UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

"Estudio de Dieta de Poblaciones Antiguas por medio del método PIXE"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

B I O L O G A

P R E S E N T A :

VERÓNICA BECERRA REGIN

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JOSÉ LUIS RUVALCABA SIL

2004

DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES

FACULTAD DE CIENCIAS
SECCION ESCOLAR

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

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.

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito: "Estudio de Dieta de Poblaciones Antiguas por medio del método PIXE."

realizado por Verónica Becerra Regin.

con número de cuenta 9453481-8 , quien cubrió los créditos de la carrera de: Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

A t e n t a m e n t e

Director de Tesis Propietario	Dr. José Luis Ruvalcaba Sil	
Propietario	Dra. Eva Leticia Brito Benítez	
Propietario	M. en C. Germán Calva Vásquez	
Suplente	Dr. Lauro Bucio Galindo	
Suplente	Biol. Rita Marcela González González	

Consejo Departamental de Biología

M. en C. Juan Manuel Rodríguez Chávez

FACULTAD DE CIENCIAS
UNIDAD DE ENSEÑANZA DE BIOLOGIA

A mi Madre Teresa Por Su Cariño y Confianza
Mi padre Miguel donde quiera que este

AGRADECIMIENTOS

Agradezco el apoyo de los técnicos Karim López Guzmán y Francisco Jaimes Beristáin por el manejo del acelerador Peletrón del Instituto de Física de la UNAM durante los análisis de PIXE.
Los restos óseos se estudiaron dentro del marco del proyecto CONACyT 30749-H dirigido por el Dr. Carlos Serrano del Instituto de Investigaciones Antropológicas de la UNAM. Los análisis en el laboratorio del acelerador Peletrón se llevaron a cabo con el apoyo del proyecto CONACyT J32159-U. V. Becerra fue apoyada durante esta investigación con una beca de licenciatura del proyecto CONACyT 34801-H.

Al Dr Joseluis Ruvalcaba Sil por darme la oportunidad de llevar a cabo esta investigación, por su enseñanza, confianza y amistad.

Ala Dra.Leticia Brito, Dr German Calva, Dr Lauro Bucio y Rita Gonsalez por su tiempo y sus correcciones constructivas en la revisión de esta tesis.

A mis maestros de la Facultad de Ciencias, a mi querida facultad UNAM por la formación que recibí

Agradezco a Marcelo Francisco Lugo por sus consejos.

A mis hermanos, Miguel, Carlos, Paty, Ely, Chava por ser participe de mis logros, los quiero.

A mis sobrinos Male, Maira, Miguel, Karina, Karla, Laura Karla, Carlos, Mariana,Gabriela,Cintia, Lorena y Alejandro.

A mis maestros Edgar, Ivet que me mostraron que el baile es una alternativa de vida

A mis cuates, Paula, Romel, Luis, Jose, Emilia, Roberto, Ramadam Tere. y los que falten que son muchos mas

A Laura Gamiño y a su familia que me han hecho sentir parte de ella

A Gabriel Magaña, por brindarme su cariño, apoyo.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 3

I. Antecedentes de Estudios en Paleodieta

1.1 Introducción 6

1.2 Estudios Indirectos 8

1.3 Estudios Directos 9

II. Factores Relevantes en Estudio de Paleodieta

2.1 Tejido Óseo 14

2.2 Metabolismo 18

2.3 Factores Intrínsecos que afectan al hueso 21

2.4 Factores Extrínsecos que afectan al hueso 24

2.4.1 Deterioro óseo 24

2.4.2 Factores que influyen en cuanto al entierro 26

2.4.3 Factores fisicoquímicos 28

2.4.4 Agentes biológicos 30

2.4.5 El tiempo de enterramiento 31

III. Zona de Estudio: Teotihuacan

3.1 Teotihuacan como Zona de Estudio 33

3.2 Flora y fauna disponibles en Teotihuacan 35

3.3 Alimentación Prehispánica 37

3.4 Hallazgos óseos en el contexto Teotihuacano 39

VI. La Técnica PIXE

4.1 Introducción 41
4.2 Emisión de rayos X inducida por partículas (PIXE) 41
4.3 Dispositivo experimental 43
4.4 Análisis de espectros PIXE 44
4.4.1 Análisis cualitativo 44
4.4.2 Análisis cuantitativo 47
4.5 PIXE aplicado al análisis de hueso 48

V. Análisis y Resultados

5.1 Procedimiento para la cuantificación elemental de muestras óseas 50
5.1.1 Descripción del contexto arqueológico de las muestras 51
5.1.2 Preparación de muestras 52
5.1.3 Irradiación de la muestra con un haz externo 53
5.2 Resultados del análisis y discusión 54
5.2.1 Concentración elemental en hueso respecto a su contexto 62
5.2.2 Concentración elemental en hueso: Zn/ Ca, Sr/ Ca, Ba/ Ca 64
5.2.3 Concentración elemental respecto a la temporalidad 66

CONCLUSIONES 69

REFERENCIAS 71

INTRODUCCIÓN

Los estudios de paleodieta se enfocan a determinar las prácticas alimenticias de un grupo cultural. Existen diversas aproximaciones para resolver esta cuestión. Los estudios indirectos toman en cuenta elementos químicos como medida de nutrición en poblaciones actuales y el aprovechamiento de recursos, así como la reconstrucción de ecosistemas incluyendo flora y fauna disponible en épocas antiguas. En cambio, los estudios directos se basan en el análisis de restos de individuos, como tejidos biológicos que conservan a largo término la información de los patrones específicos de la alimentación y por lo tanto recursos naturales de su entorno. Tal es el caso de los huesos y los dientes. En esta aproximación deben considerarse diversos factores que influyen en el estudio: Los culturales (sexo, edad, status social, grupo étnico), el contexto arqueológico y las alteraciones debidas al contexto, el metabolismo, la antropología física de la población, la paleoflora y paleofauna, y el método de análisis de los tejidos. Además, en los estudios directos es deseable que los estudios de paleodieta se complementen con un análisis detallado del contexto arqueológico de los restos de animales y plantas existentes para evaluar la importancia de los recursos disponibles y su aprovechamiento real.

En este trabajo se aborda el estudio directo de restos óseos de poblaciones Teotihuacanas correspondientes a fines del Periodo Clásico y el Epiclásico (600-900 d.C.) y al Periodo Mazapa (1000-1150 d.C.). En estos periodos se ha determinado la existencia de cambios importantes en el altiplano mesoamericano como el movimiento de poblaciones, un reordenamiento de los centros con hegemonía política, nuevas rutas

de intercambio, posibles cambios climáticos, etc. Es en el Epiclásico cuando la decadencia de Teotihuacan sucede, al parecer, debido a múltiples factores. Por lo tanto reviste particular importancia, el conocer aspectos específicos de Teotihuacan, la urbe más organizada y de mayor influencia en el altiplano mesoamericano por al menos siete siglos, de su población y de su entorno en este periodo.

Se han propuesto métodos específicos para realizar un diagnóstico de la dieta de poblaciones antiguas con base en las concentraciones de elementos químicos, así como de isótopos de elementos ligeros, de restos óseos. En este caso se llevó a cabo el análisis de los restos óseos desde el primer punto de vista, el cual considera que las concentraciones de elementos característicos como el estroncio, el zinc, el bario y el hierro, reflejan la posición del ser vivo dentro de la cadena trófica. Siendo el hombre un omnívoro, su dieta se sitúa entre los extremos que corresponden a un herbívoro y a un carnívoro en función del consumo de alimentos de uno u otro tipo que realice.

Para determinar el contenido de dichos elementos químicos en los restos óseos, se empleó la Espectroscopia de Emisión de Rayos X Inducida por Partículas (PIXE), basada en el uso de aceleradores de iones. Esta técnica permite un análisis rápido de la composición elemental de materiales de prácticamente de cualquier naturaleza con una sensibilidad de ppm ($\mu g/g$). Se pueden obtener las señales de prácticamente todos los elementos quimicos con número atómico superior al sodio (dentro de los límites de detección mencionados). Se requiere una preparación y una cantidad mínima de la muestra, y ésta última puede ser reutilizada para otos análisis, pues es un método no destructivo. Otras técnicas analíticas se han empleado con este fin, pero no son tan sensibles, o bien no son de carácter multielemental, o se necesita de una preparación especial, y en la mayoría de las ocasiones son destructivas.

PIXE se presenta entonces como una alternativa para la caracterización de restos óseos con fines de paleodieta, así como la evaluación sus alteraciones, con ventajas sobre otras metodologías usuales. En este caso se presenta un primer análisis con una preparación mínima de muestra de restos óseos, con el objetivo de establecer una metodología general de caracterización de restos óseos para determinar la dieta de poblaciones antiguas. Los restos óseos estudiados proceden de tres excavaciones realizadas por el Instituto de Investigaciones Antropológicas de la UNAM bajo la dirección del Dr. Carlos Serrano. Así mismo se analizaron, también mediante PIXE, muestras de los sedimentos asociados a los restos óseos con el fin de establecer la influencia del contexto en la composición de los restos óseos.

Esta tesis introduce los principios de los estudios de paleodieta, describe los factores que influyen en estos estudios incluyendo aspectos del tejido óseo y de metabolismo, y presenta de manera sucinta a Teotihuacan como zona de estudio considerando la información sobre la flora y fauna disponible en el entorno en su momento.

Finalmente se presenta a la técnica PIXE, sus fundamentos, la metodología de análisis y los resultados de su aplicación para el estudio de paleodieta del conjunto particular de restos óseos.

CAPITULO I

Antecedentes de Estudios en Paleodieta

1.1 Introducción

Los estudios de paleodieta se refieren al análisis de prácticas alimenticias de poblaciones antiguas las cuales pueden determinarse a partir de concentraciones de elementos químicos específicos presentes en los restos óseos y dentarios. El patrón de concentración de elementos presentes reflejan distintos y variados aspectos de salud, nutrición y cultura, así como los recursos naturales de entorno (Ezzo, (1994), Gilbert (1977) *en* Brito 2000).

Para el presente estudio se tuvo que tomar en cuenta la participación de múltiples factores (fig 1),entre éstos, aquellos procesos como el metabolismo y los que intervienen en las alteraciones del esqueleto como lo son los *biogénicos* (*antemortem)* y los *diagénicos* (*posmorten*), como el intercambio iónico.

Los factores más importantes que influyen en estos procesos son: a) físico - químicos del medio, como el agua y humedad, temperatura, oxígeno, luz y grado de acidez o alcalinidad; b) factores biológicos, como la presencia de la flora y la fauna (De Guichen, 1984), bacterias y hongos -que surgen de la descomposición de un organismo muerto- (Grupe y Piepenbrink, 1989); c) el conocimiento del lugar de entierro; Así, como el tipo de entierro y el contexto arqueológico y la flora y fauna disponible en el lugar de estudio.

Además se deben considerar los factores culturales que afectan la selección del balance dietético, diferencias en cuanto al sexo, edad, grupo étnico y estatus dentro del grupo (Sillen *et al.* 1989)

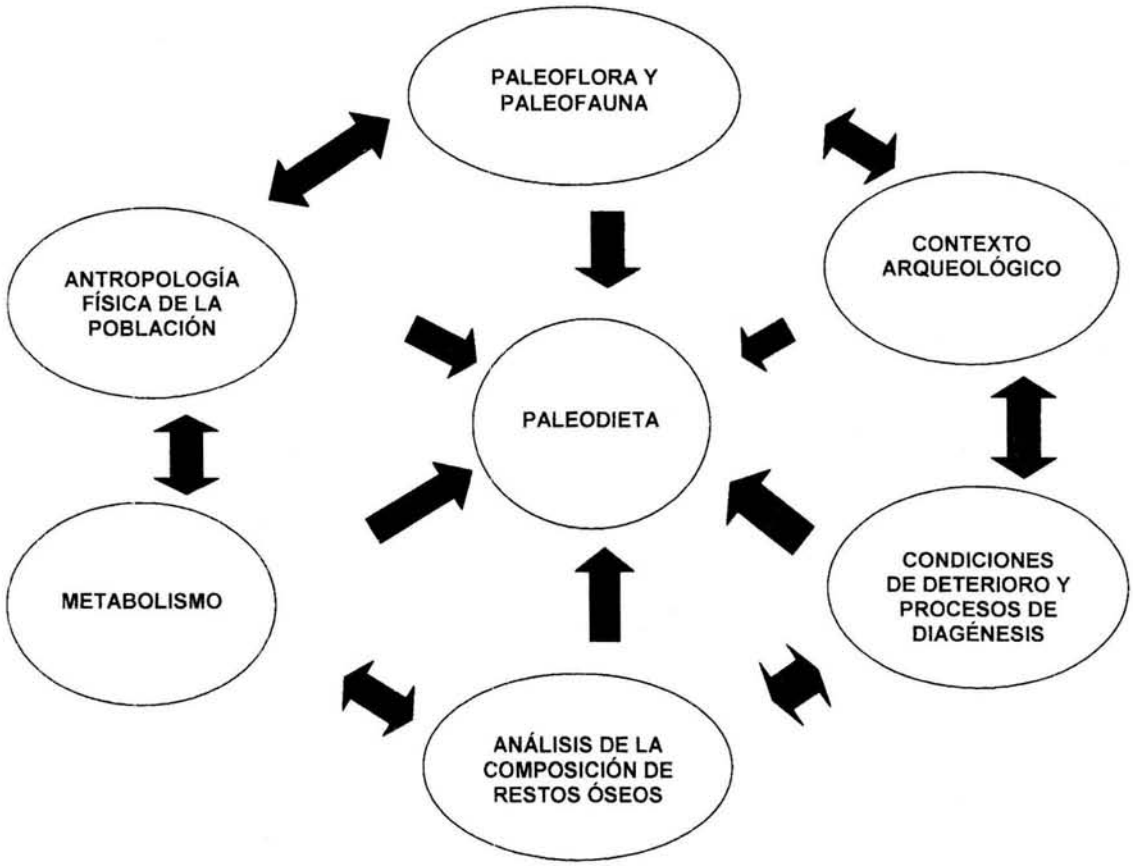

Figura 1: Interrelación de los factores más relevantes a considerar en estudios de paleodieta.

Se han utilizado diversas aproximaciones metodológicas para el estudio de paleodieta, desde estudios indirectos con supuestos hipotéticos (por pesado y medido de infantes antes y después de comer, con una reconstrucción de los recursos naturales posiblemente ingeridos) y reconstrucción de flora y fauna hasta estudios directos (tejido óseo y dientes) utilizando técnicas más elaboradas para su análisis.

El presente trabajo tiene por objeto realizar el análisis químico de restos humanos para determinar su dieta mediante un estudio directo, considerando la flora y fauna de ese entonces.

1.2 Estudios Indirectos.

Éstos se llevan a cabo por medio de metodologías experimentales indirectas de la población, esto es, por medio de suposiciones de la alimentación con base en la flora y fauna disponibles, de pesado y medido, sin llegar a un análisis directo.

Los primeros estudios que se realizaron en paleodieta fueron descritos por Sanjur y Scoma (1971), y Sanjur (1980) quienes hicieron un recuento de consumo en alimentos y preferencias alimenticias. Consideran aspectos socioculturales y realizando investigaciones no experimentales obtuvieron conclusiones respecto a desnutrición – ya sea en forma independiente y/o con otras influencias sociales y ambientales- contribuyendo a la problemática de la alimentación.

Por su parte, Martínez, Chavez y Borges (1997), estudiando tasas de patrones alimentarios de infantes, encontraron que la desnutrición se producía durante el periodo del destete debido a una lactancia deficiente. Los infantes fueron pesados antes y después de ser amamantados; observándose que la cantidad ingerida de alimentos era insuficiente. Al final del estudio, los autores determinaron defectos en sus resultados debido a carencias metodológicas. Lo cierto es que a partir de este estudio nos podemos dar una idea de cómo se llevaban a cabo algunas de las investigaciones de nutrición dando también un enfoque desde el punto de vista de salud (Stone y Cambell,1984; Pérez y Dewey, 1993).

Dentro de los estudios analizados, el que nos brinda una sobresaliente aportación metodológica en paleodieta es el de Márquez (1992), realizado mediante el análisis de paleoflora y paleofauna. En éste se reconstruyen hipotéticamente los recursos naturales y los organismos existentes en la costa de Yucatán consumidos en tiempos prehispánicos (gasterópodos, ostras, pájaros, iguanas, tortugas, etcétera), lo que permitió hacer una recreación sobre la explotación de esos recursos naturales en la región con fines alimenticios.

Márquez hizo la reconstrucción paleo ambiental a partir de análisis etnobotánicos y faunísticos por medio de un listado de recursos marinos y terrestres; información que es de utilidad general para los estudios de paleodieta en Mesoamérica. El análisis metodológico utiliza técnicas morfoscópicas, radiológicas, análisis patológico craneal,

dental y poscraneal. Los resultados de estos análisis hacen hincapié en el contenido de hierro de los abundantes productos marinos (peces, moluscos, manatíes etc.) en la paleodieta de los mayas, esto sugiere que la presencia de niveles altos de hierro podría relacionarse con este tipo de dieta.

Otro de los resultados observados respecto a los indicadores alimenticios fue la presencia de caries debida posiblemente al consumo de grandes cantidades de carbohidratos o bien por comidas realizadas varias veces al día, esto último apoyado por estudios antropofísicos que indicaron la ingesta abundante de carbohidratos y proteínas.

1.3 Estudios Directos

Éstos se llevan a cabo tomando una muestra directa de individuos de la población, una muestra física como estructuras óseas y tomas de sangre; Estas investigaciones apoyadas por flora y fauna disponible, y estudios más minuciosos. A continuación algunos de los estudios más relevantes para esta investigación:

Uno de los trabajos de gran aportación fue el descrito por Price (1989), Schoeninger (1985). Por *fluorescencia de Rayos X*; analizaron el consumo de alimentos vegetales y de carne, y determinaron que estos pueden ejercer influencia sobre las concentraciones en los niveles de estroncio en el hueso, relacionando a los moluscos con la gran acumulación de este elemento. También hacen referencia a que las plantas no poseen mecanismos para asimilación de elementos traza, por lo que el Sr es absorbido por las raíces, y el elemento es acumulado en diversos tejidos del vegetal. Al ser ingerida, una planta contribuye a la dieta del animal, lo que ocasiona que un animal herbívoro presente niveles más altos de Sr que el carnívoro.

Puesto que el ser humano es un omnívoro debe situarse en un punto intermedio de acuerdo a las proporciones de carne y vegetales consumidas en su dieta.

La determinación de estroncio, puede por tanto utilizarse para diferenciar poblaciones humanas de acuerdo a las proporciones de carne y vegetales que conforman su dieta.

Schoeninger y Price (1985) *en* Chinchilla 1991, también estudian las proporciones isotópicas y elementales en hueso humano, lo cual se utilizó para distinguir el consumo de organismos marinos *versus* los terrestres con base en la razón $^{13}C/^{12}C$ que es mayor en el bicarbonato de agua de mar que en el dióxido de carbono que conforma la atmósfera.

Analizando a las plantas que habitan en los medios acuosos y terrestres, así como las concentraciones de colágeno en el hueso de animales que se alimentan de estos dos tipos de plantas pero de diferentes habitats, y relacionando la cantidad de Sr en vegetales, el cual varia de acuerdo a la estructura de la planta (raíz y hojas) así como el tipo de especie, se ha determinado que los herbívoros terrestres incorporan tan sólo un 20-25% del Sr ingerido, observándose también una clara diferencia en los niveles de Sr en sus huesos. Es claro que entonces el medio ambiente determina la cantidad de Sr disponible para la cadena alimenticia y por consiguiente las concentraciones de Sr presentes el hueso humano.

Burton y Prince (1990) *en* Chinchilla 1991. han determinado que el Ba se asemeja al Sr dentro de la cadena alimenticia y es un parámetro para distinguir el nivel trófico marino y terrestre. En cuanto a las concentraciones de Ba, cuando este elemento es más alto que las concentraciones de Zn y Sr se considera como un indicador de contaminación, ya que éste se fija a la superficie del hueso en forma de óxidos portadores de este elemento.

Shoeninger *et al.* (1987), realizaron un estudio con primates. Los investigadores utilizaron como método analítico la *espectrometría de absorción atómica (AAS)* y la *activación analítica de neutrones*, para determinar la composición de los huesos. A pesar de observar efectos diagenéticos, determinaron que el Sr es uno de los elementos que provienen de la ingesta de plantas. Se hace énfasis, en tomar en cuenta los cambios diagenéticos, ocasionados por la descomposición del hueso durante el tiempo de enterramiento. Los elementos presentes pueden ser alterados por el intercambio iónico de los minerales del suelo hacia el hueso o viceversa (Chinchilla 1991).

Otra de las grandes aportaciones al tema fue realizada por Ezzo (1994), menciona que los huesos contienen información relevante, como el tipo de dieta, la deficiencia nutricional, las enfermedades sufridas, el sexo, la edad y la práctica cultural, que no pueden ser obtenidas de ninguna otra fuente. Se refiere al Sr como uno de los

elementos más interesantes en cuanto a la constitución del hueso, considera que el Sr es un parámetro importante para paleonutrición ya que se presenta en cantidades elevadas en vegetales y está dotado de un trofismo muy selectivo para el tejido óseo, porque el 99% de Sr esta acumulado en el hueso y el 1% en tejido blando, por lo tanto tiende a cumularse en los huesos de los herbívoros, mas no en los carnívoros, como consecuencia de su dilución progresiva en la cadena alimenticia. Realiza un análisis de una proporción de Sr/Ca en hueso humano, mediante una comparación con la relación Sr/Ca de un herbívoro. Si la proporción dada es menor a 1 o cercano a la unidad, se deduce que el individuo de estudio tiende a una alimentación de origen vegetal.

Por otra parte se propone que el Zn es un indicador de ingesta de carne, ya que la carne presenta valores elementales más altos que las plantas. No obstante, existen opiniones diversas al respecto ya que el Zn se presenta tanto en la fase orgánica como inorgánica del hueso, y su incorporación está regulada por agentes quelantes y proteínas; más que por dieta.

Por otra parte, debe considerarse que las concentraciones de hierro, manganeso y aluminio no guardan una correlación con la estructura interna del hueso, sino que en general provienen de la incorporación del suelo, mas que de la ingesta (aunque el hierro tiene importancia en la dieta).

Presentando investigaciones cualitativamente más exactas, Chinchilla (1991) realizó un estudio a partir de materiales arqueológicos de Guatemala (Escuintla), tratando de reconstruir paleodieta. Se emplearon métodos de análisis químico para Sr tomando en cuenta medio ambiente del lugar y mediante testimonios escritos sobre la alimentación, hizo una descripción de flora y fauna para complementar el estudio paleopatológicos (evidencias de enfermedades observables en restos óseos). Se revelaron deficiencias en la dieta humana encontrando diferencias significativas entre las preferentemente carnívoras y herbívoras.

Un trabajo que utiliza Sr, Zn,y Ba como elementos diagnósticos es el de Rodríguez (1998), en el cual se realizan análisis por medio de *Espectrometría de Absorción Atómica*, en material óseo procedentes del sitio el Guayabo Blanco, (Cuba), con la finalidad de determinar las fuentes de alimentación predominantes. El estudio se apoya en la descripción del lugar y los individuos, así como en la de restos de animales y plantas encontrados en el contexto arqueológico. Considera que es imprescindible elaborar una valoración de conservación de los huesos, los cuales pudieron tener

modificaciones en relación con el entorno (procesos diagénico y/o biogénico). Se menciona que si la matriz fosfática se encuentra calcificada y modificada, ésta será un indicador de diagénesis y se tendría un material degradado. En cuanto a las concentraciones de Sr y Zn, se menciona que la relación obtenida Zn/Ca sugiere una dieta en abundancia de proteína animal, a pesar que las razones Sr/Ca observadas fueron altas; lo que normalmente indicaría que la alimentación es mayormente de origen vegetal. Sin embargo, no se cuenta con este recurso en la localidad ya que los productos provenientes de fuentes vegetales son bajos o escasos. Por lo anterior se sugiere que los altos niveles de Sr son debido al consumo de productos de pesca y recolección de diferentes moluscos.

En el estudio realizado por Manzanilla et *al.* (1999) en Teotihuacan, México se utilizó la técnica de *Fluorescencia de rayos X*, para el análisis de Sr y Zn. A partir de los cambios en las razones de Sr/Ca y Zn/Ca. se establece que la dieta del periodo Epiclásico se caracteriza por un mayor consumo de vegetales que en el Clásico, debido posiblemente a la explotación de recursos naturales durante el Clásico, o por una situación de sequía extrema o incluso por un cambio en el patrón de aprovechamiento de recursos.

Otra contribución dentro de lo referente a paleodieta es la de Brito (2000), por medio de análisis de fluorescencia de Rayos X, en material óseo de Monte Albán. El eje metodológico es la variabilidad química en los restos óseos, complementada con información arqueológica, antropofísica, etnográfica y de documentos de la época colonial. Entre las aportaciones técnicas más significativas se destaca: a) El estudio de la relación entre calcio y fósforo (Ca:P) y su comparación con los niveles en tejido óseo vivo; b) La relación del estroncio y zinc (Sr:Zn) propuesta como un índice alimenticio; y c) La sugerencia del empleo del Mg y K como indicadores importantes de la dieta mesoamericana, por su alto contenido en alimentos como maíz, frijol, calabaza, aguacate, quelites, guayabas, zapotes, carne de venado, de conejo y de liebre, entre otros, incluyendo insectos. Una deficiencia técnica es no haber examinado muestras de suelo del contexto arqueológico especifico, pues retoma la información sobre su composición química de textos especializados. Entre sus conclusiones destacan las diferencias alimenticias entre individuos de distintos niveles sociales, teniendo el mayor rango, una dieta más variada y rica en proteínas animales. Por otro lado, se detecta en los sectores menos privilegiados un incremento en el consumo de vegetales, mientras

que las élites no se ven afectadas. No obstante, la cantidad de los recursos consumidos, tanto animales como vegetales, disminuyen de un periodo a otro (Clásico - Preclásico). Entre las principales causas de estos eventos se menciona el incremento poblacional y la compleja organización social que caracterizó a Monte Albán. Finalmente, señala que solamente a través de un diseño de análisis multifactorial se podrán sustentar las interpretaciones en torno a la alimentación, salud y nutrición de poblaciones pasadas.

Por medio de estos estudios, observamos la problemática del método experimental, la importancia de considerar la zona de estudio y el contexto arqueológico, y la relevancia en cuenta la influencia de estos factores en la composición del hueso.

CAPITULO II

Factores Relevantes en Estudio de Paleodieta

2.1. Tejido Óseo

El tejido óseo es el material analizando para inferir paleodieta de poblaciones antiguas y puede ser un indicador del escenario o hábitat.

La formación especializada del hueso es el tejido conectivo y conjuntivo, caracterizado por sustancias intracelulares calcificadas (Houssay , 1976).

La constitución celular de la materia viva del hueso compone del 1 al 5 % del volumen total del hueso adulto. Puede ser de cuatro tipos: *Osteoblastos*, los que sirven para crear nuevas matrices intracelulares; *Osteoclastos*, participan en la resorción del calcio; *Osteocitos*, su origen se da de los osteoblastos y sirven para mantener al hueso como tejido vivo; y por último, las *células indiferenciadas*, las que se encuentran fundamentalmente dentro de los espacios internos del hueso y en la membrana que cubre el exterior del mismo, y forma nuevos osteoblastos u osteoclastos.

Lo que constituye al hueso son los tejidos compacto y esponjoso (Figura 2), la unidad funcional para el tejido compacto son las osteonas y para el tejido esponjoso es la trabécula ósea (Wallington,1976). La osteonas constan de laminillas concéntricas, contenidas principalmente de vasos sanguíneos y tejido laxo, en conjunto conforman los sistemas de Havers.

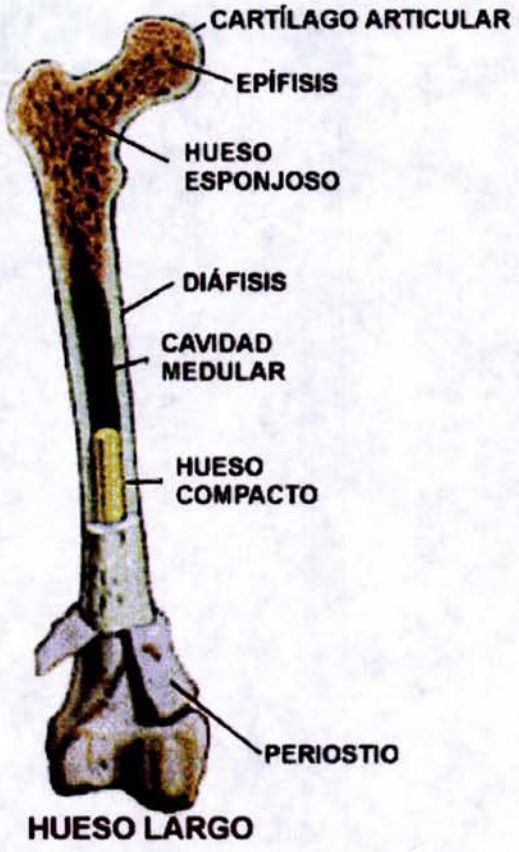

Figura 2: Corte longitudinal de hueso humano, donde se observa la estructura interna, Ubicación del tejido compacto y esponjoso.[1]

En el hueso esponjoso las trabéculas están constituidas por un conjunto de laminillas. No existe una diferencia en cualidades o estructuras biológicas en lo que respecta a las laminillas óseas entre el hueso compacto y esponjoso.

En los huesos hay una cobertura de membranas fibrosas, *el periostio*, compuesto por una capa externa conjuntiva y otra interna, formada de fibras elásticas y osteoblastos. Ésta rodea al hueso, con excepción de las incrustaciones de los cartílagos y de los tendones. Su función es la distribución de los vasos del tejido óseo y la formación y reparación del mismo. Tiene el nombre de endosito (llamado periostio interno) y es el tejido que cubre la cavidad medular del hueso (Diccionario Terminológico de Ciencias Medicas,1966 *en* Brito, 1999). Su composición depende de la edad del individuo, por ejemplo el tejido recién formado tiene alrededor de un 60 % [1]

---

[1] (htpp//www.proyectosalon.hogar.com/cuerpo.humano_cuerpo_oseo.htm)

de agua, mientras que en el hueso senil, tal cantidad desciende hasta el 10 %. El contenido acuoso medio del hueso adulto es de 25 a 30 % (Houssay,1976).

El peso seco del hueso compacto, la sustancia orgánica o matriz ósea representa un 35%, y la fracción inorgánica el 65 % restante (figura 3); sin embargo, el hueso recién formado tiene una proporción mayor de la fracción orgánica.

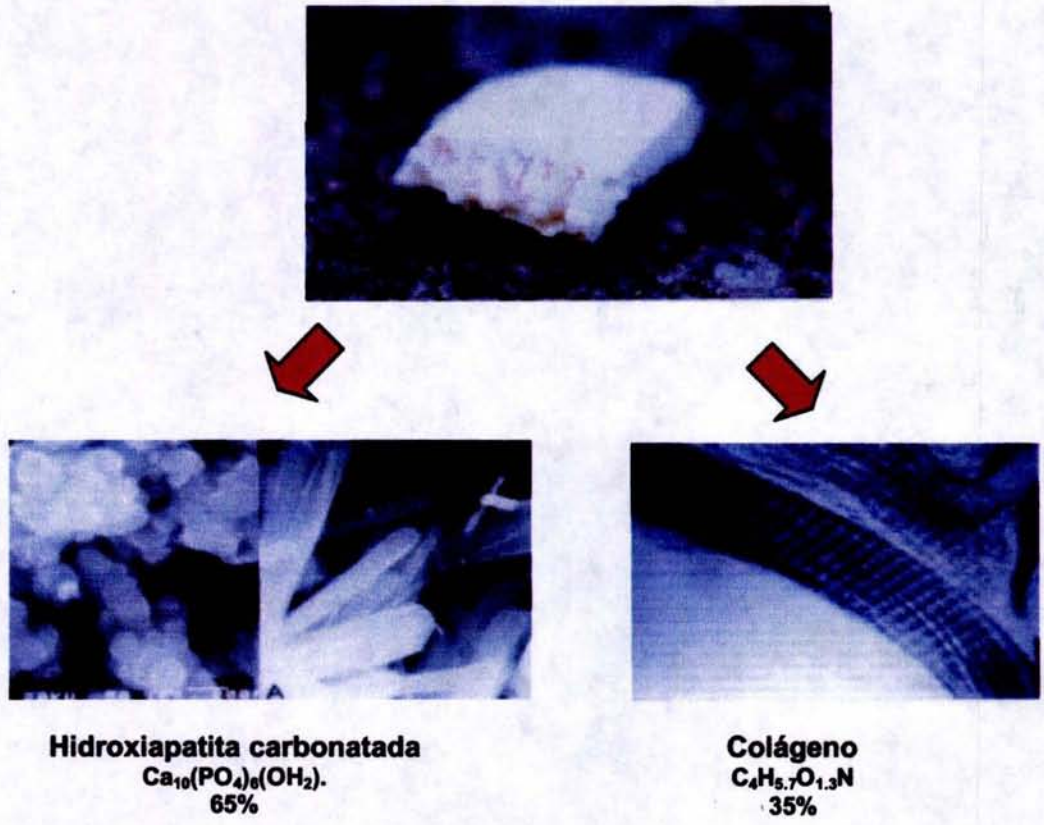

Figura 3: Composición del tejido óseo donde se muestra un 65% de Cristales hidroxiapatita y la parte restante de fibras de colágeno.(Ruvalcaba)

La matriz orgánica se compone de 95% de fibras colágenas; el 5% restante corresponde un medio homogéneo llamado sustancia fundamental. Estas fibras dan a los huesos su gran fuerza ténsil. La sustancia fundamental está formada por liquido extracelular, mucoproteína, sulfato de condroitina y ácido hialurónico.

En la composición de las proteínas, el colágeno está caracterizado por la presencia de hidroxilisina; de los 18 aminoácidos de la cadena polipéptídica tenemos; la glicina, ocupando la tercera parte de la porción, la otra ocupada por la alanína, la prolina y la hidroxiprolina, mientras que la restante comprende catorce aminoácidos. Las cadenas de polipéptidos, se hallan enrollados entre sí y constituyen la estructura denominada hélice.

Las macromoléculas llamadas fibrillas colágenas, poseen estriaciones transversales cada 640 Å. Las fibrillas de 0.1 a 0.2 μm de diámetro se reúnen en paquetes de 3 a 5 μm de espesor, denominados fibras de colágenas.

La conjunción de otro grupo son los mucopolisacáridos (especialmente condroitinsulfatos), las mucoproteínas, las sialoproteínas y finalmente las grasas. Todos estos grupos constituyen las sustancias fundamentales o amorfas que conforman el líquido extra celular.

La fracción mineral del hueso se compone de los elementos químicos y radicales: calcio, fosfato, oxidrilo, carbonato y citrato, con pequeñas cantidades de otros, en especial de sodio, magnesio, potasio, cloro y flúor.

El mineral presente en hueso posee una estructura cristalina perteneciente al grupo de las apatitas. La estructura de estos cristales es el de la fluoroapatitas, mineral encontrado en las rocas, aunque con la diferencia de que en el hueso la posición de los átomos de flúor en la fluoroapatita se halla ocupada por grupos oxidrilo $(OH)^{-1}$, por ello el cristal óseo es denominado hidroxiapatita $(Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$. Su estructura molecular se determinó mediante análisis químicos y difracción con rayos X, las dimensiones de los cristales son de 200 a 700 Å de largo, por 30 a 50 Å de espesor.

El reemplazo del estroncio, bario, radio, plomo, magnesio, e incluso el sodio se da con los iones de calcio y en el carbonato con los iones de fosfato. Los diferentes iones de líquido extracelular o algunos que pasan temporalmente por ahí penetran en grado variable en las capas de hidratación y en ocasiones pueden llegar a la superficie del cristal. Algunos de los iones capaces de llegar hasta el interior pueden ser radioactivos, como el radio y el estroncio 90.

Entre las sales minerales presentes en hueso se encuentran las de magnesio, sodio, potasio y carbonato; sin embargo, el alcance de la técnica difracción de rayos X

no permite observar la señal de sus cristales. Por lo tanto, parece que se encuentran adsorbidos en la superficie de los cristales de hidroxiapatita, en lugar de estar organizados en cristales propios y distintos. La capacidad de absorción de los cristales del hueso, es propia de los iones que normalmente no se encuentran en el hueso, como estroncio, uranio, plutonio, los demás elementos transuránicos, plomo, oro, otros metales pesados, y cuando menos nueve de los 14 productos radioactivos. Los cambios en el organismo por la ingesta de alimentos por medio del metabolismo se dan mediante un intercambio energético, así como intercambio mineral (Brito 1999).

2.2. Metabolismo

El metabolismo es el proceso que comprende el balance de todas las sustancias asimiladas y requeridas por el organismo; se tienen dos tipos de metabolismo

- **Basal o general**

La asimilación de elementos nutritivos depende de la descompensación energética durante los distintos periodos del ciclo de vida:

El anabolismo o asimilación: da lugar a la formación de sustancias propias y especificas que requiere el organismo para sus funciones vitales.

El catabolismo: que es la desasimilación o desintegración de sustancias mediante mecanismos de descomposición de las sustancias tisulares en constituyentes más simples, cuyos productos finales suelen excretarse a través de la orina, las heces, la piel y los pulmones.

Estos dos procesos se mezclan temporalmente en el llamado metabolismo intermedio o ciclo energético, que es la transformación de energía química de los alimentos en calor o trabajo.

Las sustancias nutritivas orgánicas comprenden a los hidratos de carbono, proteínas y grasas que desempeñan el papel plástico y energético. El primero porque forma la masa corporal específica y el energético, porque su oxidación suministra la energía que utiliza el organismo para producir calor o trabajo.

- **Mineral**

Es el constituyente principal de las cenizas obtenidas al quemar tejidos vegetales o animales (Robinson, 1979). El cuerpo de un adulto está constituido aproximadamente por: 4% de elementos químicos minerales, correspondiendo el resto de las proteínas (16%), grasas (18%), carbohidratos (0.7%), agua (60%) y pequeñas cantidades de vitaminas (1.2 a 1.5%). Mas de 50 elementos químicos que se presentan en la naturaleza se encuentran presentes en tejidos y líquidos corporales. Del 4% mineral, alrededor del 2% corresponde al calcio, el 1% a fósforo y el 1% restante a potasio, azufre, sodio, cloro, magnesio y hierro (MacBryde y Blacklow, 973).

Los minerales han sido clasificados dependiendo de su cantidad en el cuerpo como elementos mayores y elementos traza, los que a su vez se agrupan de acuerdo a las funciones que cumplen. Los *elementos mayores* son los más abundantes y participan en los componentes estructurales mientras que los *elementos traza*, constituyen menos del 0.01% de la masa total del cuerpo. Estos últimos participan en las reacciones catalíticas, en las que atrapan sustratos de las enzimas, en la donación y aceptación de electrones en las reacciones vitales para el metabolismo de óxido-reducción, en la aceleración, transportación y liberación de otros elementos.

Los elementos mayores: Comprenden al carbón (C), hidrógeno (H), oxigeno (O), nitrógeno (N), calcio (Ca), fósforo (P), potasio (K), azufre (S), cloro (Cl), sodio (Na) y magnesio (Mg). En conjunto constituyen alrededor del 96% del peso del cuerpo humano; el oxígeno y el hidrógeno forman el agua, que representa el 76% del peso corporal.

Dichos elementos junto con el azufre y el fósforo, se caracterizan como "bloques de construcción molecular de materia viva" Chapman (1983) (Frieden,(1972), Sandford, (1993) *en* Brito 1999) . A este grupo pertenecen los "macro elementos esenciales" el sodio (Na), calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), cloro (Cl), azufre(S) y fósforo (P), el conjunto de elementos tienen actividad en al arquitectura y funciones de célula, de los tejidos y de los órganos.

Los elementos traza: Hierro (Fe), zinc (Zn), cobre (Cu), manganeso (Mn), níquel (Ni), molibdeno (Mo), cromo (Cr), selenio (Se), yodo (I), flúor (F), cobalto (Co), estaño (Sn), silicio (Si), vanadio (V) y arsénico (As). Se denominan "microelementos esenciales" al hierro, cobre, cobalto, zinc, manganeso, yodo, molibdeno, selenio, flúor y cromo. El consumo total requerido de éstos es aproximadamente de cuatro mg en una dieta diaria. El resto: Estaño, níquel. silicio, vanadio, arsénico en general son necesarios para los animales, continúan las investigaciones entorno a su utilidad y funciones dentro del organismo humano.

Existe un grupo de elementos que son considerados contaminantes, como: el plomo, mercurio, bario, estroncio, boro, aluminio, litio, berilio, rubidio, oro y plata (Robinson y Elias., 1986, McLaren,1983).

Clasificación de elementos de acuerdo su función: *Elementos de fácil absorción y excreción*: son los que se absorben en forma de compuestos simples de hidrógeno, oxigeno, carbono, nitrógeno, sodio, potasio y cloro, los cuales son excretados a manera de orina y o bien en el aire exhalado en forma de bióxido de carbono.

Elementos de absorción incompleta y fácil excreción: Se ingieren con los minerales y compuestos insolubles como el calcio, magnesio y fósforo, los cuales son excretados como elementos libres.

Elementos de difícil absorción y excreción: estos alcanzan concentraciones tóxicas: hierro, cobalto, cobre, zinc y manganeso. Exceptuando al primero, se encuentran en cantidades insignificantes en los alimentos (McLaren,1983).

En la tabla 1 se muestra un resumen de los elementos mencionados, se agrupan según su participación en los procesos de absorción y excreción, así como sus principales fuentes alimenticias.

Para este estudio se tomaron en cuenta los factores que intervienen en la fijación elemental del hueso Intrínsecos que se refieren a los que suceden dentro del organismo vivo (fisiología), y que provocan diferencias elementales en el tejido óseo. Y los extrínsecos refiriéndose a lo que sucede en el organismo después de muerto *(postmortem)* y durante su entierro.

2.3 Factores Intrínsecos (que afectan al hueso)

Hay tres procesos bioquímicos que se llevan a cabo entre los iones en solución y el mineral óseo, y que se desarrollan en la interfase líquida intracelular con el tejido óseo, éstos son el intercambio iónico, la deposición ósea y la resorción ósea.

Intercambio iónico : El hueso recién depositado se encuentra en equilibrio en líquido extracelular, por lo que recibe el nombre de hueso intercambiable. El intercambio de los diversos iones tiene lugar entre la superficie de los cristales óseos y el líquido extracelular. Así, cuando aumenta la concentración de ion de calcio en el líquido extracelular, éste se deposita en el hueso, mientras que la disminución en su concentración induce al camino inverso.

Tabla 1: Elementos y su participación en el metabolismo.

ELEMENTO	LOCALIZACIÓN	FORMA ABSORCIÓN O DONDE SE DEPOSITAN	FORMA DE EXCRECIÓN	LAS FUENTES ALIMENTICIAS
Calcio (Ca)	Tejido óseo y liquido extracelular 99%	----------	Intestino y restante por el riñón	Leche y derivados, cal de la tortilla
Fósforo (P)	Tejido óseo80-90% y 10% tejidos blandos	A manera de fosfatos por el tracto gastro intestinal	En la orina regulada por la paratiroides	Pescado, cereales harina de grano entero, verduras y frutas en pequeñas proporciones
Potasio(K) Sodio(Na) Cloro(Cl)	Tejidos, órganos y músculos nerviosos -Bomba de sodio. Espacios intracelulares. 2 a 4 gr de K 4 a 6 gr de Na 5 a 15 gr de Cl	Intestino delgado y transportado por la sangre y los vasos linfáticos.	Por el riñón, heces fecales y sudor a través de la piel.	En las sales, frijol, quelite , aguacate , plátano , carne de venado , liebre y conejo. Na: Mariscos, pescado, cecina y bacalao.
Zinc (Zn)	2 g en cabello, piel, uñas y testículos. Musculatura y tejido óseo 90%	Tubo digestivo y en el duodeno del Intestino delgado. Hueso y musculatura.	Heces fecales, orina y sudor	Mariscos (ostras), carne, hígado, huevo, leche, legumbres, pan, avena centeno y maiz
Estroncio(Sr)	Tejido hematopoyetico.	----------	----------	Granos, cereales y menor cantidad carne. Plantas y animales.
Magnesio(Mg)	De 50 a 60% se combina con calcio y fósforo en estructura ósea y células del organismo musculoso	En los huesos Cristales de la hidroxipatita	Por bilis, jugo pancreático, liquido intestinal, sudor que constituye del 10 y 25% Excreción renal	Leguminosas, grano entero y clavo de especias, Arándano, carne, pescado y productos lácteos
Hierro(Fe)	69 y 70% en eritrocitos. 30 al 35% en hígado, bazo y medula ósea.	Células de la mucosa intestinal.	Por la piel, excreción urinaria. Hemorragia menstrual.	Carne, pescado, ave de corral, huevos, grano, papa, frutas seca, cereales, leche y sales de componentes dietéticos.
Azufre(S)	0.25% del peso corporal, todas las células del cuerpo especialmente aminoácidos	Tracto intestinal en forma orgánica	Orina en forma inorgánica y excretado como sales inorgánicas.	Carne, vegetales, leche, huevos y leguminosas El suelo de donde provienen los vegetales.
Cobre(Cu)	70 a 80 mg de la tercera parte se localizan en el hígado, encéfalo, corazón, riñones, páncreas, vaso, hueso, tejido de músculo esquelético.	Estómago, duodeno del intestino delgado y plasma sanguíneo.	La bilis que se elimina a través de las heces fecales, la orina.	Crustáceos, mariscos, sobre todo ostras, nueces legumbres secas, uvas pasas, el cacao y los cereales.
Yodo(I)	75 hasta 150 mg encontrados en la tercera parte en la glándula tiroides.	Como yoduro inorgánico, el grado de absorción depende del nivel circulante en la hormona tiroides	Orina	Mariscos, pescado de agua salada, berros, cebolla y sal yodatada que contienen algunos alimentos.
Flúor (Fl)	Sal de calcio en hueso y dientes	----------	Riñón y glándulas sudoríparas	Leche, huevo y pescado.
Selenio(Se)	En tejidos	En el hígado y riñones.	----------	Carne
Cromo(Cr)	2.5 g En lipidos	Intestino, sangre y se almacena en tejidos	----------	Carne, queso, condimentos, granos, verduras foliaceas, arroz, harina y azúcar refinada.
Cobalto(Co)	En el páncreas	Intestino	----------	Granos, cereales, viseras como el hígado, otros vegetales, concentraciones considerables en bebidas alcohólicas de fermentación y leche
Silicio(Si)	Tejido conjuntivo, cabello, uñas y capa externa de la piel y los ojos.	----------	----------	----------

A fracción de calcio óseo que se encuentra en intercambio iónico con él liquido extracelular se le denomina calcio intercambiable, y se ha calculado que en el hombre representa de 3 a 6 g.

Al hueso se le considera no intercambiable ya que las osteonas maduras y calcificadas no tienen intercambio extracelular; es por ello que el calcio incluido en ellas no es intercambiable, representando este el 99% del calcio óseo. El organismo no puede depender de este calcio a menos que los cristales óseos sean destruidos por medio de los osteoblastos estimulados por la hormona paratiroides.

Deposición ósea: Se denomina deposición u osificación a la transformación de tejido conectivo membranoso o cartilaginoso en tejido óseo. En deposición se osifica por vía endoconjuntiva y la transformación por osificación endocondral.
Los huesos de la cabeza se forman por osificación endoconjuntiva, mientras que los huesos de los miembros y el tronco, lo hacen por osificación endocondral y por osificación perióstica (tipo de osificación endoconjuntiva). La deposición ósea se debe a las células osteoblastos, que fabrican la matriz ósea, y crean así las condiciones bioquímicas necesarias para la calcificación. La calcificación del hueso, es el proceso bioquímico por medio del cual las sales del calcio se depositan en la matriz ósea.

Resorción: La resorción ósea se debe a la acción de las células multinucleadas denominadas osteoblastos, cuyo número y actividades están bajo el control de la hormona paratiroides. Estos segregan enzimas que producen la despolarización de los mucopolisacáridos de la sustancia fundamental, hidrólisis del colágeno y disolución de los cristales de hidroxiapatita.

En los adultos hay un equilibrio de tal manera que la masa del hueso no varía ya para la vejez, contrariamente a la fase de desarrollo, la deposición es menor, por lo que la masa ósea disminuye lentamente (Houssay, 1976).

2.4 Factores Extrínsecos (que afectan al hueso)

Los principales son: Deterioro óseo, factores que influyen en cuanto al entierro, factores físico químicos, el tiempo de enterramiento y lugar de enterramiento.

2.4.1 El deterioro óseo

Este varía de acuerdo con el tipo de hueso, sexo, edad y estado de salud del individuo al que pertenecía. La descomposición macroscópica y microscópica de los constituyentes orgánicos e inorgánicos sufren alteraciones después de la muerte del individuo.

Los cambios que pueden ocurrir al hueso son: Deterioro continuo hasta llegar a su desintegración o, en un ambiente propicio, a la fosilización mediante un proceso de mineralización (Pipenbrink, 1986, Hare,1980). La fosilización implica que la materia orgánica se desintegra y los poros que la contenían se llenan con sales minerales (Dowman, 1970).

Es difícil determinar la preservación de las fracciones orgánicas e inorgánicas con base a la morfología externa del hueso. Por que la sustancia orgánica se desintegra y la estructura fisiológica se disuelve por intercambio iónico, pese a que su apariencia exterior pueda mantenerse en buen estado (Newesely, 1989).

- El ***deterioro inorgánico:***

Éste es causado principalmente por la degradación de la hidroxiapatita. Los mecanismos primarios de la diagénesis en la fracción mineral del hueso se dan por el intercambio iónico con las soluciones del suelo. Los fosfatos de calcio, y la recristalización y maduración de cristales, que incluyen la conversión de hidroxiapatita microcristalina biogénica a una bien cristalizada apatita. Por otra parte los iones de hidrógeno de ácidos pueden reemplazar el calcio de la hidroxiapatita, de tal manera que el calcio del hueso se disuelve por la fracción soluble del suelo, en este mecanismo intervienen los iones solubles intercambiables.

Esto nos da una hidroxiapatita rica en hidrógeno pero pobre en calcio, particularmente en la superficie ósea. Si las soluciones en el medio son menos ácidas, el calcio puede reemplazar el hidrógeno en la hidroxiapatita. La degradación de la hidroxiapatita se incrementa porque los iones fosfato fosfato se precipitan en forma de fosfatos de fierro y aluminio.

Los cambios que se efectúan en la materia mineral dependen también de la composición del agua subterránea que se filtra y por ello hay dos tipos de cambio: La alteración del material fosfático del que se componen principalmente los huesos (hidroxiapatita), y la adición de nuevas sustancias minerales (como cal u óxido de hierro) en los poros (Oakley, 1980). En éste último, los dos elementos que se acumulan son el flúor y el uranio, que sustituye a la hidroxipatita, lo que implica un aumento en el peso de la osamenta (fosilización).

- ***El deterioro orgánico:***

Se refiere a la materia orgánica compuesta por grasas y proteínas. La primera se pierde con mayor rapidez después del entierro, mientras que la segunda tiene un proceso de pérdida que depende de las condiciones de enterramiento. En condiciones de climas fríos, anaeróbicos y sin bacterias, se pueden preservar los huesos por miles de años.

Lazos (1992) hace referencia de que un medio aeróbico y húmedo es muy propicio para la formación de microorganismos, de donde se puede esperar que el colágeno se degrade más rápidamente que la fracción inorgánica. Los cristales individuales alargados de hidroxiapatita están encerrados en redecillas de colágeno, por lo que la pérdida de proteína debilita la rigidez del hueso. En la parte interna donde los cristales de hidroxiapatita están prácticamente empacados, la degradación tiende a ser más lenta. Varios agentes como el hierro ferroso y los metales pesados son capaces de inhibir el deterioro de colágeno.

De acuerdo con Gofferm (1880) el deterioro del material óseo respecto a su entierro está definido como el proceso de ajuste degradativo de los materiales en las condiciones del medio ambiente inmediato. En otros casos dichas alteraciones del hueso implican su total destrucción; en otros casos los cambios otorgan al hueso una estabilidad, es decir un equilibrio en el medio que le rodean (Price, 1989).

Las *condiciones ambientales* se encargan de transformar al hueso principalmente por descomposición. Este proceso es el último en la destrucción del cuerpo, que empieza inmediatamente después de la muerte y cuyo progreso depende de las condiciones ambientales en que se deposita (Piepenbrink , 1986).

El *medio ambiente* se refiere al conjunto de todas las influencias externas sobre el objeto de estudio y depende del medio de exposición, el cual se refiere al lugar donde se localizan los restos humanos. Este puede ser de tres tipos: Acuoso, en el que se encuentran inmersos; terrestre, donde el material esta enterrado, y aeróbico, cuando los restos o fragmentos están expuestos al aire.

En el caso de *deterioro* se puede dividir en dos grandes rubros: El primero, se refiere al que sufre el material desde su depósito hasta el momento del hallazgo. El segundo, es aquel que se inicia al ser descubierto y sufrir un cambio drástico en las condiciones ambientales; éste puede continuar de manera indefinida ó frenarse algún tiempo gracias a la aplicación de tratamientos de conservación.

Los factores que determinan *la preservación* son de índole físico, químico y biológico; pueden ser tanto extrínsecos como intrínsecos al esqueleto y actuar de manera dependiente o independiente unos de otros.

2.4.2 Factores que influyen en cuanto al entierro

La preservación ósea en un ambiente natural se encuentra en función de tres factores extrínsecos.

- **El medio ambiente.**

Aquí se incluyen el contexto arqueológico, que comprende elementos geográficos (suelo, sedimento o rellenos).

Este se refiere a las condiciones del medio que influyen en el individuo enterrado. El contexto de enterramiento consta de los componentes siguientes:

Suelo: Capa de tierra fina que cubre la superficie y que tiene como función de alimentar la vida animal y vegetal. Consiste en una secuencia de capas diferenciadas,

química y biológicamente, llamadas horizontes o estratos, que se forman por la acción de la lluvia, temperatura, presión, calor, sustancias inorgánicas y orgánicas sobre los residuos no consolidados de rocas y minerales de la superficie de la tierra. Las soluciones en las capas varían en su composición y concentraciones, a causa de los cambios químicos que tienen efecto (Brady,1974).

Sedimento: Depósitos de materia sólida o coloidal que se forman como productos de procesos en la superficie terrestre, por cualquier medio físico, químico o biológico. Estos procesos incluyen la acción química, mecánica y del clima para la alteración de rocas ya existentes; los procesos de transportación del material desde su origen hasta el sitio de depósito; el depósito en el medio sedimentario, y los procesos posdeposicionales o diagenéticos, en los cuales los sedimentos se compactan con las rocas madre para formar nuevas rocas (Hassan, 1978).

Tamaño de la partícula: El tamaño de las partículas en el suelo tiene relación con las propiedades químicas y con la vida vegetal. Por ejemplo, la grava permite un rápido movimiento de aire, agua y calor a través de ellas por su tamaño a diferencia de la arena, limo y la más pequeña, arcilla (Hassan, 1978). Muchos contextos se conforman por la mezcla de diferentes tipos de partículas.

Compactibilidad: Cuando el depósito queda enterrado por la acumulación de nuevos materiales depositados, tienen lugar un asentamiento local bajo la carga, con expulsión del exceso de agua esto esta propenso a la compactación o consolidación la cual involucra perdida de espacios porosos, con la correspondiente pérdida de gas incluyendo también un reacomodo de las partículas que componen el suelo. Este tipo de acción se desarrolla más en arenas que en otro tipo de contextos, pues los gases penetran con mayor facilidad para después convertirse en ácidos que atacan los materiales (Dowman, 1970)

Porosidad: Colectividad de huecos que se forman entre las partículas, los cuales son ocupados por aire y agua, originando suelos secos y húmedos, respectivamente.

Permeabilidad: El movimiento y retención del agua están determinados por el tamaño, la forma y la distribución de los poros en el suelo y la cantidad de partículas de arena, arcillas y limo en la superficie del suelo (Brady, 1974). El contenido de humedad en un contexto varía de sequedad hasta saturación, por lo que la consistencia puede

ser dura, frágil, plástica, suave o viscosa. Un medio compacto reduce la permeabilidad al aire y al agua, e incrementa su resistencia.

La arena tiene un sistema eficiente de drenaje con una mayor oxigenación en los niveles superficiales, lo cual impide retener agua., permite la entrada de gases atmosféricos entre sus partículas, por lo que este contexto tiende a ser más aeróbico que arcilloso.

Aeración: Es el movimiento de gases dentro de las capas subterráneas y depende de las concentraciones de los gases en el suelo y en la atmósfera, así de la capacidad del suelo para transmitir dichos gases. El aire en el suelo difiere del de la atmósfera: el primero contiene de cinco a cien veces más dióxido de carbono y menos oxígeno, y está saturado de vapor de agua. En la profundidad, en las capas con pobre drenaje, el dióxido de carbono aumenta en 10%, y el oxígeno decrece en 1%.

2.4.3 Factores fisicoquímicos

El agua y la humedad, la temperatura, el oxígeno, la luz y el grado de acidez o de alcalinidad. Son los más importantes en el daño a restos óseos inhumados.

Oxígeno: Tiene un abundancia del 21% en la atmósfera y se considera el factor universal de deterioro de materiales arqueológicos y orgánicos. El oxígeno junto con la humedad facilita la degradación de los materiales por la oxidación (Gofferm, 1980)

Agua y humedad: El agua es un agente que tiene un doble papel de agente y es de los más importantes en el deterioro; actúa química y físicamente, y otras de manera simultánea. *La lixiviación* es la principal acción del agua en los huesos dependiendo de las condiciones ambientales depende de la degradación por perdida de minerales
Puesto que el agua es un factor primordial en la nutrición de plantas y animales, tiene una gran influencia en los procesos de degradación causados por los agentes biológicos. En grandes cantidades, como en la formación de arroyos o corrientes subterráneas, ejerce una fuerte acción erosiva. Pero no sólo por su presencia, sino también por su ausencia, el agua puede contribuir a la destrucción de los objetos. De hecho, la mayoría de los materiales requieren una cantidad mínima necesaria para el mantenimiento de sus propiedades en uso, que si no es la adecuada, provoca fragilidad o rigidez y los vuelve quebradizos.

Temperatura: Esta cambia en la superficie terrestre dependiendo de la profundidad, y de las estaciones del año, así como de la energía radiante que alcance a la superficie. También el calor producido por la descomposición microbial de materia orgánica fresca puede incrementar la temperatura dentro del contexto.

Los suelos o sedimentos de color oscuro absorben más energía que los de colores claros. Los efectos de la vegetación que cubre la superficie mantiene una temperatura más fría que en los suelos desnudos. Una regla general establece que la cantidad de reacciones químicas se duplica alrededor de los 10 ^{0}C. Se ha demostrado experimentalmente que el grado en el que el hueso pierde nitrógeno depende fundamentalmente de la temperatura.

La formación de sales depende fundamentalmente de la humedad en la combinación con la temperatura, en climas constantes (cálidos o fríos), la precipitación pluvial es suficiente para remover sales solubles.

Donde hay cambios constantes en la temperatura y en la humedad relativa, las sales en solución penetran en el objeto y se cristalizan al evaporarse la humedad por la acción del calor. Las sales, en su movimiento hacia el exterior, pueden empujar la superficie del objeto y destruirlo totalmente. En otros casos, los carbonatos de calcio penetran y se cristalizan en el interior, llenando los poros del material tras la destrucción de otros elementos a los que terminan sustituyendo (Dowman, 1970).

Luz: Es el factor natural responsable de la mayor degradación fisicoquímica en materiales. Solo una pequeña porción del espectro solar provoca cambios trascendentales; más bien son los rayos ultravioleta los responsables de los grandes daños. Cuando la luz solar incide directamente provoca una serie de reacciones llamadas de degradación fotomecánica que es la destrucción del material por el dicha reacción es causada por los rayos solares produciendo un desplazamiento de átomos en sus moléculas constituyentes (Gofferm, 1980).

Acidez y alcalinidad: *(pH).* En la conservación del material óseo se considera que los contextos con valores neutros de pH-7 provoca un menor deterioro. Aunque esto no es una condición absoluta. Dowman junto con otros autores (1970) plantean que las condiciones de alcalinidad son idóneas para la preservación de los materiales aunque esta tesis no sea sostenida por experiencias prácticas.

En las condiciones ácidas el material óseo en excelente estado de conservación procede de sitios arqueológicos con un pH de entre 3.5 y 6. Las condiciones más favorables son debidas a los contenido de manganeso y la acidez que impiden la formación de microorganismos, la falta de penetración de oxígeno y un grado de humedad constante, lo cual proporciona una temperatura estable.

***Contextos orgánicos*:** En estos medios, como las turbas, alrededor del 95% es material carbónico. Los elementos más abundantes son carbón, oxígeno e hidrógeno, al igual que fósforo, nitrógeno y sulfuro son constituyentes importantes, esto crea un ambiente reductor (Brady, 1974).

***Contextos minerales*:** El 95% de la masa del suelo es mineral, formada principalmente por compuestos metálicos y de silicatos, tales como aluminio, magnesio, sodio, potasio, calcio y hierro; este tipo de suelos se encuentra principalmente en climas fríos y se descompone con dificultad.

***El clima*:** Es un conjunto de condiciones atmosféricas en un lugar o región. Éste tiene una enorme importancia en la formación de los suelos y es el factor principal, directo o indirecto, de mucha de la actividad química de ellos.

2.4.4 Agentes biológicos

Se refiere a todas las formas de flora y fauna desde micro hasta macroorganismos para que se lleven a cabo la destrucción de los huesos ,

La flora: Se refiere a los árboles, arbustos, pastos etc. El crecimiento de éstos afectan las estructuras por medio del crecimiento de las raicillas que penetran en la capa estratigráfica y generan grietas.

La fauna:.Los insectos, reptiles (serpientes) y mamíferos son los que mas alteran los restos humanos. También se reportan daños por peces, en cuerpos sumergidos en agua por algún tipo de ritual. Los mamíferos como conejos, roedores y perros que son excavadores y constructores de madrigueras remueven los objetos o los utilizan como material de vivienda. Las serpientes, excavadoras innatas, pueden provocar remoción de los restos.

El nivel microscópico de organismos vivos incluye bacterias y hongos, que no sólo causan efectos en la destrucción del hueso sino que producen marcas que pueden confundirse con rasgos indicativos de patologías. Son los principales contribuyentes de la destrucción y alteración del hueso (Brito 1999).

Color: Se asocia con causas naturales (químicas y biológicas) o de conducta humana. En el primer caso es pertinente es hacer las siguientes anotaciones:

El color negro se puede presentar como producto de la precipitación del óxido de manganeso y humus.

Los colores rojizos en los depósitos arqueológicos se deben principalmente a la incidencia del calor o al resultado del movimiento del hierro del suelo.

El color blanco indica la presencia de carbonatos y sulfatos de calcio (calcita y yeso) o puede deberse a la existencia de conchas de moluscos y hueso triturado.

Los tonos verdes se presentan con poca frecuencia, aunque es posible encontrarlos en condiciones intensamente anaeróbicas por la presencia de varios compuestos de hierro reducido (Barba et *al.*, 1991).

2.4.5 El tiempo de enterramiento.

Existe la hipótesis de la sustitución molecular del magnesio (Mg) y el silicio (Si) en un medio ácido por $CaCO_3$, dando lugar a las condiciones favorables para la degradación de los cadáveres hasta que se convierten en esqueleto. Esto depende del tiempo de enterramiento en coacción con las propiedades fisicoquímicas del contexto de enterramiento.

Debe hacerse énfasis en que el ser humano es el único ser viviente que entierra a sus muertos. Este hecho tiene un enorme significado expresado mediante ritos y prácticas funerarias que reflejan sus creencias y concepciones. La información que proporciona la etnografía de los pueblos que habitan a lo largo y ancho del mundo ilustra claramente las actitudes que el hombre asume frente la extinción de la vida (Serrano, 1988). El que determina quién va a ser enterrado, cuándo, dónde y como, es el hombre y justamente es él quien decide si un cuerpo será inhumado, cremado, embalsamado, desmembrado, sacrificado, consumido o abandonado.

Lugares de enterramiento: La deposición de los cadáveres se ha detectado en todas las épocas y en todo el mundo, salvo en aquellos casos en que los entierros se presentan de manera fortuita, como los fósiles de los homínidos. En este caso se incluyen los depósitos naturales o geológicos que son los que se han conformado con materiales depositados por agentes naturales como deslizamientos, acarreo por agua, aire y suelo (gravas fluviales, arena y turberas), o bien por amontonamientos de conchas o cenizas volcánicas. Se tienen también los depósitos culturales , arqueológicos; su formación se debe a la actividad humana como superposición de pisos o estructuras.

Sistemas de enterramiento: Estos pueden ser directos o indirectos, primarios o secundarios, con ofrenda funeraria o sin ella, enterramiento de un solo individuo o varios. La posición y orientación varía de acuerdo a práctica ritual o las simples costumbres cotidianas. El entierro *directo* se realiza en un agujero profundo o somero, con el único propósito de permitir el depósito del cadáver dentro de la fosa.

El entierro *indirecto*, emplea construcciones hechas con propósitos funerarios monumentales, donde el piso y las paredes han recibido un tratamiento o un revestimiento previo de cualquier tipo. Otro entierro indirecto son los realizados en formaciones naturales como cuevas, grutas, cavernas, oquedades, pozos o cenotes.

CAPITULO III

Zona de estudio: Teotihuacan

3.1 Teotihuacan como Zona de estudio

Al noroeste de la cuenca de México se encuentra el valle de Teotihuacan, delimitado al norte por el Cerro Gordo, al sur por Patlachique, al este por los llanos y se extiende hacia el oeste sobre la misma cuenca.

La formación del valle, como el resto de la cuenca, es de origen volcánico, razón por la cual los afloramientos de lava son comunes. La cercanía de las minas de obsidiana de Otumba y de la Sierra de las Navajas (Pachuca); la existencia de manantiales de agua dulce en la porción suroeste del valle, sus rutas de acceso entre la costa del Golfo y la Cuenca de México y la cercanía del sistema lacustre de Texcoco confirieron un lugar privilegiado (Manzanilla, 1993).

Además, el valle tiene bancos de arcilla, basalto y tezontle; tobas para la construcción; tierras de cultivo en la llanura aluvial del río de San Juan el cual tenía un sistema de drenaje interno subterráneo, así como recursos forestales y fauna vinculados con las laderas montañosas.

Aunque hoy el valle se encuentra deforestado en su totalidad, existe información sobre un ambiente de bosques que además eran ricos en fauna. El clima, se estima, era cálido y húmedo.

Teotihuacan influyó y participó de manera muy importante en todas las regiones de Mesoamérica e incorporó al mismo tiempo rasgos importantes de su arquitectura en otras regiones. La cronología del sitio va del Clásico temprano al Epiclasico (1000-900 a.D.) y durante este periodo fue un centro rector del altiplano central. Teotihuacan comprendió un área de 20 km^2 y tuvo una población entre 150,000 y 200,000 habitantes en la época de su mayor auge y mantuvo alianzas políticas con centros oaxaqueños, como Monte Albán, y mayas, como Tikal y Copán.

Teotihuacan es el primer fenómeno urbano a gran escala; de hecho, ningún centro mesoamericano alcanzó su densidad ni su grado de planificación (Manzanilla,

1993). A partir del 200 d.C. se definen claramente los elementos de planificación urbana del sitio, así como la vida doméstica en conjunto habitacionales familiares. Teotihuacan inauguró una nueva forma de vida doméstica: el conjunto multifamiliar. Alrededor del área cívica y religiosa de Teotihuacan se dispone una serie de estructuras habitacionales familiares (Tlamimilolpa, Xolalpan, Atetelco, Tepantitla, La Ventilla, Tetitla, Zacualo, Bidasoa, además de las unidades habitacionales de San Antonio Las Palmas, Oztoyahualco y el Cuartel de San Juan). Contamos también con información de Tlajinga 33, que yace en los extremos de la ciudad.

Los conjuntos habitacionales generalmente consisten en varios cuartos a diversos niveles, alrededor de patios abiertos. (Algunos son de tipo ritual y otros son espacios que sirven de colectores de agua pluvial y de receptores de desechos, además de proporcionar ventilación y luz). Estos constan de diversos "apartamentos" unidos por pasillos de circulación; el conjunto consta de un muro externo.

Otro hecho que se observa en estos conjuntos es su diseño para lograr un máximo de privacía. Cada construcción estaba aislada de la calle y los muros externos no tenían ventanas. Contaban por lo general con un acceso desde el exterior. Los patios internos no estaban techados: así se lograba tener luz y aire, además de agua pluvial para el interior del edificio. Parecen haber sido ocupados por grupos corporativos de familias emparentadas, con oficios comunes (estucadores en Oztoyahualco, alfareros en Tlajinga 33, textileros en Tlamimilolpa, pintores en Xolalpan).

Los conjuntos varían en área: los hay muy grandes, como Tlamimilolpa (<3 500 m^2) y otros más pequeños; como el excavado en Oztoyahualco (<550 m^2). Cada conjunto esta formado por "apartamentos" para cada familia nuclear, que incluyen una zona de preparación y consumo de alimentos, áreas de estancia y quizá dormitorio, áreas de almacenamiento, patios de culto y áreas funerarias.

Sin embargo, hay zonas en que todo el grupo doméstico se reúne para desempeñar actividades comunes, en particular relacionadas con el ritual y quizá con la cría de animales domésticos. Además están las actividades que el grupo doméstico ofrece al ámbito urbano, principalmente actividades de manufactura y construcción. Es interesante resaltar la supervivencia de esta forma de vida doméstica multifamiliar en unidades domésticas obreras de Azcapotzalco, un antiguo centro de tradición Teotihuacana.

Los hallazgos de los entierros teotihuacanos a través de las excavaciones arqueológicas, son uno de los más notables resultados de las exploraciones sistemáticas que se han llevado en esta ciudad mesoamericana. A pesar de que Teotihuacan es uno de los sitios más investigados por los arqueólogos, cuyos estudios se remontan a más de un siglo de exploraciones, sólo se ha explorado alrededor de un 10% del sitio.

En Teotihuacan se han realizado excavaciones a partir de finales del siglo XIX, hasta las últimas exploraciones de finales de este siglo XX. Por medio de ésta se encontró que los enterramientos humanos han estado presentes continuamente (Millon 1973). Esto es de la mayor importancia ya que como se ha expuesto, los restos óseos son fundamentales para estudios de paleodieta. En principio, un análisis de los restos hallados en los entierros y sus contextos pueden contribuir notablemente para este fin.

3.2 Flora y fauna disponible en Teotihuacan

La ciudad de Teotihuacan fue una ciudad multiétnica y cosmopolita, que albergaba extranjeros y estableció relaciones de distinta índole con puntos lejanos de Mesoamérica. Con base en las exploraciones arqueológicas y las fuentes históricas se han podido establecer, algunos elementos sobre la flora y la fauna del lugar.

Las plantas cultivadas por los Teotihuacanos eran tres variedades de maíz , el fríjol negro, el fríjol ayocote , varias especies de calabaza, chile, jitomate, tomate, amaranto, quelites, epazote, huazontle, verdolaga, nopal, viznaga, capulín, tejocote y tunas. Hacia 600 d.C. tenemos evidencias de uso de amate y huizache.

Las plantas recolectadas generalmente estaban destinadas a la construcción, a la alimentación y a usos medicinales: Pino, encino, enebro, tejocote, carrizo, tule, verdolaga, papita silvestre, y zapote blanco. Existen otras evidencias de plantas alóctonas, probablemente de tierra caliente: El algodón, aguacate y el cacao (representado en el muro este de Tepantitla). Se considera que el tipo de cultivo predominante era el de temporal, especialmente en la llanura aluvial baja.

Ciertos autores han propuesto la existencia de agricultura intensiva para tiempos teotihuacanos, a pesar de las escasas pruebas arqueológicas, pues la mayor parte de las evidencias son posclásicas(posterior al 900 a.D.).

Por último, la zona de los manantiales, en el actual barrio de Puxtla -en San Juan Teotihuacan-, pudo albergar algún sistema de canalización alrededor de parcelas individuales, semejando un sistema de "chinampas secas"; quizás éste sistema fue copiado por los artistas que pintaron el Tlalocan de Tepantitla. Fuera de estas representaciones, no hay mayor evidencia.

Por otra parte se observa la existencia de vegetación: grana, nopales árboles de pirules sobre las estructuras prehispánicas.

En cuanto a la fauna predominaban conejos y liebres, venado cola blanca, peces de agua dulce y aves acuáticas, aves silvestres inclusive migratorias, como crías principalmente consumían guajolote y perro domestico ganso, codorniz, paloma, armadillo, ardilla, tortuga y lagartija (McClung, 1993)

En contextos rituales de Tetitla y Yayahuala se encontraron vestigios de águila, halcón y gallina de monte, y en contextos domésticos de Oztoyahualco, oso y jaguar. Son muy escasos los restos de peces

Respecto a los moluscos, podemos citar la presencia de especies terrestres y marinas (tanto del Pacífico como del Atlántico, predominando la primera región), tuvieron un uso ritual o de ornato.

El trueque se realizaba entre productores, los extranjeros que traían ciertas mercaderías, las redes redistributivas para asegurar la concentración del excedente y el auspicio de las artesanías, el intercambio a larga distancia por emisarios de las gente pudiente, son todos circuitos que pudieron haber coexistido pero en los cuales participaron diferentes bienes y sectores sociales (Gamio 1993).

Se ha pensado que los valles de Toluca, Tlaxcala y Morelos fuesen dependientes de Teotihuacan. Sitios como Cholula y sus asentamientos dependientes, como Manzanilla, Flor del Bosque, San Mateo y Chachapa, (Puebla) y Chingú (Hidalgo) quizá fueron centros de acopio de materias primarias y productos –como el algodón, el aguacate, la cal y otros- y que reconocían la supremacía de Teotihuacan con Cholula pasando al este y sur de La Malinche, y de ahí la ruta se conecta a la costa del Golfo a través de la Cuenca de Oriental. De Cholula partirían redes de intercambio hacia Oaxaca.

En relación con el intercambio en el área maya, circulaban materias primas como obsidiana, piedra volcánica, cinabrio, pedernal, conchas y caracoles marinos, alabastro, jadeíta, serpentina, plumas preciosas, hule, copal, ámbar, pirita y aun espinas de

mantarraya y dientes de tiburón, lo mismo que cerámica y figurillas. La península de Yucatán podría ofrecer miel, cera, sal, maderas y otros recursos a cambio de las materias primas minerales –como la obsidiana y la jadeíta- o el cacao procedente de las zonas del Altiplano y la costa del Golfo. Se ha propuesto que en el Clásico maya no existió almacenamiento centralizado, y que la fuente de poder político yacía en el intercambio.

La decadencia de Teotihuacan ocurrió entre el 650 y 750. Las causas concretas de la caída de esta metrópoli son un tanto inciertas y se ha especulado de que pudo haber sucedido por varias razones: 1) Un Desajuste en el ecosistema, causado probablemente por una deforestación en los montes contiguos a la ciudad, la extinción de la fauna en el valle y una larga sequía. 2) Una invasión por parte de pueblos nómadas del norte que devastaron y destruyeron la metrópoli. Ya para el año 800, la ciudad se encontraba completamente deshabitada. (Lewenstein1993). 3) Decadencia del poder político. 4) Cierre de rutas de intercambio en Puebla y Morelos, hacia el sur de Mesoamérica.

3.3 Alimentación Prehispánica

Poco se puede decir respecto a las costumbres de consumo de los recursos alimenticios por parte de diferentes sectores de la sociedad teotihuacana durante el periodo Clásico. La mayor parte de las proteínas animales de los Teotihuacanos provenían del conejo (posiblemente en vías de domesticación, como lo señala la evidencia de un criadero en el conjunto departamental de Oztoyahualco), la liebre, el venado cola blanca y el perro domestico, pato, ganso, codorniz, paloma, armadillo, ardilla, lagartija, tortuga y guajolote, además se consumían insectos.

En relación con las técnicas de caza sabemos muy poco, excepto que tenemos en el registro arqueológico una profusión de puntas de flecha de obsidiana, además de proyectiles de cerbatana - para aves pequeñas - y posiblemente lanza dardos.

En un mural de Tetitla se observa a un pescador buceando para sacar moluscos y meterlos en redes que carga en el hombro. En la pintura mural del Tlalocan de Tepantitla se observa también a individuos que recogen flores, frutos y ramas. Fuera de

este tipo de representaciones, no existen evidencias de las técnicas utilizadas para la recolección.

Mientras que las descripciones en las fuentes nos hablan de la distinción minuciosa entre variedades de plantas dentro de un mismo grupo (como por ejemplo, tipos y colores de maíz o fríjol), por los restos arqueológicos encontramos el consumo del maíz (*Zea mays*) está representado por olotes y en granos en la mayoría de las excavaciones, el fríjol (*Phaseolus vulgaris*) y el ayocote (*Phaseolus coccineus*).

Entre las plantas cuyo consumo se asocia con la preparación de salsas para guisados o condimentación, se tiene evidencia del chile (*Capsicum spp.*), el tomate de bolsa (*Physalis sp.*) y la verdolaga (*Portulacaoleraceae*). También se evidencian las semillas de amaranto (*Amaranthus spp.*) y el huauhtontli (*Chenopodium spp.*) las cuales se asemejan en la preparación y consumo de ambas, también como uso medicinal el epazote (*Teloxysembrosioides*) (Argueta y Arizpe 1993).

Entre los frutos conocidos como alimentos comunes para los teotihuacanos destaca la tuna (*Opuntia sp.),* el capulín (*Prunus capuli*) y el tejocote *(Cratageus mexicana*). Hay la posibilidad que incluyeran al zapote blanco (*Casimiroa adulis*) y el ciruelo (*Spondias sp.*), el aguacate (*Persea americana*), consumido en Teotihuacan aunque procede de tierra caliente.

En cuanto a la preparación de los alimentos, podemos suponer que los tipos de cerámica utilitaria (cómales, cazuela, ollas, cajetes. etc.). Junto con elementos líticos como metales y navajas de obsidiana, son parte del conjunto de artículos para cocinar braseros o anafres.

Es razonable suponer que convivieron diversos estilos para preparar el maíz. Así como los guisados, que consistían en salsas a las que se incorporaba carne y verduras.

Aunque no tenemos bases firmes para sostener que se comían uno u otro alimento específico de una manera determinada, podemos imaginar una variedad extensa de posibilidades, probablemente más ricas todavía de las que hoy se conocen.

A pesar de lo anterior, se observa en general es que los habitantes de Teotihuacan sufrían deficiencias nutricionales, agudas especialmente en los primeros años de vida, a pesar de contar con abundantes recursos alimenticios para proporcionar una dieta adecuada. El factor desconocido aquí puede ser de orden

socioeconómico y político.(McClung 1993) Conocer estos elementos es relevante para los estudios de paleodieta.

3.4 Hallazgos óseos con el contexto Teotihuacano

Los primeros trabajos sobre los entierros localizados en los trabajos realizados por Charnay 1885 en el altiplano central de la República Mexicana; al referirse a Teotihuacan, describe la exploración que hizo al interior de un palacio en el lado oeste de la Calle de los Muertos y al norte del río San Juan, y en donde reporta haber encontrado 18 entierros.

Dicha área es conocida hoy como el Conjunto Sureste de los Edificios Superpuesto. Asimismo, localiza otros entierros cerca de la iglesia del poblado de San Juan Teotihuacana (Charnay 1885; Sempowki y Spence 1994).

Los trabajos de investigación sistemática en las ruinas se iniciaron en 1864, cuando la Comisión Científica de Pachuca, dirigida por Ramón Almaraz, levantó un plano topográfico del centro de la zona arqueológica, excavó un pequeño montículo sobre la Calle de los Muertos y en él encontró restos óseos de un entierro (Almaraz *en* Batres 1906). En 1898, Marshall Saville excavó una tumba cercana a la pirámide del Sol.

En el siglo XX, una gran temporada de exploraciones arqueológicas se llevó a cabo en 1905 a cargo de Batres; éstas se centraron en la reconstrucción de la pirámide del Sol, en donde reporta haber encontrado entierros en cada uno de los ángulos de sus cuatro cuerpos, así como dos entierros más en el Templo de los Sacerdotes (Batres 1906).

Posteriormente hasta 1910 se encuentra la primera descripción sistemática de un enterramiento humano, realizada por Hrdlicka, quien encontró el entierro a 230 m al este de la esquina sureste de la pirámide del Sol. Sus trabajadores le informaron que a 1.30 m al este del entierro anterior localizaron tres fosas que contenían restos óseos humanos y que habían sido saqueadas recientemente (Hrdlicka 1912; Sempowski y Spence 1994).

Gamio e I. Marquina hicieron exploraciones en Teotihuacan de 1917 a 1922, durante sus investigaciones descubrieron una gran parte de la Ciudadela, así como el Templo de Quetzalcóatl, cuya porción superior encontraron tres entierros.

En 1923 Lozano exploró el jardín del Museo Regional para su ampliación al sur y encontró restos de lo que fueron unos cuartos y siete entierros distribuidos en ellos; además según el autor, localizó un entierro más cerca de las casas del campamento (Díaz 1923).

En el año de 1925, Dolza llevo a acabo excavaciones en el Templo Viejo de Quetzalcoátl con el fin de localizar los cuatro ángulos y éstos encontraron enterramientos humanos asociados (Dolza 1925).

Vaillant, 1932 en el solar las Palmas definió un complejo de cuartos y localizó nueve entierros; asimismo exploró entre el Museo Regional y la línea del ferrocarril en donde encontró dos más.

Para el año de 1932, Linné en el solar Xolalpan descubrió un gran conjunto habitacional ,entre sus descripciones se refiere la localización de siete entierros, posteriormente, entre, en el solar Tlalmimilolpa y junto con Gosta Montell encontraron otro gran conjunto de cuartos donde descubrieron trece entierros.

Noguera 1955 informa de una exploración que fue realizada por Manuel Castañeda al lado sur del jardín y norte del rio San Juan, llevaron a cabo otras exploraciones en Oztoyahualco, ahora en la casa de las Águilas, en donde encontraron otro entierro.

En excavaciones recientes, que corresponde las últimas décadas se han encontrado otros entierros tanto de adultos como de infantes. La presencia de éstos es una constante en Teotihuacan y una fuente de información importante para estudios de paleodieta tanto de diversas poblaciones como de diversos grupos con estatus diferentes (Manzanilla *et al.*,2000).

CAPITULO IV

La Técnica PIXE

4.1 Introducción

En 1895 Roentgen descubrió los rayos X, pero hasta 1910 fue cuando se obtuvo la evidencia de espectros elementales característicos.

Moseley descubrió en 1912, una ley que lleva su nombre, la cual relaciona la frecuencia de la radiación característica con él numero atómico del elemento emisor. Desde entonces se tuvo la posibilidad de identificar un elemento químico por medio de su espectro de rayos X pero fue sólo hasta 1960 cuando se comenzaron a desarrollar los detectores de alta resolución a base de semiconductores conocidos Si (Li) y Ge (Li). De éstos, el primero, es capaz de resolver las líneas Kα y Kβ de elementos ligeros adyacentes (Ruvalcaba 2003)

4.2 Emisión de Rayos X Inducida por Partículas (PIXE)

La técnica PIXE cuenta con una alta sensibilidad μg/g (ppm) y es de las más versátiles de origen nuclear pero sobre todo tiene un carácter multielemental y en la mayor parte de los casos, es no destructiva. El intervalo de detección de esta técnica comprende los elementos de número atómico superior a 11, es decir sodio.

Las aplicaciones de la técnica PIXE al estudio de los materiales abarcan una amplia variedad de disciplinas tales como biología, edafología, arqueología, medicina, contaminación ambiental, proceso de materiales industriales, y recientemente alimentos y sus etapas productivas.

Un átomo puede considerarse como un núcleo con carga positiva y los electrones que se encuentran distribuidos en capas alrededor del núcleo (figura 4).

El haz de partículas incide y penetra en un material donde se llevan a cabo diversos efectos o fenómenos con sus átomos. Uno de ellos es la expulsión de los electrones de las capas internas del átomo, dejando al átomo ionizado y excitado. Para regresar al estado estable del átomo, los electrones de la capa mas externa tienden a ocupar el lugar de los electrones expulsados, emitiéndose como consecuencia un conjunto de rayos X característicos del átomo en cuestión; este fenómeno es la base de la técnica PIXE; a partir del conjunto de rayos X característicos producidos y sus intensidades es posible llevar acabo un análisis cuantitativo y cualitativo del material irradiado (Johansson, y Campbell 1988 y Johansson.*et al* 1995)

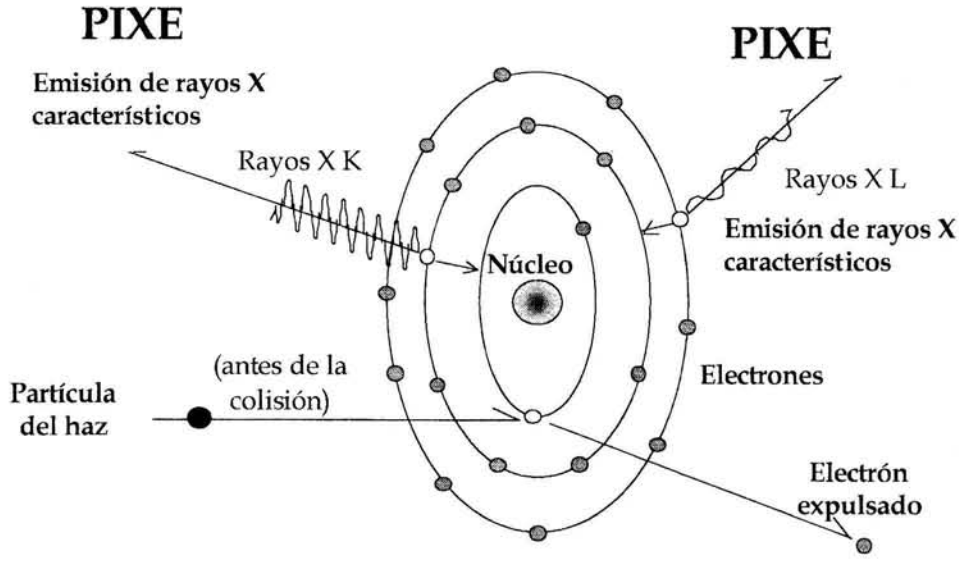

Figura 4: Esquema del átomo y de Emisión de rayos X Inducida por Partículas (PIXE) (Ruvalcaba 2003).

El uso de haces de partículas cargadas como medio de excitación está asociado a la alta sección eficaz probabilidad de producción de rayos X. Se considera a PIXE como una técnica de origen nuclear y para aplicarse se requiere de un acelerador de partículas para producir un haz de iones (figura 5).

El haz es conducido a través de una línea al vacío hasta una cámara donde el objeto de estudio se irradia. La respuesta del material a la irradiación es detectada y procesada electrónicamente para obtener el espectro respectivo.

PIXE permite determinar la composición de los materiales por elementos (no por compuestos) y en ocasiones sus perfiles de concentración.

La profundidad de análisis depende del material y del elemento que se desea estudiar, pero en general puede considerarse de hasta 100 micrómetros en promedio para materiales biológicos. El diámetro del haz, y por tanto del área de análisis, depende del problema a estudiar pero en general es de algunos milímetros.

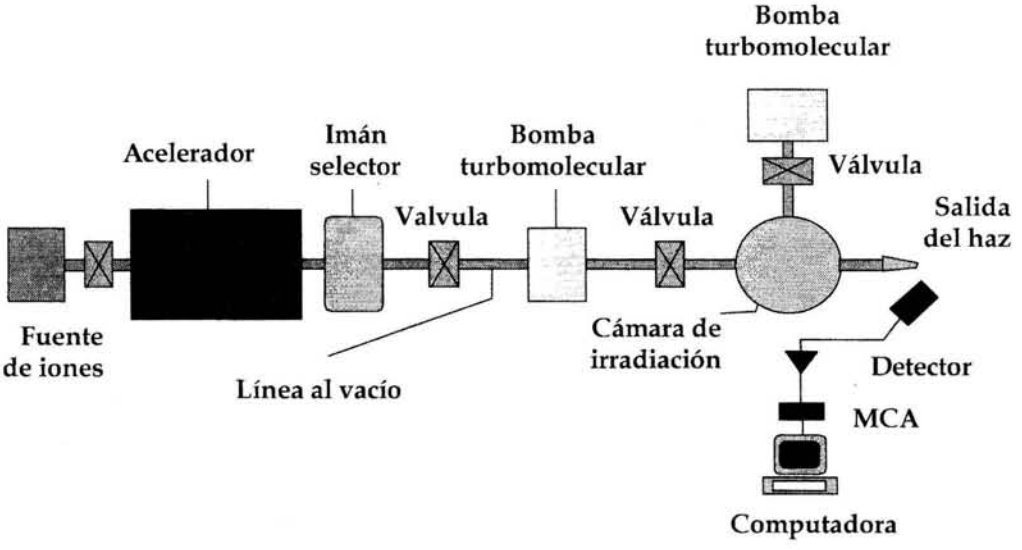

Figura 5: Diagrama de un acelerador (Ruvalcaba 2003)

4.3 Dispositivo Experimental

El dispositivo experimental que se utiliza normalmente en PIXE depende del tipo de análisis que se esté realizando. La versatilidad de su metodología permite analizar la muestra en vacío o en la atmósfera en función del tipo de muestra.

En el análisis con el haz externo, el haz es conducido por una línea al vacío hacia una ventana muy delgada proyectándose en la atmósfera con una cierta dispersión (figura 6).

La muestra a analizar se sitúa delante del haz a una distancia de 1 cm. Pueden utilizarse de manera simultanea más de un detector y filtros para modificar la absorción de los rayos X detectados y realizar la detección de los elementos mayoritarios y/o de los elementos traza según se requiera.

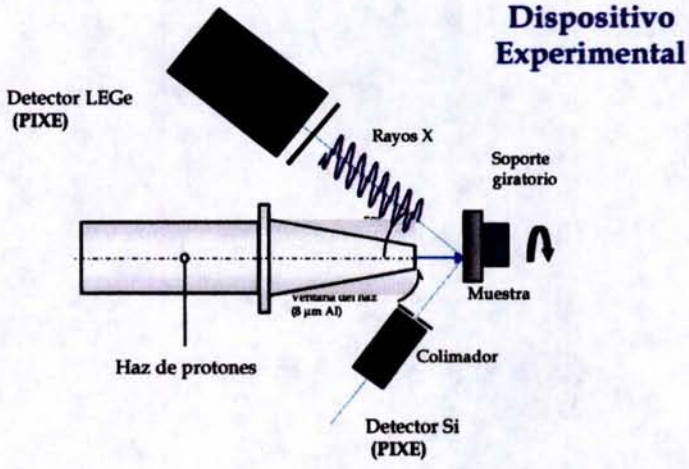

Figura 6: Sistema de haz externo con el haz de protones y los detectores para PIXE mostrando la irradiación de una muestra (Ruvalcaba 2003)

4.4 Análisis de Espectros PIXE

4.4.1 Análisis Cualitativo

El análisis de espectros se realizó mediante un programa de computo, AXIL el cual fue desarrollado por la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA) para efectuar, entre otros, análisis mediante la técnica (PIXE).

En términos generales los espectros de rayos X consisten en picos aproximadamente gaussianos con energías correspondientes a cada una de las líneas de emisión característica de los átomos que componen a la muestra estudiada (figura 7).

Estos picos se encuentran superpuestos a un fondo continuo de radiación. Para obtener la cantidad o número de rayos X registrado en cada una de las líneas de emisión presentes en el espectro se sustrae el fondo de irradiación y se integra el número de cuentas en cada pico mediante el programa AXIL.

En primer lugar se lleva a cabo la calibración en energía, es decir, hay que determinar que energía de rayos X corresponde a cada canal del espectro.

Para la calibración de la energía se puede emplear un material de referencia en este caso se utilizo el NIST 2704 (Sedimento Búfalo) con el cual además se determina la eficiencia de detección para cada elemento. Por lo anterior una vez obtenidos los espectros PIXE de rayos X en un sistema multicanal, éstos se guardan en archivos que tengan un formato que pueda ser posteriormente reconocido por Axil.

Esto lo efectúa AXIL ajustado por medio del método de mínimos cuadrados no lineales una función continua al fondo de radiación y funciones aproximadamente gaussianas a los picos (Ruvalcaba, 2003).

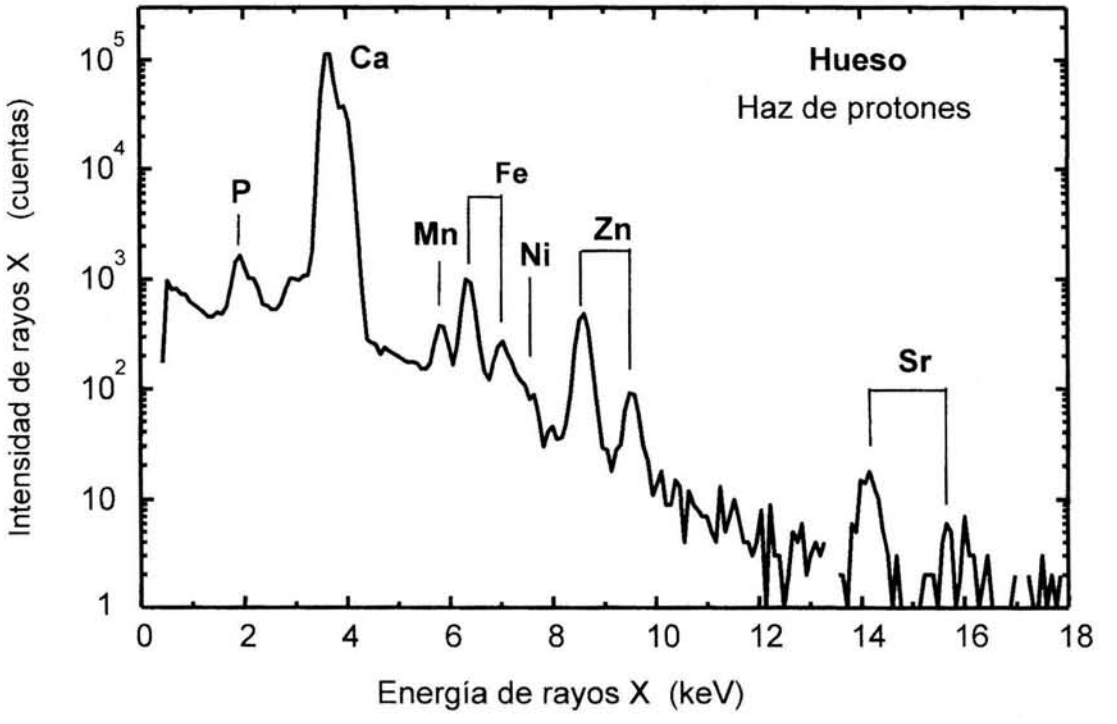

Fig 7: Espectro típico de PIXE de un hueso arqueológico.

Cuando se irradia un material la intensidad de los rayos X emitidos N_{xi} es proporcional a la cantidad de átomos i que están presentes en el material, y al flujo de partículas f para una geometría dada:

$$N_{xi} \propto f\, C_i \qquad (1)$$

Por otra parte, el haz de partículas al penetrar tiene una cierta probabilidad de producir la ionización por su interacción; dicha probabilidad depende de cada átomo, de su arreglo de electrones, de la energía y tipo de las partículas del haz y se denomina sección eficaz de producción de rayos X:

$$N_{xi} \propto f\, C_i \sigma_{Rx}(E) \qquad (2)$$

donde $\sigma_{Rx}(E)$ es la sección eficaz de producción de rayos X.

Al atravesar el material las partículas del haz pierden energía por la interacción con las capas electrónicas hasta detenerse. La pérdida de energía de las partículas en un espesor pequeño de un material dx puede describirse mediante el poder de frenado $S(E)$, cantidad que puede medirse para diversos materiales. De esta manera, el número de rayos X producido es proporcional a:

$$N_{xi} \propto f \frac{C_i \sigma_{RX}(E)}{S(E)} dE \qquad (3)$$

Debe considerarse además que los rayos X inducidos en el material por las partículas son absorbidos en el material mismo y sólo son detectados una parte de éstos. Por lo cual el número de rayos X detectados será proporcional al número de rayos X transmitidos $T(E)$.

$$N_{xi} \propto f\, C_i \frac{\sigma_{RX}(E)}{S(E)} T(E) dE \qquad (4)$$

Debe tomarse en cuenta también que el proceso de ionización, pérdida de energía y absorción de rayos X, se lleva a cabo desde la energía inicial de incidencia del haz hasta que la partícula se detiene en el material. Finalmente, el proceso de detección dependerá de la eficiencia del detector de rayos X ε_i y la electrónica asociada, por lo cual la ecuación que toma en cuenta los fenómenos involucrados en la producción de rayos X por irradiación de partículas se escribe:

$$N_{xi} = K\, f\varepsilon_i\, C_i \int_{E_0}^{0} \frac{\sigma_{Rx}(E)}{S(E)} T(E)\, dE \qquad (5)$$

donde K es una constante que depende de las condiciones de irradiación y del elemento i. Con base en lo anterior un análisis cualitativo puede llevarse a cabo considerando las intensidades de los picos de rayos X normalizadas por el flujo f. El número de rayos X detectados puede normalizarse mediante la señal de un monitor de la irradiación, o bien por el número total de rayos X.

4.4.2 Análisis Cuantitativo

Para llevar a cabo este análisis se debe determinar la concentración de un elemento i. Este se realiza a partir de la siguiente ecuación:

$$N_{xi} = f\varepsilon_i \frac{N_A}{A_i} C_i \int_{E_0}^{0} \sigma_{Rx}(E) \frac{T(E)}{S(E)}\, dE \qquad (6)$$

donde

$$T(E) = e^{\frac{-\mu_i}{\rho}\cdot\frac{\cos\alpha}{\cos\beta}\int_{E_0}^{0}\frac{dE}{S(E)}} \qquad (7)$$

En la ecuación anterior N_A es el número de Avogadro, A_i es la masa atómica del elemento, α es el ángulo de incidencia de las partículas y β es el ángulo de detección de los rayos X; ρ es la densidad del material; μ es el coeficiente de atenuación másica del material. La ecuación anterior es válida si el material irradiado es homogéneo.

Los cálculos se realizaron mediante el programa PIXEINT, el cual ajusta en un proceso iterativo el número de rayos X producidos N_{xi} de los i elementos que componen el material hasta que éstos convergen con el número de rayos X experimentales obtenidos de los espectros.

Para el análisis cuantitativo es indispensable medir la eficiencia de detección para cada elemento, esto es factible al irradiar bajo las mismas condiciones que las muestras, los materiales de referencia certificados.

4.5 PIXE aplicado al análisis de hueso

El material óseo ha sido estudiado mediante PIXE aunque se han utilizado además otras técnicas para complementar los análisis. El hueso es un material donde se llevan acabo complejos procesos de difusión de Fe, Ca y Sr. Los huesos sufren alteraciones por el contexto que pueden ser estudiadas, tal es el caso de las coloraciones, por ejemplo el color café esta asociado con la presencia de Fe, en los huesos (Cholewa *et al.* 1987).

Esta técnica tiene ciertas ventajas sobre otras técnicas por el tipo de preparación de la muestra ya que no necesita una elaboración minuciosa ni tardada, además permite medir las concentraciones de los elementos existentes en el hueso de una manera eficaz sin que la muestra se destruya y pueda ser reutilizada para otros análisis. Es por eso que para esta investigación se propone PIXE para determinar paleodieta debido a que es una técnica confiable y permite determinar de manera muy sensible la composición de los materiales como restos óseos.

En cuanto a los análisis recientes de paleodieta, utilizando una técnica metodológica similar a la de este trabajo, Vuorienen et *al* (1990) analizan las concentraciones elementales de huesos largos de infantes de diferentes periodos. La técnica PIXE se empleó en este caso para obtener concentraciones de los siguientes elementos: Na, P, Ca , Fe , Cu , Zn , Br , Sr y Pb, llegando a la conclusión que el análisis elemental de los huesos largos de los infantes presentan un problema por la preservación de los huesos, los cuales tienden a degradarse rápidamente. Se recomienda realizar una comparación en cuanto a las variaciones de las concentraciones elementales, de diferentes tipos de hueso, y elabora una comparación de degradación. Es por esto que se utilizó en el presente estudio, hueso largo (Fémur, peroné) de adulto para evitar estas dificultades.

PIXE se ha aplicado con éxito al estudio de diversos tipos de materiales entre estos tenemos huesos y dientes , aunque se han utilizado además otras técnicas basadas en aceleradores de iones para complementar los análisis (Reiche *et al.* 1999) Mediante estos métodos pueden estudiarse las alteraciones de los restos óseos y los procesos de diagénesis.

Los dientes son mucho más estables que los huesos, y son una fuente de información importante de las patologías y la salud de los individuos. De varios estudios realizados uno es el análisis de dientes prehispánicos, coloniales y modernos en la Ciudad de México donde se observo presencia de Pb en dientes coloniales y en dientes modernos, (menor cantidad en dientes coloniales) pero de total ausencia en los prehispánicos (Solís *et al.* 1996, Ruvalcaba 2003).

CAPITULO V

Análisis y Resultados

5.1 Procedimiento para cuantificación elemental de muestras ósea

A lo largo de más de tres décadas de trabajo experimental han quedado claros los alcances y la efectividad e importancia de los análisis químicos para la reconstrucción de paleodieta, nutrición y estados de salud, así como las aportaciones para el conocimiento de las condiciones generales de vida de poblaciones antiguas.

Las innovaciones tecnológicas han dado pie al surgimiento de interdisciplinas como la Arqueometría, que entre otros aspectos se aboca a la determinación de la composición química de materiales arqueológicos, con un sustento teórico científico propio, lo que no necesariamente se ajusta a los patrones metodológicos de las disciplinas tradicionales.

A pesar de que se han aplicado una gran variedad de técnicas para la caracterización de los restos óseos con fin de paleodieta, aún se requieren más investigaciones a este respecto por las múltiples variables que intervienen en este tema, así como en cuanto a técnica más versátiles e innovadoras.

En este sentido, PIXE, por su carácter multielemental y sensibilidad presenta algunas ventajas sobre otros métodos analítico usuales, como la absorción atómica pues se cuantifican varios elementos a la vez y la muestra analizada no se destruye ni es tratada químicamente, por lo que puede ser utilizada para otros análisis.

Por todo lo anterior, PIXE puede emplearse para determinar el estado de deterioro de los restos óseos al cuantificar elementos presentes en la matriz (Ca, P, Al, Fe) y

determinar la composición de los elementos diagnósticos para el estudio de paleodieta (Sr, Zn, Fe, Ba, etc.).

Para describir el análisis llevado a cabo en este estudio se presenta el diagrama siguiente, donde se muestran los pasos de la metodología empleada para llegar a los resultados (fig 8):

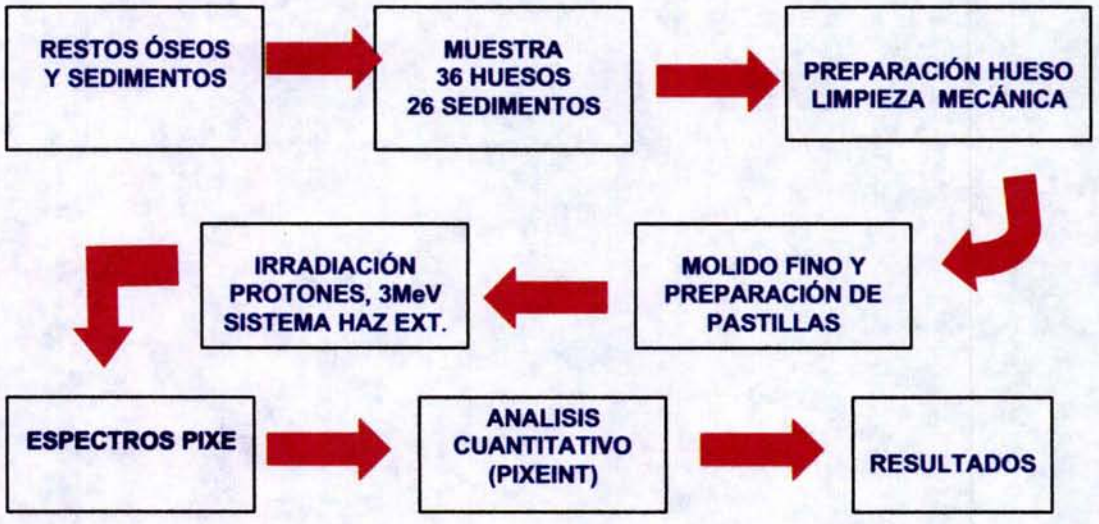

Figura 8: Procedimiento general aplicado a muestras de hueso y sedimento.

5.1.1 Descripción de la localidad de donde provienen las muestras

Se obtuvieron diversas muestras de material óseo de diferentes sitios de la zona arqueológica de Teotihuacan, así como de sedimentos de algunas de los contextos arqueológicos. Las muestras procedentes de las excavaciones de tres áreas de Teotihuacan fueron denominadas como Libramiento pirámide (11 muestras), Canal del drenaje (10 muestras), Atetelco(15 muestras).

En total se analizaron 36 muestras de restos óseo humano de edad adulta, Las que proceden de fémur y húmero, y corresponden a finales del periodo Clásico y al posclásico (Mazapa). Las excavaciones fueron realizadas por Dr. Carlos Serrano del Instituto de Investigaciones Antropológicas de la UNAM.

5.1.2 Limpieza y Preparación de las muestras

A)Las muestras óseas se despojaron de su capa externa mediante limpieza mecánica (no química) obteniéndose la parte interna (fig 9). Esto con el fin de evitar que restos del suelo y de superficie deteriorada estén presentes en las muestras.

B) Posteriormente el hueso fue triturado finamente en un mortero de ágata. Este proceso también se realizó para los sedimentos.

C) Se homogenizó la muestra, esto se refiere a que la muestra quedó pulverizada sin fragmentos gruesos, y que se mezcló bien, de esta manera el análisis que se realice será representativo de la composición promedio o media del hueso. Este proceso se aplicó también para los sedimentos.

D) Debido a la abundancia de muestra se prepararon pastillas de 1 g mediante 2 ton/ cm^2 de presión de hueso compactado(el mínimo necesario es 70 μg). Este procedimiento se realizó también con las muestras de sedimento. Las pastillas son posteriormente irradiadas.

A) Fragmento de hueso

B) Molienda

C) Homogeneización

D) Preparación de una pastilla para PIXE

Figura 9: Pasos a seguir para llevar acabo la preparación de la pastilla

5.1.3 Irradiación de la muestra, 3MeV Sistema de haz externo

- La irradiación se llevo a cabo mediante un haz de protones, de 3MeV empleando el sistema de haz externo del acelerador Peletrón de IFUNAM. Los detectores de rayos X se dispone a 45^0 con respecto al haz incidente (figura 10).

- Para el análisis de los restos óseos se utilizaron dos detectores, un detector LEGe con absorbedor de 63 μm de Al y un detector de Si AmpTek con un colimador de 0.5mm. De esta manera se detectan las señales de rayos X de los elementos mayores, menores traza presentes: Ca, Fe, Zn, Sr y Ba entre otros, para su posterior cuantificación. Para los sedimentos se empleó un absorbedor de 130 μm de Al en el detector LEGe.

- Algunos materiales de referencia se irradian bajo las mismas condiciones de análisis; de esta manera se lleva a cabo la medida de la eficiencia de detección del sistema. En este caso se irradiaron los materiales de referencia certificados NIST 2704 y 2701 de sedimento.

Figura 10: Las muestras en forma de pastilla se irradiaron empleando un haz de protones de 3.MeV producido por el Acelerador Peletrón del IFUNAM. Asimismo, se utilizaron dos detectores uno de Germanio (LEGe) y otro de Si (Amptek) (Ruvalcaba 2003).

El análisis de espectros se realizó mediante el programa AXIL. Con este programa se determina la intensidad de los rayos X. Para el análisis cuantitativo se empleó el programa PIXEINT, tal y como se explicó anteriormente.

5.2 Resultados del análisis y discusión

Los resultados de los análisis de restos óseos y de sedimentos se muestran en las tablas 2 a la 6. La incertidumbre asociada a la medición de las concentraciones es de ±10%. En general se detectaron los elementos siguientes en material óseo:
Fósforo (P), calcio (Ca), manganeso (Mn), fierro (Fe), níquel (Ni), cobre (Cu), zinc (Zn), arsénico (As), bromo (Br), estroncio (Sr) y bario (Ba)

En sedimentos se observaron silicio (Si), fósforo (P), azufre (S), potasio (K), calcio (Ca), titanio (Ti), manganeso (Mn), fierro (Fe). níquel (Ni), cobre(Cu), zinc (Zn), galio (Ga), bromo (Br), rubidio (Rb), estroncio (Sr), zirconio (Zr), bario (Ba) y plomo (Pb).

Tabla 2: Composición elemental de los restos óseos de las excavaciones de Atetelco, periodos Clásico y Mazapa. Concentraciones porcentuales ±10%.

Muestra	Periodo	Ca	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Br	Sr	Ba
15	Clásico	32.53	1.71	7.16	-	0.063	0.742	-	0.135	2.98	1.65
16ª	Clásico	33.32	1.51	5.59	-	0.065	2.051	-	0.129	2.83	0.73
16C	Clásico	33.19	0.66	9.29	-	0.081	1.151	-	0.092	0.66	1.00
16D	Clásico	33.26	2.83	6.14	-	0.054	1.257	0.030	0.062	2.49	-
17	Clásico	35.48	2.49	1.66	-	0.091	1.771	0.042	0.091	2.67	-
18	Clásico	34.76	2.76	3.64	-	0.093	1.352	0.021	0.151	2.07	-
34	Clásico	34.45	2.09	3.35	-	0.038	1.888	0.055	0.150	3.17	-
16	Mazapa	31.62	0.74	9.80	-	0.091	1.214	0.072	0.098	2.73	1.29
22	Mazapa	34.61	2.72	3.90	-	0.092	1.449	0.022	0.150	2.03	-
24	Mazapa	34.28	1.40	3.22	-	0.043	0.913	0.178	0.193	3.26	2.19
24ª	Mazapa	33.23	2.59	4.58	-	0.086	1.014	0.062	0.221	3.10	1.60
26ª	Mazapa	36.06	1.22	2.21	-	0.080	1.406	-	0.133	2.60	-
30	Mazapa	33.42	0.71	6.06	-	0.101	0.948	0.041	0.130	3.27	1.52
41	Mazapa	34.51	2.74	1.93	-	0.076	1.879	0.029	0.241	3.83	-
42	Mazapa	34.72	2.03	1.96	-	0.081	2.010	0.025	0.204	2.93	1.22
promedio	***Clásico***	***33.85***	***2.01***	***5.26***	***0.00***	***0.07***	***1.46***	***0.02***	***0.12***	***2.41***	***0.48***
pormedio	***Mazapa***	***34.06***	***1.77***	***4.21***	***0.00***	***0.08***	***1.35***	***0.05***	***0.17***	***2.97***	***0.98***

Tabla 3: Composición elemental de los restos óseos de las excavaciones de Canal de Drenaje y Libramiento Pirámides, periodo Clásico. Concentraciones porcentuales ±10%.

Muestra	Período	Ca	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Br	Sr	Ba
Canal Drenaje											
139B	Clásico	34.4	3.00	1.88	-	0.096	2.001	-	0.135	2.56	1.45
140	Clásico	35.4	2.23	1.82	-	0.106	1.871	0.045	0.180	2.73	-
142	Clásico	31.4	1.50	6.13	0.090	0.095	3.955	-	0.282	3.52	1.21
143	Clásico	35.9	1.59	1.61	0.069	0.107	1.339	0.850	0.179	2.38	-
146	Clásico	35.1	3.68	1.92	0.048	0.079	1.453	0.017	0.167	2.17	0.04
147	Clásico	35.8	2.09	1.98	-	0.104	1.563	0.054	0.124	2.28	-
149	Clásico	34.7	3.14	1.22	-	0.087	1.560	0.058	0.172	2.30	2.18
150	Clásico	34.9	4.86	0.69	-	0.159	1.812	-	0.086	2.31	-
165	Clásico	34.8	4.84	0.68	0.150	0.159	1.894	-	0.087	2.44	-
193A	Clásico	35.4	3.16	1.78	-	0.078	1.238	-	0.046	2.58	-
promedio		***34.8***	***3.01***	***1.97***	***0.04***	***0.11***	***1.87***	***0.10***	***0.15***	***2.53***	***0.49***
Libramiento Pirámides.											
1	Clásico	34.6	0.72	6.86	-	0.018	0.779	0.020	0.125	1.74	-
2	Clásico	34.0	0.77	7.67	-	0.060	0.678	-	0.170	2.03	-
10	Clásico	35.5	1.95	2.60	-	0.229	1.464	-	0.210	2.20	-
10A	Clásico	29.6	3.66	10.42	0.173	0.043	0.723	0.326	0.191	2.05	2.56
11B	Clásico	34.4	2.81	1.83	0.046	0.104	1.261	-	0.292	2.83	2.00
13	Clásico	35.8	1.61	0.90	0.085	0.077	1.074	0.231	0.215	2.21	2.15
14	Clásico	35.2	1.96	3.10	-	0.091	1.293	-	0.309	2.51	-
22A	Clásico	35.9	1.64	2.10	-	0.091	1.901	-	0.197	2.12	-
27	Clásico	29.5	4.35	11.34	0.060	0.102	0.680	-	0.104	2.21	1.27
23	Clásico	35.8	1.94	0.98	-	0.059	0.971	-	0.271	2.70	1.49
23	Clásico	36.9	1.15	0.92	-	0.076	0.191	-	0.266	2.57	1.07
promedio		***34.3***	***2.05***	***4.43***	***0.03***	***0.09***	***1.00***	***0.05***	***0.21***	***2.29***	***0.96***

Tabla 4: Composición elemental de los sedimentos correspondientes a los restos óseos de las excavaciones de Atetelco. Concentraciones porcentuales ±10%.

Muestra	Si	P	S	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Ni
1	35.0	3.51	0.045	2.96	4.36	1.03	0.106	6.2	0.008
2	33.2	4.20	0.046	2.76	7.83	0.78	0.101	6.4	0.010
3	34.8	4.46	0.054	0.00	7.98	1.22	0.011	5.8	0.011
4	34.4	3.44	0.048	2.47	6.42	0.86	0.011	6.8	0.012
5	30.6	5.98	0.044	2.20	11.7	0.70	0.012	6.1	0.009
6	29.4	18.3	0.044	2.78	4.37	0.98	0.007	5.8	0.005
7	32.5	4.39	0.046	2.69	8.95	0.92	0.010	6.3	0.011
8	32.6	4.85	0.045	2.73	5.87	1.06	0.010	6.6	0.009
9	33.9	5.19	0.043	2.99	4.47	1.01	0.009	6.5	0.009
10a	28.7	4.83	0.041	2.18	14.4	0.61	0.104	5.8	0.011
10b	34.4	3.63	0.044	3.33	6.27	0.97	0.008	6.0	0.006
11	37.7	3.04	0.050	-	4.07	1.07	0.010	6.6	0.008
promedio	***33.1***	***5.48***	***0.046***	***2.26***	***7.22***	***0.93***	***0.033***	***6.3***	***0.009***
Muestra	**Cu**	**Zn**	**Ga**	**Br**	**Rb**	**Sr**	**Zr**	**Ba**	**Pb**
1	0.005	0.012	0.003	0.002	0.002	0.009	0.071	0.081	1.54
2	0.012	0.020	0.003	0.003	0.003	0.011	0.086	0.016	0.355
3	0.001	0.019	0.003	0.000	-	0.013	0.108	0.017	-
4	0.001	0.017	0.004	0.004	0.004	0.010	0.080	0.181	-
5	-	0.016	0.004	0.004	0.004	0.011	0.096	0.039	-
6	-	0.013	0.003	0.001	0.001	0.007	0.066	0.012	-
7	0.001	0.018	0.003	0.001	0.001	0.009	0.083	0.015	0.359
8	-	0.014	0.004	0.003	0.003	0.010	0.078	0.014	3.12
9	0.001	0.015	0.004	0.001	0.001	0.008	0.081	0.013	1.831
10a	0.006	0.020	0.003	0.003	0.003	0.008	0.149	0.121	1.609
10b	0.001	0.016	0.003	0.003	0.003	0.008	0.072	0.151	-
11	-	0.014	0.003	0.003	0.003	0.009	0.056	0.015	-
promedio	***0.002***	***0.016***	***0.003***	***0.002***	***0.002***	***0.009***	***0.085***	***0.056***	***0.735***

Tabla 5: Composición elemental de los sedimentos correspondientes a los restos óseos de las excavaciones de Canal de Drenaje. Concentraciones porcentuales ±10%.

Muestra	Si	P	S	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Ni
capaIII m1	36.6	2.70	0.051	0.245	3.81	1.033	0.111	7.4	0.013
capaIII m2	35.3	3.30	0.047	2.12	3.30	1.241	0.117	6.7	0.011
capaV m3	36.1	2.78	0.046	2.22	3.36	1.111	0.090	6.7	0.008
capa VI m4	35.7	2.79	0.045	2.23	3.07	1.117	0.108	6.7	0.010
capaVII m5	37.1	3.00	0.047	2.18	2.36	1.200	0.094	6.9	0.010
capaVIII m6	36.6	3.00	0.044	2.37	3.12	0.953	0.063	6.2	0.008
capa IX m7	36.8	3.55	0.041	2.24	3.13	0.971	0.078	5.5	0.007
capa XI m8	37.1	2.03	0.046	2.18	2.73	0.967	0.087	6.6	0.009
promedio	***36.4***	***2.89***	***0.046***	***1.97***	***3.11***	***1.074***	***0.093***	***6.6***	***0.010***
Muestra	**Cu**	**Zn**	**Ga**	**Br**	**Rb**	**Sr**	**Zr**	**Ba**	**Pb**
capaIII m1	0.003	0.015	0.004	-	-	0.012	0.056	0.067	1.54
capaIII m2	0.003	0.013	0.003	0.001	0.001	0.009	0.049	0.013	2.83
capaV m3	0.002	0.013	0.003	0.001	0.001	0.010	0.051	0.014	1.72
capa VI m4	0.004	0.014	0.003	-	-	0.011	0.050	0.013	2.79
capaVII m5	0.004	0.016	0.003	-	-	0.011	0.043	0.014	0.346
capaVIII m6	0.003	0.014	0.003	-	-	0.010	0.038	0.013	1.58
capa IX m7	0.003	0.013	0.003	-	-	0.010	0.052	0.051	1.38
capa XI m8	0.002	0.015	0.003	-	-	0.010	0.036	0.122	1.45
promedio	***0.003***	***0.014***	***0.003***	***0.000***	***0.000***	***0.010***	***0.047***	***0.038***	***1.70***

Tabla 6: Composición elemental de los sedimentos correspondientes a los restos óseos de las excavaciones de Libramiento Pirámides. Concentraciones porcentuales ±10%.

Muestra	Si	P	S	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Ni
3	33.6	4.94	0.050	1.81	5.36	1.24	0.097	7.2	0.008
4	29.0	4.70	0.028	2.37	17.2	0.674	0.144	1.7	0.009
5	35.5	3.19	0.046	1.21	5.11	1.55	0.162	6.4	0.011
6	35.7	3.14	0.047	1.67	4.94	1.32	0.092	6.6	0.008
7	35.6	3.65	0.043	1.71	5.38	1.26	0.093	6.0	0.006
8	34.3	3.49	0.046	2.44	5.70	1.41	0.109	6.4	0.008
9	27.6	5.50	0.041	2.48	16.6	0.801	0.122	5.3	0.006
promedio	***33.1***	***4.09***	***0.043***	***1.96***	***8.62***	***1.18***	***0.117***	***5.6***	***0.008***
Muestra	**Cu**	**Zn**	**Ga**	**Br**	**Rb**	**Sr**	**Zr**	**Ba**	**Pb**
3	0.004	0.015	0.002	0.003	0.003	0.007	0.068	0.014	1.69
4	0.006	0.022	0.003	0.005	0.005	0.010	0.170	0.158	2.30
5	0.006	0.015	0.004	0.003	0.003	0.008	0.081	0.014	0.897
6	0.006	0.014	0.003	0.003	0.003	0.008	0.074	0.123	0.354
7	0.005	0.010	0.002	0.003	0.003	0.007	0.051	0.012	0.326
8	0.004	0.014	0.003	0.002	0.002	0.007	0.061	0.013	1.15
9	0.007	0.026	0.003	0.003	0.003	0.009	0.145	0.140	0.364
promedio	***0.005***	***0.016***	***0.003***	***0.003***	***0.003***	***0.008***	***0.093***	***0.068***	***1.01***

5.2.1 Concentración elemental en hueso respecto a su contexto

Las gráficas de las figuras 11, 12 y 13 muestran las concentraciones de Fe, Zn y Sr para los sitios Atetelco, Canal Drenaje y Libramiento Pirámide. Se observa que existen concentraciones de hierro mayores al 2% en las muestras de Libramiento pirámide, las cuales son las más alteradas, esto puede deberse a deterioro por la incorporación e intercambio elemental con el contexto y éste es significativo.

A pesar de lo anterior, es notable que los valores de estroncio y zinc son bastante similares en todos los casos y que no existen notables diferencias en estos valores para todas las muestras.

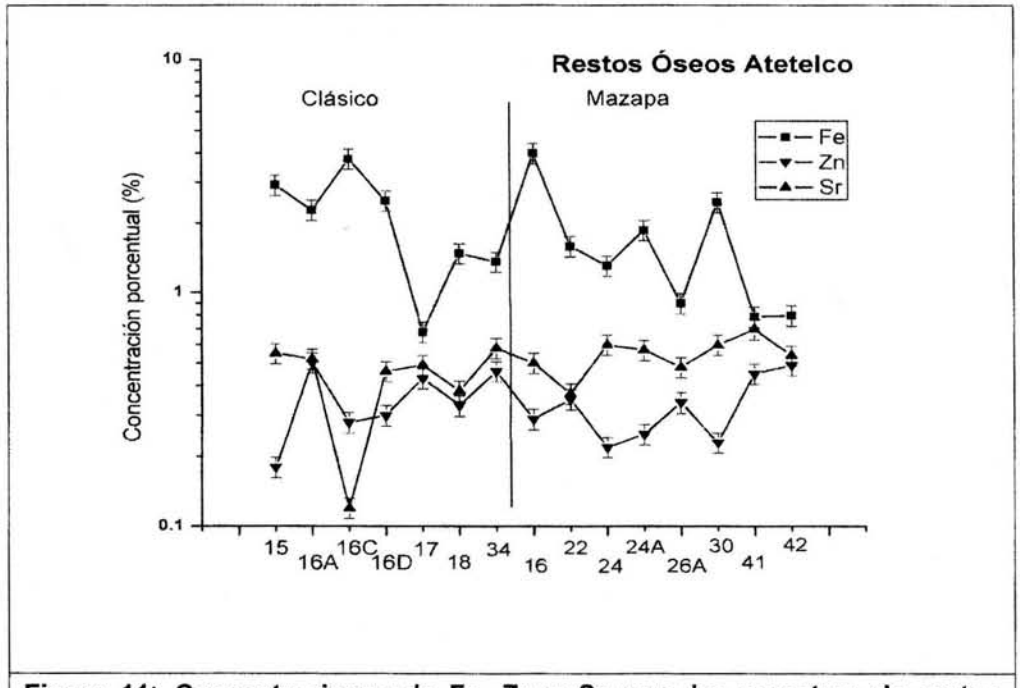

Figura 11: Concentraciones de Fe, Zn y Sr para las muestras de restos óseos procedentes del sitio de Atetelco.

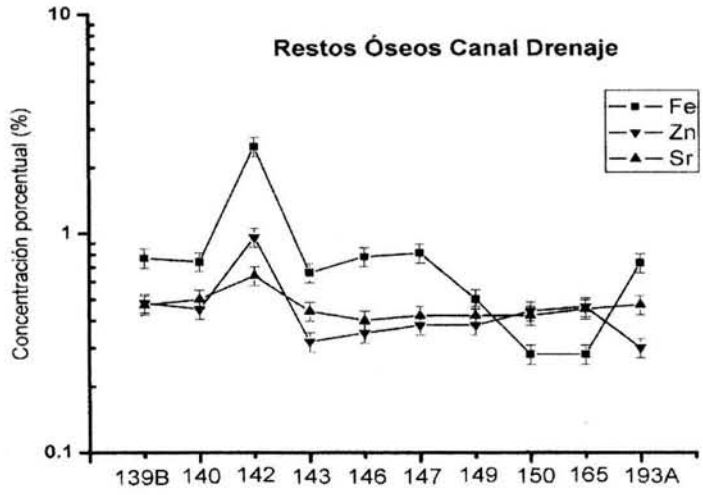

Figura 12: Concentraciones de Fe, Zn y Sr para las muestras de restos óseos procedentes del sitio Canal del Drenaje.

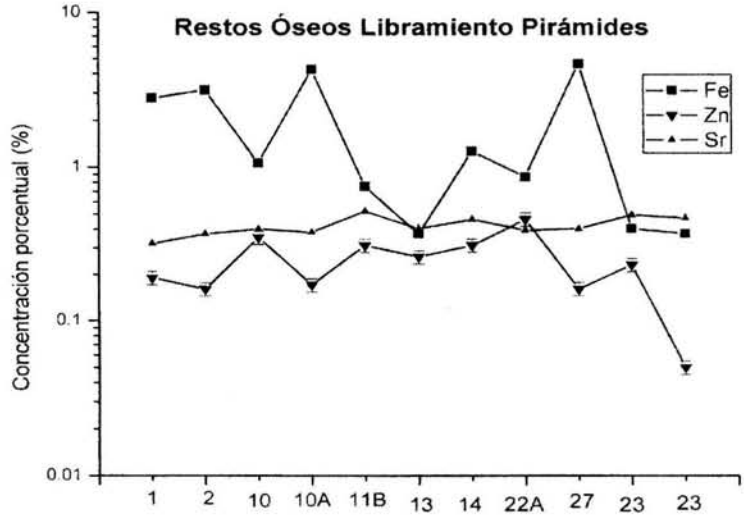

Figura 13: Concentraciones de Fe, Zn y Sr para las muestras de restos óseos procedentes del sitio Libramiento Pirámides.

5.2.2 Concentración elemental en hueso: Zn/ Ca, Sr/ Ca, Ba/ Ca.

Si se considera que el resto de las muestras no sufrieron ningún proceso de transformación o diagénesis, se obtuvieron las razones de Sr/Ca, Zn/Ca para obtener la gráfica de la figura 14. En dicha gráfica se observan variaciones importantes para el cociente Zn/Ca, de manera que debido a la dispersión en los valores no es posible establecer una tendencia o un comportamiento definido.

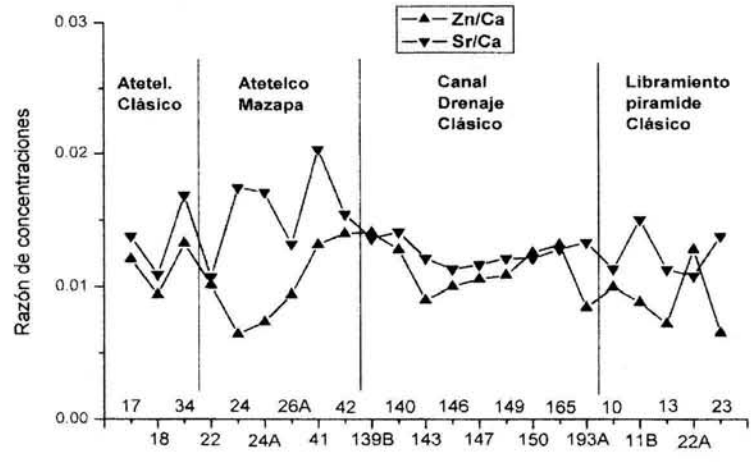

Figura 14: De las razones de Zn/Ca y Sr/Ca para las muestras de restos óseos no alteradas procedentes de los diversos sitios y temporalidades.

En cambio el cociente Sr/Ca es semejante en prácticamente todas las muestras correspondientes al Clásico, con la tendencia a un aumento en las muestras para el periodo Mazapa. Los valores promedio de los cocientes Zn/Ca, Sr/Ca, Fe/Ca y Ba/Ca, de las muestras consideradas correspondientes a Atetelco, Canal del Drenaje y Libramiento Pirámides, se presentan en la gráfica de la figura 15. Se observa un incremento del 25% en el cociente Sr/Ca para las muestras del periodo Mazapa con respecto a las muestras correspondientes al Clásico.

El cociente Zn/Ca no muestra tendencia alguna, observándose una disminución para el promedio de las muestras procedentes del sitio de Libramiento Pirámides. Se requiere mayor información respecto al contexto de los restos óseos e información sobre aspectos como el estatus social de los individuos de los diversos sitios para poder interpretar tal comportamiento.

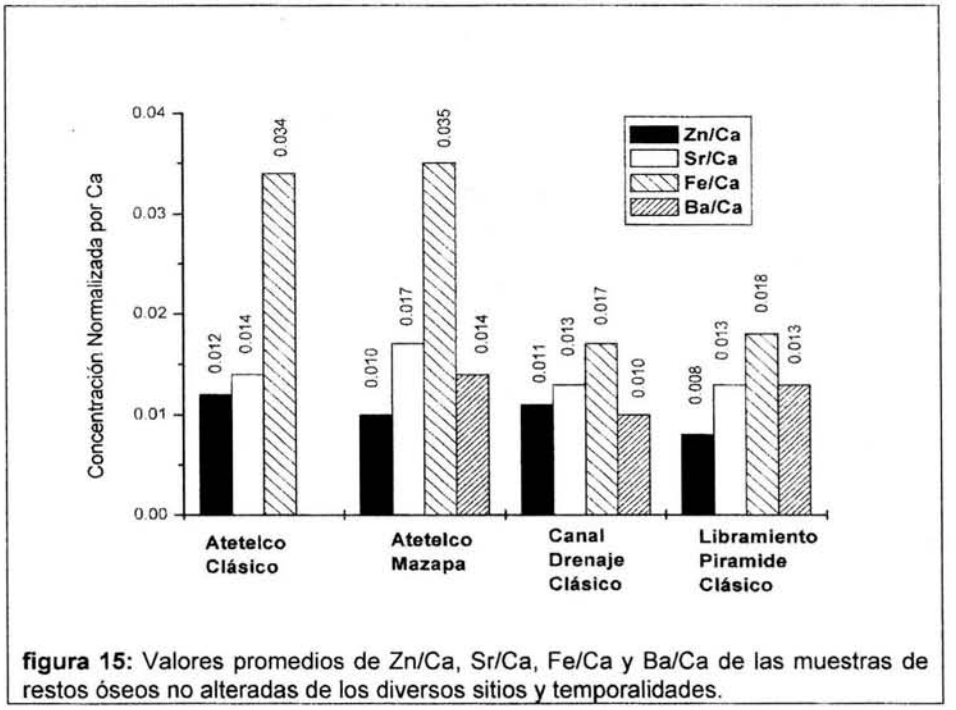

figura 15: Valores promedios de Zn/Ca, Sr/Ca, Fe/Ca y Ba/Ca de las muestras de restos óseos no alteradas de los diversos sitios y temporalidades.

El bario no fue detectado en todas las muestras (e.g. Atetelco Clásico), no obstante el valor promedio del cociente Ba/Ca es muy similar para el resto de las muestras en las cuales se detectó. El valor promedio del cociente Fe/Ca es mayor para las muestras procedentes del sitio de Atetelco con respecto al valor promedio de las muestras procedentes de los sitios de Canal del Drenaje y Libramiento Pirámides. Esto podría deberse a varias razones (procesos de deterioro, diferencias en el contexto, e incluso dietas y status) y requiere una mayor investigación.

5.2.3 Concentración elemental respecto a La temporalidad

La gráfica de la figura 16 representa las variaciones en el índice Sr/Zn para las diversas muestras de los sitios. En general es notable la dispersión de los valores. No obstante, los centroides de los polígonos de cada uno de los grupos de muestras correspondientes al periodo Clásico son muy cercanos.

Los valores Sr/Zn de las muestras del periodo Mazapa son en general mayores, observándose que el centroide del polígono correspondiente se encuentra desplazado hacia valores claramente mayores de Sr/Ca y de Zn/Ca (para éste último en menor proporción). Esto, junto con el aumento observado en los cocientes Sr/Ca de las gráficas 14 y 15, puede interpretarse como un cambio en la dieta de los individuos del periodo Mazapa con respecto a los individuos del Clásico con un incremento en el consumo de alimentos de tipo vegetal. Recordemos que las mayores fuentes de estroncio se encuentran en oleaginosas y granos. El ligero aumento en zinc puede deberse a un mayor consumo de leguminosas (*e.g.* fríjol), legumbres (*e.g.* calabaza) y maíz entero; y no necesariamente al consumo de proteínas animales.

Las causas de este cambio pueden ser diversas, incluyendo cambio climáticos, un cambio en el patrón de explotación de los recursos del entorno para las diversas épocas o el agotamiento de recursos alimenticios de origen animal hacia el Epiclásico.

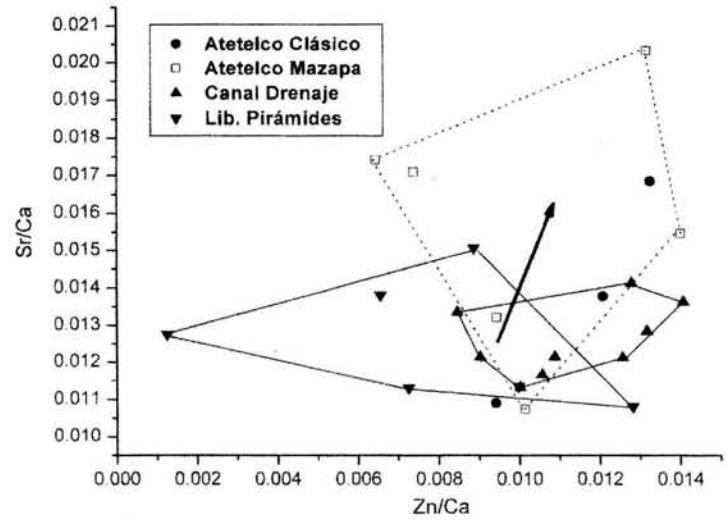

Figura 16: Sr/Ca vs. Zn/Ca de las muestras de restos óseos no alteradas procedentes de los diversos sitios y temporalidades de este estudio.

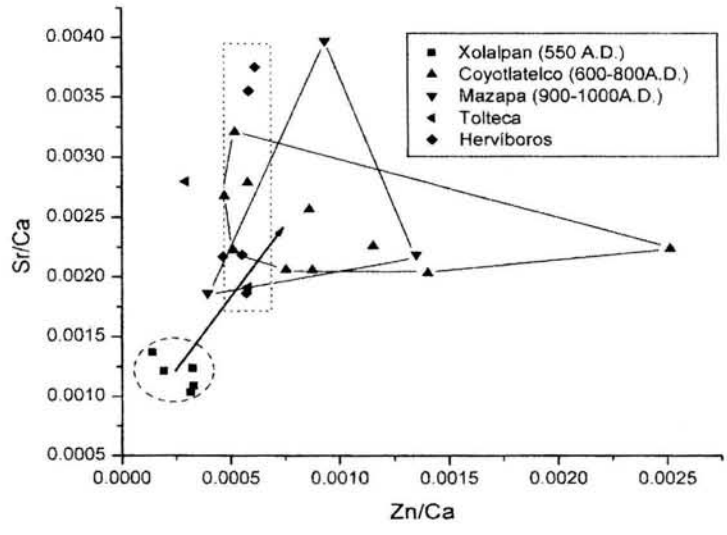

Figura 17: Sr/Ca vs. Zn/Ca de las muestras de restos óseos del Clásico y Epiclásico teotihuacano obtenida con base en los datos reportados para adultos en la referencia [16].

Los pocos estudios previos de paleodieta con otras técnicas en Teotihuacan dieron lugar a resultados similares con las mismas tendencias a los observados en la presente investigación, mostrando un cambio en los patrones alimenticios entre los periodos Clásico y Epiclásico (Manzanilla *et al.* 2000), Así, en un análisis por fluorescencia de rayos X (XRF) de restos óseos correspondientes a dichos periodos se observó, un incremento en los valores de los cocientes de Sr/Ca para el Epiclásico con respecto al Clásico. A pesar de que se reportan en dicho trabajo las concentraciones de zinc y otros elementos, no se discuten estos datos y no se realizaron análisis de sedimentos del contexto arqueológico. Con base en los valores reportados para individuos adultos en investigaciones realizadas por Manzanilla (2000) se obtuvo la gráfica de la figura 17. En ésta se muestra, de manera similar que en la gráfica 16, las variaciones del índice Sr/Zn. Se observa un comportamiento similar al obtenido en esta investigación. Existe una notable dispersión de los valores para los restos del Epiclásico teotihuacano, pero el centroide del polígono correspondiente a este periodo está claramente situado hacia valores superiores del cociente Sr/Ca y Zn/Ca (aunque para éste último en menor proporción) con respecto al centroide del grupo de muestras del Clásico. El centroide del polígono del Epiclásico está muy cercano a los valores Sr/Ca y Zn/Ca de herbívoros del sitio. Lo anterior concuerda con un incremento notable en el consumo de alimentos de origen vegetal en la población en el Epiclásico.

En otro estudio llevado a cabo mediante PIXE en el que se comparan las razones de Sr/Ca y Zn/Ca de restos óseos de individuos del Clásico y Postclásico teotihuacano y oaxaqueño del área de San Francisco Caxonos (Arrellin *et al,* 2000.), se observó también un incremento en la razón Sr/Zn para el Postclásico teotihuacano. Este resultado es acorde con lo previamente expuesto en cuanto al cambio en el patrón alimenticio de los individuos hacia un mayor consumo de vegetales en periodos posteriores al Clásico teotihuacano.

Conclusiones

- El método PIXE empleado es apropiado para llevar a cabo estudios de paleodieta a partir de restos óseos. Cabe hacer notar que en el caso del detector de elementos ligeros se observaron efectos de saturación por la gran cantidad de rayos X de calcio que son emitidos, por ello se hace patente la necesidad de desarrollar absorbedores selectivos para el análisis de materiales ricos en calcio, como lo son los restos óseos.
- La caracterización de los restos óseos debe complementarse con otras técnicas analíticas para establecer su estado de conservación, pues en algunos casos se observó un notable deterioro.
- En cuanto a la metodología de preparación de las muestras, se considera necesario para futuras investigaciones llevar a cabo una limpieza química, además de la mecánica, para disminuir contribuciones adicionales que alteren las concentraciones de los elementos relevantes para estudio de paleodieta.
- Los resultados de los análisis realizados de los restos óseos pueden compararse con los obtenidos mediante otros métodos y concuerdan con los obtenidos en otras investigaciones previas, de manera que se observa un cambio similar en el patrón alimenticio de los individuos del Epiclásico teotihuacano con respecto a los pertenecientes al Clásico.
- No se observan diferencias significativas en cuanto a los individuos de los diversos sitios, la diferencia es evidente sólo con respecto a la temporalidad. Con base en los cambios de las razones de Sr/Ca, Zn/Ca y Sr/Zn medidas, se infiere que en el Epiclásico se debió incrementar de manera importante el consumo de alimentos de origen vegetal por la población. Las causas pueden ser múltiples: Cambios climáticos con efecto en la fauna, modificaciones en el patrón de explotación del

entorno o el agotamiento por explotación intensiva de recursos alimenticios de origen animal hacia el Epiclásico.

- Con base en los elementos detectados, como el estroncio y el zinc, puede sugerirse el consumo de algunos vegetales disponibles en la paleoflora teotihuacana: Granos y cereales (Amaranthaceae), leguminosas como el frijol (Phaseolus) y legumbres como la calabaza, además de maíz.
- Un estudio más profundo de los contextos arqueológico de los restos óseos será de gran utilidad para interpretar con mayor exactitud lo que se ha inferido de este estudio.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

REFERENCIAS

Argueta, A., y Arizpe L. 1993. Antropología breve de México, *Academia de la Investigación Científica,* 57-85.

Arrellín, R.,Ortiz E. D., Manzanilla L y Ruvalcaba-Sil J.L. 2000. A Comparative study of bone remains using Zn and Sr contents, *32nd. International Symposium on Archaeometry*, México, p. 33.

Batres, L. 1906. Teotihuacan o Ciudad Sagrada de los Toltecas, Imprenta de Hull, México, 3-6.

Barba, L. A., Rodriguez R., y Córdova J. L. 1991. Manual de Técnicas Microquímicas de Campo para la Arqueología, Instituto de Investigaciones Antropológicas, *Cuaderno de Trabajo, UNAM*, México.

Brady, C. 1974. The Nature and Properties of Soils, Macmillan Publishig Co. INC., London.

Brito, L. 1992. El deterioro de material óseo humano en su contexto de Enterramiento, tesis de licenciatura, Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía *Manuel del Castillo Negrete, INAH*, México.

Brito, L. 1999. Análisis del deterioro en restos óseos humanos y su relación con el tiempo de enterramiento, INAH, México.

Brito, L. 2000. Análisis social de la población prehispánica de Monte Albán a través del estudio de la dieta, tesis doctoral en Estudios Mesoamericanos, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.

Burton, J. H., y Price T. D. 1990. The ratio of barium to strontium as a paleodietary indicator of consumption of marine resources, *Journal of Archaeological Science* 17, 547-557.

Cholewa, M., Kwiatek W. M., Jones K. W., Schidlovsky G., Pachoa A. S., Miller S.C., y Pecotte J. 1987. Elemental concentrations in bone from ancient egyptian mummy and from contemporary man, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* B22, p. 423.

Chapman, E. 1983. Sales Bioquímicas: Micronutrientes Esenciales para la Salud y a Vitalidad, EDAF Ediciones, México.

Charnay, D. 1885. Teotihuacan, en Les Anciennes Villes du Nouveau Monde Voyages D exploration au Mexique et dans L Amérique Centrale de 1857-1882, Paris, Librairie Hachette et Cie.: 107-125.

Chinchilla, O. M. 1991. Nutrición Prehispánica en la costa sur de Guatemala, Estudio de los Restos Óseos de Sin Cabeza, Escuintla, por medio de Análisis de Estroncio. *Investigaciones Antropológicas,* UNAM.

De Guichen, G. 1984. Object interred, Object desinterred, en: *Conservation on Archaeological Excavation,* N.P. Stanley Price, editor, ICCROM, Rome, pp.21-30.

Díaz, E. 1923. Esqueletos encontrados en la zona Arqueológica de Teotihuacan, al sur del Museo Regional, en Estado de México, San Juan Teotihuacan 1690-1891, 1918-1946, México, *Archivo Técnico de la Dirección de Arqueología, INAH*, t. LXV:464-510.

Dolza, P. 1925. Descubrimiento Arqueológicos en el Templo de Quetzalcóatl, Teotihuacan, en *Anales del Museo Nacional de Arqueología, Historia y Etnografia, 4ª. época,* México, t. III.

Dowman, E. 1970. Conservation in Field Archaeology, Londres, London Mathuen.

Ezzo, A.J. 1994. Putting the chemistry back into archaeological bone chemistry analysis: Modeling potential paleodietary indicators, *Journal of Anthropological Archaeology* 13 , 1-34.

Gamio, M. 1922. El tipo físico en La población del Valle de Teotihuacan. Dirección de Antropología, Talleres Gráficos, SEP, vols. I-II.

Gamio M., 1993. Arqueología mexicana. Editorial Raíces S.a de C.V *Instituto Nacional de Antropologia e Historia*, Mexico vol 1 no.1 , 36-46

Gilbert R.I. 1977. Applications of trace element research to problems in archaeology en biocultural adaptation in prehistoric America, R.L. Blakely ed., Georgia University Press, Athens.

Gofferm, Z. 1880. Conservation and Restoration of Archaeological Materials,en Arhaeological Chimistry Archaeology, parte III, Nueva York, John Wiley and Sons (Wiley Interscience),1880, pp.237-245.

Grupe, G., and Piepenbrink H. 1989. Impact of microbial activity on trace elements concentrations in excavated bones, Applied Geochemistry, no. 3, Pergamon Press, pp. 293-298.

Hare, P. E. 1980. Organic Geochemistry of Bone and its Relation to the Survival of Bone in the Natural Environment, en Fossils in the Making, Chicago, University of Chicago Press, pp. 208-219.

Hassan, F. A. 1978. Sediments in Archeology: Methods and Inplications for Paleoenviromental and cultural Analysis, *Journal of Field Archaeology*, vol.1978, pp.193-213.

Hrdlicka, A. 1912. An Ancient Sepulchre at San Juan Teotihuacan , with Anthropological Notes on the Teotihuacan People, XVII *Congreso Internacional de Americanistas*, México.

Houssay, A. B. 1976. Fisiología humana, El Ateneo, Buenos Aires.

Johansson, S. A. E., y. Campbell J. L. 1988. PIXE: *A novel technique for elemental analysis, John Wiley & Sons, Chichester.*

Johansson, S. A. E., Campbell J. L., y Malmqvisteds K. G eds. 1995. Particle-Induced X Ray Emission Spectrometry (PIXE), *Chemical Analysis A Series of Monographs on Analytical Chemistry and its Applications*, Vol. 133, John Wiley and Sons, New York.

Lazos, L. 1992. Estudio para la interpretación de la técnica de fechamiento por colágeno para materiales óseo en la Cuenca de México, tesis de licenciatura, México, UNAM, Facultad de Ciencias.

Lewenstein S., 1993. Arqueología mexicana. Editorial Raíces S.a de C.V *Instituto Nacional de Antropologia e Historia*, Mexico vol 1 no.1 , 53-55

Linné, S. 1934. Arqueological Researches at Teotihuacan, México, V. P. Bokindustriaebdag, Stockholm, *The Ethnographical Museum of Sweden, New Serie*, publ. Núm. 1.

MacBryde, M. C., Blacklow., and Stanley B. R. 1973. Signos y Síntomas. Fisiología Aplicada e Interpretación Clinica, Nueva Editorial Interamericana., México.

McClung, 1993. Arqueología mexicana. Editorial Raíces S.a de C.V *Instituto Nacional de Antropologia e Historia*, Mexico vol 1 no.1 , 27-30

Manzanilla L., 1993. Arqueología mexicana. Editorial Raíces S.a de C.V *Instituto Nacional de Antropologia e Historia*, Mexico vol 1 no.1 , 16-19

Manzanilla, L., Tejeda S., y Martínez J.C. 2000. Implicaciones del análisis de calcio, estroncio y zinc en el conocimiento de la dieta y la migración en Teotihuacan, México, Anales de Antropología v. 33, 1996-1999, *Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM*, 13-28.

Márquez, M. L., 1992. La dieta de la población prehispánica maya, *Estudios de Cultura Maya, Centro de Estudios Mayas, UNAM*, México.

Martinez, M. C., Chavez A., y. Bourges H. 1997. La lactancia en el medio rural. Estudios cuantitativos sobre producción y valor nutritivo de la leche humana. Monografía L-26. *División de Nutrición. Instituto Nacional de la Nutrición. México.*

McLaren, D. 1983. La Nutrición y sus Transtornos, Dr. Octavio Gómez Dantés, traductor , Edit. El *Manual Moderno*, S.A. de. C.V., México.

Millon, R. 1973. The Teotihuacan Map, en Urbanization at Teotihuacan, México, University of Texas Press, Vol. I y II, Austin.

Newesely, H. 1989. Fossil bone apatite, Applied Geochemistry, no. 3, Pegamon Press, pp. 233-246.

Noguera, E. 1955. Extraordinario hallazgo en Teotihuacan, en El México Antiguo, México, *Sociedad Alemana Mexicanista*, t. VIII.

Oakley, K. P. 1980. Métodos Analíticos para datación de huesos, en Don Brothwell y Eric Higgs (copms.), *Ciencia en Arqueología, méxico, FCE*, PP.29-39.

Perez-escamilla, R., y Dewey K. G. 1993. Epidemiología de la lactancia materna en zonas rurales y urbanas de México. *Boletín Oficina Sanitaria Panamericana.* 114(5): 399-406.

Piepenbrink, H. 1986. Two Examples of Biogenous Dead Bone Descomposition and Their Consequences for Taphonomic Interpretation, *Journal of Archaeological Science,* num. 13, pp. 417-430.

Price, T. D. 1989. Bone Composition Studies in Archeology, *Society for American Archeology, Fryxell Symposium*/University of Wisconsin.

Reiche I., Favre-Quattropani L., Calligaro Th., Salomon J., Bocherens H., Charlet L., Menu M. 1999. Trace element composition of archaeological bones and post-mortem alteration in the burial environment, Nucl. Instrum. and Meth. B 150 656-662.

Robinson, C. H. 1979. Fundamentos de Nutrición Normal, CECSA., México.

Robinson, J. R. K., y Elias J. N. 1986. Nutritional significance of the Guila Naquitz food remains, en: Guilá Naquitz Archaic Foraging and Early Agriculture in Oaxaca, México, Kent. V. Flannery, Editor, Academic Press. Inc., pp. 297-301.

Rodriguez., R. 1998. Elementos traza y Paleonutrición en el sitio preagroalfarero Guayabo Blanco,Ciénega de Zapata, Provincia de Matanzas.Cuba, *Museo Antropologia "Montené". Facultad de Biología.*Universidad de la Habana,Cuba. 1-10

Ruvalcaba, Sil. JL. 2001. Aplicaciones de PIXE al estudio de muestras de interés biológico, TIP *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* 4(2),93-99.

Ruvalcaba, Sil. JL. 2003. Estudios arqueométricos mediante las técnicas PIXE y RBS, *Antropología y Técnica*, IIA-UNAM 7 , 15-30.

Sanjur, D., Scoma A. 1971. Food habits of low- income children in Norteen New York. *Journal of Nutrition Education*. 85-95.

Sanjur, D. 1980. Parámetros ambientales y socioculturales que afectan la alimentación en los países del tercer mundo. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 30(4): 634-655

Schoeninger, M. J. 1979 . Diet and status at Chalcatzingo: Some empirical and technical aspects of strontium analysis, en: *Journual of physical Anthropology*, no. 51, 295-310.

Schoeninger, M J. I985.Trophic level effects on 15N/14N and 13C/12C ratios in bone collagen and strontium levels in bone mineral, *Journal of Human Evolution*, no. 14, pp. 515-525.

Sempowski, M., Spence M. 1994. Mortuary Practices and Skeletal Remains at Teotihuacan R. Millon (ed), Urbanization at Teotihuacan, México, Salt Lake City, University of Utah Press, vol. III:45-122.

Serrano, S. C. 1988. Muerte y prácticas funerarias, La Vida Cotidiana en el México Prehispánico, Cuadernos de Extensión Académica, no. 41, UNAM, México.

Sillen, A.,Sealy J.C y. Van der Merwe J. 1989. Chemistry and paleodietary research: No more easy answers, American Antiquity 54, 504-512.

Solís, C., Olivier A., Rodríguez L., Andrade E., Chávez M. E., Mancilla J., y Saldivar O. 1996. Lead levels in Mexican human teeth from different historical periods using PIXE, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B118, p. 359.

Stone, L., Campbell G. 1984 .The use and misuse of surverys in international development: An experiment from Nepal. Human Organization. 43(1).

Vaillant, G. 1932. Catalogo de objetos arqueológicos procedentes de la excavación de la zona arqueológica de Teotihuacan 1690-1891,1918-1946,México, *Archivo Técnico de la Dirección de Arqueología,* INAH, t. LXV:457-463.

Vuorinen, H., Mussalo-Rauhamaa H. 1990. *Elemental Análisis of Long Bone of Infants From Ficana Excavations, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, B49 , pp245-249.

Wallington, E. A. 1976. Métodos Histológicos para Hueso, *Edit, El Manual Moderno, México.*