entierros primarios.

Los demás muestras presentan el índice mas o menos uniforme, ya que tiene rango entre 198.199 y 279.861, y la diferencia de estos dos índices es sólo de 81.662.

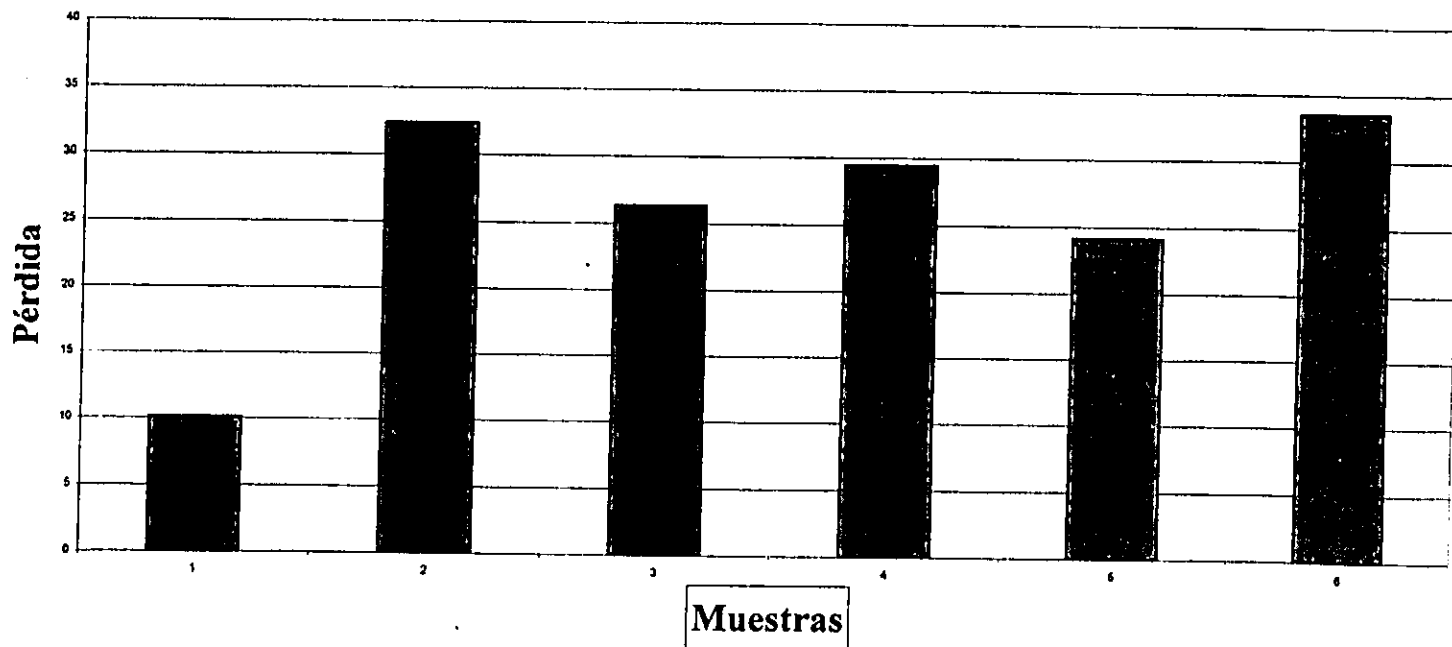
Otro punto que vale la pena mencionar es que las muestras 4 y 5, Oztoyahualco 2 y 3 provienen del mismo individuo, aún así el índice del fémur es 209.196, en comparación, el índice de la tibia es 279.861. Por lo tanto, se debe tomar la consideración que sí puede variar el índice del colágeno residual en caso de utilizar diferentes tipos del hueso, aunque se trata del mismo individuo.



Grafica 2-1. Índice de colágeno residual de las muestras óseas de Oztoyahualco.



Gráfica 2-2. Pérdida de colágeno residual de las muestras óseas de Oztoyahualco.



4.1-3 Tlalocan – Teotihuacan 94

1. Localización

Tlalocan es el nombre de las cuevas conjuntas que se encuentran en el oriente de la Pirámide del Sol. En agosto de 1992 se localizaron 4 cuevas; y en 1994 dos cuevas más durante el proyecto especial 92-94. Las cuevas exploradas son la Cueva de la basura, la Cueva de las varillas y la Cueva del pirul. (véanse el mapa 4-5) Al parecer, las cuevas eran cementerios o un lugar donde realizaban actividades rituales. (Manzanilla. *et al.*1996)

2. Ubicación temporal

En general, las cuevas tienen una secuencia estratigráfica semejante. Los encargados practicaron diversos métodos de datación. La mayoría fue carbono 14 e Hidratación de obsidiana. Las fechas de cada cueva presentan variables, desde el 400 hasta la época de Posclásico.

Según los datos arqueológicos, los entierros encontrados posiblemente pertenecen a la fase Coyotlatelco (700 –1 000 d.C) o Mazapán(1 000 –1 250 d.C). (*Ibid.*1996)

3. Descripción del entierro y la muestra ósea

Muestra 9. Tlalocan 1. Entierro 2

Es un entierro primario de adulto joven, femenino, con posición flexionada. La ubicación es CVC 2 E 1 N 334 E 95. Para el análisis fue tomado un fragmento del fémur.(véase la foto 1)

Muestra 10. Tlalocan 2. Entierro15

Se trata de un entierro de adulto femenino cuya edad debió ser mayor de 50 años de edad. Para el análisis fue tomado un fragmento de fémur izquierdo. La ubicación del entierro es CPC1 N357 – 58 E117.

4. Resultado del análisis

Muestra	Hueso	Edad	Índice	Pérdida	C.V
M9. Tl 1	Fémur	Adulto	712.5	12.31	1.75
M10. Tl 2	Fémur	Mas de 50	1016.666	9.98	4.36

Tabla 4-3. Resultado de la técnica de fechamiento por colágeno residual de las muestras óseas de Tlalocan.

El promedio de desviación estándar es **3.055**

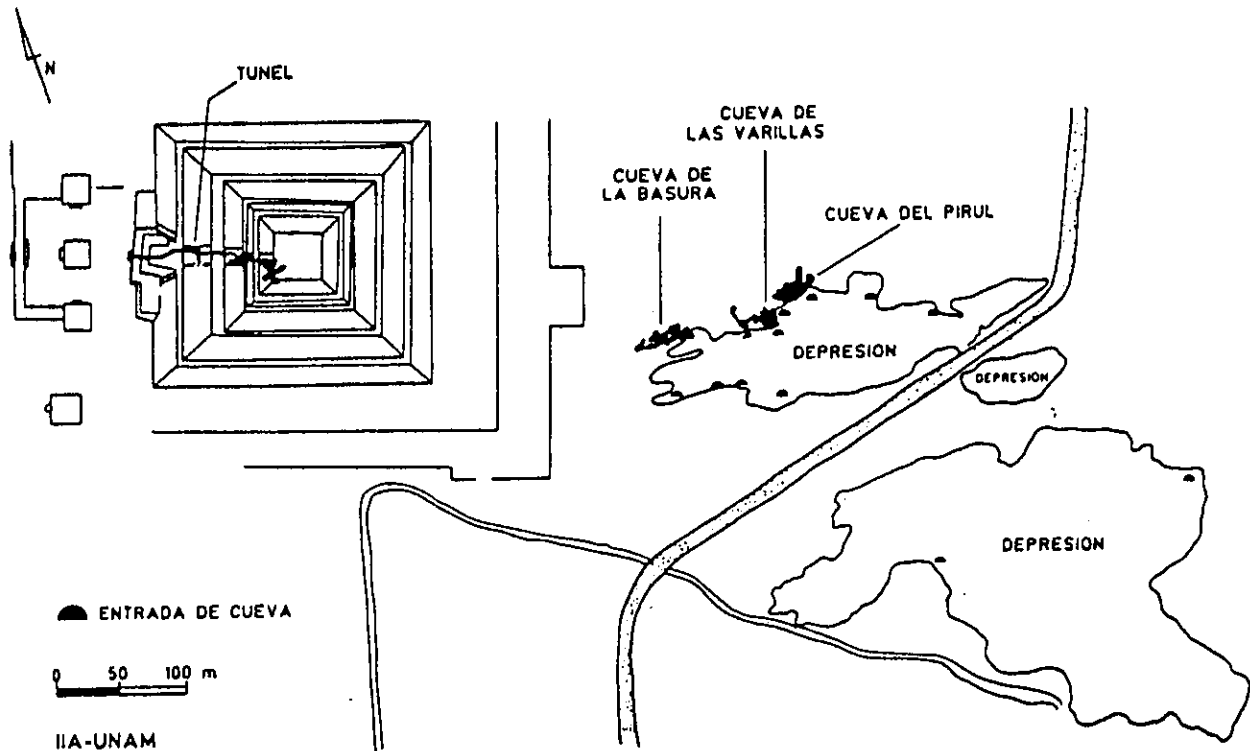
El promedio de los índices es **864.583**, y la pérdida es **11.145**.

Aunque, considerando de la gran variabilidad del índice entre dos muestras, no es recomendable calcular el promedio del índice. La diferencia entre los dos índices es 304.166, probablemente las dos muestras provienen de diferente época. Según el informe arqueológico, la cueva fue utilizada desde la fase Coyotlatelco(700-1 000 d.C) a Mazapán (1 000-1 250 d.C).

Además, hay posibilidad de que las muestras óseas de Tlalocan sufrieron algún fenómeno de diagénesis por estar enterradas dentro de la Cueva.

Las muestras de Tlalocan tienen sus características particulares por tratarse de entierros localizados dentro de la cueva. Por lo tanto, no presentaron las mismas condiciones que las demás muestras de otros sitios analizados.

Aunque, para probarlo, se necesitaría un estudio más profundo con más muestras, incluyendo los referentes a suelo y temperatura, humedad, entre otros factores que pueden afectar la velocidad de diagénesis.



Mapa 4-5 Ubicación de las tres Cuevas excavadas. (Ibid. p247)



Foto 4-1 Vista de entierro 2 de la Cueva de las varillas, una mujer adulto con cara hacia al sur(Ibid. p250)

4.1-4 Xochimilco

1. Localización

El sitio se encuentra en el área central del Foro Cultural Quetzalcoatl, en el Centro Histórico de Xochimilco. El rescate arqueológico se efectuó del 2 de julio al 8 de agosto de 1997. (Castillo. 1997) (Véanse mapas 4-6 y 4-7)

2. Ubicación temporal

Según los análisis del material asociado, las cronologías de los entierros datan del periodo Preclásico Tardío hasta el Posclásico Tardío, es decir, desde 200 años antes de nuestra era hasta la época de la conquista. (*Ibid.* 1997)

3. Descripción del entierro y muestra ósea

Se encontraron 30 individuos en 27 entierros. Para el análisis del colágeno tomamos 12 fémures de diferentes individuos y épocas.

Muestra 11. Xochimilco 1. Entierro 1.

Es un entierro adulto, primario que se localizó en el cuadro C5, capa IV, junto con otro entierro 2 infantil. La posición de las extremidades es flexionada en decúbito lateral izquierdo. La cronología se ubica, posiblemente, en el Posclásico Temprano de acuerdo con la estratigrafía de las capas y las ofrendas asociadas. Para el análisis fue tomado el fémur derecho masculino. Es importante señalar que se aplicó Primal al 3% durante la recuperación de los materiales óseos.

Muestra 12 Xochimilco 2. Entierro 9.

Es un entierro primario con posición decúbito dorsal y se encuentra en el cuadro 5-B, capa IV. Toda la osamenta presentó coloración rojiza, posiblemente debido a la presencia de cinabrio. El individuo es un adulto de sexo femenino, cuya fecha aproximadamente se encuentra en el Posclásico Tardío. Para el análisis fue tomado el fémur izquierdo.

Muestra 13. Xochimilco 3. Entierro 13 - B.

Es un entierro primario, adulto masculino, con posición flexionada de decúbito lateral derecho. Los huesos encontrados presentan una coloración roja. La temporalidad, en este caso fue señalada tentativamente en el Posclásico Tardío, se localizó el cuadro 5B, capa IV. Para el análisis se tomó el fémur izquierdo. Este entierro fue saqueado, por lo que algunos de los restos recuperados presentaron fracturas, incluso el fémur.

Muestra 14 Xochimilco 4. Entierro 14 - A Fémur. Cuadro 2 - E capa VI
Pendiente de informe arqueológico.

Muestra 15. Xochimilco 5. Entierro 15.

Es un entierro primario, corresponde a un individuo adulto, que presentó posición flexionada, decúbito lateral derecho. En los restos óseos se observó una coloración amarillo rojiza. La cronología asignada es del Preclásico Tardío, aproximadamente en el 200 a.C. Se localizó en el cuadro 5 – E, capa VII. Para el análisis se seleccionó el fémur.

Muestra 16. Xochimilco 6. Entierro 17.

Es un entierro primario, individual de adulto con posición irregular. Fue encontrado en el cuadro 5-E, capa VII y VIII. Según la cronología pertenece a la fase Metepec del Clásico Tardío. La muestra tomada fue el fémur.

Muestra 17. Xochimilco 7. Entierro 21.

Se trata de un entierro secundario, múltiple con posición flexionada, decúbito lateral derecho. Tiene una cronología tentativamente correspondiente al Preclásico Tardío. Se localizó en el cuadro 5E y 4E , capa VII y se extrajo parte del fémur para análisis.

Muestra 18 . Xochimilco 8. Entierro 24 - B

Este individuo se localizó sobre un piso de lodo a 2.36m de profundidad, debajo de éste se encuentra una capa de ceniza de 2.40 a 2.45 m, que al parecer corresponde al Preclásico Tardío. Por la falta del tiempo se levantaron en bloque. Se trata de un entierro primario, adulto localizado en el cuadro 5-E, capa VII. También en este caso fue tomado el fémur para analizar.

Muestra 19 . Xochimilco 9. Entierro 25

Es un entierro que fue levantado en bloque. De acuerdo con la estratigrafía se considera que pertenece a Preclásico Tardío. Se encontraron en el cuadro 4E, capa VI. Para el análisis fue tomado el fémur.

Muestra 20 . Xochimilco 10. Entierro 26

Este entierro también se sacó en bloque. Corresponde a un subadulto y pertenece al Preclásico Tardío. Su ubicación es de cuadro 4E y capa VII. También fue tomada parte del fémur para ser analizada.

Muestra 21. Xochimilco 11.

Es un entierro encontrado dentro del basurero . Por lo tanto no se incluirá en el resultado final por carecer de información suficiente.

Muestra 22 . Xochimilco 12.

Igual que la muestra 21, la encontraron en el basurero del sitio, por lo tanto tiene información incompleta, como la antigüedad, entre otros.

4. Resultado del análisis

Muestra	Hueso	Fecha	Índice	Pérdida %	C.V %
M10.Xo1	Fémur	PosC.Tem	307.996	24.50	0.85
M11.Xo2	Fémur	PosC.Tar	578.194	14.79	0.55
M13.Xo3	Fémur	PosC.Tar	313.447	24.11	0.67
M14.Xo4	Fémur	PosC.Tar	261.13	27.69	1.74
M15.Xo5	Fémur	For.Tar	229.738	30.33	2.65
M16.Xo6	Fémur	Cla.Tar	192.446	34.19	1.59
M17.Xo7	Fémur	For.Tar	212.839	31.97	2.26
M18.Xo8	Fémur	For.Tar	221.138	31.13	1.22
M19.Xo9	Fémur	For.Tar	182.319	35.42	1.78
M20.Xo10	Fémur	For.Tar	205.409	32.73	0.07
M21.Xo11	Fémur		216.537	31.59	1.66
M22.Xo12	Fémur		546.428	15.46	0.65

Tabla 4-4. Resultado de la técnica de fechamiento por colágeno residual de las muestras óseas de Xochimilco.

El promedio de desviación estándar es **1.3075 %**, por lo tanto el resultado del análisis tiene la fiabilidad.

De los 7 sitios arqueológicos analizados, Xochimilco es el más importante, por tener una cronología que va desde Preclásico Tardío hasta el Posclásico Tardío, que abarca de 600 a.C a 1521 d.C, en una misma capa estratigráfica. Sin embargo, resultó ser uno de los sitios más difíciles para explicar el resultado. Según la teoría del método, si un hueso tiene más antigüedad que otro más reciente, debe tener un índice más elevado que el del moderno. En el caso de las muestras de Xochimilco éste actuó de manera inversa.

El promedio de índice de las muestras del Preclásico Tardío es **210.2886** y la pérdida es **32.316**. Para el Posclásico Tardío se obtuvo un índice promedio de **384.257**, y la pérdida registrada fue **22.196**.

Mientras que el índice del Posclásico Temprano es **307.996**, con una pérdida de **24.50%**; el de Clásico Tardío registró un índice de **192.446**, con un porcentaje de pérdida de **34.19%**.

Por lo tanto, se observa que la muestra más antigua tiene menos pérdida de material orgánico, en especial de colágeno.

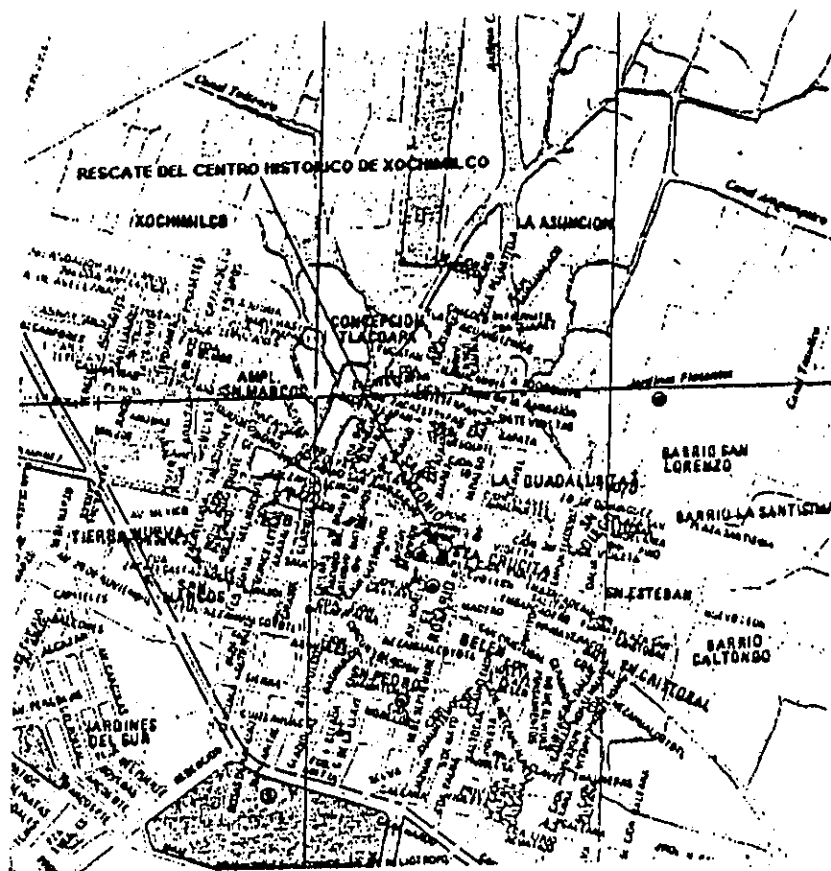
Las muestras Xochimilco 11 y 12 fueron encontrados dentro del basurero del sitio y muestran la variabilidad del índice entre ellos. Considerando la diferencia del índice de las dos muestras, se puede determinar que las dos pertenecen de diferente temporalidad.

Según el informe de la excavación, algunos individuos estaban cubiertos de cinabrio y los arqueólogos habían aplicado Primal al 3% durante la recuperación de los materiales óseos. Por estos razones existe la posibilidad de que tanto el material orgánico como el inorgánico hayan sido alterados de manera simultánea. Especialmente las muestras Xochimilco 2 y 3 estaban cubiertos de cinabrio, probablemente por causa de éste, las dos muestras

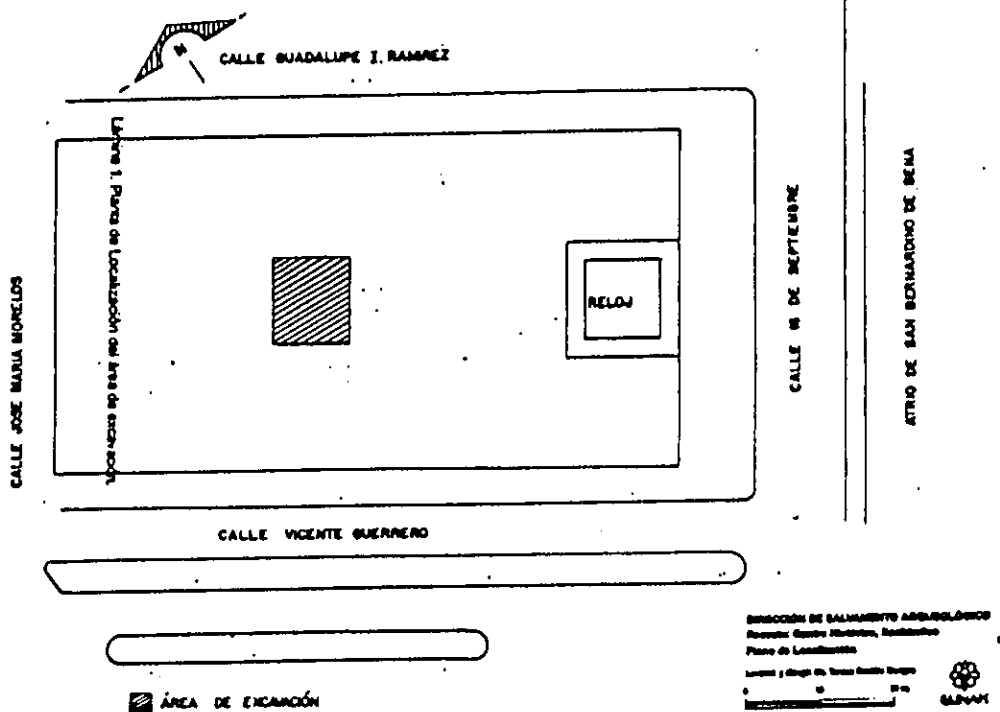
tienen los índices más elevados comparando con la muestra Xochimilco 4 que pertenece la misma época Posclásico Temprano.

Un punto muy importante que considerar, no se debe utilizar para el propósito de este análisis las muestras contaminadas por las sustancias químicas que fue aplicado por razones de consolidación o de costumbre funeraria

Lamentablemente no se pudieron rescatar las muestras del suelo que pudieran aclarar muchas dudas respecto el deterioro del hueso enterrado, tampoco se han podido realizar estudios intensivos sobre el proceso y los factores de diagénesis de este sitio específicamente.

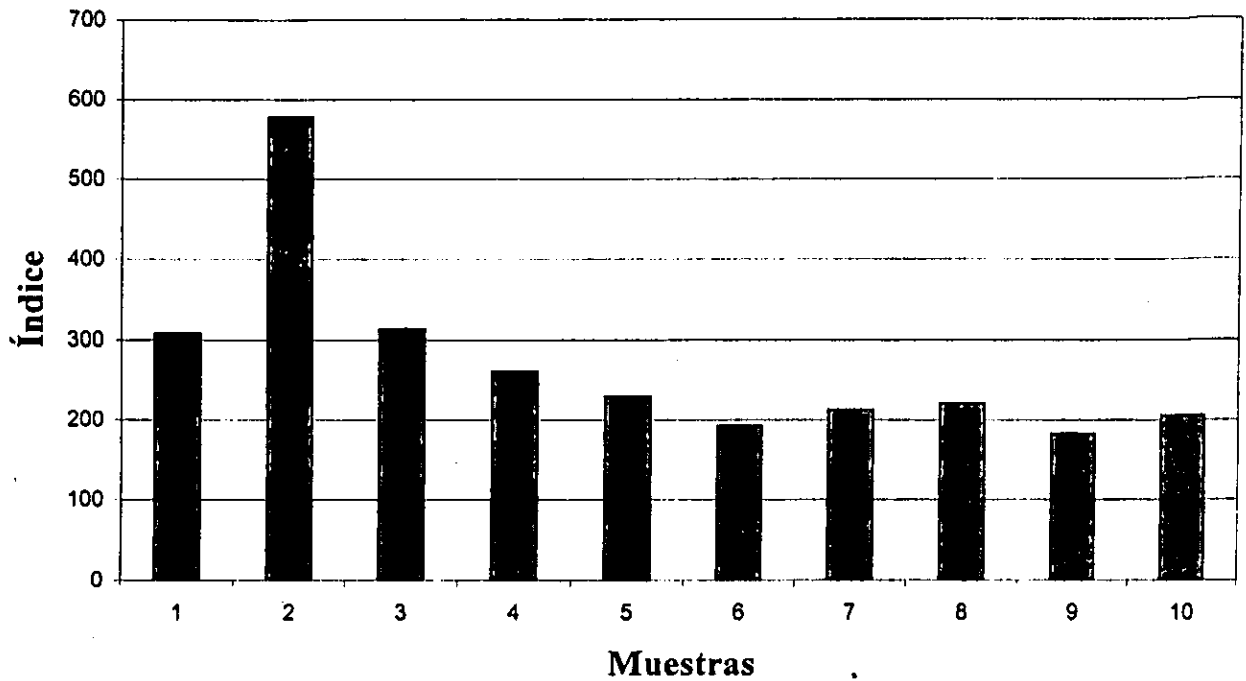


Mapa 4-6 Ubicación del centro histórico de Xochimilco (Castillo. 1999)

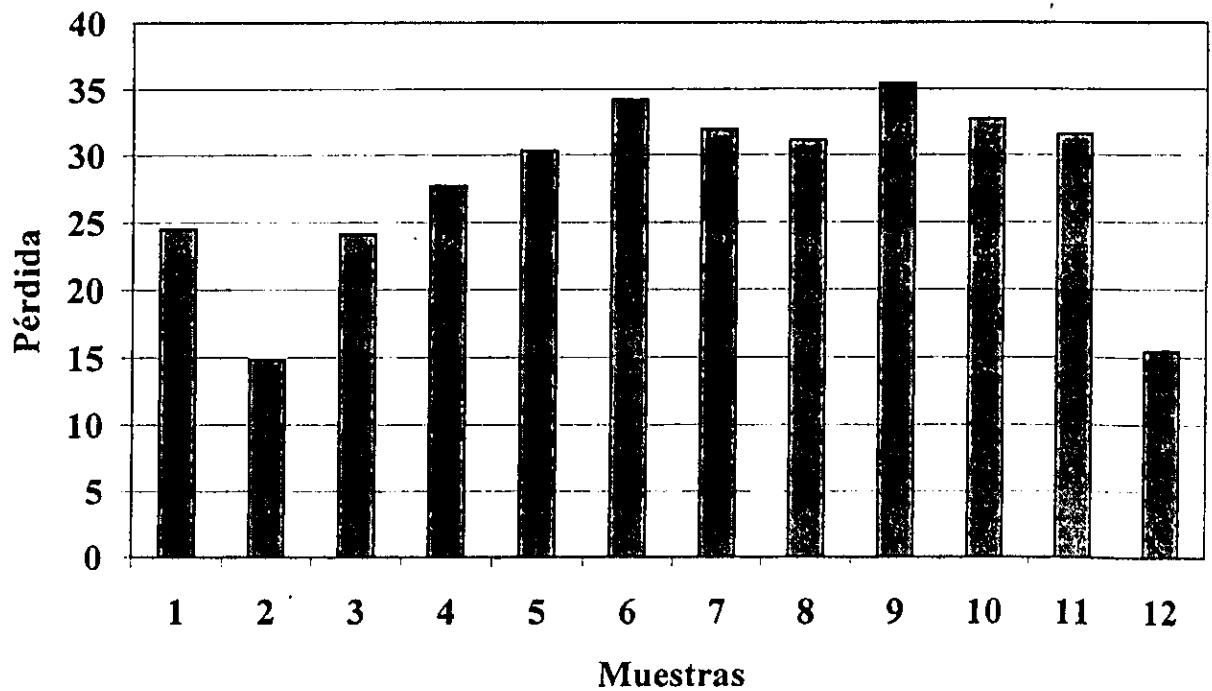


Mapa 4-7 Ubicación del lugar excavado en el centro histórico de Xochimilco (Ibid. 1999)

**Grafica 4-1. Índice de colágeno residual
de las muestras de Xochimilco**



**Grafica 4-2. Porcentaje de pérdida de colágeno
de las muestras óseas de Xochimilco**



4.1-5 Tlatelolco

1. Localización

El sitio arqueológico Tlatelolco se ubica entre el Eje Central Lázaro Cárdenas y Manuel González, junto a la iglesia de Santiago Tlatelolco, en la zona denominada “plaza de las tres culturas”.(Guilliem.1999)

(véanse mapa 4-8)

2. Ubicación temporal

La temporalidad de este sitio se puede ubicar en relación con Tenochtitlan. Según los datos históricos se encuentra en el Posclásico Tardío, 1250–1521, aproximadamente.

3. Descripción del entierro y muestra ósea (Torres Sanders. 1998)

Los materiales óseos fueron rescatados en el “Proyecto SER Tlatelolco Edificio nuevo”, realizado por la Dirección de Salvamento Arqueológico del INAH, entre 1991 y 1993. Los entierros son de contextos primarios de carácter ceremonial.

Muestra 23. Tlatelolco 1. Cúbito derecho completo

Datos. Unidad 32, Estructura IV, profundidad 2.20 m.

Sexo: Probablemente masculino por lo marcado de su cresta longitudinal y en general, por un desarrollo evidente de las inserciones musculares.

Edad: Posiblemente adulto joven (21- 35 años) de acuerdo con el desarrollo óseo y articulación de la cavidad cotiloidea, pero sin labiación

Muestra 24. Tlatelolco 2. Húmero izquierdo completo.

Datos : Unidad 32, estructura IV, profundidad 2.20 m.,

Sexo: Posiblemente femenino por ligero y pequeño, con cabeza y epífisis distal también pequeñas, aun con la presencia de algunas marcadas líneas de inserción.

Edad: Adulto joven (21-35 años) por presentar un desarrollo muy completo, sin embargo, no hay presencia de desgaste en zonas articulares.

Muestra 25. Tlatelolco 3 Húmero derecho completo.

Sexo: Posiblemente femenino por la presencia de una apertura septal grande en la fosa oleocraneana, sin embargo, no se recomienda sexar en individuos inmaduros si no se cuenta con la pelvis del mismo, por lo cual este dato debe tomarse con reserva.

Edad: Adolescente (14-18 años) ya que la cabeza y el gran tubérculo no han iniciado su osificación, pero la porción epicondilea ya se ha completado.

Muestra 26. Tlatelolco 4. Cúbito izquierdo incompleto.

Sexo: Indeterminable por ser inmaduro.

Edad: Entre la tercera infancia y la adolescencia (10-14 años) por su longitud y por no presentar osificación en la porción proximal.

Muestra 27. Tlatelolco 5. Fémur izquierdo incompleto.

Sexo: Indeterminable por ser un hueso inmaduro.

Edad: Tercera infancia (8-10 años) por su longitud y porque no tiene indicio de osificación para el trocánter mayor o la cabeza.

Muestra 28. Tlatelolco 6. Tibia izquierda incompleta.

Datos: Unidad 32, profundidad 1.10-1.50m, cuadro 220, capa VI.

Sexo. Probablemente masculino por longitud, peso, anchura y rugosidad.

Edad. Adulto de joven a medio (30-37 años) por su desarrollo trabecular.

Muestra 29. Tlatelolco 7. Húmero derecho completo.

Datos: Unidad 32, estructura IV, profundidad 2.20m.

Sexo: Probablemente femenino por longitud, gracilidad y epífisis pequeñas.

Edad: Adulto joven (21-35 años) por desarrollo completo pero sin desgaste en secciones articulares.

Muestra 30. Tlatelolco 8. Fémur derecho incompleto.

Datos: Unidad 32, estructura IV, profundidad 2.20m.

Sexo: femenino por su ángulo colo - diafiseal, por tamaño, ligereza y cabeza y condilos pequeños.

Edad: Adulto joven (21-35 años) por desarrollo completo, pero no hay un considerable desgaste articular.

Muestra 31. Tlatelolco 9. Tibia izquierda incompleta.

Datos: Unidad 32, estructura IV, profundidad 2.20m.

Sexo: Probablemente femenino por ser pequeña, ligera y poco rugosa.

Edad: Adulto joven (21-35 años) por desarrollo completo pero no hay un considerable desgaste articular.

Muestra 32. Tlatelolco 10. Fémur izquierdo incompleto.

Datos: Unidad 32, estructura IV, profundidad 2.20m.

Sexo: Masculino por ser muy grande, pesado, rugoso y con una línea áspera muy marcada, no hay cabeza pero su cuello también es muy ancho.

Edad: Adulto medio (36-55 años) por su desarrollo y ligera presencia de una labiación en la porción media de los cóndilos.

Muestra 33. Tlatelolco 11. Fémur izquierdo incompleto.

Datos: SRE -TLA, Unidad 50P.

Sexo: Masculino, por el tamaño de la cabeza femoral, y el ángulo colo - diafisal y por su longitud, aun cuando no es muy robusto.

Edad: Adulto joven a medio (21-45 años) por su apariencia y desarrollo. Sería muy difícil obtener un rango de edad más reducido por lo incompleto del hueso.

Muestra 34. Tlatelolco 12. Cúbito derecho incompleto.

Datos: Unidad 32, estructura IV, profundidad 1.24 - 1.96m.

Sexo: Masculino por longitud y por rugosidad, aun cuando no es muy ancho.

Edad: Adulto joven a medio (21-35 años) por su desarrollo óseo y la apariencia de la articulación húmero - cubital que presenta.

Muestra 35. Tlatelolco 13. Peroné izquierdo completo.

Datos: Unidad 32, estructura IV, profundidad 2.20m.

Sexo: Posiblemente masculino por su longitud y robusticidad, aunque aún es muy joven.

Edad: Adolescente (16-18 años) por su longitud y presencia de desarrollo óseo en epífisis distal completo, pero con la porción proximal no osificada.

Muestra 36. Tlatelolco 14. Cúbito Izquierdo.

Datos : Unidad 32, estructura IV, profundidad 2.20m. No hay más datos.

Muestra 37. Tlatelolco 15. Tibia fragmento.

Datos: R-XXIV. Profundidad 1.90m. No hay más datos.

4. Resultado del análisis

(Número de muestra: Edad, Índice)

I. Fémur

1. Muestra 32. Tlatelolco 10: Adulto medio 36-55, 182.232
2. Muestra 33. Tlatelolco 11: Adulto joven 21-45, 202.231
3. Muestra 27. Tlatelolco 5: Tercera Infancia 8-10, 172.322
4. Muestra 30. Tlatelolco 8: Adulto joven 21-35, 210.644

II. Tibia

1. Muestra 28 Tlatelolco 6: Adulto joven 30-37, 162.06
2. Muestra 31 Tlatelolco 9: Adulto Joven 21-35, 181.739
3. Muestra 37. Tlatelolco 15. No hay dato, 173.641

III. Húmero

1. Muestra 25. Tlatelolco 3: Adolescente 14-18, 172.177
2. Muestra 24. Tlatelolco 2: Adulto joven 21-35, 201.49
3. Muestra 29. Tlatelolco 7: Adulto joven 21-35, 214.313

IV. Cúbito

1. Muestra 34. Tlatelolco 12: Adulto joven 21-35, 177.924
2. Muestra 26. Tlatelolco 4: Adolescente 10-14, 170.813
3. Muestra 23. Tlatelolco 1: Adulto joven 21-35, 191.209
4. Muestra 36. Tlatelolco 14: No hay dato, 203.814

V. Peroné

1. Muestra 35. Tlatelolco 13: Adolescente 16-8, 206.212

Muestra	Hueso	Edad	Índice	Pérdida	C.V
M23.T1	Cúbito	21-35	191.209	33.34	1.84
M24.T2	Húmero	21-35	201.49	33.17	2.85
M25.T3	Húmero	14-18	172.177	36.74	2.53
M26.T4	Cúbito	10-14	170.813	36.92	3.0
M27.T5	Fémur	8-10	172.322	36.71	0.92
M28.T6	Tibia	30-37	162.06	38.17	3.39
M29.T7	Húmero	21-35	214.313	31.81	0.56
M30.T8	Fémur	21-35	210.644	32.19	2.21
M31.T9	Tibia	21-35	181.739	35.5	3.39
M32.T10	Fémur	36-55	182.232	35.45	4.01
M33.T11	Fémur	21-45	202.231	33.09	2.86
M34.T12	Cúbito	21-35	177.924	35.98	2.1
M35.T13	Peroné	16-18	206.212	32.66	2.03
M36.T14	Cúbito		203.814	32.91	0.5
M37.T15	Tibia		173.641	36.54	0.83

Tabla 4-5. Resultado de la técnica de fechamiento por colágeno residual de las muestras óseas de Tlateloco.

El promedio de desviación estándar es de **2.75 %**, cual se puede incrementar más la fiabilidad del resultado.

El promedio de los índices de las 15 muestras analizadas es de **188.1214**, con un promedio de pérdida de **34.74**.

El promedio de las 9 muestras es **191.42688**, el de pérdida es de **34.3**, sin contar las muestras 3,4,5,13,14 y 15 por tratarse de huesos infantiles o con escasa información no suficiente para la interpretación.

El promedio de 3 muestras de fémures de adulto es **198.0356**, con un promedio de pérdida de **33.57**.

El promedio de 2 muestras de húmeros de adulto es **207.9015** y el correspondiente a la pérdida **32.49**, descartando la muestra de húmero, Tlatelolco 3 por tratarse de un subadulto.

El promedio de las 2 muestras de cúbito de adulto es **184.5665**, mientras que el de la pérdida de colágeno es **34.66**, sin contar las muestras Tlatelolco 4 y 14.

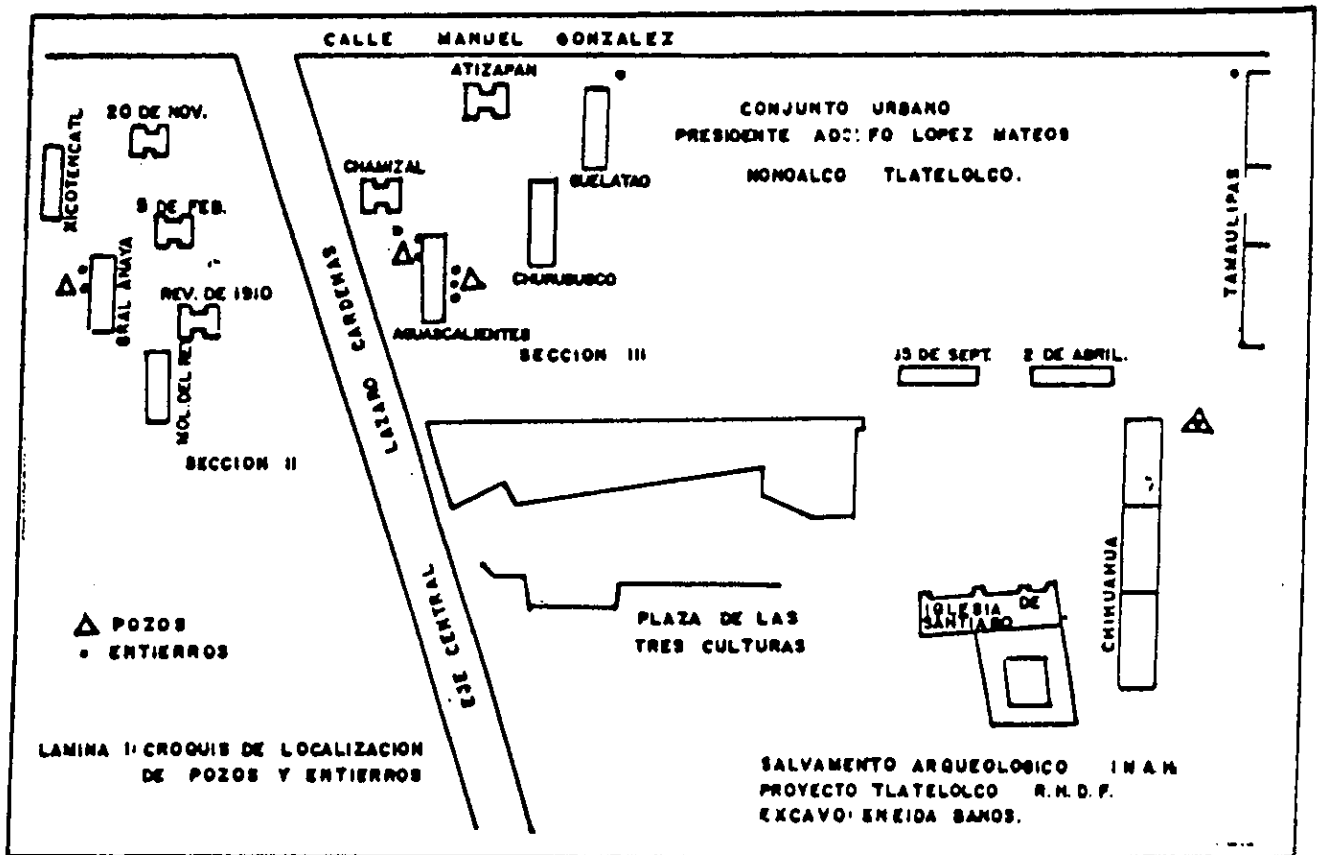
El promedio de las muestras de tibias de adultos es **171.8996**, el promedio de pérdida de **36.835**.

Las muestras infantiles y de subadultos registraron un promedio de **180.381** con el de pérdida de **35.757**.

Las muestras infantiles y de subadultos tienen índices menores que los de las muestras de adultos, por lo tanto, significa que tienen mayor cantidad de colágeno. El tejido óseo de las muestras infantiles tiene un menor grado de mineralización debido a procesos fisiológicos y por ello presentan, a su vez, una mayor proporción de proteínas colagénicas.(Lazos. 1992.p71)

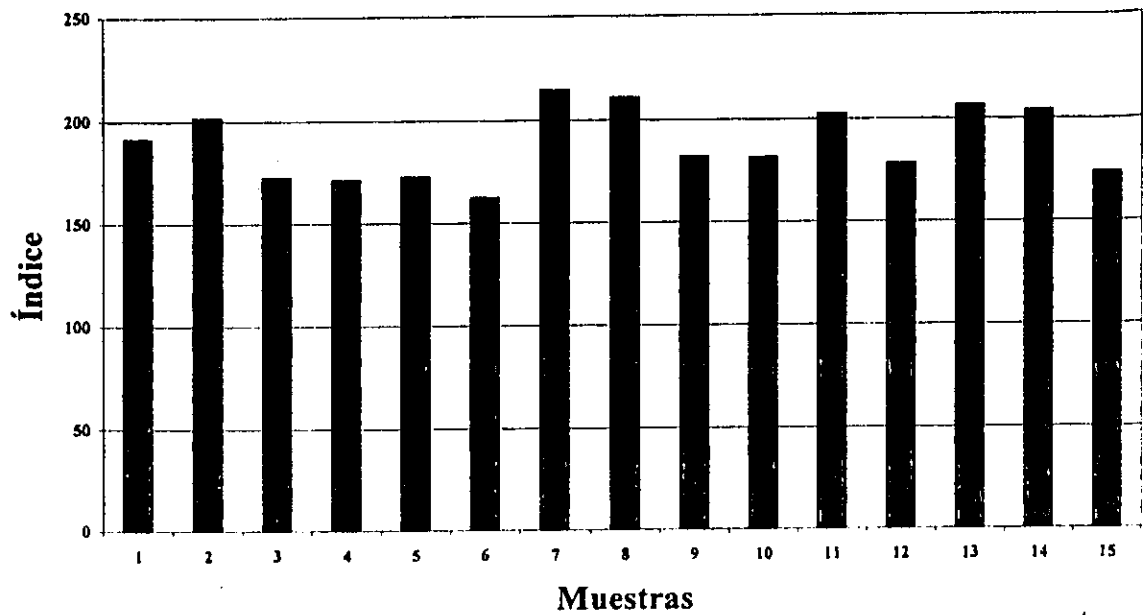
También se puede apreciar que los diferentes huesos largos no tienen un proceso de diagénesis común, es decir, según los resultados obtenidos, se infiere que cada tipo de hueso presenta un ritmo particular en su proceso diagenético.

A pesar de tener la variedad del tipo del hueso y edad, las muestras analizadas no demuestran gran diferencia en el índice y la pérdida del colágeno. Por lo tanto, entre las muestras se puede observar una uniformidad de la velocidad de la pérdida del colágeno. Un punto importante que se debe considerar es que algunas muestras tienen un índice más bajo que el del hueso moderno. (Véanse Apéndice 1) Además, en esta excavación, los arqueólogos se encontraron la madera, lo que indica que la conservación de material orgánico es muy buena.

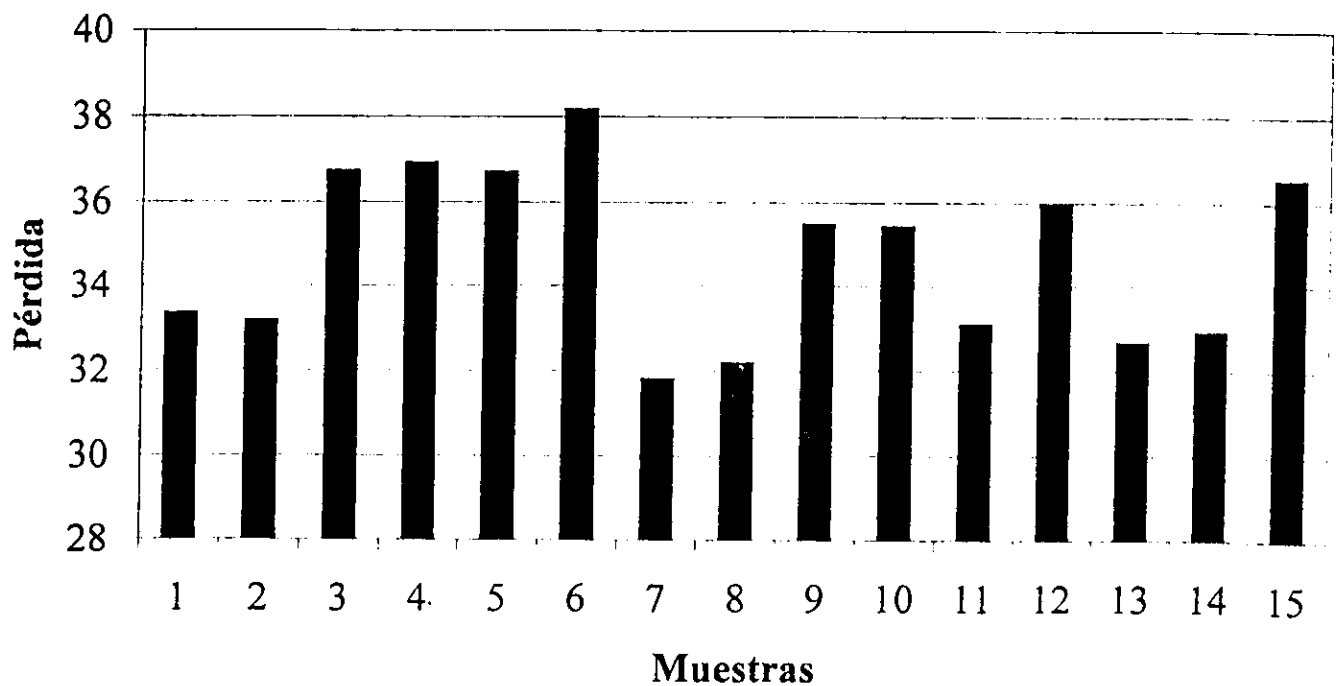


Mapa 4-8 Ubicación del sitio arqueológico Tlatelolco (Guilliem.A.S. p 273)

**Grafica 5-1 Índice de colágeno residual
de las muestras de Tlatelolco**



**Grafica 5-2 Porcentaje de pérdida de colágeno residual
de las muestras de Tlatelolco**



4.1-6 Templo de San Pedro y San Pablo.

1. Localización

El antiguo templo de San Pedro y San Pablo, en la actualidad ha quedado ubicado en la zona denominada Centro Histórico de la Ciudad de México, en la Delegación Cuauhtémoc. El templo está localizado en el perímetro "A" del Centro Histórico, en la esquina de la calle de San Ildefonso, 3a del Carmen y 2a de Venezuela.

Actualmente lo que fue el templo de San Pedro y San Pablo, es el Museo de la Luz, de la UNAM.(véanse mapa 4-9)

2. Ubicación temporal

Por los datos arqueológicos de excavación y documentos históricos, los entierros se ubican cronológicamente a finales del siglo XVIII y principios del XIX (1790 - 1840 d.C). Solamente en el caso del entierro 1, unidad de excavación 1, la cronología pertenece a finales del siglo XVI principios del S.XVII. (Moreno Cabrera. 1996)

3. Descripción del entierro y muestra ósea (Huerta,B. 1997)

Los restos óseos de 36 entierros fueron localizados en la unidad 7 (18 entierros y 20 individuos), a una profundidad de 1.24 a 1.89m, y en la unidad 8 (18 entierros y 18 individuos), a una profundidad de 1.49 a 1.79 m, ubicados en el presbiterio del altar mayor. Posiblemente fueron amortajados con materiales orgánicos como tela o petate sobre sus ropas, ya que en la mayoría no se encontraron restos de madera, excepto el entierro 1, de la unidad 1.

Cada vez que había entierro se levantaba la tabla del piso, se descendía al cadáver, cubriéndolo con la misma tierra y cal para evitar la expulsión excesiva de gas cadavérico, durante las actividades religiosas.

Los entierros se hallaron en las capas: I, II, III, y XII a diferentes profundidades. El material analizado proviene de tres unidades de excavación, clasificadas de la siguiente manera:

Unidad de excavación 1, 1 entierro y 1 individuo.

Unidad de excavación 7, 18 entierros y 19 individuos

Unidad de excavación 8, 18 entierros y 18 individuos.

En total son 38 individuos, 24 de sexo masculino, 12 de femenino y dos fueron indeterminados. Para el fechamiento por colágeno residual analizamos los restos óseos de 19 individuos, especialmente la parte del fémur. En general el estado de conservación del material es bueno.

Características principales de los entierros :

Se detectaron en un contexto primario, capas I, II y III, de textura arcillo arenosa, compacta, de color café oscuro; asociadas con dos lentículas de cal compactada que posiblemente funcionaban como tapa. La mayoría de los entierros fueron directos, primarios, colectivos, en posición decúbito dorsal extendido y lateral. La mayoría presentó cierto arreglo funerario, como la colocación de los brazos cruzados sobre el pecho.

La edad de mayor índice de mortalidad era de los adultos entre 21 y 55 años y las causas de muerte probablemente fueron enfermedades infecciosas, como el cólera, epidemias y enfermedades crónicas.

En general, la estatura de los individuos femeninos era de 1.43 a 1.57 m y de los masculinos, de 1.49 a 1.68 m, por lo tanto se trata de talla pequeña o media.

Al exterior del edificio, se constatan en la excavación a la altura del atrio, las frecuentes inundaciones provocadas por la falta de un drenaje adecuado para la ciudad y el uso incorrecto de acequias usadas como basureros, lo cual provocaba que el nivel de agua se introdujera a la iglesia, por lo que fue necesario disponer de constantes rellenos, con lo cual que se alteró el nivel del piso, el inmueble fue subiendo en el manto freático del lago hasta los 4.60m, bajo el nivel de la calle actual.

Patología de las muestras analizadas

El análisis de los restos reportó padecimientos bucales, desgaste o atrición dentaria, lo que ocasionó en algunos casos la pérdida de piezas aún en vida y la reabsorción alveolar en mandíbula y maxilar, procedimientos causados por el tipo de dieta que llevaba esta población. La mayoría de los individuos presentó caries debido a la falta de higiene.

Las patologías que se presentaron tanto en cráneo como en huesos largos fueron la osteoporosis, causada por la falta de reabsorción de hierro en el organismo, y la criba orbitaria, provocada por deficiencia de vitamina C. También se presentaron procesos inflamatorios periostitis y osteomielitis, osteoartritis, en las vértebras lumbares de individuos adultos de edad avanzada, ocasionada por la continua actividad a lo largo de sus vidas.

Unidad de excavación 1

Se ubicó en el colateral oriente del templo (primera capilla), de 2 por 3m, junto al muro principal.

Unidad de excavación 7 y 8

Se localizaron en el crucero del templo, al pie del Presbiterio (lugar donde se encuentra el altar).

La unidad 7 se ubicó al lado surponiente de la columna 8 de la nave, sus dimensiones fueron de 12m, ampliándose 1m hacia el sur.

La unidad 8 se ubicó al lado suroriente de la columna 5 de la nave, a 1.3m hacia el oriente, sus dimensiones fueron de 12m. (véanse el plano 4-1)

Para el análisis solamente tomamos el fémur de cada individuo. El número total de muestras fue de 18 fémures de diferentes individuos y sexos.

Unidad de excavación 1

Muestra 38. San Pedro 1.

Entierro 1. Capa XLL Z=3.20-3.45m.

De tipo primario individual, indirecto (probablemente en caja de madera) extendido en posición decúbito dorsal con orientación general norte-sur, dirigido hacia el altar mayor; las extremidades inferiores se encontraban extendidas y las superiores flexionadas con las falanges entre cruzadas a la altura del vientre; a su alrededor se encontraron fragmentos de madera acomodados transversalmente, los cuales posiblemente pertenecieron a la caja en donde se colocó en un principio.

Corresponde a un individuo adulto medio entre 36 y 55 años, de sexo masculino, su estatura es de 1.68 m. Para el análisis fue tomado el fémur derecho.

Unidad de excavación 7

Muestra 39. San Pedro 2.

Entierro 1. Capa I Z=1.24-1.59m.

Primario múltiple, directo y extendido en posición decúbito dorsal. Corresponde a un individuo adolescente con una edad aproximada de 13 a 17 años, de sexo masculino, con una estatura del 1.50m.

Muestra 40. San Pedro 3.

Entierro 2. Capa II Z= 1.31 - 1.58m.

Adulto joven de 21 a 35 años, masculino, el fémur seleccionado estaba incompleto.

Muestra 41. San Pedro 4.

Entierro 5. Capa II $Z=1.45 - 1.66m$.

Primario múltiple, directo y extendido, presentaba una posición de decúbito dorsal. Corresponde a un individuo adulto avanzado de 56 a 75 años de edad aproximada, de sexo masculino con una estatura 1.63m.

Muestra 42. San Pedro 5.

Entierro 7. Capa II $Z=1.38 - 1.62m$.

Primario múltiple, directo y extendido en posición decúbito dorsal. Corresponde a un individuo adulto avanzado mayor de 76 años en adelante, de sexo masculino cuya estatura era de 1.62m.

Muestra 43. San Pedro 6.

Entierro 8. $Z=1.65 - 1.75mts$.

Primario múltiple, directo extendido en posición decúbito dorsal. Corresponde a un individuo adulto medio de 36 a 55 años, de sexo femenino, con una estatura de 1.52m.

Muestra 44. San Pedro 7.

Entierro 9. $Z=1.31 - 1.52m$.

Primario múltiple, directo extendido en decúbito dorsal. Corresponde a un individuo adulto medio de 36 a 55 años, de sexo masculino, estatura 1.60m.

Muestra 45. San Pedro 8.

Entierro 10. Capa II $Z=1.47 - 1.66m$.

Primario múltiple, directo extendido en decúbito dorsal. Corresponde a un individuo adulto de 76 años en adelante, de sexo masculino, estatura 1.50m.

Muestra 46. San Pedro 9.

Entierro 16. Capa III $Z=1.60 - 1.62m$.

Primario múltiple, directo extendido en decúbito dorsal. Corresponde a un individuo adulto medio de 36 a 55 años, de sexo masculino, estatura 1.55m. En el fémur se detectó osteomielitis.

Muestra 47. San Pedro 10.

Entierro 18. Capa III $Z=1.35 - 1.54m$.

Primario múltiple, directo extendido en decúbito dorsal.

Corresponde a un individuo adulto joven de 21 a 35 años, de sexo masculino, no fue posible determinar la estatura de este individuo porque el fémur y la tibia se encontraron incompletos. El fémur presenta periostitis en la diáfisis.

Unidad de excavación 8

Muestra 48. San Pedro 11.

Entierro 3. Capa I Z=1.55m.

Primario individual, directo extendido en decúbito dorsal.

Corresponde a un individuo adulto senil de 76 años en adelante, de sexo masculino, estatura de 1.62m. El fémur presenta osteomielitis en la diáfisis.

Muestra 49. San Pedro 12.

Entierro 5. Capa I Z=1.54m.

Primario, directo extendido en decúbito dorsal.

Corresponde a un individuo adulto avanzado de 56 a 75 años, de sexo masculino, estatura 1.58m.

Muestra 50. San Pedro 13.

Entierro 6. Capa I Z=1,54m.

Primario, individual directo, extendido en decúbito dorsal.

Corresponde a un individuo adulto avanzado de 56 a 75 años, de sexo masculino, estatura 1.50m.

Muestra 51. San Pedro 14.

Entierro 7. Capa I Z=1.54m.

Primario individual, directo extendido en decúbito dorsal.

Corresponde a un individuo adulto avanzado de 56 a 75 años, de sexo masculino, estatura 1.64m.

Muestra 52. San Pedro 15.

Entierro 9. Capa I Z=1.58m.

Primario individual, directo extendido en decúbito dorsal.

Corresponde a un individuo adulto de 76 años en adelante, de sexo femenino, estatura 1.43m.

Muestra 53. San Pedro 16.

Entierro 10. Capa I Z=1.54m.

Primario individual, directo extendido en decúbito dorsal.

Corresponde a un individuo adulto de sexo femenino, estatura 1.51m.

Muestra 54. San Pedro 17.

Entierro 12. Capa I Z=1.60m.

Primario individual, directo extendido en decúbito dorsal.

Corresponde a un individuo adulto avanzado de 56 a 75 años, de sexo masculino, estatura 1.53m.

Muestra 55. San Pedro 18.

Entierro 13. Capa I Z= 1.79 m.

Corresponde a un individuo adulto medio de 36 - 55 años, estatura de 1.57 m, sexo femenino.

4. Resultado del análisis

I. Adulto avanzado de 76 años en adelante

	Sexo	profundidad	Índice	Pérdida
1. Muestra 42. San Pedro 5.	Masculino.	1.62m.	322.061	23.71%
2. Muestra 45. San Pedro 8.	Masculino.	1.50m.	233.68	29.96%
3. Muestra 48. San Pedro 11.	Masculino.	1.62m.	367.096	21.4%
4. Muestra 52. San Pedro 15.	Femenino.	1.43m.	310.406	24.39%

II. Adulto avanzado de 56 a 75 años

1. Muestra 41. San Pedro.	Masculino.	1.63m.	231.25	30.16%
2. Muestra 49. San Pedro 12.	Masculino.	1.58m.	271.062	26.97%
3. Muestra 50. San Pedro 13.	Masculino.	1.50m.	229.328	30.38%
4. Muestra 51. San Pedro 14.	Masculino.	1.64m.	284.387	26.01%
5. Muestra 54. San Pedro 17.	Masculino.	1.53m.	252.678	28.37%

III. Adulto medio de 36 a 55 años

1. Muestra 38. San Pedro 1.	Masculino.	1.68m.	168.428	37.19%
2. Muestra 43. San Pedro 6.	Femenino.	1.52m.	268.441	27%
3. Muestra 44. San Pedro 7.	Masculino.	1.60m.	267.2	27.24%
4. Muestra 46. San Pedro 9.	Masculino.	1.55m.	192.08	34.23%
5. Muestra 53. San Pedro 16.	Femenino.	1.51m.	173.986	36.5%
6. Muestra 55. San Pedro 18.	Femenino.		359.343	21.79%

IV. Adulto joven de 21 a 35 años

1. Muestra 40. San Pedro 3.	Masculino.		363.265	21.59%
2. Muestra 47. San Pedro 10.	Masculino.		200.85	33.23%

V. Adolescente de 13 a 17 años

1. Muestra 39. San Pedro 2.	Masculino.	1.50m.	427.45	18.96%
-----------------------------	------------	--------	--------	--------

Muestra	Hueso	Edad	Índice	Pérdida	C.V
M38.S.P1	Fémur	M36-55	168.428	37.19	1.53
M39.S.P2	Fémur	M13-17	427.45	18.96	2.14
M40.S.P3	Fémur	M21-35	363.265	21.59	3.38
M41.S.P4	Fémur	M56-75	231.25	30.16	2.7
M42.S.P5	Fémur	M76	322.061	23.71	3.03
M43.S.P6	Fémur	F36-55	268.441	27	2.27
M44.S.P7	Fémur	M36-55	267.2	27.24	2.9
M45.S.P8	Fémur	M76	233.68	29.96	0.82
M46.S.P9	Fémur	M36-55	182.892	35.4	0.4
M47.S.P10	Fémur	M21-35	200.85	33.23	2.03
M48.S.P11	Fémur	M76	367.096	21.4	1.08
M49.S.P12	Fémur	M56-75	271.062	26.97	4.14
M50.S.P13	Fémur	M56-75	229.328	30.38	3.33
M51.S.P14	Fémur	M56-75	284.387	26.01	0.9
M52.S.P15	Fémur	F76	310.406	24.39	3.88
M53.S.P16	Fémur	F36-55	173.986	36.5	2.37
M54.S.P17	Fémur	M56-75	252.678	28.37	3.88
M55.S.P18	Fémur	F36-55	259.343	21.79	4.25

Tabla 4-6. Resultado de la técnica de fechamiento por colágeno residual de las muestras óseas del Templo de San Pedro y San Pablo.

El promedio de desviación estándar es **2.5%**, por lo tanto, el resultado del análisis es confiable.

El promedio de los índices es de **267.4335**, el de la pérdida de colágeno es **27.73%**.

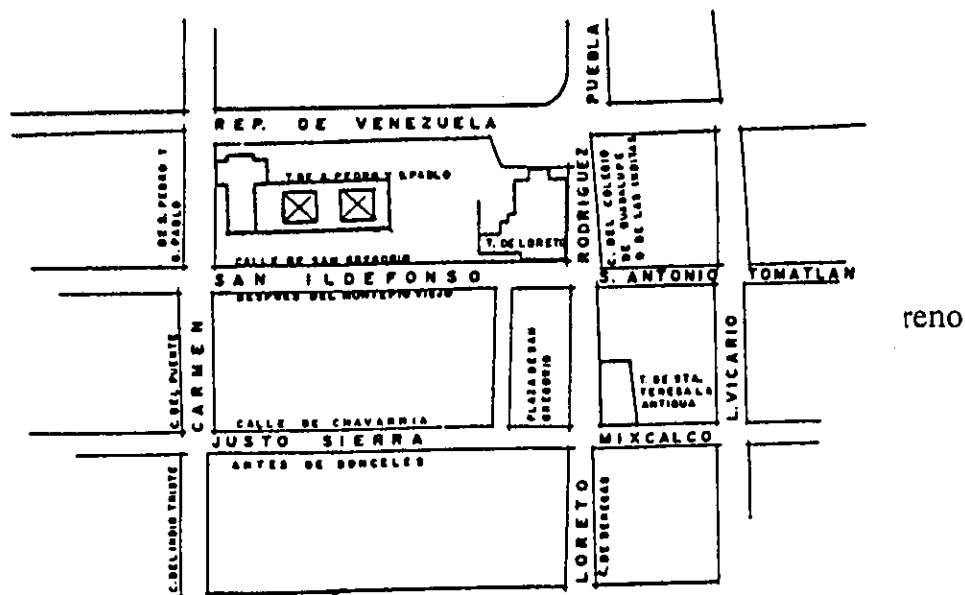
Si descartamos el índice de la muestra infantil (Muestra 39) y las de más de 76 años (muestras 42,45,48 y 52), el promedio de los índices de los 13 muestras es **242.546**, con el de la pérdida de **29.3715**.

Los índices registrados en este sitio presentaron gran variabilidad entre las muestras. Según los resultados, las muestras adolescentes y las de mayores de 75 años obtuvieron los índices elevados, el más alto es el de la Muestra 39.

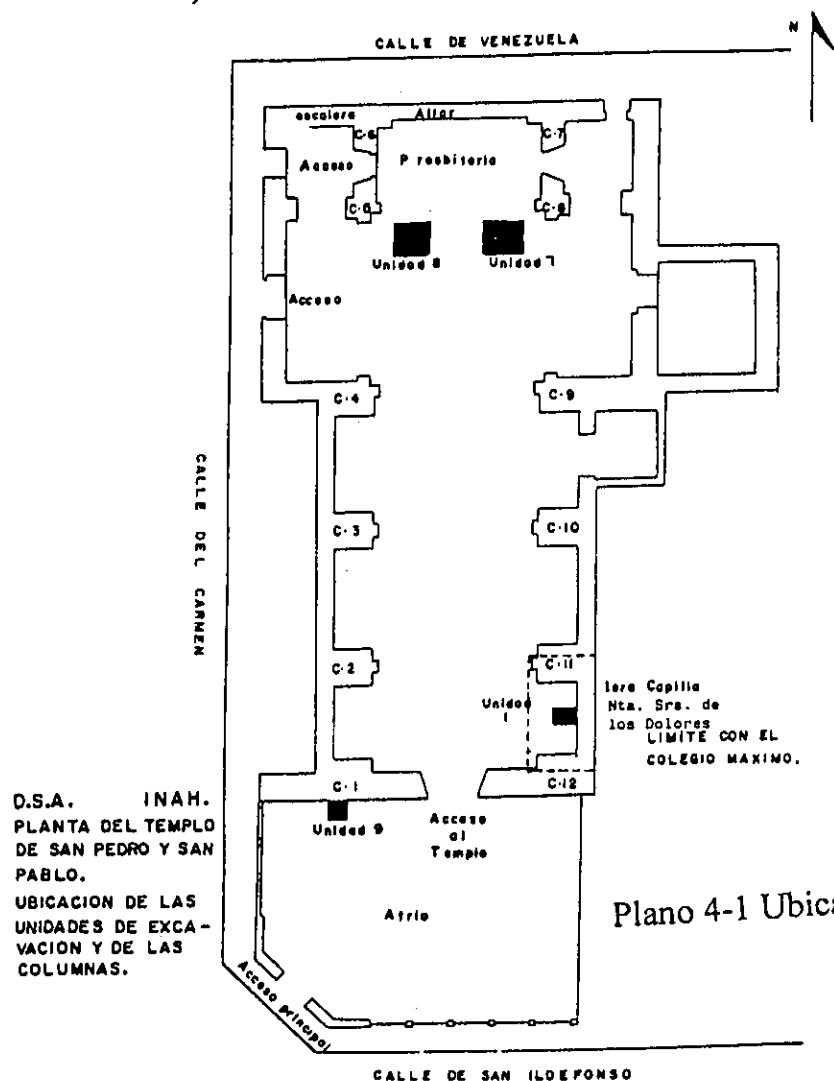
San Pedro 2, es de un individuo masculino cuya edad es entre 13-17 años, con el índice de **427.45**.

Además, la mayoría de las muestras registraron un índice bastante alto, por lo cual se supone que la velocidad de pérdida del colágeno fue mayor comparada con los demás sitios. Según el informe del análisis de restos óseos, los individuos enterrados presentaron ciertas patologías; sobre todo se trata de osteoporosis en el cráneo y los huesos largos, causada por una insuficiente reabsorción de hierro en el organismo, y la criba orbitaris, generada por deficiencia de vitamina C. Por otro lado, los datos arqueológicos indican que, debido a las constantes inundaciones subían el nivel freático, por lo que la iglesia frecuentemente estaba inundada. El agua es uno de los factores más importantes que afecta el proceso de diagénesis, y esto implica que posiblemente los microorganismos del agua pudiera alterar la porción de material orgánico del hueso enterrado. Además, los entierros se localizaron bajo el coro, dentro del edificio, por lo tanto no comparten las condiciones ambientales de los entierros de los otros sitios estudiados.

La mayoría de las muestras estaban cubiertas con cal por estar sepultadas dentro de la iglesia, con el fin de disminuir el mal olor, posiblemente hubo alteración por el efecto de la cal, aunque por falta de estudios no tenemos certeza de cuánto se puede afectar este producto a la composición química del hueso enterrado.

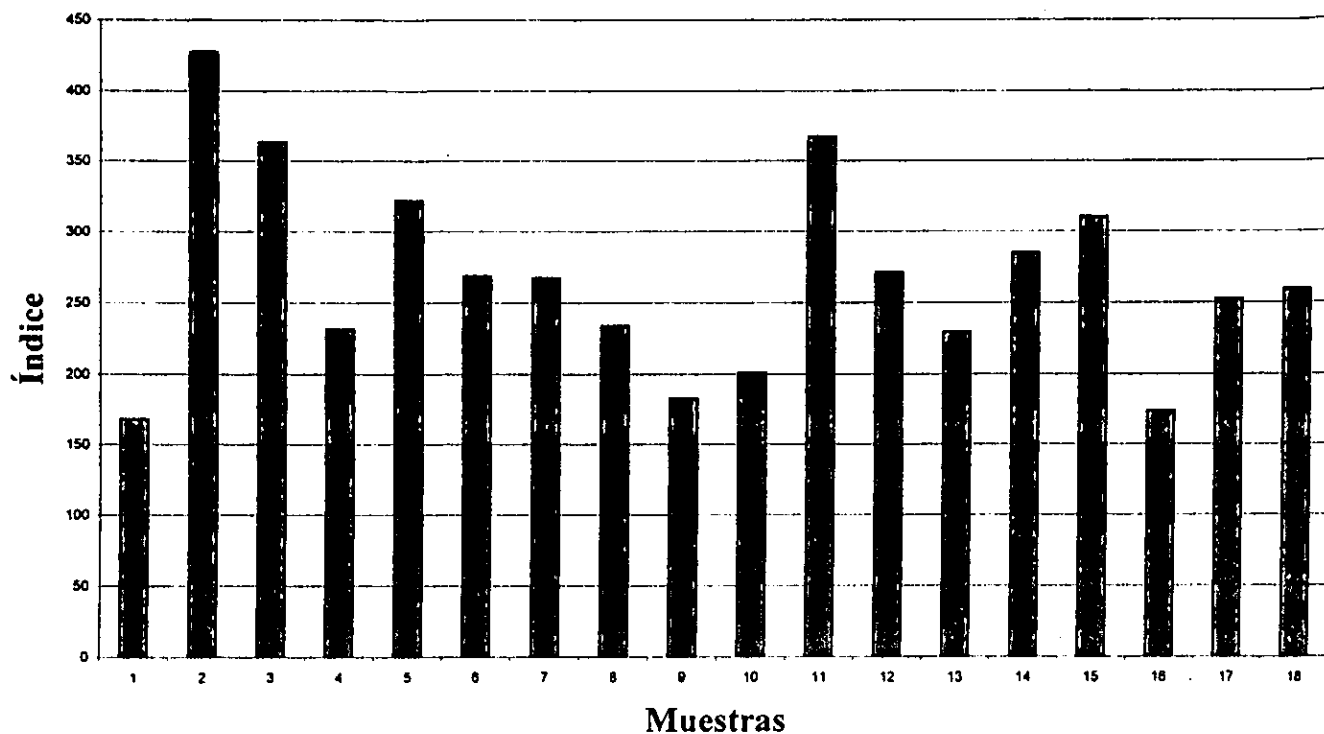


Mapa 4-9. Ubicación actual de Templo de San Pedro y San Pablo (Moreno cabrera. 1996)

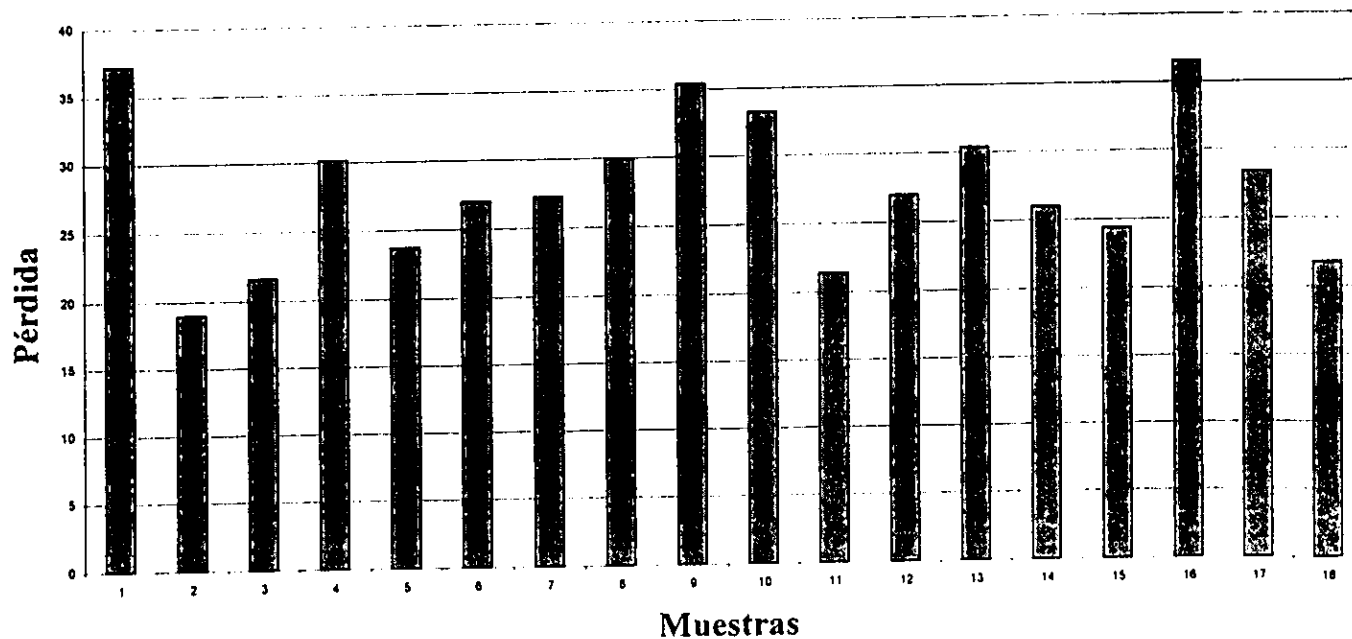


Plano 4-1 Ubicación de la unidad 7 y 8 (Ibid. 1996)

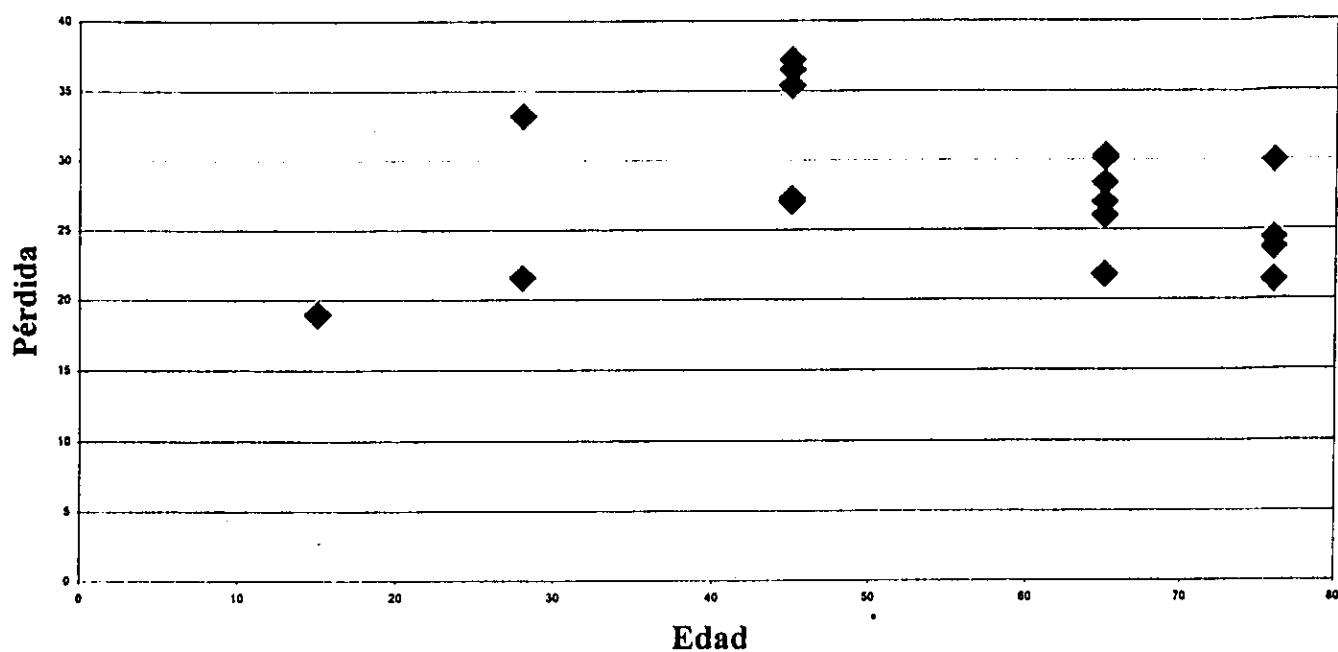
Gráfica 6-1 Índice de colágeno residual de las muestras del Templo de San Pedro y San Pablo.



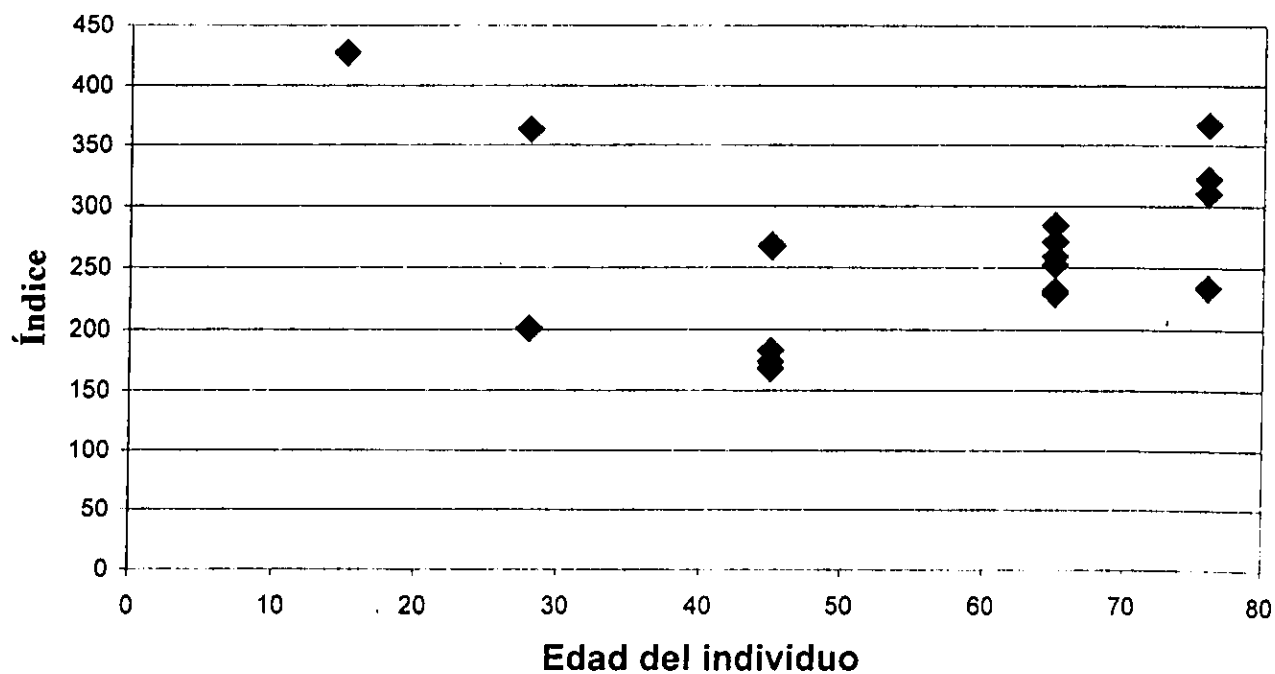
Gráfica 6-2 Porcentaje de la pérdida de colágeno residual de las muestras de Templo San Pedro y San Pablo



Gráfica 6-3 Relación entre la pérdida y la edad de las muestras del Templo de San Pedro y San Pablo



Gráfica 6-4 Relación entre el índice y la edad de las muestras del Templo de San Pedro y San Pablo



4.1-7 Ex - convento de San Jerónimo

1. Localización

Se encuentra en el Centro Histórico de la Ciudad de México, en la manzana limitada por las calles de San Jerónimo, 5 de febrero, Izazaga e Isabel La Católica. Se ha llamado Ex convento de San Jerónimo o Claustro de Sor Juana.(véanse mapa 10)

2. Ubicación temporal

Este convento fue fundado por monjas concepcionistas, a fines del siglo XVI. A principios del XVII, se trasladaron al conjunto hoy denominado “Claustro de Sor Juana”, donde permanecieron hasta 1859.

La excavación se llevó a cabo de 1976 a 1981, por Arturo Romano y María Teresa Jaén.(Romano,A. Jaén Esquivel. 1996)

3. Descripción del entierro y muestra ósea

En general, los restos óseos se encuentran en buen estado de conservación, debido a que sólo cuentan con unos trescientos años de antigüedad. Todos presentaban una coloración superficial bastante oscura.

La mayoría son huesos de mujeres adultas, para esta técnica fue seleccionada la parte de la diáfisis de los huesos largos, especialmente del fémur. En total fueron analizados 9 fémures de diferentes individuos localizados en el entierro de este convento.

La costumbre de esta orden religiosa era que ninguno de sus miembros no saliera del convento , aun después de su muerte. Y por eso al morir una monja se enterraba dentro del perímetro conventual. Por esta razón, la mayoría de las muestras óseas pertenecieron a mujeres adultas.

4. Resultado del análisis

Muestra 56. San Jerónimo 1. Fémur adulto.

Lugar de excavación: Estacionamiento, en la capa rect G-2, con profundidad de 1.25m. El individuo estaba cubierto con cal.

Muestra 57. San Jerónimo 2. Fémur adulto.

Lugar de excavación: Edificio 5, con la capa Cala 2. Es el entierro 1 del estacionamiento. Se localizó un individuo completo.

Muestra 58. San Jerónimo 3. Fémur adulto.

Lugar de excavación: Coro bajo, en la capa II.

Muestra 59. San Jerónimo 4. Fémur adulto destruido.

Lugar de excavación: Nave - cala norte con profundidad de 1.32 m.

Muestra 60. San Jerónimo 5. Fémur adulto.

Lugar de excavación: Nave - cala norte.

Muestra 61. San Jerónimo 6. Fémur adulto

Lugar de excavación: Nave - cala norte con profundidad de 1.46 m.

Muestra 62. San Jerónimo 7. Fémur adulto.

Lugar de excavación: coro bajo en la fosa B-6 con profundidad de 2.18m.

Muestra 63. San Jerónimo 8. Fémur adulto.

Lugar de excavación: Coro bajo en la fosa D-6.

Muestra 64. San Jerónimo 9. Fémur adulto.

Lugar de excavación: Coro bajo en la fosa B-7.

Muestra	Hueso	Edad	Índice	Pérdida	C.V
M56. S.J 1	Fémur	Adulto	187.354	34.80	2.27
M57. S.J 2	Fémur	Adulto	183.952	35.40	0.35
M58. S.J 3	Fémur	Adulto	148.093	40.31	2.36
M59. S.J 4	Fémur	Adulto	168.837	37.20	2.37
M60. S.J 5	Fémur	Adulto	174.595	36.41	0.99
M61. S.J 6	Fémur	Adulto	148.377	40.27	2.58
M62. S.J 7	Fémur	Adulto	135.579	42.44	1.03
M63. S.J 8	Fémur	Adulto	186.353	34.92	2.10
M64. S.J 9	Fémur	Adulto	160.863	38.33	1.77
M65. S.J 10	Fémur *	Adulto	185.044	35.08	
M66. S.J 11	Fémur *	Adulto	191.865	34.26	
M67. S.J 12	Fémur *	Adulto	193.372	34.08	

Tabla 4-7. Resultado de la técnica de fechamiento por colágeno residual de las muestras óseas del Ex – convento de San Jerónimo.

Las muestras con la marca * fueron analizados por Luz Lazos.

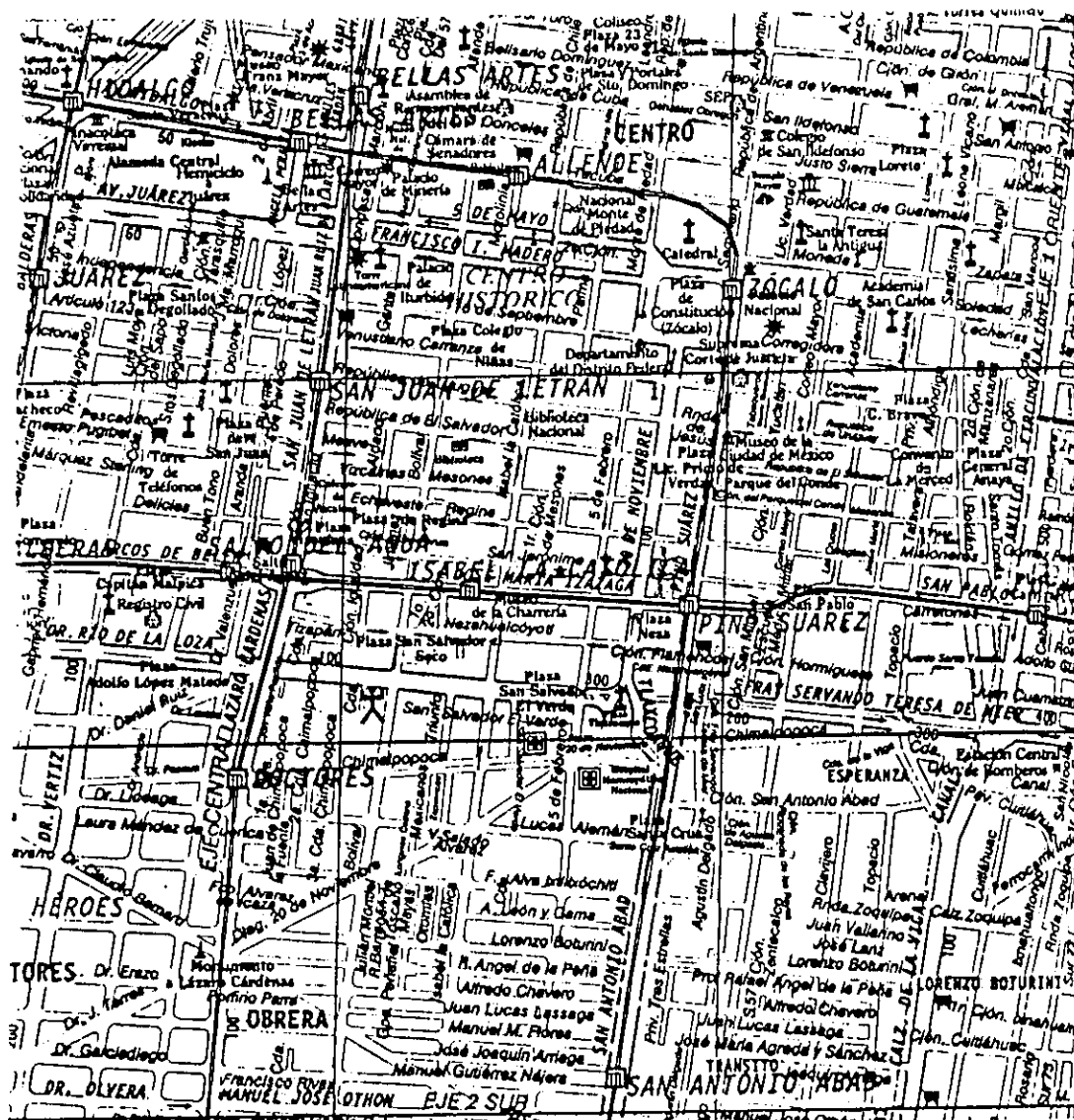
Obtuvo una desviación estándar de **1.757** , en promedio.

El promedio de los índices de las primeras de 9 muestras es **166**, la media correspondiente a la pérdida de colágeno de estas muestras fue de **37.786%**.

Para el total de las 12 muestras se registró un índice promedio de **172.023**.

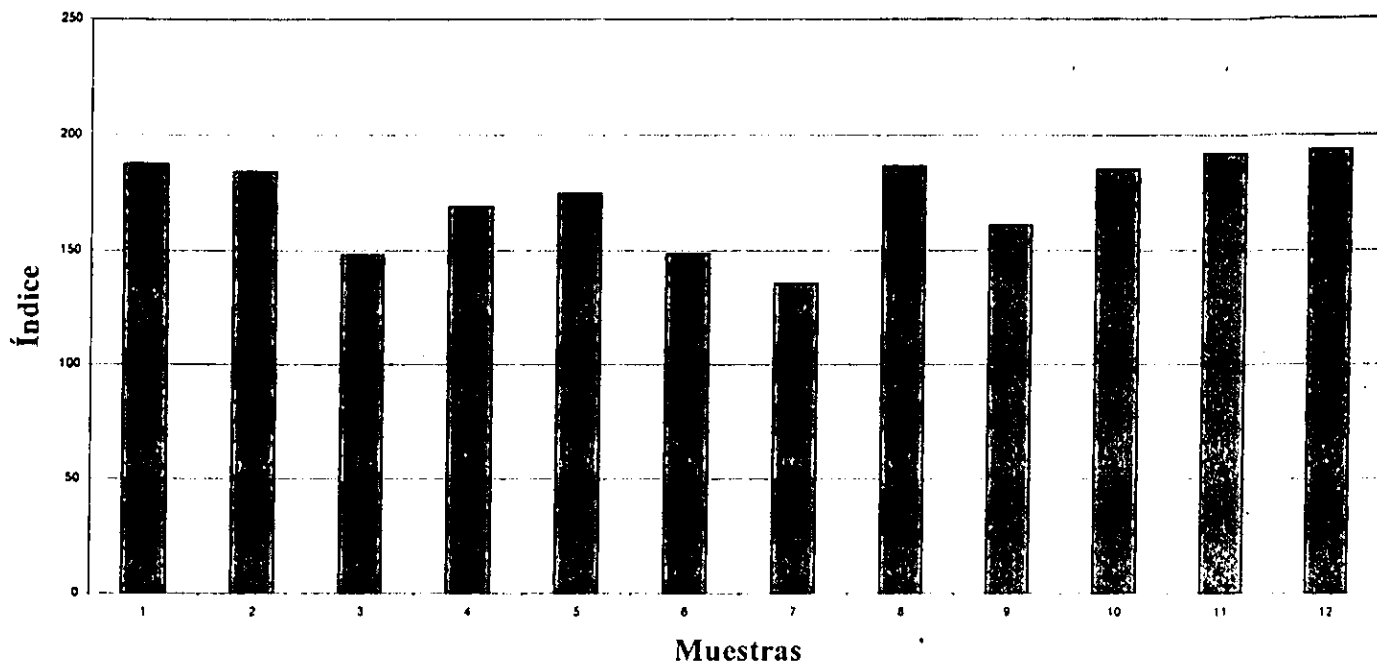
Según el análisis, el índice de colágeno de un hueso moderno es 183,182 aproximadamente con una pérdida de 35.31%. Por lo tanto, los índices de los huesos de este convento debieron tener un valor más alto que el del hueso moderno. Así, sólo 6 de 12 muestras analizadas obtuvieron un resultado favorable para la aplicación de esta técnica, de acuerdo con el índice registrado para un hueso moderno. Los resultados del análisis muestran claramente que a pesar de tener 200 - 300 años de diferencia con el presente , las muestras óseas del Ex - convento de San Jerónimo tienen un índice menor en comparación con el señalado para el presente y probablemente conserva mucho material orgánico, por estar bajo nivel freático. Este fenómeno sólo podría explicar que el material orgánico de los huesos de este convento están

muy alterados, gracias a la humedad dentro de la cual permanecieron. El agua es uno de los factores más importantes en la transferencias de los iones del hueso, intercambiando los del agua y con los del suelo donde estaban enterrados. También, según el informe, existe la posibilidad de que se trate de un problema de osteoporosis que presentaban las muestras.

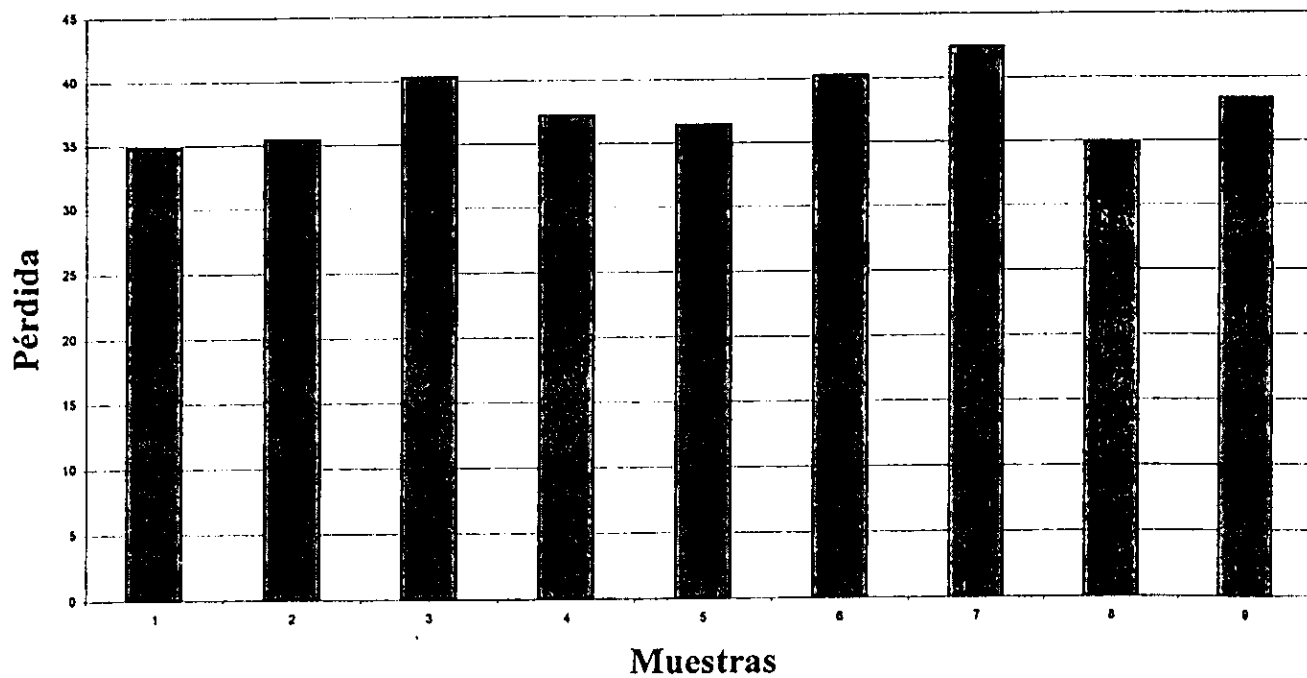


Mapa 4-10 Ubicación del Ex - convento de San Jerónimo. (Plano Guía - roji. 1997)

**Grafica 7-1 Índice de colágeno residual
de las muestras de San Jerónimo**



**Grafica 7-2 Porcentaje de pérdida de colágeno residual
de las muestras de San Jerónimo**



4.2. El resultado del análisis de colágeno residual

Para este experimento fue analizado un total de 67 huesos largos humanos, de 7 sitios arqueológicos de diferentes épocas, que se localizan en la Cuenca de México.

Las fechas fueron convertidas por la fecha a.P (antes del presente) para facilitar la comprensión de diferencia de temporalidad y la gráfica.

- 1) Cuicuilco, Preclásico Tardío (600 a.C- 300d.C) *2 350 – 1 650 a.P*
- 2) Oztoyahualco, fase Xolapan (450-650d.C) *1 500 - 1 300 a.P*
- 3) Tlalocan, fase Coyotlatelco (700-1000d.C) o Mazapán (1000-1250d.C). *1250 - 700 a.P*
- 4) Xochimilco, desde Preclásico Tardío hasta la época de la Conquista.
- 5) Tlatelolco, de Posclásico Tardío 1250 y 1521 d.C. *700 - 429 a.P*
- 6) Templo de San Pedro y San Pablo, 1790-1840. *160 – 110 a.P*
- 7) Ex - convento de San Jerónimo, 1626 –1850. *324 - 100 a.P*

Muestra	H. /Edad	Fecha (a.P)	Índice	Pérdida %	C.V %
M1.Cui1	Adulto	2350-1650	1088.8866	9.19	3.4
M2.Cui2	Infantil	2350-1650	952.7775	9.485	3.785
M3.Oz1		1500-1300	890	10.10	2.33
M4.Oz 2	Fémur	1500-1300	209.196	32.33	0.56
M5.Oz 3*	Tibia	1500-1300	279.861	26.32	
M6.Oz 4*	Húmero	1500-1300	239.554	29.45	
M7.Oz 5*	Fémur	1500-1300	314.071	24.15	
M8.Oz 6*	Húmero	1500-1300	198.199	33.55	
M9.Tlal1	Fémur	1250-700	712.5	12.31	1.75
M10.Tlal2	Fémur	1250-700	1016.666	9.98	4.36
M10.Xo1	PosC.Tem	950-700	307.996	24.50	0.85
M11.Xo2	PosC.Tar	700-429	578.194	14.79	0.55
M13.Xo3	PosC.Tar	700.429	313.447	24.11	0.67

M14.Xo4	PosC.Tar	700-429	261.13	27.69	1.74
M15.Xo5	Preclá.Tar	2350-1650	229.738	30.33	2.65
M16.Xo6	Cla.Tar	1350-1050	192.446	34.19	1.59
M17.Xo7	Preclá.Tar	2350-1650	212.839	31.97	2.26
M18.Xo8	Preclá.Tar	2350-1650	221.138	31.13	1.22
M19.Xo9	Preclá.Tar	2350-1650	182.319	35.42	1.78
M20.Xo10	Preclá.Tar	2350-1650	205.409	32.73	0.07
M21.Xo11	Fémur		216.537	31.59	1.66
M22.Xo12	Fémur		546.428	15.46	0.65
M23.T1	Cúbito	700-429	191.209	33.34	1.84
M24.T2	Húmero	700-429	201.49	33.17	2.85
M25.T3	Húmero	700-429	172.177	36.74	2.53
M26.T4	Cúbito	700-429	170.813	36.92	3.0
M27.T5	Fémur	700-429	172.322	36.71	0.92
M28.T6	Tibia	700-429	162.06	38.17	3.39
M29.T7	Húmero	700-429	214.313	31.81	0.56
M30.T8	Fémur	700-429	210.644	32.19	2.21
M31.T9	Tibia	700-429	181.739	35.5	3.39
M32.T10	Fémur	700-429	182.232	35.45	4.01
M33.T11	Fémur	700-429	202.231	33.09	2.86
M34.T12	Cúbito	700-429	177.924	35.98	2.1
M35.T13	Peroné	700-429	206.212	32.66	2.03
M36.T14	Cúbito	700-429	203.814	32.91	0.5
M37.T15	Tibia	700-429	173.641	36.54	0.83
M38.S.P1	36-55 años	160-110	168.428	37.19	1.53
M39.S.P2	13-17	160-110	427.45	18.96	2.14
M40.S.P3	21-35	160-110	363.265	21.59	3.38
M41.S.P4	56-75	160-110	231.25	30.16	2.7
M42.S.P5	Más de76	160-110	322.061	23.71	3.03
M43.S.P6	36-55	160-110	268.441	27	2.27
M44.S.P7	36-55	160-110	267.2	27.24	2.9
M45.S.P8	Más de76	160-110	233.68	29.96	0.82
M46.S.P9	36-55	160-110	182.892	35.4	0.4
M47.S.P10	21-35	160-110	200.85	33.23	2.03
M48.S.P11	Más de76	160-110	367.096	21.4	1.08
M49.S.P12	56-75	160-110	271.062	26.97	4.14
M50.S.P13	56-75	160-110	229.328	30.38	3.33
M51.S.P14	56-75	160-110	284.387	26.01	0.9

M52.S.P15	Más de 76	160-110	310.406	24.39	3.88
M53.S.P16	36-55	160-110	173.986	36.5	2.37
M54.S.P17	56-75	160-110	252.678	28.37	3.88
M55.S.P18	36-55	160-110	259.343	21.79	4.25
M56. S.J 1	Adulto	324-100	187.354	34.80	2.27
M57. S.J 2	Adulto	324-100	183.952	35.40	0.35
M58. S.J 3	Adulto	324-100	148.093	40.31	2.36
M59. S.J 4	Adulto	324-100	168.837	37.20	2.37
M60. S.J 5	Adulto	324-100	174.595	36.41	0.99
M61. S.J 6	Adulto	324-100	148.377	40.27	2.58
M62. S.J 7	Adulto	324-100	135.579	42.44	1.03
M63. S.J 8	Adulto	324-100	186.353	34.92	2.10
M64. S.J 9	Adulto	324-100	160.863	38.33	1.77
M65 S.J10	Adulto*	324-100	185.044	35.08	
M66 S.J11	Adulto*	324-100	191.865	34.26	
M67 S.J12	Adulto*	324-100	193.372	34.08	

Tabla 4-8. Resultado total de la técnica de fechamiento por colágeno residual de las muestras óseas de 7 sitios arqueológicos en la Cuenca de México.

* Las muestras con la marca * fueron analizadas por Luz Lazos.

A continuación presentamos dos gráficas tomados con base de datos de tabla 4-9 del resultado final.

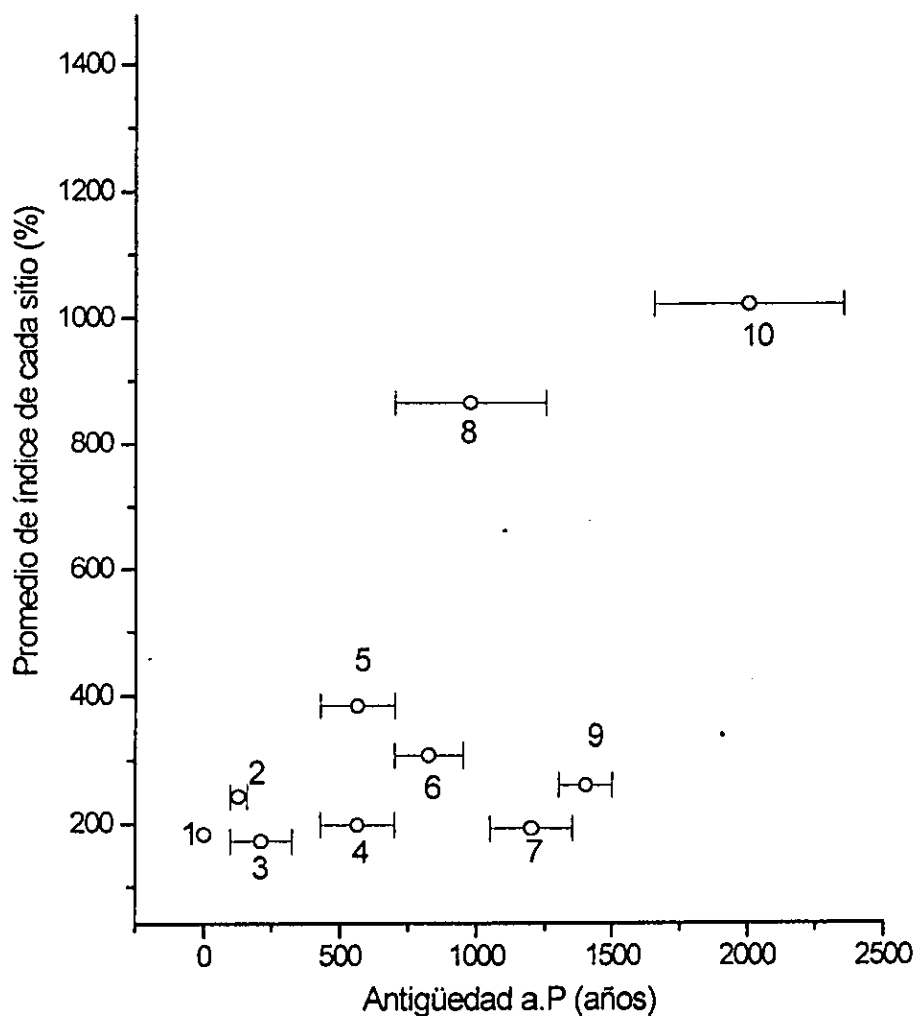
La gráfica 8-1 es una demostración de la relación entre la antigüedad y el promedio de los índices de cada sitio. Considerando de que no se pudo aplicar rigurosamente los criterios del muestreo, se nota que hay algunas irregularidades. Aun así, se puede apreciar la diferencia de los índices dependiendo de la antigüedad de cada sitio.

La gráfica 8-2, también es una relación entre la antigüedad y el promedio de la pérdida de cada sitio analizado. Empezando con la muestra dl presente que tiene la pérdida 35%, el porcentaje de la pérdida va disminuyendo hacia a las muestras más antiguas. Por lo tanto se esta mostrando la confiabilidad de la

técnica de fechamiento de colágeno residual como una manera de datación relativa.

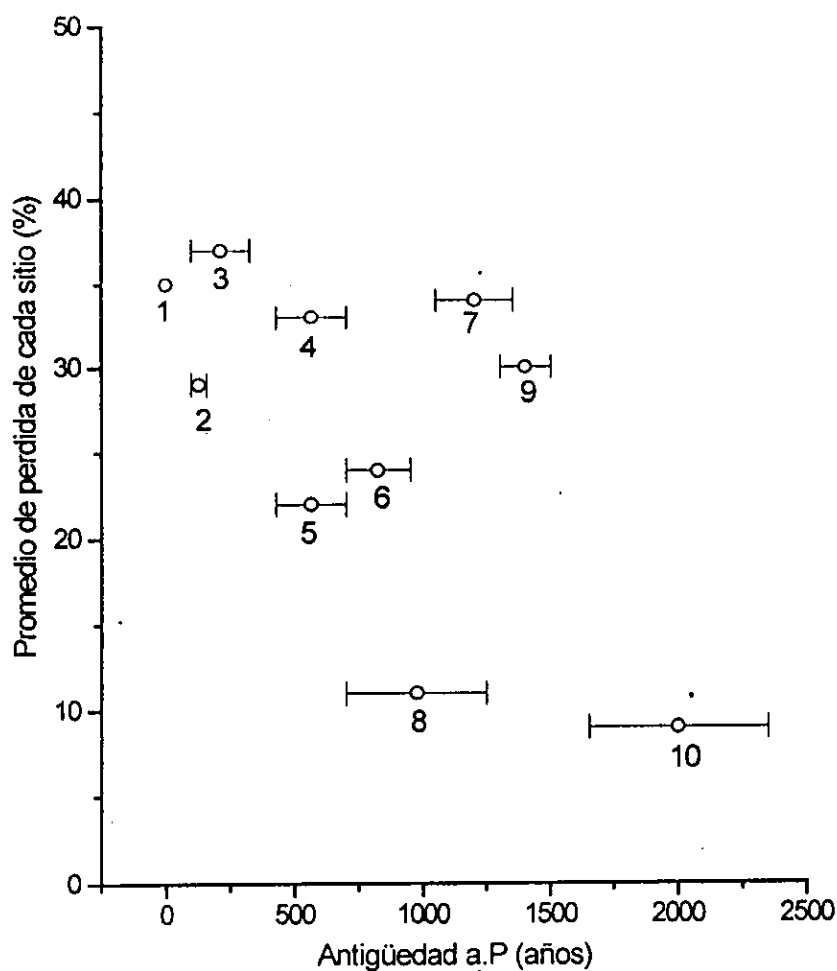
Sitio	Antigüedad	Promedio del índice	Promedio de la pérdida
Cuicuilco	2350-1650	1020	9.33
Oztoyahualco	1500-1300	260	30
Tlalocan	1250-750	864	11
Xochimilco. Clásico tardío	1350-1050	192	34
Xochimilco Posclásico te	950-700	307	24
Xochimilco posclásico tar	700-429	384	22
Tlatelolco	700-429	192	34
San Pedro y San Pablo	160-110	242	29
San Jeronimo	324-100	172	37
Presente	0	183	35

Tabla 4-9 . El resultado del promedio de los índices y las perdidas de cada sitio.



1. Hueso moderno, 2. San Pedro y San Pablo,
3. San Jeronimo, 4. Tlatelolco,
5. Xochimilco Posclásico Tardío,
6. Xochimilco Posclásico Temprano.
7. Xochimilco Clásico Tardío,
8. Tlalocan, 9. Oztoyahualco, 10. Cuicuilco.

Gráfica 8-1. Relación entre la antigüedad y el promedio de los índices de cada sitio.



1. Hueso moderno, 2. San Pedro y San Pablo,
3. San Jeronimo, 4. Tlatelolco,
5. Xochimilco Posclásico Tardío,
6. Xochimilco Posclásico Temprano.
7. Xochimilco Clásico Tardío,
8. Tlalocan, 9. Oztoyahualco, 10. Cuicuilco.

Gráfica 8-2. Relación entre la antigüedad y el promedio de la pérdida de cada sitio.
El "0" es el presente.

Capítulo V. Conclusión

5.1 Interpretación de los resultados

Uno de los puntos más importantes para esta tesis es el mostrar la confiabilidad en la aplicación de la técnica fechamiento por colágeno residual como un método de fechamiento del hueso para la arqueología. Considerando que el clima es uno de los factores más importantes que afecta la pérdida de material orgánico e inorgánico del hueso, para realizar el estudio tuvimos la necesidad de restringirlo en una zona determinada que mantuviera las mismas condiciones ambientales y en la que se localizaran suficientes áreas arqueológicas. Para este fin seleccionamos 7 sitios de diferentes épocas históricas que se encuentran en la Cuenca de México.

Antes de realizar el análisis es fundamental tener los datos suficientes del contexto arqueológico del entierro, ubicación y condición del mismo; así como de los individuos enterrados, es decir, lugar y tipo enterramiento, condición del suelo, profundidad del entierro, estado de conservación del entierro, sexo y edad del individuo, patología y tipo de hueso por analizar, entre otros puntos.

Cualquier tipo de técnica de fechamiento depende de esta información, sobre todo el fechamiento por colágeno residual. Por lo tanto, se necesita un buen control de estos factores extrínsecos e intrínsecos para la interpretación final de los resultados del análisis.

La idea fundamental del fechamiento por colágeno residual es que a mayor pérdida de colágeno en un hueso, mayor será la antigüedad del mismo. Es decir, bajo condiciones similares, si un hueso tiene un índice más elevado en comparación con otro, esto significa que es más antiguo

que ese otro. Lo cual permite asegurar que bajo condiciones similares de enterramiento, una muestra ósea perderá regularmente la cantidad del colágeno, fenómeno que permite determinar una temporalidad relativa de las muestras óseas.

Según los resultados del análisis de las muestras para este proyecto observamos varios puntos importantes. En primer lugar, esta técnica permite cuantificar el contenido de colágeno de un hueso; en consecuencia, el material óseo analizado de la Cuenca de México sí presenta diferencias en el contenido de colágeno.(ver la gráfica 8-1 y 8-2)

Aunque algunos sitios tuvieron la peculiaridad de arrojar resultados inesperados, como es el caso de Xochimilco, San Pedro y San Pablo y San Jerónimo, sin embargo el resto de los sitios obtuvieron resultados que coincidieron con la teoría establecida por el método de fechamiento por colágeno residual. Las muestras de Templo de San Pedro y San Pablo , y Ex – convento de San Jerónimo pertenecen de diferente costumbre funeraria, ya que los dos sitios son de época colonial. Por lo tanto no lleva misma condición del enterramiento comparando los demás sitios prehispánicos analizados.

En cuanto al resultado final de las muestras óseas de Cuicuilco, en la gráfica 1-1 se aprecia claramente la diferencia entre el índice de las muestras óseas de este sitio y el correspondiente al hueso moderno. Por lo tanto, se demuestra el uso de esta técnica, como un método de fechamiento relativo, porque varía el contenido del colágeno dependiendo de la antigüedad de los huesos analizados.

Aunque los restos óseos de antigüedad menor de 2 000 años antes del presente tienen una velocidad de pérdida irregular, según las condiciones del entierro de cada sitio.

La diferencia de la cantidad de colágeno del material óseo está relacionada con varios factores, uno de ellos es la influencia del clima. Por otro lado, las condiciones del contexto arqueológico del entierro también afecta la velocidad del proceso diagenético del material óseo, por lo tanto es un proceso multivariado.

En este proyecto se han podido reconocer algunos factores, por ejemplo la edad del individuo, el sexo, el tipo de enterramiento, el lugar de enterramiento y su antigüedad. En el caso de las muestras del Templo de San Pedro y San Pablo y Ex – convento de San Jerónimo se pueden identificar estos factores.

Aparentemente, ambos sitios tienen las mismas condiciones de entierro, los dos son de tipo colonial, con una temporalidad más o menos similar, estaban sepultados dentro del edificio y los entierros se hallaban constantemente bajo nivel freático. Sin embargo, la velocidad no es igual, para las muestras de San Pedro y San Pablo la velocidad de pérdida de material orgánico fue mucho más acelerada que la correspondiente a las muestras de San Jerónimo.

En las muestras de San Pedro y San Pablo hay individuos mayores, de tercera edad, y en general de las muestras fueron del sexo masculino.

En cambio, las muestras de San Jerónimo pertenecían a monjas adultas con un promedio de edad aproximadamente de los 40 años, todas de sexo femenino.

Por lo tanto se aprecia que la diferencia de edad y sexo puede variar el contenido del colágeno, aunque se mantuvieran bajo condiciones semejantes.

Xochimilco tiene tres muestras del Posclásico Tardío. Las muestras de este sitio demuestran una irregularidad en cuanto al contenido del colágeno y la velocidad de la pérdida del colágeno. En cambio las muestras de Tlatelolco, consideradas en conjunto como un sitio, tienen casi la misma velocidad de la pérdida y una homogeneidad del contenido del colágeno. Las muestras de ambos sitios pertenecen al Posclásico Tardío, pero son de diferentes sitios, por lo tanto se necesita realizar un estudio particular dependiendo de cada sitio. Aunque se localizan dentro de la Cuenca de México y comparten las mismas condiciones climáticas, el microambiente de cada sitio puede variar.

El promedio del índice de las muestras de Cuicuilco es 1020.832 con la pérdida de 9.3375. En comparación, Xochimilco tiene cinco muestras del Preclásico Tardío, el promedio de índice de ellos es 210.2886, con la pérdida de 32.316. Aun que los dos sitios tienen la misma temporalidad, los entierros de Cuicuilco estaban debajo de la lava y, aparentemente los de Xochimilco tenían la posibilidad de contaminarse con los microorganismo del agua del suelo que se pudieron aumentar el efecto de diagénesis.

Hasta el momento, los resultados obtenidos de la cuantificación del material orgánico del hueso enterrado en otras regiones del mundo, lo han aprobado este método como una técnica de datación relativa para el material óseo. Con los análisis aplicado a los restos óseos en este proyecto, se ha encontrado que el proceso sirve para cuantificar el colágeno de un

resto óseo, aunque la cantidad de colágeno del hueso depende de varios factores exteriores e internos de la muestra, además del tiempo.

Cabe mencionar que la técnica descrita puede aplicarse a un gran número de muestras en un tiempo relativamente corto, por lo que, la arqueología mexicana, puede utilizarlo como medio de fechamiento relativo de restos óseos. Por otro lado los resultados obtenidos pueden funcionar como un parámetro para la selección de muestras óseas para la realización de análisis más sofisticados y que impliquen más tiempo e inversión económica. Por lo tanto, la técnica servirá para hacer una ubicación relativa, en conjunto con otras técnicas, que permita definir la temporalidad de un sitio por medio del resultado de este análisis.

5.2 Recomendación

Hasta este momento se han demostrado las posibilidades de aplicación de la técnica de fechamiento por colágeno residual en el material óseo de contextos arqueológicos. A continuación se presenta una serie de recomendaciones con el objetivo de mejorar la fiabilidad de la técnica y disminuir el margen de error que presenta este método.

1. Contar con la información suficiente referente al contexto arqueológicos del entierro, pues son datos indispensables para la interpretación del resultado del análisis.

La pérdida del material orgánico depende mucho no sólo del tiempo que lleva enterrado, sino de las condiciones del contexto del entierro.

2. Como se ha mencionado, el procedimiento de pérdida de colágeno en el material óseo tiene una velocidad regular y calculable bajo condiciones ambientales similares. Tomando en cuenta esta definición es indispensable que el estudio sea aplicado para cada sitio donde se puede considerar que los huesos se han encontrado en un contexto homogéneo. Porque a pesar de que los sitios se localizan dentro de una región climática parecida, como la Cuenca de México, no comparten una serie de características particulares que dependen de cada sitio. Por lo tanto, el análisis debe efectuarse en cada sitio arqueológico, porque se puede variar el micro ambiente dentro de Cuenca de México. Y cada sitio tiene diferentes condiciones entierros.

3. En México todavía no hay suficientes investigaciones del fenómeno de diagénesis, en consecuencia no es fácil profundizar más sobre estudios de cuantificación de la materia orgánica del hueso enterrado. Se debe hacer un estudio específicamente en cada sitio considerando que en cada uno pueden variar los factores que influyen en el proceso de diagénesis.

4. En el mismo proceso del análisis, la parte inorgánica se puede alterar, porque el carbonato de calcio del hueso baja su proporción con la solución HCL durante el análisis. En general, la teoría del método propone que la pérdida orgánica e inorgánica se llevan a cabo con la misma velocidad. Por lo tanto es necesario hacer un análisis en ambas partes y comparar el resultado que se obtenga del material orgánico e inorgánico.

5. Se debe considerar el parámetro de deterioro de materia inorgánica. Si el método cuantifica la proporción de materia orgánica contenida en el

hueso, con respecto a la materia inorgánica, hay que tomar en cuenta cuales son los parámetros de deterioro de material inorgánico.

6. Establecer un criterio óptimo para la selección de las muestras óseas, y considerar que éste puede variar dependiendo del sitio que va a estudiar.

En caso de establecer la curva de calibración del contenido del colágeno debe ser en función de cada sitio diferente.

Uno de los objetivos de este proyecto es establecer una curva de calibración del contenido del colágeno en las muestras óseas que se han encontrado en la Cuenca de México. Una vez establecida dicha curva hay posibilidad de que este método de fechamiento por colágeno residual sea una técnica de datación absoluta. Para este fin se necesita contar las fechas obtenidas por carbono 14, que se pueda utilizar como punto de partida.

Hasta este momento no es posible hacer una curva de calibración para la técnica de colágeno residual por falta de fechas obtenidas por medio de carbono 14 en contextos directamente asociados con las muestras óseas investigadas. Apenas inicia la aplicación de este método en México, todavía hay muchas preguntas que resolver, pero con más muestras analizadas y sitios aplicados, selección cuidadosa de las muestras óseas en el campo de excavación, colaboración con otros métodos, los resultados obtenidos por el método de fechamiento por colágeno residual podrían tener más fiabilidad y certidumbre.

Bibliografía

- Aitken, M.J. *Science – based dating in archaeology*, Logman, London, 1990.
- Ambrose, S.H. "Preparation and Characterization of bone and tooth collagen for isotopic analysis" en *Journal of Archaeological science* vol 17, no 2, USA, 1990, pp431-451.
- Baillie, M.G.L. "Some comparisons between dendrochronology and other dating methods" en *Archaeological Science* 1989, Oxford, 1991, pp225-233.
- Bartsiokas, A. Middleton, A.P. "Characterization and dating of recent and fossil bone by X-Ray diffraction" en *Journal of Archaeological Science* 1992, pp62-72.
- Belluomini, G. "Amino acid racemization dating and its application to fossil bones from Italy" en *Fechaamiento y analisis isotópicos en prehistoria, X congreso de Unión internacional de ciencias prehistóricas y protohistóricas*, México, 1981, pp109-122.
- Berriel, E. Y Almaguer, J.A. *Fechaamiento de material óseo por colágeno residual y pH y EH de los sitios arqueológicos de Cuertlajuchitlan, Guerrero y Monte Albán, Oaxaca*. Tesis para optar por el título de licenciado en Arqueología, ENAH, 1997.
- Bernal, I. *Historia de la arqueología en México*, Porrúa, México, 1979.
- Brito, L. *El deterioro del material óseo y su contexto de enterramiento*. Tesis de la licenciatura. Escuela Nacional de Restauración, México, 1992.
- Brothwell, D.R. Molleson, T. Gray, P. Harcourt, R. "La aplicación de los rayos X al estudio de materiales arqueológicos" en *Ciencia en Arqueología*, Comp. Don Brothwell y Eric Higgs, F.C.E, México, 1982. pp 533-545.
- Brothwell, D.R. *Desenterrado huesos, la excavación, tratamiento y estudio de restos del esqueleto humano*, Fondo de Cultura Económica, México, 1985.
- Castillo, M.T. *Reporte de rescate arqueológico de Xochimilco*, Dirección de Salvamento arqueológico, México, 1997.
- Cook, R.M. "Arqueomagnetismo" en *Ciencia en Arqueología*. Comp. Don Brothwell y Eric Higgs, F.C.E, México, 1982, pp 70-82.

- Comas, J. *Manual de antropología física*. UNAM, México, 1976.
- De los ríos paredes, M. M. *La termoluminiscencia en el fechamiento de sitios arqueológicos*. Colección científica, INAH, México, 1989.
- El-Kammer, A. Haneock, R.G.V. Allen, R.O. "Human bones as archaeological samples" en *Archaeological Chemistry*, New York, 1989, pp306-315.
- Errico, F. Williams, C.T. Stringer, C.B. "AMS dating and Microscopic analysis of the Sherborne Bone" en *Journal of Archaeological Science*, vol 25, 1998, pp777-787.
- Fleischer, P. Price, B y Walker, R.M "Datación cuaternaria con la técnica de las huellas de fisión" en *Ciencia en Arqueología*. Comp. Don Brothwell y Eric Higgs, F.C.E, México, 1982. pp 52-55.
- Fleming, S. *Dating in Arqheology*, J.M.Dent & Sons LTD, London, 1976.
- Friedman, I. Robert, L y Clark, D. "Datación de la obsidiana" en *Ciencia en Arqueología*. Comp. Don Brothwell y Eric Higgs, F.C.E, México, 1982. pp 56-69.
- Ganong, W.F. *Fisiología médica*, El manual moderno, 1990, pp340-343.
- García, Bárcena, Joaquín. *Fechamiento por hidratación de la obsidiana*, Colección Científica 17, INAH, México, 1974.
- _____. Selección de laboratorios del departamento de Prehistoria, INAH, México, 1982.
- García, E. "Los climas del valle de México según el sistema de calificación de Köppen modificado por la autora" en *Simposio sobre el Valle y la ciudad de México*, Sociedad mexicana de geografía y estadística, México, 1965- 1967, pp27-48.
- Garlick, J.D. "Huesos enterrados; El método experimental en el estudio del contenido de Nitrógeno y actividad de los grupos sanguíneos", en *Ciencia en Arqueología*, Comp. Don Brothwell y Eric Higgs, F.C.E, México, 1982. pp 519 - 532.
- Genoves, Santiago. 1. "Determinación sexual en el hombre primitivo" en *Ciencia en Arqueología*. Comp. Don Brothwell y Eric Higgs, F.C.E, México, 1982, pp 443-454.
- _____. 2. "Estimación de la edad y mortalidad", en *Ciencia en Arqueología*. Comp. Don Brothwell y Eric Higgs, F.C.E, México, 1982. pp 454-466.
- Gentner, W. Y Lippolt, H.J "Datación de depósitos del Terciario Superior y el Pleistoceno con el método del potasio – argón" en *Ciencia en*

Arqueología. Comp. Don Brothwell y Eric Higgs, F.C.E, México, 1982, pp 83-97.

Goffer, Z. *Archaeological chemistry*. John Wiley & Sons. New York. 1980.

Guilliem, A. S. *Ofrendas a ehécatl-quetzalcóatl en México – Tlatelolco, Proyecto Tlatelolco, 1987-1996*, INAH, México, 1999.

Hall, E.T. "Datación de cerámica por el método de la termoluminiscencia" en *Ciencia en Arqueología*. Comp. Don Brothwell y Eric Higgs, F.C.E, México, 1982. Pp 104.108.

Hedges, R.E.M y Millard, A.R. "Measurement and relationships of diagenetic alteration of bone from tree archaeological sites," en *Journal of Archaeological Science*. 1995. vol.22. pp 201 –209.

Huerta, B.M. *Informe del rescate arqueológico del Templo de san Pedro y San Pablo*, México, 1997.

Ikeya, M. Miki, T. "Archaeological radiation dose of bones at anthropologically important sites with electron spin resonance" en *Fechaamiento y analisis isotópicos en prehistoria, X congreso de Unión internacional de ciencias prehistóricas y protohistoricas*, México, 1981, pp39-53.

Lambert, J.B. Xue, L. Buikstra, J.E. "Physical removal of contaminative inorganic material from buried human bone" en *Journal of archaeological science* 16, 1989, pp427-436.

Lazos, L. *Estudio para la interpretación de la técnica de fechamiento por colágeno para material óseo en la cuenca de México*. Tesis de licenciatura en biología. Facultad de Ciencias, UNAM, México, 1992.

Litvak K. J. *Todas piedras tienen 2000 años, Una introducción a la Arqueología*. Trillas, México, 1986.

Lockhart, R.D. Hamilton, G.F. Fyfe, F.W. *Anatomía humana*, Editorial Interamericana, 1965.

Manzanilla, L. *Anatomía de un conjunto residencial teotihuacano en Oztoyahualco vol I y II*, Instituto de Investigaciones antropologicas, México, 1993.

_____. "Los conjuntos residenciales teotihuacanos" en *Anatomía de un conjunto residencial teotihuacano en Oztoyahualco vol I*, Instituto de Investigaciones antropologicas, México, 1993, pp31-46.

Manzanilla, L. López, C. Freter, A. "Dating results from excavations in quarry tunnels behind the Pyramid of the Sun at Teotihuacan" en *Ancient Mesoamericana*, vol 7, USA, 1996, pp245-266.

Michels, J.W. *Dating methods in archaeology*. Seminar press, New York, 1973.

Miller, D.S. "Application of fission track method to archaeological problems" en *Fechaamiento y analisis isotópicos en prehistoria, X congreso de Unión internacional de ciencias prehistóricas y protohistoricas*, México, 1981, pp54-61.

Mook, W.G Waterbolk, H.T. *Handbooks for archaeologists N.3. Radiocarbon dating*, European Science Foundation, Strasbourg, 1985.

Moreno Cabrera, M. *Informe de rescate arqueológico antiguo templo de San Pedro y San Pablo*, Dirección de Salvamento arqueológico, México, 1996.

Oakley, Kenneth P. "Métodos analíticos para datación de huesos" en *Ciencia en arqueología*, Comp, Don Brothwell y Eric Higgs, Fondo de Cultura Economica, México, 1982, pp 29-39.

Ortiz, D.E. "Ideología y vida domestica" en *Anatomía de un conjunto residencial teotihuacano en Oztotyahualco vol I*, Instituto de Investigaciones antropologicas, México, 1993.

Perez, C. Pastrana, A. *Informe de la primera temporada de campo. Proyecto Cuicuilco 1996*, Dirección de Salvamento arqueológico, México, 1996.

Pezziorse, *Radiocarbono catorce*, Museo regional Ica, Perú, 1961.

Price, T.D. *The chemistry of prehistoric human bone*. Cambridge University Press, New York, 1989.

Price, T.D. Bertun, J. Blitz, J. Schoeninger, M.J. "Bone composition studies in archaeology," en *Society of american archaeology*. Fryxell symposium, University of wisconsin, 1989.

Ramachandran, G.N y Kartha, G. "Structure of collagen" en *Nature*. vol 176, 1995, pp593-595.

Ramos Fernández, R. *Arqueología: métodos y técnicas*, Ediciones bellaterra, S.A, Barcelona, 1977.

Roberts, C.A. "Scientific methods in paleopathology; past, present and future" en *Archaeological Science* 1989, Oxford, 1991, pp373-385.

Rodríguez, S.R. "La colorimetria de proteínas como técnica de campo para la determinación de contemporaneidad en restos óseos de sitios arqueológicos" en *IV coloquio de antropología física 1986*, UNAM, México, 1989, pp669-677.

- Romano, a. Jaén Esquivel, M.T. "El ExConvento de San Jerónimo y Sor Juana Inés de la Cruz" en *La revista Cultural Lotería*, Panamá, 1996, pp6-52.
- Rottländer, R.C.A. "Variation in the chemical composition of bone as an indicator of climatic" en *Journal of archaeological science*. 3. 1976, pp. 83-88.
- Sandison, A.T. "Estudios de tejidos humanos momificados y secos" en *Ciencia en arqueología*, Comp, Don Brothwell y Eric Higgs. Fondo de Cultura Económica, México, 1982, pp 505-518.
- Schávelzon, D. *La pirámide de Cuicuilco*, F.C.E, México, 1993.
- Sinclair, D. *An introduction to functional anatomy*, Blackwell scientific publications, Oxford London, 1975.
- Stout, S.D. "Histological structure and its preservation in ancient bone" en *Current anthropology*, vol 19 no 3, 1978, pp601- 603.
- Thomas, D.H. *Archaeology*, Holt, Rinehart and Winston, USA, 1979.
- Torres Sanders, L. Reporte de determinación de sexo y edad de Muestras de Tlatelolco, México, 1998.
- Vento, C.E. Rodríguez, S.R. y Franco, M.L. "La datación absoluta por el método de colágeno en Cuba," Kobie, Bilbao, España, 1981.
- Weiner, S. Bar-Yosef, O. "States of preservation of bone from prehistoric sites in the Near East" en *Journal of archaeological Science*, vol 17, no 2, 1990, pp187-196.
- White, E. Hannus, L.A. "Chemical weathering of bone in archaeological soils", en *American Antiquity* 48, 1983, pp 316-322.
- , *Ciudad de México*, Guía Roji, México, 1997.