



Universidad Nacional Autónoma de México

INSTITUTO DE GEOFÍSICA
POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA

*APLICACIÓN DE LA ISOTOPÍA DE ESTRONCIO (Sr) COMO
TRAZADOR DE MIGRACIÓN HUMANA EN EL BARRIO
TEOTIHUACANO DE TEOPANCAZCO*

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS (GEOQUÍMICA Y PETROLOGÍA)
P R E S E N T A:
BECKET LAILSON TINOCO

DIRECTOR DE TESIS: DR. PETER SCHAAF

México, D. F.

2009



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

Agradecimientos

El presente trabajo de tesis es una investigación conjunta que no se hubiera consumado sin el apoyo de varias instituciones y el trabajo, la aportación, la ayuda, la asesoría y la amistad de muchas personas a las que les doy infinitas gracias. Quisiera comenzar agradeciendo al Instituto de Geofísica de la UNAM por su apoyo como institución educativa, al Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica (LUGIS), en especial al Dr. Peter Schaaf mil gracias por todo su apoyo y dirección, al Dr. Raymundo Martínez por su asesoría y sus excelentes clases, la Mtra. Gabriela Solís Pichardo por su paciencia y entrenamiento de laboratorio y al Ing. Teodoro Hernández quien siempre me animó y me dirigió en la parte mecánica de mi trabajo. A los estudiantes y amigos Valerie Pompa, Josué Salazar y Daniel Villanueva muchas gracias por su amistad, apoyo y las inolvidables salidas de campo. Un especial agradecimiento a la Dra. Linda R. Manzanilla Naim del IIA-UNAM por proporcionar los materiales óseos de su proyecto, los cuales fueron analizados en esta tesis, además por sus excelentes clases, su apoyo y asesoría. De igual manera, estoy muy agradecido con el Dr. José Luis Ruvalcaba de Instituto de Física de la UNAM por su asesoría y comentarios. Al Dr. Sergey Sedov del Instituto de Geología de la UNAM, por su asesoría, sus enseñanzas y su buen humor. Muchas Gracias al Dr. Jorge Gama y a la Dra. Elizabeth Solleiro por sus tan valiosas clases y asesorías. Gracias a Jaime Díaz del laboratorio de suelos por su gran apoyo. También estoy muy agradecido con el Dr. Alejandro Pastrana

y el Dr. Claus Siebe que me animaron a adentrarme a las Ciencias de la Tierra. Mil gracias al Posgrado en Ciencias de la Tierra de la UNAM en especial a la coordinadora: la Dra. Elsa Leticia Flores y a las secretarías administrativas: Araceli Chaman, Mónica Salgado y Graciela Solache, mil gracias por todo su apoyo. A CONACYT doy muchas gracias por su apoyo económico de beca. Al Dr. Jaime Yamamoto y al Comité Académico del Posgrado en Ciencias de la Tierra por otorgarme una beca de apoyo, a través de Instituto de Geofísica, beca de gran ayuda para terminar este trabajo de tesis. Así mismo agradezco a DGAPA-PAPITT por la beca mediante el proyecto INII5106, de gran apoyo para esta tesis. A mis amigos: David Blanco, Augusto Rodríguez, José Juan González, Guadalupe Dávalos, Nelda Treviño, Octavio Chávez, Katrin Sieron, Pedro Santillán, Felipe Armas, Iriliana López, Gabriel Vázquez, Roberto Rodríguez, Jorge Rivas, Elia Escobar, Héctor Cabadas, Federico Landa, Alfredo González, Berenice Hernández y César Berkovich por su gran apoyo, enseñanza y principalmente su amistad. Muchas gracias a mis Padres Ariosto Lailson y Blanca Tinoco y a mis queridos hermanos Tonya, Mandy y Ariosto, mil gracias por ser mi familia y por apoyarme. Finalmente a mi esposa Catharine Lailson por su paciencia, su apoyo y su amor, así como a mis tres pequeños Rebekah, Aliyah y Becket, los amo.

Resumen

Los estudios arqueológicos son indispensables para discernir el comportamiento humano del pasado. Sin embargo, la disciplina arqueológica requiere del apoyo de otras ciencias para el enriquecimiento y obtención de información más precisa. En especial las ciencias de la Tierra juegan un papel muy importante en el análisis de evidencia humana del pasado en cuestión, tanto de conceptos como de técnicas. Dentro de estas disciplinas, la aplicación de la isotopía de estroncio (Sr) es una herramienta útil como trazador geoquímico para estudios de migración humana. Consiste en la comparación entre la relación isotópica de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de los dientes y huesos humanos respecto a la relación isotópica de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de un suelo en particular, lo cual está en función de la movilidad del individuo mientras se encontraba vivo. La relación isotópica de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en los dientes y huesos presenta un comportamiento diferente: los dientes conservan el valor de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de la infancia del individuo, mientras que los huesos conservan el $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de los últimos años de vida. Es posible obtener esto gracias a que por medio del aporte de estroncio en los suelos y en las plantas, este elemento puede llegar al organismo humano, donde es sustituido parcialmente por calcio en los minerales del tejido óseo. La clave del método es obtener compatibilidad en las firmas isotópicas del individuo en estudio con la información edafológica disponible que nos pueda hablar de su localidad de origen.

Se aplicó esta técnica a un total de cinco entierros pertenecientes al barrio teotihuacano de Teopancazco, donde se midieron las relaciones isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de esmaltes de los dientes, así como de fragmentos de cráneo, vértebra y fémur. De estas muestras analizadas se encontró una correspondencia en sus

valores isotópicos de estroncio, mientras que los esmaltes sí presentaron variaciones. Solamente un individuo fue identificado como local al concordar la isotopía del diente con la de sus huesos. Las diferencias isotópicas de Sr entre dientes y huesos de los demás individuos hacen pensar que fueron migrantes.

Paralelamente se tomaron muestras de suelos de diferentes sitios arqueológicos de periodo Clásico en las regiones de los estados de Morelos, Puebla, Tlaxcala y Veracruz. La finalidad es poder comparar la isotopía de los individuos con las de los suelos de sus probables lugares de origen y así intentar obtener información respecto a la movilidad de los individuos y el origen geográfico de los mismos. En adición, con estos valores de suelos se contribuye a la base de datos disponibles para México.

Índice

| | |
|----------------------|---|
| Agradecimientos..... | 2 |
| Resumen..... | 4 |
| Índice..... | 6 |

Capítulo I

| | |
|--|----|
| Introducción..... | 9 |
| Trabajos previos sobre la aplicación de la isotopía de Sr | 13 |
| La ciudad de Teotihuacan..... | 17 |
| Conjunto de Barrio de Teopancazco..... | 20 |
| Enclaves teotihuacanos en las regiones de Morelos, Puebla, Tlaxcala y Veracruz..... | 24 |
| Trabajos previos de isótopos de estroncio en Teotihuacan..... | 30 |
| Objetivos..... | 33 |

Capítulo II

Metodología y conceptos teóricos

| | |
|--|----|
| Isótopos..... | 36 |
| Isótopos radioactivos..... | 37 |
| Decaimiento β - | 38 |
| Análisis de isótopos de estroncio..... | 38 |
| Isótopos de Sr en las Ciencias de la Tierra..... | 40 |
| Isótopos de Sr en la Arqueología..... | 41 |

Capítulo III

Metodología del trabajo de campo

| | |
|--|----|
| Isótopos de estroncio en los suelos..... | 44 |
| Trabajo de campo y muestreo de suelos..... | 47 |
| Trabajo de campo y muestreo de suelos 1ra Temporada..... | 49 |
| Trabajo de campo y muestreo de suelos 2da Temporada..... | 63 |

Capítulo IV

Metodología del Trabajo de Laboratorio

| | |
|--|----|
| Muestras de dientes y huesos..... | 76 |
| Composición del esmalte dental..... | 78 |
| Mineral apatito..... | 79 |
| Trabajo de laboratorio..... | 81 |
| Preparación de las muestras de dientes y huesos..... | 81 |
| Preparación de las muestras de suelos..... | 86 |
| Proceso químico de las muestras..... | 87 |
| Pesado y spike..... | 87 |
| Digestión de las muestras..... | 88 |
| Separación del estroncio (Sr)..... | 89 |

Capítulo V

| | |
|---|----|
| Resultados..... | 91 |
| Resultados de las muestras de dientes y huesos..... | 92 |
| Entierro 13A Teopancazco..... | 93 |
| Entierro 15 Teopancazco..... | 94 |
| Entierro 78 Teopancazco..... | 94 |
| Entierro 98 y 102 Teopancazco..... | 95 |
| Resultados de las muestras de suelos..... | 96 |

| | |
|---|----|
| Enclaves Teotihuacanos en Veracruz..... | 98 |
| Enclaves Teotihuacanos en Tlaxcala, Morelos y Puebla..... | 98 |

Capítulo VI

| | |
|-------------------|-----|
| Discusión..... | 100 |
| Conclusiones..... | 105 |
| Bibliografía..... | 107 |

Capítulo I

Introducción

Durante varias décadas, el fenómeno de migración humana prehistórica se percibió como una manifestación difícil de detectar arqueológicamente, que además ocurría de manera esporádica e impredecible en el pasado y que, por lo tanto, la investigación arqueológica no era capaz de establecer una explicación científica con respecto al mismo. Diversas investigaciones incorporaron la migración dentro de explicaciones sobre cambios culturales; sin embargo, éstas presentaban un carácter simplista y carente de base, además fueron relacionadas con modelos funcionalistas de evolución social que difícilmente se pueden probar de una forma objetiva (Anthony, 1997). No obstante, aunque años atrás la teoría de la migración no existía como una explicación válida dentro de los cambios culturales en arqueología, varios investigadores han comenzado a incluir el estudio de migración humana dentro del tema de cambio cultural (Adams et al. 1978; Anthony, 1997).

La investigación arqueológica enfocada en la movilidad y migración humana ha centrado sus estudios para resolver problemas dentro del ámbito de la identidad, la cual se ha entendido como un concepto que refiere a la unidad y autopercepción de los individuos en cuestión de pertenencia a un grupo (Díaz-Andreu, *et al.* 2005). Tomando en cuenta la idea de que el individuo y la sociedad forman la identidad, podemos mencionar que la sociedad no puede

existir independientemente de las personas y está formada por acciones, prácticas y conocimiento social. De acuerdo con Díaz-Andreu (2005), los estudios arqueológicos de la identidad están relacionados a tópicos tales como el género, edad, etnicidad y religión. Estos aspectos son considerados por los arqueólogos para deducir indicadores que sirvan como base para la interpretación de la identidad de un grupo o de los individuos en estudio. Sin embargo, debemos de tomar en cuenta, que para poder realizar estudios más específicos, podemos apoyarnos de técnicas empleadas en otras disciplinas que nos puedan servir como herramientas adicionales en el descubrimiento de la identidad de las culturas prehistóricas.

Durante su desarrollo, la arqueológica ha encontrado apoyo de otras disciplinas en diversas maneras para resolver problemas que requieren de una comprobación de carácter científico. Dentro de estas disciplinas destacan, debido a su constante intervención en el quehacer arqueológico, la geología y la geofísica. La interacción entre la arqueología y estas ciencias de la Tierra se remonta al siglo XIX, cuando la arqueología prehistórica y la geología se encontraban desarrollándose paralelamente.

Las aplicaciones de las ciencias de la Tierra en arqueología se han enfocado a resolver asuntos arqueométricos, aunque también se han aplicado, por ejemplo, técnicas geoquímicas y geofísicas en estudios de actividades humanas, estudio de procedencia de materiales arqueológicos, ubicación de sitios y estructuras,

entre otros. En los últimos años se ha experimentado con algunas técnicas geoquímicas para resolver problemas sobre migración humana y procedencia de piezas arqueológicas con origen geológico. Como es bien sabido, el registro arqueológico es la base para observar e interpretar la identidad de los grupos humanos del pasado; no obstante, para poder obtener información más detallada y específica sobre la movilidad de estos grupos, la rama de la geología denominada geoquímica isotópica ha sido una herramienta muy importante y precisa para enriquecer el conocimiento arqueológico con respecto a este tema.

Actualmente dentro de la arqueología se han definido varios tipos de migración humana prehistórica. De hecho el fenómeno de migración humana ya se comienza a comprender como una estrategia social compleja que presenta patrones e indicadores específicos que nos permiten estudiarlo en el ámbito arqueológico (Tilley 1978; Anthony 1997). Así mismo, como se ha mencionado la aplicación de herramientas geoquímicas, como la presentada en este trabajo, sirven para corroborar el registro arqueológico y los modelos teóricos sobre migración, ya que se ha demostrado que los análisis isotópicos son un potencial para la identificación de migrantes (Price, 1994, Price *et al.*, 2000; Hodell *et al.*, 2004; Bentley, 2006). Actualmente se conocen varias técnicas geoquímicas que pueden usarse en huesos y dientes para identificar migración humana prehistórica a través de análisis isotópicos de elementos traza. Por ejemplo, se han aplicado a estos estudios análisis de isótopos de plomo (Katzenberg y Krouse 1987, 1989; Gale 1989; Carlson 1996; Gulson *et al.*, 1997; Bentley 2001;

Hoogewerff *et al.*, 2001; Knudson *et al.*, 2001). También se han realizado análisis con isótopos de oxígeno para identificar orígenes geográficos (Fricke *et al.*, 1995; Bryant y Froelich 1996; Cerling y Sharp 1996; White *et al.*, 1998; Wright y Schwarcz 1998; Sponheimer y Lee-Thorp 1999; White *et al.*, 2000; Hoogewerff *et al.*, 2001; Tomczak, 2003; Spence *et al.*, 2004a; Spence *et al.*, 2004b; White *et al.*, 2004). Así como análisis isotópicos de estroncio aplicados a los estudios de procedencia e identidad en la arqueología (Price *et al.*, 1994; Ezzo *et al.*, 1997; Cox y Sealy, 1997; Grupe *et al.*, 1997; Latkoczy *et al.*, 1998; Price *et al.*, 2000; Benson *et al.*, 2003; Knudson *et al.*, 2004).

El estudio de migración humana se encuentra sumamente vinculado con el aspecto de etnicidad, la cual se define como: la autoconcepción de las personas al identificarse dentro de un grupo social, el cual mantiene un pasado histórico compartido, ancestros común, así como elementos simbólicos que los distingue como: patrones de parentesco, afiliaciones de creencias y formas de lenguaje o dialecto. Por lo que un grupo étnico es cualquier grupo de personas que se diferencia de los otros con los que interactúa y coexiste. Para interpretar la identidad étnica los arqueólogos se basan en los restos materiales como tipos cerámicos, arquitectura doméstica y cívica, lítica, textiles, elementos domésticos como patrones culinarios, ornamentación, urnas mortuorias, entre otros indicadores para distinguir a un grupo étnico de otro (Emberling, 1997); sin embargo, para poder establecer si un individuo es local o migrante y conocer lugar de nacimiento la aplicación de la isotopía de estroncio es indispensable.

En el presente trabajo se expone la aplicación de las herramientas isotópicas de Sr en el estudio de migración humana prehispánica, su importancia y su aplicación directa a los estudios sobre movilidad humana que se han realizado en el barrio teotihuacano de Teopancazco.

Trabajos Previos

La aplicación de análisis de Sr en estudios de movilidad y migración humana ha tenido excelentes resultados desde hace más de 20 años (compilación en: Bentley, 2006). Ericsson (1985) fue el primero en introducir este método de análisis para resolver problemas arqueológicos, proponiendo que se podían medir las relaciones isotópicas en dientes y huesos humanos. Sin embargo, esta técnica inicialmente se empleó en estudios de medio ambiente y ecología humana. Estos análisis también se han utilizado para identificar la exportación ilegal de marfil (Van der Merwe *et al.*, 1990; Vogel *et al.*, 1990). Åberg (1995) utilizó dichos análisis como trazadores en estudios de medio ambiente. En el ámbito arqueológico se han realizado diversos estudios como los reportados para grupos prehistóricos en Europa Central (Bell-Beaker People) (Grupe *et al.*, 1997; Latkoczy *et al.*, 1998) en el suroeste de los Estados Unidos y en Grasshopper Pueblo en Arizona (Price *et al.*, 1994; Ezzo *et al.*, 1997) en homínidos en Sud África (Cox y Sealy, 1997) así como en contextos prehispánicos en Teotihuacan (Price *et al.*, 2000).

Además de la aplicación en estudios de movilidad humana, el análisis de isótopos de estroncio también ha servido como trazador en estudios de procedencias de maíz. Por ejemplo, esta aplicación fue utilizada para poder reconocer la procedencia y las localidades de donde se estaba obteniendo el maíz que llegaba al sitio de Pueblo Bonito, en el Cañón del Chaco, Nuevo México. Benson *et al.* (2003) partieron de intentar resolver la cuestión que si el maíz obtenido de los suelos alrededor del Cañón del Chaco era suficiente para suplir la población de Pueblo Bonito o si existían otras fuentes que suplían de este grano a la población. Se tomaron muestras de maíz arqueológico para comparar las relaciones isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ con las de los suelos de cuatro posibles sitios agrícolas dentro de la cuenca de San Juan, Nuevo México. Las muestras de maíz fueron tomadas de dos sitios arqueológicos: Pueblo Bonito y Aztec Ruin, presentando este último una ocupación más temprana. Los suelos seleccionados para el muestreo se caracterizaron por la presencia de depósitos de aluvión en el caso de la localidad de Newcomb y en las montañas de Chuzka a 80 km al oeste del sitio de Pueblo Bonito, así como depósitos de abanico aluvial en la localidades de Aztec Ruin, Salmon Ruin y en el área del Río Animas a 90 km al norte del sitio. En este estudio los resultados indicaron que las muestras de maíz del sitio arqueológico de Pueblo Bonito muy probablemente fueron sembradas en el área de Newcomb y por lo tanto, se trataba de una fuente importante de suministro de maíz a este sitio. Por otro lado las relaciones isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en las muestras del sitio Aztec Ruin son muy similares a

las de los depósitos de aluvión de las áreas de Aztec Ruin y Salmon Ruin, por lo que se dedujo que el suministro de maíz para este sitio provenía también de estas áreas (figura 1). Estos resultados demostraron que para tiempos Precolombinos el maíz que suplía el área del Cañón del Chaco era traído desde distancias lejanas a varios kilómetros fuera de los sitios (Benson *et al.* 2003).

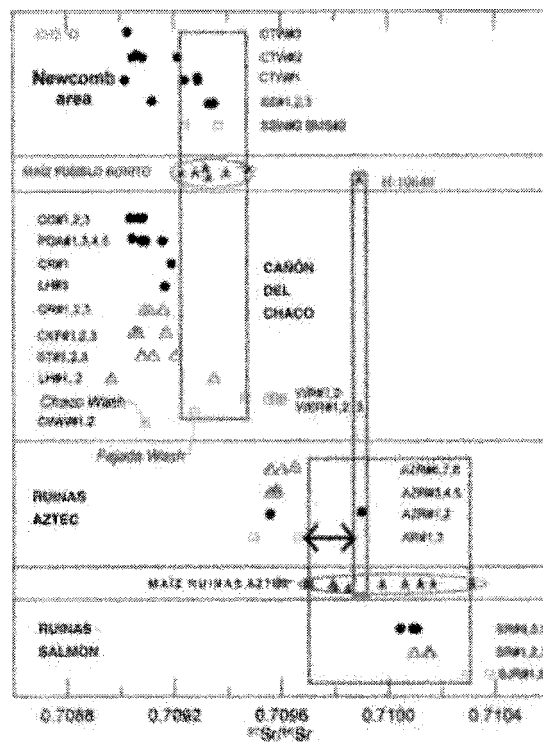


Figura 1. Relaciones isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en depósitos de aluvión (•), de abanico aluvial (Δ) agua de superficie (□) y maíz arqueológico (▲) en la región de la Cuenca de San Juan, Nuevo Mexico (modificado de Benson *et al.* 2003).

Otro trabajo destacado fue el realizado por Knudson *et al.* (2004) para establecer patrones de movilidad humana en el área sur central de los Andes. Mediante el análisis de isótopos de estroncio, se investigó el origen de tres individuos que fueron enterrados en la cueva de Juch'uyupampa, Bolivia. Las evidencias

arqueológicas colocaron estos entierros dentro del periodo Horizonte Medio (500-1000 AC) durante el dominio Tiwanaku. Para este caso, se tomaron muestras de huesos y esmalte de los entierros para así comparar las relaciones isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ con las de muestras de fauna local con el fin de deducir el origen geográfico de estos individuos.

De los entierros que se tomaron muestras de esmalte, sólo dos de ellos mostraron una firma isotópica similar: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.71258, 0.71399$ y 0.71235 . Según Knudson esto puede indicar que estos individuos probablemente consumieron productos de la misma región geológica, al menos por determinado tiempo mientras se encontraban en vida. Recordemos que las relaciones isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de las muestras de esmalte de estos individuos, reflejan la dieta de la infancia de los mismos, mientras que la de la muestra de hueso refleja la dieta en estado adulto del mismo. Según Knudson se puede pensar que los primeros dos individuos crecieron en localidades geológicas similares y el tercero emigró de otra localidad y finalmente pasaron su vida adulta (al menos los últimos 20 años) en la misma localidad (Knudson *et al.*, 2004). Por otro lado, se tomaron muestras de fauna de la región de Potosí, la primera (POT-1) cuenta con una firma isotópica de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.71323$; mientras que la segunda (POT-2) es de 0.72050 (figura 2). Solamente la primera es similar a las firmas isotópicas de la región de Pulacayo, las cuales se tomaron de agua superficial en esta región (Grove *et al.*, 2003). Por lo que Knudson *et al.* (2004) finalmente concluyeron que dos de los tres individuos no vivieron su infancia en el área de

Tiwanaku o en la región de San Pedro de Atacama. Por otro lado, el tercer individuo tampoco vivió las dos últimas décadas de su vida en estas dos regiones.

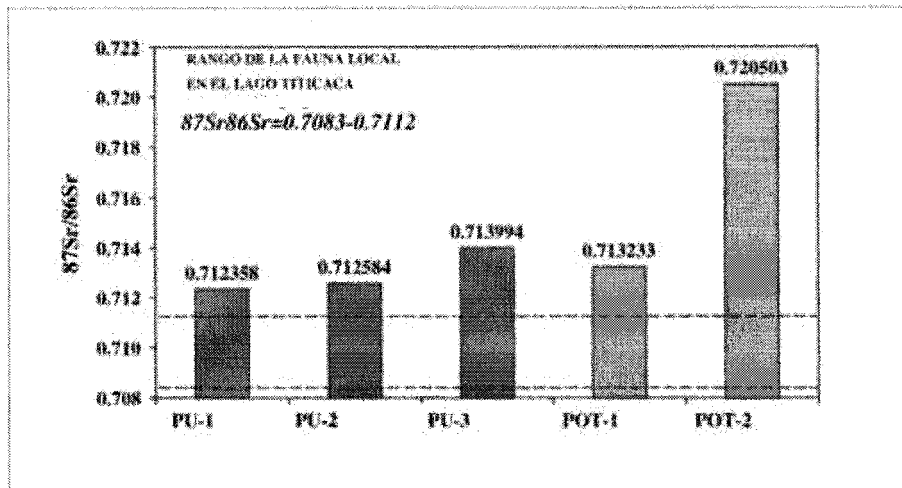


Figura 2. Valores de las firmas isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de los entierros de Juch'uyppampa, Bolivia y de la fauna en la región de Potosí. PU-1 (hueso humano), PU-2 y PU-3 (dientes), POT-1 y POT-2 (huesos de fauna moderna). Modificado de Knudson *et al.* (2004)

La ciudad de Teotihuacan

La zona arqueológica de Teotihuacan en el estado de México se localiza al norte de la Cuenca de México y al noroeste del Valle de Puebla aproximadamente a 50 km de la Ciudad de México (figura 3), se considera una de las más importantes ciudades del México prehispánico; el eje de la historia mesoamericana durante el Clásico Temprano. Fue foco religioso importante, el centro de peregrinación por excelencia, el lugar donde se crearon el tiempo y el espacio sagrados, el arquetipo de las ciudades mesoamericanas (Manzanilla 1993b). Geográficamente esta ciudad fue un punto estratégico debido a su

cercanía con el lago de Texcoco, con yacimientos de obsidiana como el de la Sierra de las Navajas y el de Otumba y su posición dentro de la red de rutas de comercio con el Golfo de México (Manzanilla, 1995). Así mismo, Teotihuacan fue un asentamiento muy bien planificado y un centro de manufactura e intercambio de gran prestigio (Millon, 1973) por lo que se convirtió en una ciudad muy atractiva. En ésta ciudad se congregó población con trasfondos diversos, un centro multiétnico único que destacó por su diversidad cultural y artesanal especializada. Respecto a la vida social teotihuacana, ésta estuvo integrada ideológicamente a través de la presencia de dioses dentro de los grupos familiares y de los barrios, existían dioses patronos de grupos específicos de sacerdotes, los cuales compartían una relación con las divinidades estatales, también había dioses para cada especialidad artesanales (Manzanilla 2000).

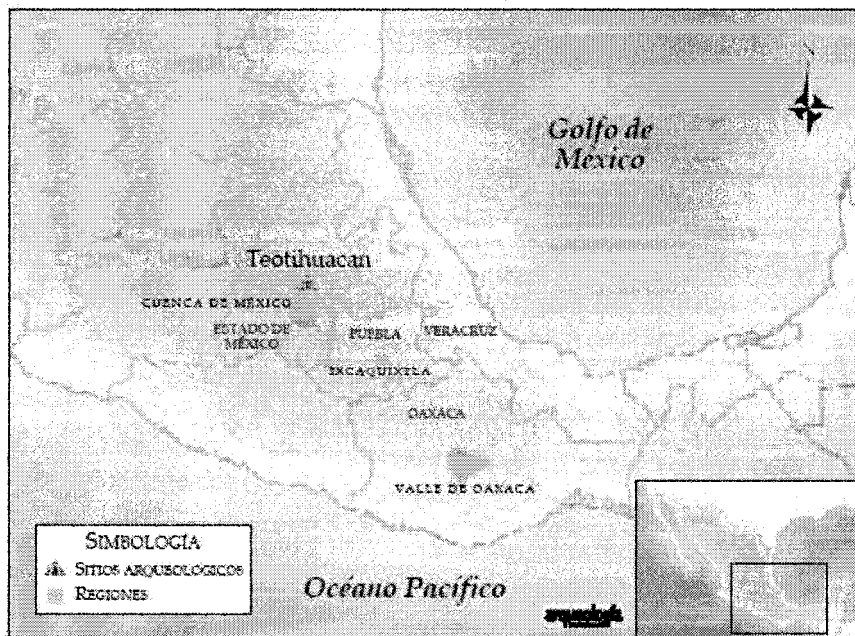


Figura 3. Localización del sitio arqueológico de Teotihuacan. (tomado de Manzanilla, 2006a).

De acuerdo con Millon (1973) en esta urbe se congregó una población de aproximadamente 200, 000 habitantes y llegó a ocupar más de 20 Km². Durante la fase Tlamimilolpa se presenta un cambio significativo en el patrón de asentamiento debido a la aparición de elementos definidos de planificación de la traza urbana. Se construyen calles paralelas y perpendiculares a dos ejes principales, la Calzada de los Muertos y la Avenida Este-Oeste, lo que trazo los cuatro cuadrantes divisorios de la ciudad. Se nota la presencia de áreas de circulación definidas, construcciones ceremoniales y administrativas, una red de distribución de agua potable, así como una extensa red de drenaje interno con un sistema de alcantarillado e importantes conjuntos departamentales que caracterizan la organización urbana y social de Teotihuacan (Millon, 1973; Ortiz, 1990).

Los conjuntos departamentales se organizaban en centros de barrio, es decir, agrupaciones de conjuntos donde se practicaba una actividad artesanal específica y especializada, como la manufactura de cerámica dentro del Barrio de los alfareros, trabajo de instrumentos de obsidiana, entre otras. Algunos otros barrios se caracterizaban principalmente por mantener una identidad de sus lugares de origen, eran barrios agrupados por migrantes como el Barrio Oaxaqueño o el Barrio de los Comerciantes quienes tuvieron contacto con la región del Golfo de México (Millon 1973; Manzanilla 1993b). Se ha propuesto que los barrios funcionaron como intermediarios entre el gobierno teotihuacano y los conjuntos departamentales (Millon, 1973). También se ha sugerido que

debido a la estructura corporativa de Teotihuacan, en los centro de barrio confluían varios contingentes sociales de diverso orden dentro del centro ritual y administrativo que organizaba una mano de obra dependiente, la cual probablemente era de carácter multiétnico. Lo más característico los barrios es que éstos giraban en torno a la nobleza intermedia quienes administraban y dirigían los mismos (Manzanilla, 2007).

Conjunto de Barrio de Teopancazco

El barrio de Teopancazco se localiza en la parte sureste de sitio de Teotihuacan, en el cuadrante E2-S2 de acuerdo al mapa realizado por Millon (1973), dentro del pueblo de San Sebastián Xolalpan, en un terreno al sur de la iglesia principal de dicho pueblo (figura 4). Este barrio es uno de los más de 2000 conjuntos habitacionales que se registraron con los estudios de recorridos de superficie y fotografía aérea en Teotihuacan (Millon, 1973). Desde el siglo XIX Teopancazco ha sido de interés dentro de la investigación arqueológica. Adela Breton dibujó en 1894 las representaciones murales del sitio (Cabrera, 1995) y seis años después se publicó información sobre el mismo (Peñafiel, 1900). Varios años más tarde Leopoldo Batres realizó excavaciones en este barrio donde descubrió un patio de seis metros cuadrados rodeado de vestíbulos (Gamio, 1922). En la década de los sesenta se desarrollaron trabajos de sondeo en uno de los cuartos del sitio, encontrando fragmentos de cerámica y lítica, así como vestigios de un área de cocción, la cual interpretaron como un horno para cerámica. En

estos trabajos se estableció la primera fecha relativa con base a los materiales arqueológicos descubiertos, colocando la ocupación de Teopancazco desde la fase Tlamimilolpa Tardío hasta la fase Metepec (Krotser y Rattray, 1980).

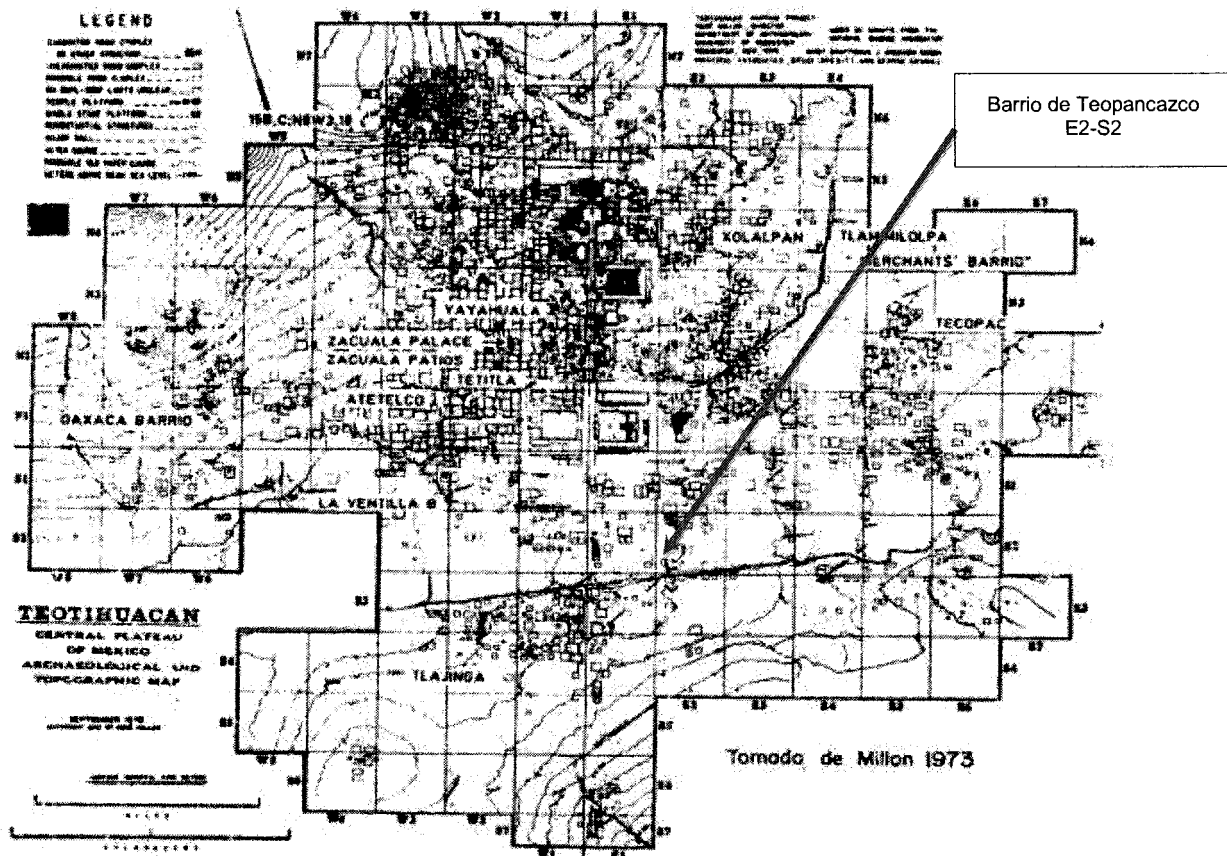


Figura 4. Mapa de la ciudad de Teotihuacan, mostrando la localización del barrio de Teopancazco (Millon, 1973).

El barrio de Teopancazco se ha estudiado de forma más detallada desde 1977 por el proyecto "Teotihuacan: élite y gobierno" dirigido por la Dra. Linda Manzanilla del IIA-UNAM. Gracias a las excavaciones extensivas en Teopancazco (figura 5) se ha evidenciado una variedad de indicadores arqueológicos que muestran una importante relación de este barrio con los sitios

enclaves de la Costa del Golfo de México. Los resultados de este proyecto indicaron que este barrio teotihuacano se especializaba en la manufactura de trajes y tocados para la *élite* teotihuacana, Linda Manzanilla menciona: “*La elaboración de los atavíos de los señores, decorados con productos procedentes de Veracruz, permitió un poderío económico sin precedentes para los grupos que utilizaron Teopancazco como centro de barrio...*” (Manzanilla, 2006b:24).



Figura 5. Excavación extensiva en Teopancazco, Teotihuacan.
Foto cortesía de la Arqla. Diana Martínez Yrizar (IIA-UNAM).

Los indicadores arqueológicos muestran que en el barrio teotihuacano de Teopancazco existía una entrada e intercambio de productos de la Costa del Golfo de México tales como: restos de fauna que incluyen varios tipos de peces, moluscos, crustáceos y reptiles; así como aves; mamíferos, entre otros (figura

6). Donde sus espinas y huesos fueron utilizados para la manufactura de instrumentos como agujas y punzones, para elaboración de textiles y tocados (Manzanilla, 2006b).



Figura 6. Componente artesana del barrio teotihuacano de Teopancazco. Indicadores arqueológico, entre los que figuran restos faunísticos, concha trabajada, cerámica e iconografía de pintura mural (Tomado de Manzanilla, 2007).

Paralelamente en las excavaciones se hallaron piezas completas y fragmentos de cerámica de la Costa del Golfo como los tipos: Naranja sobre Laca y Terrazas Lustroso, entre otros. Los utensilios de cerámica encontrados en Teopancazco que sirvieron para el trabajo textil fueron botones y pintaderas de tela. En este proyecto también se analizaron los elementos arquitectónicos, iconográficos, las áreas de actividad, microfósiles botánicos y restos de polen. Todos estos trabajos de excavación extensiva y los diversos análisis tan detallados proporcionaron la base para inferir que este barrio de Teopancazco

Enclaves teotihuacanos en las regiones de Morelos, Puebla, Tlaxcala y Veracruz

El modelo por Hirth y Angulo (1981) propone que al comenzar la expansión teotihuacana, esta ciudad fue muy selectiva con respecto a su interés en las áreas fuera de Teotihuacan y que el principal problema al que se enfrentó al extenderse en regiones como Morelos, Puebla y Tlaxcala fue el control de poblaciones heterogéneas con diversos niveles de integración sociocultural. También este modelo sugiere que los enclaves teotihuacanos se localizaban a distancias lejanas de la Cuenca de México y en regiones ricas en recursos naturales. Actualmente la investigación arqueológica cuenta con algunos datos que nos muestran la presencia de corredores de asentamientos, estaciones de paso y regiones proveedoras de recursos en las cuales se observan indicadores que nos podrían hablar de ocupación, relaciones comerciales o influencia teotihuacana (Hirth, 1978; Martínez-Donjuan, 1979; Ortiz y Santley, 1996; Plunket y Uruñuela, 1998; Rattray, 1998; González de la Vara, 1999; Cervantes-Rosado *et. al*, 2005; Uruñuela y Plunket, 2005; Manzanilla, 2006b).

El sur del estado de Puebla es una de las regiones que refleja claramente la influencia teotihuacana, en particular el área de Ixcaquixtla-Tepexi de Rodríguez, ya que existe la presencia de rasgos arquitectónicos como conjuntos de departamentos, plataformas piramidales con templos y fachadas con taludes; así como restos líticos de obsidiana verde (provenientes de la Sierra de las Navajas) y cerámica Anaranjado Delgado decorada con simbología teotihuacana. En el

sitio del Pedernal se han reportado conjuntos de cuartos alrededor de patios y al parecer algunos de estos funcionaron como productores de la vajilla Anaranjada delgada (Rattray, 1998). Se ha propuesto que esta área no sólo funcionaba como un proveedor y maquilador de bienes en beneficio de Teotihuacan, sino que se trataba de un área con relaciones comerciales bien establecidas, es decir un socio comercial e independiente (Baez, 2005).

Para la región de Puebla–Tlaxcala García-Cook (1981) ha propuesto un modelo donde coexisten grupos culturalmente afiliados a Teotihuacan. Se piensa que estos grupos colaboraron con la administración política teotihuacana con el propósito de obtener un control de las rutas de intercambio hacia la Costa del Golfo, Oaxaca, Morelos y Guerrero. Gracias a las investigaciones arqueológicas se cuenta con un corredor de sitios alrededor de Huejotzingo que probablemente unían a Teotihuacan con la porción este y sur de La Malinche donde también destaca el sector del Valle de Atlixco (Plunket y Blanco, 1989; Plunket y Uruñuela, 1998; Uruñuela y Plunket, 2005). En las exploraciones realizadas por Plunket y Blanco (1989) en el sitio de San Lorenzo, localizado en el Valle de Atlixco, reportaron materiales arqueológicos que revelan una presencia importante de elementos teotihuacanos como: vasijas cilíndricas incisas con soportes rectangulares huecos, cajetes de fondo plano y paredes divergentes con pulido de palillo, algunos con soportes de botón, candeleros, braseros, figurillas tipo “puppet” y semi-cónicas, así como la presencia de la vajilla Anaranjado delgado (liso y decorado) y Anaranjado delgado burdo.

También otros elementos como una ofrenda que consistía en una máscara funeraria estilo teotihuacano manufacturada en basalto, figuras antropomorfas de piedra pulida, dos discos de piedra verde, un collar de más de 300 cuentas, una mano de metate y dos tejos de hematita pulida (figura 7).

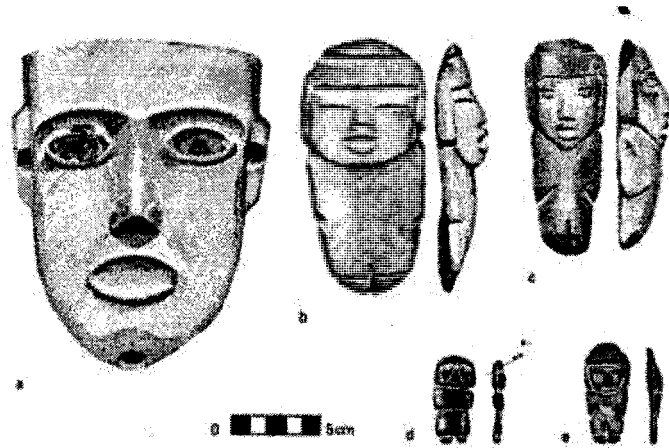
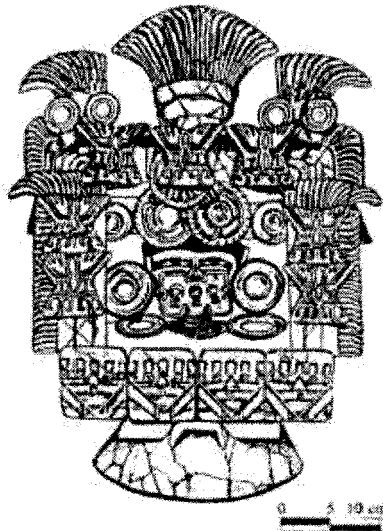


Figura 7. Mascara funeraria (a) y figuras antropomorfas de piedra (b - e) pertenecientes a la ofrenda 1 del sitio de San Lorenzo, Valle de Atlixco, Puebla (tomado de Plunket y Blanco, 1989)

El noroeste de Tlaxcala se localiza en una posición importante dentro de las rutas de comercio que comunicaban diversos lugares alejados de los sitios del Altiplano Central. Para la periodo Clásico había un tránsito comercial muy intenso el cual se reflejó en un auge económico que dio lugar al incremento de asentamientos como villas y poblados que contaban con almacenes para los objetos elaborados y materias primas que se comerciaban, así como la existencia de sectores de artesanos que trabajaban la obsidiana, las plumas, la cerámica, entre otros materiales. Lo que llevó a una importante relación con

Teotihuacan (Martínez y Jarquín, 1998). El sitio la Herradura, fechado dentro de las fases Xolalpan Temprano y Tardío (400 a 500 dC), es considerado un enclave teotihuacano, debido a distribución arquitectónica, la cual presenta un patio central que hacía cada uno de sus lados, orientados a los cuatro puntos cardinales, cuanta con basamentos con su respectivo talud y tablero, así como un acceso por medio de escalinatas definidas por alfardas. Respecto a los materiales recuperados hay presencia de braseros tipo teatro (figura 8), vasos Tláloc y una considerable cantidad de restos cerámicos como ollas, cajetes y tazas del tipo Anaranjado delgado, así como vasos trípodes, candeleros y cazuelas pintadas y esgrafiadas. Por lo que se ha afirmado que el lapso de



ocupación del sitio fue durante el auge teotihuacano (Martínez y Jarquín, 1998).

Figura 8. Brasero tipo teatro recuperado en las excavaciones arqueológicas realizadas en el sitio La Herradura, Tlaxcala (tomado de Martínez y Jarquín, 1998).

La región al sur de la Cuenca de México, lo que corresponde al estado de Morelos presenta algunos centros rectores como San Ignacio en la parte

oriental, que de acuerdo con Hirth (1980) jugaban un papel importante en la administración del área periférica a Teotihuacan y probablemente tenían una relación estrecha y directa con esta ciudad. Según este modelo, dentro de Morelos tenemos una intrusión teotihuacana que permea la organización socio-política de esta área, para poder mantener un control de la producción de algodón a través de la manipulación de dichos centros rectores. Por otro lado Martínez Donjuan (1979) menciona que durante el Preclásico superior y el Clásico esta región sufrió varios cambios a raíz de la expansión teotihuacana. Con la caída de Chalcatzingo comienzan a surgir nuevos centros y reaparecen otros, este fenómeno se puede explicar en parte por las rutas de comercio e intercambio ya establecidas que comunicaban las costas del Golfo y del Pacífico a través de los valles de Puebla y Morelos. Para entonces Las Pilas se ve influido por la expansión teotihuacana, se cree que este sitio fue importante en el procesamiento de cal y la obtención de productos como el algodón, aguacate, sílex, entre otros, y que de igual manera jugó un papel importante en las rutas de abasto de piedras verdes, miel y aglutinantes hacia Guerrero (Manzanilla, 2006b).

En los Tuxtlas, Veracruz, en específico el sitio de Matacapán se considera un enclave teotihuacano, este sitio ocupaba un área aproximada de 20 km². Arquitectónicamente, se destaca por la presencia de conjuntos con plataformas y templos que presentan talud-tablero y escalinatas flanqueadas por alfardas; así mismo se localizaron estructuras domésticas integradas por grupos de

cuartos acomodados alrededor de patios y separados por corredores similares a los multifamiliares teotihuacanos. El patrón funerario muestra una influencia claramente teotihuacana ya que se trata de entierros flexionados bajo pisos, así como prenatales enterrados en vasijas (Valenzuela, 1945; Ortiz et al., 1988). En este sitio se recuperaron diversos materiales de diseño teotihuacano donde figuran cajetes de soporte anular, candeleros, braseros con soportes antropomorfos, incensarios, vasijas efigie, sellos, figuras con representaciones de Tláloc y Huehuetéotl, floreros, figurillas marioneta y vasijas cilíndricas trípodes¹ que al parecer estaban imitando el tipo *Copa-ware* característico de Teotihuacan (se tiene registrado un sector de producción cerámica donde estaban aprovechando las arcillas locales). También, se reportaron metates con soportes trípodes elaborados con un estilo talud-tablero y la presencia de navajillas prismáticas de obsidiana verde de la Sierra de las Navajas, los cuales sin duda alguna son indicadores importantes de la relación entre Teotihuacan y esta región (Ortiz y Santley, 1996).

En el valle de Maltrata, considerado un paso obligado en la comunicación entre el Altiplano Central y la costa del Golfo en tiempos prehispánicos, existe la presencia de material estilo teotihuacano destacando cerámica tipo Anaranjado delgado (relacionada directamente con el control del comercio por parte de Teotihuacan) donde se identificaron: cajetes hemisféricos de base anular y decoración incisa, vasijas de paredes curvo-divergentes con acanaladuras

¹ De acuerdo a Ortiz et al., (1988) las vasijas cilíndricas trípodes son el mejor elemento cerámico diagnóstico teotihuacano dentro del sitio de Matacapán.

fechadas para la fase Xolalpan temprano (400-500 dC)(figura 9). Así como vasijas de fondo plano con soportes de botón, vasijas trípodes y de base anular. Con respecto a la lítica se descubrieron núcleos, fragmentos de navajillas prismáticas, puntas de proyectil y adornos en forma de aros (todos estos de obsidiana verde). También una carita con rasgos teotihuacanos trabajada en caliza (Lira-López, 2000).

| Fases cronológicas de Teotihuacan | Edad |
|-----------------------------------|--------|
| Xometla | 700 dC |
| Oxtoticpac | |
| Metepec | 600 dC |
| Xolalpan Tardío | 500 dC |
| Xolalpan Temprano | 400 dC |
| Tlamimilolpa Tardío | 300 dC |
| Tlamimilolpa Temprano | |
| Miccaotli | 200 dC |
| Tzacualli | 100 dC |
| Patlachique | 100 aC |
| Cuanalan Tardío | 200 aC |

Figura 9. Fases cronológicas de Teotihuacan, de acuerdo con (Cowgill, 1996).

Trabajos previos de isótopos de estroncio en Teotihuacan

Con la finalidad de indagar respecto a la identidad de los pobladores teotihuacanos, Price *et, al.* (2000) realizaron estudios usando isótopos de estroncio en entierros pertenecientes a los conjuntos de barrios de Oztoyahualco y el barrio de los Comerciantes, así como en entierros localizados en la Cueva de las Varillas y Cueva del Pirul, confrontando los valores con muestras de huesos de conejos, algunos modernos y otros asociados a contextos prehispánicos (figura 10). Las 71 muestras tomadas en Teotihuacan sirvieron

para poder descubrir más a cerca de las identidades de estos individuos, ya sea que se tratara de gente local o migrantes o una mezcla entre locales y foráneos.

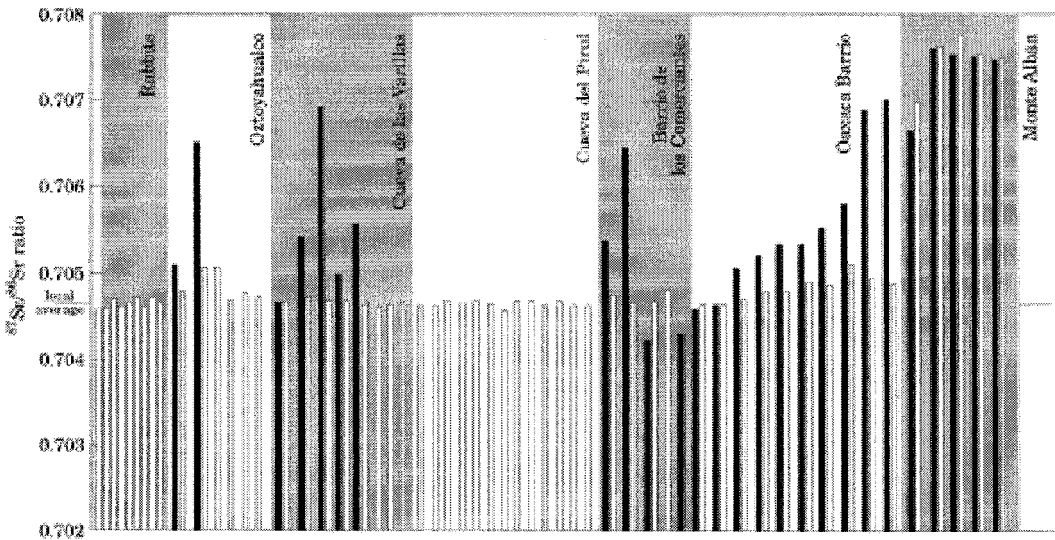


Figura 10. Representación gráfica de los valores de estroncio de entierros teotihuacanos y huesos de conejo. Las barras negras representan los valores de esmaltes y las barras blancas las de los huesos. Se presentan en pares de huesos y esmaltes de un mismo individuo, además se encuentran agrupadas por localidad (Tomado de Price *et al.*, 2000).

Las muestras de huesos de conejos modernos ayudaron a establecer los valores isotópicos locales de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, los cuales arrojaron una relación de 0.7046 con una desviación estándar de 0.00005. Por otro lado, los resultados de los entierros muestran una variación substancial en los valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de los esmaltes, mientras que la variación de las firmas isotópicas de las muestras de huesos son relativamente cercanas. Por lo que se presume que un número de los individuos estudiados debieron haber sido migrantes.

La ocupación humana en el conjunto residencial de Oztoyahualco se ha reportado dentro de las fases Tlamiminolpa y Xolalpan (300-500 dC). Los

resultados de los individuos en este conjunto mostraron valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ muy cercanos, lo cual corroboró lo diagnosticado por los análisis arqueológicos previos, donde indicadores tales como cerámica y restos funerarios, recuperados en este conjunto, son representativos del estilo teotihuacano local (Manzanilla, 1993). Sin embargo, algunos pocos individuos se reconocieron como migrantes. Por otro lado, los resultados de los entierros descubiertos dentro de la Cueva de las Varillas y Cueva del Pirul, fechadas para la fase Coyotlatelco Tardío, muestran valores isotópicos muy similares a los de los conejos modernos, lo que indica que estos individuos posiblemente habitaron en Teotihuacan el tiempo suficiente como para calibrar sus valores isotópicos con los de la geología local. No obstante, tres de los individuos localizados en la Cueva de las Varillas, mostraron valores altos de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en sus esmaltes, lo que sugiere que se trataba de migrantes. Finalmente los resultados obtenidos dentro del barrio de los Comerciantes mostraron un patrón doble, es decir, las muestra de huesos claramente se mantuvieron equivalentes a las de los valores isotópicos de rocas y suelos locales de Teotihuacan, mientras que respecto a los cuatro esmaltes analizados, dos de ellos mostraron valores más altos de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ y los otros dos valores más bajos con respecto a la de los suelos, indicando que se trataba de migrantes provenientes de dos diferentes áreas fuera de Teotihuacan, probablemente de la región del Golfo de México (Price *et al.*, 2000).

Objetivos

Las investigaciones arqueológicas en Teotihuacan han mostrado que ésta ciudad se caracterizaba, entre otras cosas, por ser multicultural, es decir, dentro de ella estaban establecidos barrios de distintos grupos étnicos, por lo que se ha propuesto que al menos en los últimos años Teotihuacan dependía de un flujo regular de inmigrantes para mantener su población (Storey, 1992; Spence *et al.*, 2004; Manzanilla, 2006b). Las costumbres funerarias y características bio-culturales de los entierros, así como los materiales arqueológicos de origen o influencia foránea son fuertes indicadores que evidencian las relaciones que Teotihuacan mantenían con otros lugares (Rattray, 1887; Manzanilla, 1993; Rattray, 1993; 1997; Spence y To, 2000; Manzanilla, 2006b; 2008). Sin embargo, con sólo estos indicadores es difícil determinar con puntualidad si algún individuo era local o extranjero. Así como, precisar la asociación directa de los individuos con los materiales y con sus lugares de origen, ejemplo de esto son los casos de entierros colectivos como en el barrio de los Comerciantes donde se realizaron análisis de proporciones de isótopos de oxígeno (Spence *et al.*, 2004). Por lo tanto, el presente trabajo de tesis tiene como meta el contribuir al entendimiento de la estructura del barrio teotihuacano de Teopancazco, en términos de patrones de migración y afiliación cultural, lo que impulsaba la economía, organización social e identidad de este barrio. Por lo tanto, el objetivo principal de la tesis es obtener las relaciones isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de entierros

arqueológicos en el barrio teotihuacano de Teopancazco para compararlas con las de algunos sitios considerados como enclaves teotihuacanos.

El conjunto de barrio de Teopancazco ha sido investigado por el proyecto “*Teotihuacan: élite y gobierno*” dirigido por la Dra. Linda Manzanilla del IIA-UNAM. Gracias a las excavaciones extensivas en Teopancazco y los análisis tan detallados de laboratorio se ha evidenciado una variedad de indicadores arqueológicos que muestran una importante relación de este barrio con los sitios enclaves de la costa del Golfo de México. Los resultados de este proyecto indicaron que este barrio teotihuacano se especializaba en la manufactura de trajes y tocados para la *élite* teotihuacana. Tomando como base el contexto arqueológico y con la hipótesis de que el linaje que regía en Teopancazco contaba con mano de obra para la elaboración de los trajes y tocados, es decir probablemente migrantes que provenía de la Costa del Golfo, en el proyecto de la Dra. Manzanilla se realizaron estudios de geoquímica isotópica de estroncio $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ hechos en el LUGIS-UNAM bajo la responsabilidad del Dr. Peter Schaaf (IGEOF-UNAM). Se analizaron tanto cráneos en vasijas como entierros formales, los cuales mostraron que se trataba en su mayoría de migrantes (Manzanilla, 2006b).

En el presente trabajo, el cual es una continuación de los estudios anteriores, se aplicó esta técnica a un total de cinco entierros pertenecientes al barrio teotihuacano de Teopancazco, donde se midieron las relaciones isotópicas de

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de esmaltes de los dientes, así como de fragmentos de fémur, vértebra y cráneo. Paralelamente se tomaron muestras de suelos de diferentes sitios arqueológicos de periodo Clásico en las regiones de los estados de Morelos, Puebla, Tlaxcala y Veracruz. La finalidad es poder comparar la isotopía de los entierros para conocer si se trata de individuos extranjeros y averiguar el lugar geográfico de origen de los mismos, con el fin de proporcionar información que enriquezca la investigación respecto al problema de migración prehispánica en Teotihuacan y al mismo tiempo, contribuir a la base de datos de firmas isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en suelos y rocas disponibles para México.

Capítulo II

Metodología

Isótopos

Los átomos se componen por un número determinado de protones y de electrones y este número es fijo dependiendo de cada elemento. Sin embargo, en cada uno de los elementos el número de neutrones puede variar; por lo tanto, se ha determinado que un isótopo es cada uno de los distintos átomos de un mismo elemento que contiene un número diferente de neutrones. Los isótopos de un mismo elemento tienen un comportamiento químico homogéneo. Sin embargo, durante procesos físico-químicos como fraccionamiento o decaimiento radiactivo, el comportamiento puede variar debido a las diferencias de sus masas (número de neutrones).

Existen isótopos estables también conocidos como isótopos no radiogénicos, es decir, que no fueron originados por causa del decaimiento radioactivo de otro elemento. Aunque la abundancia natural dentro de la Tierra de los isótopos no radiogénicos no demuestra cambios significativos desde su origen, esta clase de isótopos se caracteriza por presentar un proceso llamado *fraccionamiento* el cual es causado por cambios físicos y químicos tales como evaporación, condensación, cristalización, reacciones químicas en equilibrio, entre otros (Faure, 1986). Este proceso afecta más a los elementos con masas bajas. Los isótopos más utilizados en estudios de geociencias son el H, C, N, O, y S. Esto

se debe a su abundancia dentro de la atmósfera, océanos y aguas continentales, así como en minerales formadores de rocas. También, por su relación con procesos geológicos tanto en el interior como en la superficie de la Tierra. Existen aplicaciones a estudios de caracterización isotópica de yacimientos minerales así como de aguas oceánicas, de lluvia, glaciares, salmueras, rocas y minerales. También, se puede evaluar la isotopía de los cambios climáticos, diagénesis, intemperismo, entre otras aplicaciones.

Isótopos radioactivos

Los isótopos radioactivos son aquellos que mediante diferentes mecanismos de decaimiento radiactivo, tales como: decaimiento α , β^- , β^+ y captura de electrones, son transformados de un isótopo padre o *radiactivo* a un isótopo hijo o *radiogénico*. El decaimiento radiactivo es producido debido a que los núclidos inestables tienden a cambiar emitiendo partículas de energía. Esto sucede dentro de un “*valle*” de energía donde los núclidos inestables, en cada lado del “*valle*”, constantemente decaen por procesos isobáricos, es decir, un protón es convertido en un neutrón o viceversa; sin embargo, el núclido mantiene su masa. Por otro lado, los núclidos inestables localizados en las partes altas del “*valle*” de energía, continuamente decaen por emisión de partículas (α), por lo que se presenta una reducción de la masa total del núclido. Se conocen diferentes mecanismos de decaimiento como: α , β^- , β^+ , por captura de electrones y el

ramificado. Sin embargo, para fines de la presente investigación es de interés el β^- ya que éste es el decaimiento que produce el ^{87}Sr .

Decaimiento β^-

Dentro del decaimiento β^- , denominado también negatrón, los átomos del elemento padre decaen por medio de una emisión de partículas beta, las cuales se encuentran cargadas negativamente, similar a un electrón, así como neutrinos que proceden del núcleo atómico, los cuales son acompañados de radiación en forma de rayos gamma (γ). Este fenómeno se puede explicar como la transformación de 1 neutrón = 1 protón + 1 electrón (partícula β^-), es decir, el número atómico del átomo hijo se incrementa en uno y el número de neutrones se reduce en uno, quedando el mismo número de masa. Éste es el caso del ^{87}Rb (padre o radioactivo) que decae a ^{87}Sr (hijo o radiogénico).

Análisis de isotopos de estroncio

El estroncio (Sr) es un metal alcalinotérreo del Grupo IIA de la tabla periódica. Su número atómico es 38, peso atómico de 87.62 uma (valor promedio), radio iónico de 1.13 Å y estado de oxidación +2. Es el menos abundante de los metales alcalinotérreos, con un 0.025% en la corteza terrestre. Su densidad es de 2.6 g/cm³, punto de fusión de 768 °C y punto de ebullición de 1,380 °C. Existen cuatro isótopos estables de Sr en la naturaleza: ^{88}Sr , ^{87}Sr , ^{86}Sr y ^{84}Sr con

abundancias de 82.5%, 7%, 9.9% y 0.6% (valores promedio), respectivamente. Únicamente el ^{87}Sr es radiogénico y se forma como producto del decaimiento tipo β^- del ^{87}Rb . Por tanto, el ^{87}Sr puede tener dos orígenes: el formado durante la síntesis nuclear primordial (junto con los otros tres isótopos estables) y el formado por el decaimiento del isótopo de ^{87}Rb , con una vida media de 4.88×10^9 años (Faure, 1986). Es importante mencionar, que las abundancias isotópicas del estroncio son variables, debido a la formación de ^{87}Sr radiogénico, por el decaimiento natural del ^{87}Rb . Por esta razón, la composición isotópica precisa de Sr en una roca o mineral que contenga Rb, depende de su edad y de la concentración de Rb. El estroncio (Sr) se puede encontrar dentro de minerales hidrotermales como la celestita (SrSO_4) y la estroncianita (SrCO_3). Debido a que su radio iónico es similar al del calcio, éste se puede presentar como un elemento disperso en minerales con concentraciones considerables de Ca, como la plagioclasa, apatito y carbonatos de calcio, principalmente en la aragonita, presentándose una sustitución de Ca por Sr. La concentración de estroncio tanto en los tejidos de plantas como en el de los animales varía dependiendo de la latitud (Faure y Powell, 1972). Sin embargo, los procesos biológicos no alteran o fraccionan la composición isotópica del estroncio, durante el transporte de este elemento dentro de algún ecosistema, debido a que las diferencias de masas entre los cuatro isótopos de estroncio son relativamente pequeñas (Faure y Powell, 1972). La concentración de Sr y las relaciones isotópicas en el suelo, plantas y material parental varía dependiendo la geología local.

Isótopos de Sr en Ciencias de la Tierra

Los isótopos de Sr pueden aplicarse en las Ciencias de la Tierra en estudios de geocronología para datar rocas o minerales donde su rango de tiempo abarca desde ca. 10 Ma hasta 4.6 Ga. Las edades obtenidas de la roca total se pueden interpretar como edades de cristalización, mientras que las obtenidas directamente de los minerales se pueden interpretar como edades de enfriamiento (Faure, 1986).

Por otro lado, el análisis de la relación isotópica de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ puede aplicarse a estudios en el ámbito de la petrogénesis para identificar procesos geológicos y fuentes de magma, es decir, resuelve preguntas con respecto a los orígenes de los magmas que generaron las rocas, así como los posibles procesos de contaminación a los cuales son sometidos algunos magmas. Los valores de las relaciones isotópicas de Sr en un magma son representativos de la región de la cual fue extraído el magma a reserva de que no se muestre ningún proceso de contaminación. Cuando el magma sufre fraccionamiento las relaciones permanecen normales y sin cambios. Esto se debe a la diferencia relativa de masa entre cualquier par de isótopos radiogénicos, en este caso isótopos de Sr, ya que sus dimensiones son tan pequeñas que los pares de isótopos no pueden ser fraccionados por procesos controlados por el equilibrio entre líquido y cristal. Por lo tanto, durante la fusión parcial, un magma tendrá la misma relación

isotópica que la región que lo generó. Por esta razón, esta aplicación es muy útil en geoquímica ya que por ejemplo: por medio de su firma isotópica es posible reconocer las diferentes regiones que alimentaron un magma o también se pueden diferenciar casos de alguna mezcla de magmas (Sosa, 2006).

Isótopos de Sr en la Arqueología

Como ya se mencionó, el análisis de las relaciones isotópicas de estroncio es útil como trazador químico para estudios de migración humana. Se lleva a cabo realizando una comparación entre las relaciones isotópicas de huesos (fragmentos de cráneo, vértebra o fémur) y dientes humanos, respecto a las relaciones de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ del suelo donde se encontró el entierro u otra región específica, la cual estará en función de la movilidad del individuo mientras se encontraba vivo. Es posible obtener esto gracias a que por medio del aporte de estroncio en los suelos y en las plantas, este elemento puede llegar al organismo humano, donde es incorporado en los minerales del tejido óseo; por lo cual, la clave del método es obtener compatibilidad en las firmas isotópicas del individuo en estudio, con la información edafológica disponible que nos pueda hablar de su localidad de origen. Debemos comprender que la relación isotópica de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ se reporta como un número que refleja el promedio de todo el estroncio que se incorporó a un individuo durante su tiempo de vida.

El estroncio contenido en el hueso reflejará la composición isotópica de la región geológica en la cual la persona vivió antes de su muerte. Por otra parte, la

composición isotópica de estroncio en el esmalte del individuo se forma durante su infancia y es considerada tejido muerto debido a que no existe penetración de ninguna clase de estructura orgánica; además ésta no recristaliza o absorbe elementos del medio ambiente después de haber sido formada. Por tanto, se puede afirmar que el estroncio del esmalte refleja la composición isotópica del medio ambiente donde la persona se desarrolló durante su infancia (Ericson, 1985; Sealy, *et al.*1991; Price, *et al.* 1994; Carlson, 1996; Knudson *et al.*, 2004; Bentley, 2006).

Para el caso de los restos humanos prehistóricos, cada átomo de estroncio se ha movilizado a través de diversas fases o etapas, posiblemente comenzando por el magma de un volcán, a un mineral de una roca ígnea, siendo intemperizado, transportado por una fuente de agua, depositándose para ser parte del suelo, absorbido por el tallo de una planta, llegando a constituirse en un herbívoro y finalmente como comida en un individuo prehistórico (figura 11). Incorporado en el sistema óseo, éste se une a otros átomos de estroncio que viajan por otras rutas, algunas podrían provenir de otras fuentes como el océano o la precipitación atmosférica. Este elemento puede permanecer dentro del tejido óseo por miles de años y conservar la firma isotópica compatible con una localidad geológica, específicamente un suelo.

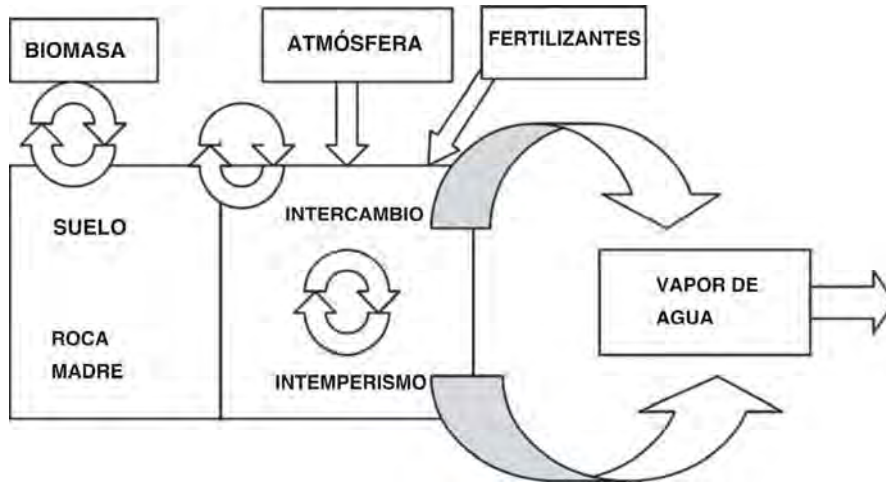


Figura 11. Esquema de la movilidad y ciclo del estroncio (Sr). Se puede observar que dentro de un sistema existen reservorios con aportes y salidas de Sr como: la contribución atmosférica, intercambio de Sr en la parte superficial del suelo, aportación generada por el proceso de intemperismo de la roca madre y agentes antrópicos como fertilizantes. Tomado de (Bentley, 2006); modificado de Probst *et al.*, (2000).

Capítulo III

Metodología del Trabajo de campo y muestreo de suelos

Isótopos de estroncio en los suelos

Los estudios biogeoquímicos han realizado modelos y análisis del ciclo del estroncio en suelos, debido a que el Sr puede ser usado como sustituto del calcio. La concentración típica del Sr en suelo accesible a las plantas tiene un rango de 0.2 a 20 ppm¹. Como se mencionó, la contribución principal del Sr en el suelo es a través de minerales de alteración, corrientes de aguas superficiales y subterráneas, depósitos atmosféricos y en contextos modernos, como fertilizantes. El conocimiento de la geología de la roca madre local puede ser usado como el primer elemento para estimar el rango de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en un área en particular. Como ejemplo de esto podemos citar algunas cifras en la península de Yucatán, donde se reportaron sólo pequeñas y aleatorias diferencias entre las relaciones isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en la roca madre (carbonatos) y las relaciones en el suelo, plantas y agua, donde la variación fue de ± 0.00016 en las tierras bajas kársticas y ± 0.00069 en la provincia volcánica de las tierras altas (Hodell *et al.*, 2004; Bentley, 2006).

Debido a la diferencia de las concentraciones de estroncio, las relaciones isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ y el potencial de intemperismo de diferentes minerales,

¹ ppm: partes por millón.

los suelos locales pueden expresar un rango de relaciones isotópicas, las cuales dependen de la variación en el grado de intemperismo de los minerales y la mezcla entre varias fuentes que aportan sedimento al suelo. El Sr también puede ser removido significativamente (algunas veces más del 50%) por el intemperismo en los suelos, principalmente en los compuestos por materiales volcánicos y carbonatados relacionados con componentes silicios continentales. Algunos suelos aluviales contienen una mezcla de sedimentos de diversas fuentes de intemperismo fluvial; sin embargo, un área geológica diversa puede mostrar una variabilidad local en lo que respecta a sus relaciones isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de manera sustancial. También debemos considerar que dentro del balance de dichas aportaciones y movilizaciones que presenta el estroncio, algunas áreas o suelos son afectadas de manera poco significativa. Como ejemplo, Sillen *et al.* (1998) registraron en el sitio de homínidos Swartkrans, Sudáfrica, relaciones isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de un rango de 0.7 a 0.9 aproximadamente, en suelos de diferentes sustratos geológicos dentro de un área de 15 km de radio. Estos suelos presentaron variación en sustratos simples, con muestras de suelo cuya relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en dolomita va de 0.768 a 0.821 (figura 12). Esta amplia variabilidad se debió a la variación del contenido de minerales individuales en las muestras. De manera hipotética, Bentley (2006), considera que los suelos de Swartkrans son una mezcla de la dolomita local [$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7086$] y los suelos derivados del granito local correspondiente al Arqueano [$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.9000$] (Sillen *et al.*, 1998).

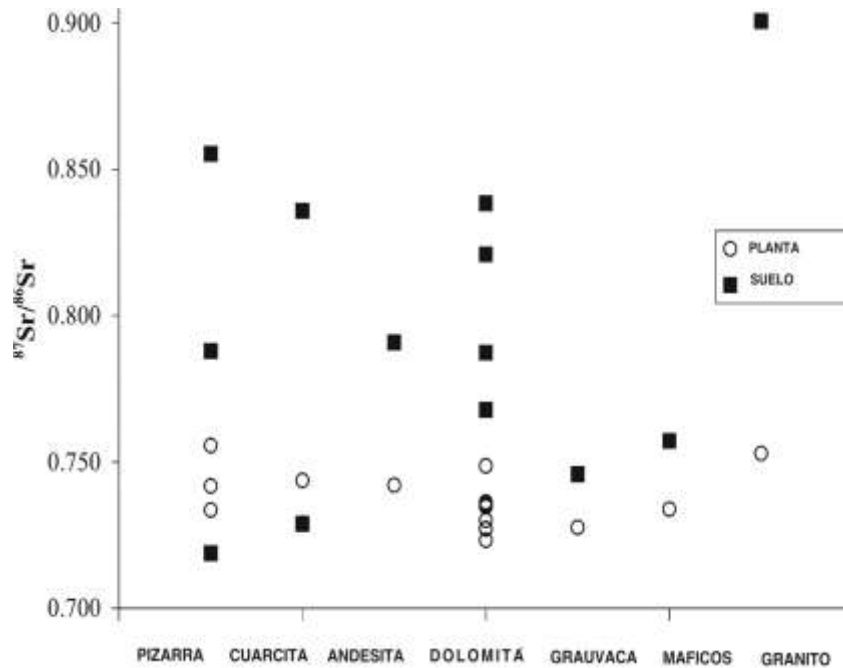


Figura 12. Gráfica de las relaciones isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de plantas y suelos de Swartkrans, Sudáfrica. Tomado de Bentley (2006); modificado de Sillen *et al.* (1998).

Considerando la variación en las muestras de suelo, lo más sobresaliente es la relativa consistencia en las relaciones isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de las plantas de cada región geológica, las cuales fueron recolectadas en secciones de varios metros (Bentley, 2006). Se descubrió que las plantas que crecieron a lo largo del arroyo reflejan las relaciones de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de las aguas de arroyos derivados de la dolomita local, mientras que las plantas que se desarrollaron en las áreas secas, lejos de los arroyos, reflejan las relaciones de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ más cercanas a las del Sr disponible en los suelos. De manera similar, en los estudios realizados en la selva lluviosa de la Guyana Francesa, Poszwa *et al.* (2002) reportan relaciones de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de 0.714 a 0.716 tomado de hojas locales, por lo que en rango son más homogéneas que las tomadas del suelo con valores de 0.720 a 0.770. Es decir, que las relaciones isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de las plantas reflejan

mayor consistencia en promedio del Sr local biológicamente disponible, que las de los suelos. Por otro lado, recordando el ejemplo mencionando en los trabajos previos, Benson *et al.* (2003) llevaron a cabo el muestreo de maíz arqueológico en Pueblo Bonito, Nuevo México y en localidades a 80 y 90 km fuera de la cuenca de San Juan, donde la variación de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, de los suelos de cada sitio, disminuyó en comparación con el promedio presentado en las plantas.

Trabajo de campo y muestreo de suelos

El objetivo principal del trabajo de campo consistió en la toma de muestras de suelos de algunos sitios, que de acuerdo a la información arqueológica se han considerado enclaves teotihuacanos (figura 13). Con respecto a la toma de muestras de suelos, se comenzó con el sondeo de superficie para seleccionar suelos que no estuvieran alterados por fertilizantes o que se observaran removidos o modificados, por lo que se decidió tomar las muestras en las zonas inalteradas fuera de los sembradíos en la circunferencia de los montículos (foto1). Posteriormente se realizaron pruebas de carbonatos y alofanos, para cada una de estas muestras tomadas de los suelos asociados a los enclaves teotihuacanos, gracias a la colaboración de Jaime Díaz del Laboratorio de suelos del Instituto de Geología de la UNAM (figura 14).



Figura 13. Localización de los sitios donde fueron tomadas las muestras de suelo para el análisis de isotopía de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

| Localidad | Prueba de carbonatos | Prueba de alofanos |
|------------------------------|----------------------|--------------------|
| Morgadal Gde., Ver. | Positivo | Positivo XXX |
| El Pital, Ver | Positivo | Positivo XXX |
| El Cuajilote, Ver. | Negativo | Negativo |
| Maticapan, Ver. | Negativo | Positivo X |
| Maltrata, Pue-Ver. | Negativo | Negativo |
| La Herradura, Tlax. | Positivo | Positivo X |
| Tepexi El Viejo, Pue. Caliza | Positivo | Positivo XXXX |
| Tepexi El Viejo, Pue. | Negativo | Positivo X |
| Esquistos | Negativo | Negativo |
| Valle de Atlixco, Pue. | Negativo | Negativo |
| Chalcatzingo, Mor. | Negativo | Negativo |
| Las Pilas, Mor. | | |
| X Poco | XX Ligero | XXX Fuerte |
| | | XXXX Muy fuerte |

Figura 14. Resultados de pruebas de carbonatos y alofanos en muestras de suelos, realizadas en laboratorio de suelos del Instituto de Geología de la UNAM por el encargado Jaime Díaz.

Trabajo de campo y muestreo de suelos 1ra Temporada

La primera temporada de trabajo de campo se realizó durante el mes de diciembre del 2007. El objetivo general consistió en la toma de muestras de suelo de los sitios arqueológicos: Morgadal Grande, El Pital, El Cuajilote, Matacapán y Maltrata. Todos estos pertenecientes al periodo Clásico.

Parada 1. Morgadal Grande, Veracruz

El sitio se localiza en el Municipio de Papantla en el estado de Veracruz, dentro de las coordenadas geográficas $20^{\circ} 22' 47.9''$ N y $97^{\circ} 22' 12.1''$ W, a una altitud de 137 msnm. En este sitio se tomaron dos muestras: la primera correspondiente al horizonte A del suelo, el cual se caracterizaba por ser un suelos de color pardo oscuro, con materia orgánica y líticos (principalmente de arenisca) (foto 2) donde se observaron minerales como piroxenos, plagioclasas y cristales de cuarzo.



Foto 1. Sitio Morgadal Grande, la flecha indica al área inalterada por fertilizantes o acciones antrópicas. **Foto 2.** Detalle del perfil del suelo donde se tomaron las muestras.

Geología

Esta área se encuentra comprendida en el terreno tectonoestratigráfico Coahuila y parte del terreno Sierra Madre, cubiertos por formaciones mesozoicas y cenozoicas (Campa y Coney, 1983). La secuencia estratigráfica que aflora en esta región está constituida por sedimentos marinos del Jurásico, Cretácico y Terciario (figura 15). Las unidades más antiguas se presentan en la porción suroeste, mientras que las más jóvenes al este de la Llanura Costera del Golfo de México. Los suelos de Morgadal Grande fueron desarrollados en sedimentos terciarios de la Formación Palma Real y la Formación Mesones pertenecientes al Oligoceno. La litología de estas formaciones consiste en areniscas, lutitas y limolitas y por su medio ambiente de depósito sus contactos son discordantes.

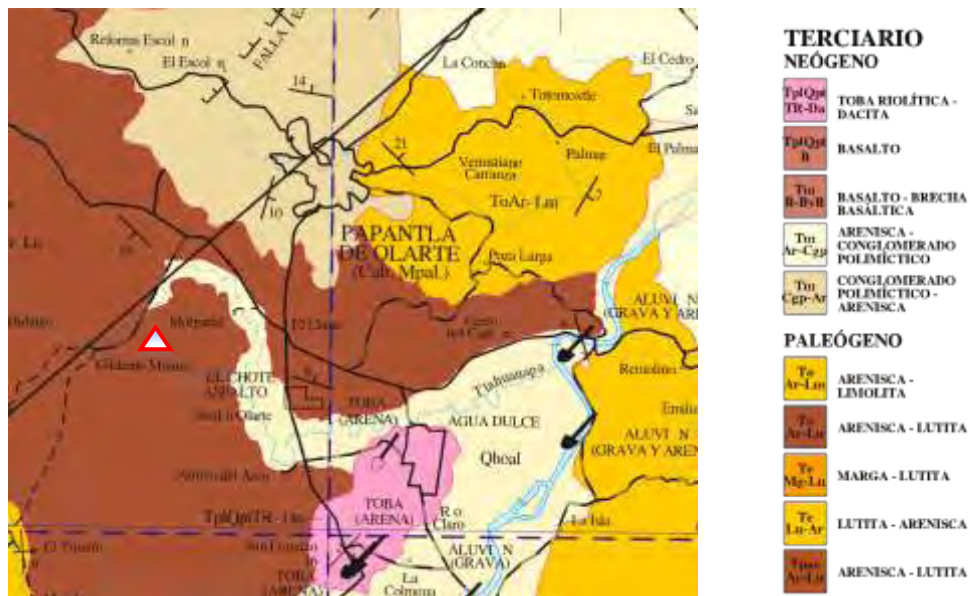


Figura 15. Mapa geológico del área de Papanlta de Olarte. La litología alrededor del sitio de Morgadal Grande Δ se muestra de color café (To Ar-Lu). (Tomado de la Carta Geológica Minera Poza Rica F14-12 SGM)

Suelos

El suelo muestreado se caracteriza por presentar un horizonte superior de color pardo oscuro, abundante materia orgánica, su textura es predominantemente franca o franco arenosa. Estos suelos son adecuados para el cultivo posiblemente con fertilidad de moderada a alta. Se clasificó como tipo *Feozem Háptico*, lo que se confirmó con la prueba de carbonatos que dio positiva, la cual se realizó en el laboratorio de suelos del Instituto de Geología de la UNAM (figura 14).

Parada 2. El Pital, Veracruz

El sitio arqueológico El Pital se localiza en el municipio de Martínez de la Torre, Veracruz. Sus coordenadas geográficas son: 20° 09' 26.3" N y 96° 53' 31" W y su altitud de 16.2 msnm. En este sitio se recolectó una muestra de suelo de color pardo oscuro, presenta minerales de arcilla y micas. Se trata de suelos someros por lo que sólo se tomó muestra del horizonte A (fotos 3-4).



Foto 3. Panorámica de sitio arqueológico El Pital, Veracruz. **Foto 4.** Detalle del perfil de suelo en el sitio El Pital.

Geología

El sitio arqueológico El Pital se encuentra dentro de la provincia geológica de la fosa tectónica Tampico Misantla, la cual se caracteriza por estar constituida primordialmente de lutitas y areniscas del Paleoceno al Oligoceno, así como material volcánico, los que en conjunto forman una amplia planicie costera. Con respecto a la geología estructural esta área corresponde a una pequeña cuenca sedimentaria la cual se presenta plegada en las porciones noroccidental y sur y se observa afallada en dirección NE-SW y su traza corre paralela al cauce del río Nautla. Después del callamiento, la cuenca fue rellenada por material ígneo extrusivo como tobas y otras unidades geológicas granulares. La geomorfología del área destaca por la presencia de la planicie costera, la cual contiene una serie de pequeñas mesetas en su porción oeste y sur, mientras que la porción central es ligeramente plana con una inclinación hacia el este (CONAGUA, 2002a).

Los registros de la CONAGUA (2002a) tienen reportadas y cartografiadas un total de nueve unidades geológicas divididas en tres grupos: 1. Pertenecientes al Terciario-Sedimentario: Areniscas y lutitas. 2. Terciario-Volcánico: Tobas vítreas y Andesitas. 3 Terciario-Cuaternario: Gravas, arenas y derrames basálticos. Dentro de este último grupo se encuentran otras cuatro unidades, las cuales corresponden al área dentro de la cuales se encuentra el sitio El Pital (figura 16).

Depósitos de lluvia de inundación: esta unidad se caracteriza por presentar material que es el resultado de la alteración y erosión de rocas o materiales preexistentes, localizados en zonas bajas y áreas de inundación. Se constituye de material heterogéneo donde predominan arcillas. *Depósitos fluviales:* en esta unidad se presentan depósitos constituidos por gravas y arenas de calizas, areniscas y basaltos, donde su función primordial es la de transmitir agua hacia rocas más profundas. Estos depósitos ocupan los ríos y arroyos de importancia. *Depósitos de playa:* esta unidad geológica corresponde a un paquete de arenas finas de reducido espesor y extensión, las cuales afloran en las zonas de playas. *Depósitos aluviales:* estos depósitos se localizan en las márgenes o áreas de influencia de ríos y arroyos, se constituyen principalmente de material clástico de granulometría variada y de reducido espesor, también presentan buena permeabilidad. Los depósitos más importantes se encuentran sobre las márgenes del río Nautla (CONAGUA, 2002a).

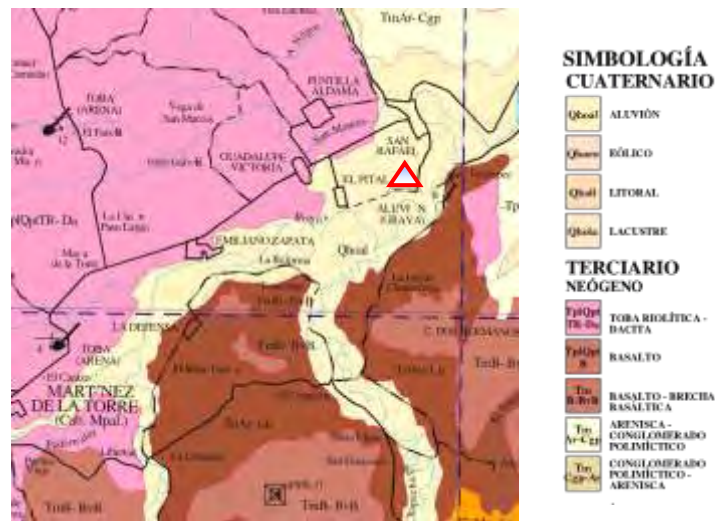


Figura 16. Mapa geológico del área de Martínez de la Torre. La litología alrededor del sitio El Pital Δ se muestra de color crema (Qhola) (Tomado de la Carta Geológica Minera Poza Rica F14-12 SGM).

Suelos

Este suelo es similar al anterior, caracterizado por ser de color pardo oscuro, abundante materia orgánica, textura franca o franco arenosa, fertilidad de moderada a alta. Pero con la diferencia que éste mostró un alto contenido de carbonato de calcio, por lo que se clasificó como tipo *Feozem Calcárico* (figura 14).

Parada 3. El Cuajilote, Veracruz

El sitio se localiza en las coordenadas 19° 56.28' N y 97° 08.16' W. Este sitio se encuentra a 243 msnm de altitud. Se seleccionaron suelos que no estuvieran alterados por fertilizantes o por ganado (fotos 5-6).



Foto 5. Juego de Pelota del sitio El Cuajilote, la flecha indica al área inalterada por fertilizantes o ganado. **Foto 6.** Detalle del perfil del suelo donde se tomó la muestra.

Geología

Este sitio se localiza dentro de la Provincia fisiográfica del Macizo de Tezihutlán-Sierra de Chiconquiaco y forma parte de la provincia geológica del Eje Neovolcánico. Divide a la cuenca sedimentaria Tampico-Misantla de la cuenca terciaria de Veracruz, al oriente limitada con el Golfo de México y al poniente con la Mesa Central, de ahí se inicia un descenso topográfico a base de escarpas y profundas cañadas que presentan un relieve de primer orden, aportando por medio de las corrientes gran cantidad de materiales producto de la erosión a las zonas bajas (Cordero y Viveros, 1983).

En el área existe la presencia de afloramientos de rocas ígneas intrusivas, así como ígneas hipabisales en forma de diques y rocas metamórficas. Los primeros están representados por granodioritas de biotita, los segundos son pórfidos andesíticos y los terceros esquistos de biotita con ventillas de cuarzo intercaladas paralelamente a la esquistocidad. Las rocas ígneas intrusivas se han considerado pertenecientes a dos edades diferentes: Prejurásicas y Postcretácicas (Cordero y Viveros, 1982); tomando como base la constitución en los fragmentos de la secuencia continental de la Formación Cahuascal del Jurásico Medio; y el metamorfismo en las calizas marmolizadas de la Formación Tamaulipas Inferior del Cretácico Temprano (figura 17). Los esquistos presentes en la zona probablemente forman parte del antiguo basamento metamórfico, siendo intrusionado por las rocas ígneas prejurásicas que actualmente afloran

en la margen izquierda del Río Miqueta y Río Bobos. Las rocas ígneas hipabisales están representadas por pórfidos andesíticos en forma de diques que aparecen cortando a los esquistos y granodioritas.

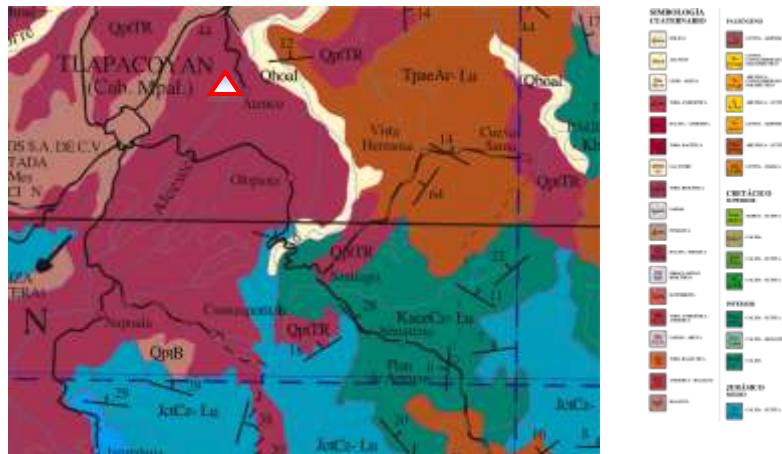


Figura 17. Mapa geológico del área de Tlapacoyan. La litología alrededor del sitio El Cuajilote Δ se muestra de color magenta (QpTR). (Tomado de la Carta Geológica Minera Veracruz E14-3 SGM).

Suelos

Dentro de la muestra de suelos del sitio El Cuajilote se observó en el subsuelo con acumulación de materiales como arcilla, su color es café oscuro, textura limo-arcillosa, estructura estable, alta porosidad y posible fertilidad que va de moderado a alto, tanto su prueba de carbonatos como Alofanos salieron negativas (figura 14). Por estas características se clasificó como tipo *Cambisol Eútrico*.

Parada 5. Matacapán, Veracruz

Matacapán se localiza al sur de Veracruz en el área de Los Tuxtlas, sus coordenadas son: 18° 25.58' N y 95° 09.96' W con una altitud de 235 msnm.

Este sitio se encuentra invadido por sembradíos de café casi en su totalidad, por lo que se procuró tomar muestras de lo que consideramos las áreas no alteradas (fotos 7-8).



Foto 7. Foto panorámica del sitio Matacapán. La foto fue tomada desde el lugar donde se recolectaron las muestras de suelo, la flecha indica al área central del sitio. **Foto 8.** Detalle del perfil del suelo donde se tomó la muestra.

Geología

El sitio arqueológico de Matacapán se localiza en la porción Suroriental de la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico. Geológicamente se ubica dentro de la provincia de San Andrés Tuxtla, la cual se encuentra delimitada por las provincias geológicas de la Cuenca de Veracruz y Cuencas terciarias del sureste (Hernández y Baca, 1991). Esta área se caracteriza por afloramientos de rocas volcánicas máficas de composición andesítica y basáltica, así como depósitos de cenizas y arenas volcánicas que componen las sierras de Yohualtájan y Península de Moreno orientadas NW – SE. En esta área afloran dos unidades

de rocas volcánicas importantes, las cuales se encuentran en contacto por procesos de diferenciación magmática:

La primera se trata de la Unidad Volcánica Andesítica: localizada en la porción nororiental del los tuxtlas y se compone principalmente de rocas de composición andesítica de color café claro a gris oscuro de textura fanerítica y porfídica. Macroscópicamente se observaron minerales como plagioclasas cálcicas y ferromagnesianos. El primer evento de actividad volcánica en esta unidad se presentó durante el Oligoceno y probablemente la última etapa de actividad magmática fue a fines del Cenozoico.

La segunda, denominada Unidad Basáltica: En esta unidad se observan una serie de eventos de actividad magmática, se localiza al suroeste del área de los tuxtlas y se constituye principalmente por derrames basálticos, así como arenas y cenizas volcánicas (Hernández y Baca, 1991). Dentro de esta área se presenta el denominado Evento La Nueva Victoria. Este evento volcánico está representado por conos cineríticos compuestos de tobas basálticas, basaltos, arenas y cenizas de composición basáltica (figura 18) se le reporta una edad radiométrica en base al método de K-Ar de 0.379 ± 0.19 Ma, ubicando el inicio del evento para el Pleistoceno (Carta Geológica Minera Coatzacoahuas E15-1-4 SGM).

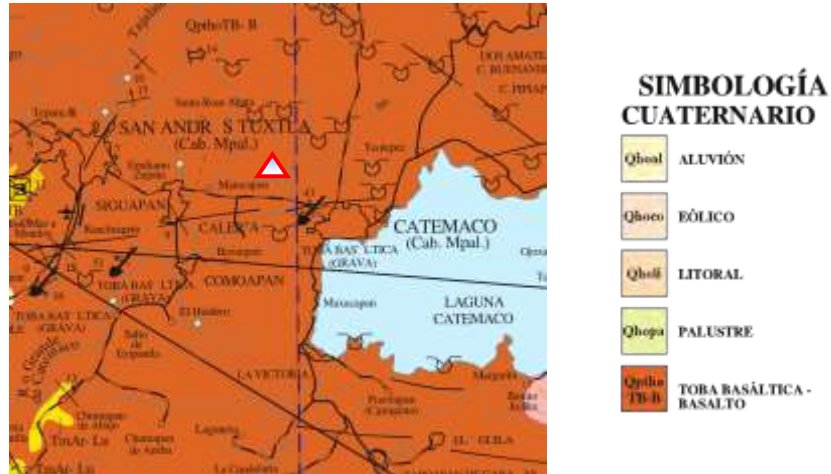


Figura 18. Mapa geológico de parte del área de Los Tuxtlas, Veracruz. La litología alrededor del sitio Matacapán Δ se muestra de color marrón (Qp_{tho} TB-B). (Tomado de la Carta Geológica Minera Coatzacoalcos E15-1-4 SGM)

Con respecto al vulcanismo en el área de los tuxtlas, Veracruz, Nelson y González-Caver (1992) mencionan que el Campo Volcánico de los Tuxtlas (CVTx) ha sido de gran interés a los geólogos debido a las erupciones históricas de 1664 dC y la de 1793 dC del volcán San Martín Tuxtla. Esta área presenta primordialmente lavas basálticas, las cuales están en un contraste significativo con las de composición andesítica del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano. El vulcanismo comenzó aproximadamente 7 Ma atrás en el periodo Mioceno Tardío, y continuó hasta las erupciones históricas antes mencionadas (de 1664 y 1793 dC). Los estrato-volcanes ubicado en el lado este de los tuxtlas se remontan de 3 a 1 Ma antes del presente y se caracterizan por presentar rocas hidrotermalmente alteradas y cubiertas de suelos lateríticos, por otro lado las laderas al norte de estas estructuras muestran amplias secciones erosionadas de cráteres preexistentes que contribuyeron a la formación de calderas. Los volcanes de la región este se componen de basaltos alcalinos, tipo hawaiano y

las andesitas y andesitas calco-alcálicas no son comunes. Finalmente, para la región oeste donde se localiza el Volcán San Martín Tuxtla, se ha reportado la existencia de más de 250 conos cineríticos y se ha calculado que estos produjeron alrededor de 120 km³ de lava en los últimos 0.8 Ma (Nelson y González-Caver, 1992).

Suelos

Los suelos en esta región son suelos principalmente formados a partir de ceniza volcánica de composición basáltica y bajo una vegetación de selva alta perennifolia. En esta región se han reportado primordialmente andisoles, alfidosoles y algunos inceptisoles, en estos suelos se observó rejuvenecimiento debido a la actividad volcánica reciente (Flores-Delgadillo et al., 1999). La muestra de suelos del sitio Matacapán es de color café oscuro, textura limo-arcillosa, estructura estable, alta porosidad y posible fertilidad que va de moderado a alto, su prueba de carbonatos salió negativa mientras que la de Alofanos positiva (figura 14). Por estas características se clasificó como tipo *Andosol Lúvico*.

Parada 6. Maltrata, Veracruz.

El valle de Maltrata se encuentra enclavado en la Sierra Madre Oriental al oeste del centro del Estado de Veracruz, entre los límites estatales de Veracruz y Puebla. Este valle tiene una superficie aproximada de 12 km². Cerca del centro del mismo se localiza el sitio arqueológico de Maltrata, sus coordenadas son: 18° 49.20' N y 97° 15.06' W, presenta una altitud de 1750 msnm (Fotos 9-10).

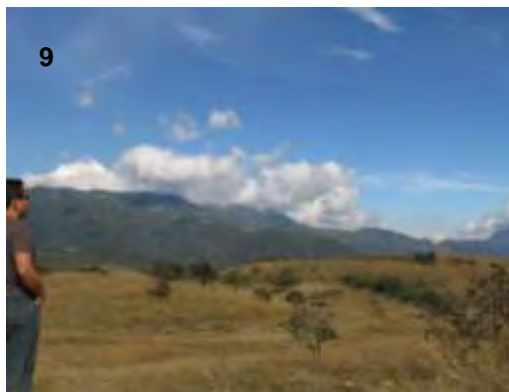


Foto 9. Foto panorámica de Maltrata, la flecha indica el área de ocupación prehispánica donde se encontraron materiales de influencia Teotihuacana. **Foto 10.** Detalle del perfil del suelo donde se tomó la muestra.

Geología

Fisiográficamente este sitio se ubica dentro de la provincia de la Sierra Madre Oriental en la cual predominan las rocas calcáreas del Cretácico, hay presencia de rasgos de karsticidad y sus cumbres superan los 2000 msnm. La secuencia estratigráfica comprende rocas que varían en edad desde el Jurásico Superior hasta el Cretácico Superior. La base se compone de lutitas y areniscas, con presencia ocasional de lentes de calizas correspondientes a la Formación Tepexilotla del Jurásico Superior. A esta unidad sobreyace una secuencia de

rocas calizas denominadas como la Formación Orizaba de edad Cretácico Inferior. Esta formación presenta afloramientos tanto en la parte central como al sur y al oriente del estado de Veracruz. Por encima de esta formación aflora una unidad calcáreo-arcillosa del Cretácico Superior, denominada Formación Maltrata. Finalmente en la parte superior de las sierras, se presentan coladas de rocas volcánicas y materiales piroclásticos (Guzmán y Aguilera, 1997).

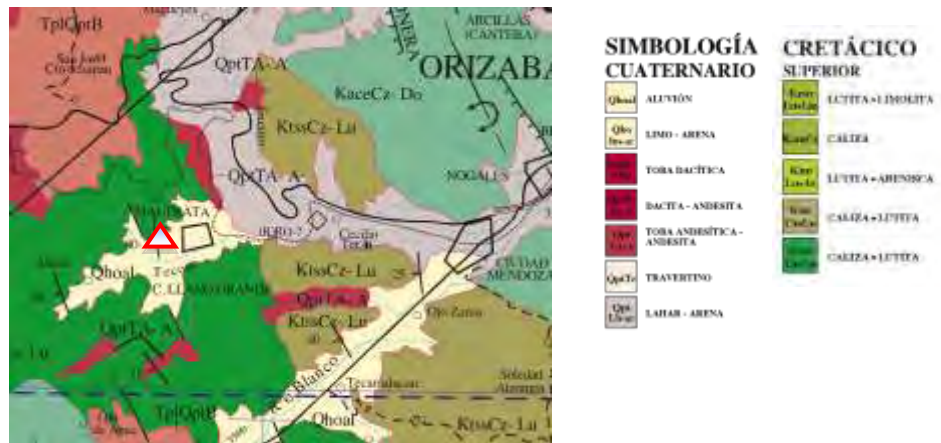


Figura 19. Mapa geológico del área de Maltrata Δ . La litología alrededor del sitio se muestra de color verde (Ktco Cz-Lu) y crema (Qhoal). (Tomado de la Carta Geológica Minera Orizaba E14-6 SGM).

Suelos

Los suelos de Maltrata son suelos secos color crema, de textura media, no se observaron con claridad los horizontes y el horizonte superficial es muy delgado, con poca materia orgánica. Son suelos de baja fertilidad, su prueba tanto de carbonatos como alofanos salió negativa (figura 14). Por estas características se clasificó como tipo *Regosol Eútrico*.

Trabajo de campo y muestro de suelos 2da Temporada

Esta temporada formo parte de la segunda etapa del trabajo de campo, se realizó durante el mes de Abril del 2008. El objetivo general consistió en la toma de muestras de suelo de los sitios arqueológicos: La Herradura, Tepexi el Viejo, Atlixco, Las Pilas y Chalcatzingo. Todos estos pertenecientes al periodo Clásico.

Parada 1. La Herradura, Tlaxcala

El sitio La Herradura se ubica en las coordenadas: $19^{\circ} 34.74' N$ y $98^{\circ} 33.93' W$ y a una altura de 2614 msnm. La mancha urbana de Calpulalpan, Tlaxcala rodea todo el sitio por lo que se decidió tomar la muestra de una zanja cercana realizada por los trabajo de drenaje del municipio. Se seleccionó el perfil menos alterado y se limpio completamente antes de tomar la muestra (fotos 11-12).



Foto 11. Foto del sitio La Herradura, nótese la mancha urbana que lo rodea. **Foto 12.** Detalle del perfil del suelo donde se tomó la muestra.

Geología

Este sitio se encuentra dentro de la provincia fisiográfica denominada Eje Neovolcánico, caracterizado por afloramientos de rocas eruptivas que se presentan en forma de derrames, tobas, andesitas, aglomerados y cenizas volcánicas. Estas rocas son producto de los aparatos volcánicos cercanos y las posibles edades van desde el Oligoceno hasta el Pliocuatrnario. Con respecto a la geología local la fisiografía dentro del área está representada por lomeríos de pendiente suave a superficie plana, donde se encuentran limitadas por sierras formadas en su mayoría por conos cineríficos y derrames de andesitas y basaltos (figura 20)(Álvarez *et al.*, 1990).

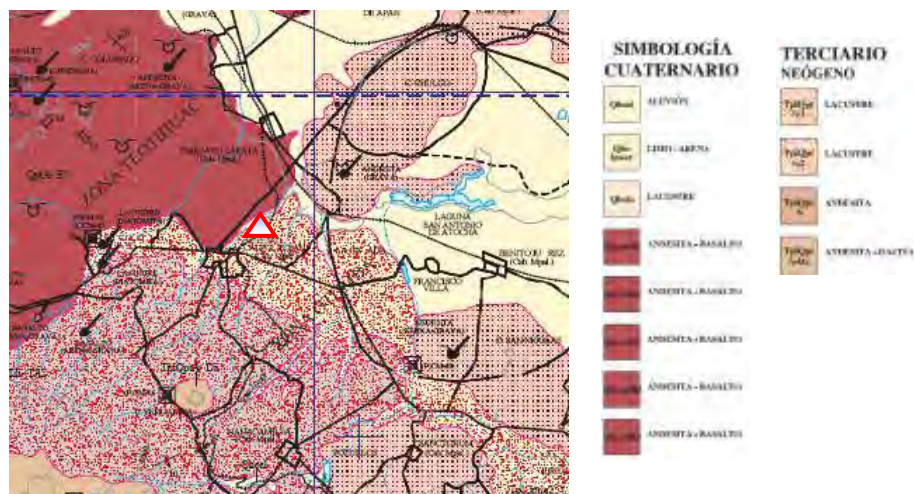


Figura 20. Mapa geológico del área de Calpulalpan Δ , Tlaxcala. La litología alrededor del sitio se muestra de color ocre (QhoA-B5) Andesita-Basalto, crema Aluvión (Qhoal) y punteado lacustre (Tp1Qpt la1-Tp1Qpt la 2). (Tomado de la Carta Geológica Minera Ciudad de México E14-2 SGM).

Suelos

Dentro del estado de Tlaxcala se han identificado diferentes unidades de suelo, donde las más importantes son: 1. Feozem: estos suelos se distribuyen al norte del estado, en la pendiente al oriente del volcán la Malinche, se tiene las subunidades Fesozem háplico y Feozem calcárico. 2. Cambisoles: esta unidad se extiende de este a oeste dentro del estado de Tlaxcala, se trata de suelos en proceso de cambio, las subunidades que se presentan son: Cambisol eútrico y Cambisol húmico. 3. Regosol: estos suelos se encuentran en varios sitios; sin embargo, en el área de la Malinche se caracterizan por ser suelos sueltos, sin desarrollo y su perfil está constituido por un horizonte A o C y los limita la roca. Se presentan las subunidades Regosol eútrico y dístrico. 4. Litosoles: estos suelos presentan un espesor menor a 10 cm, generalmente están limitados por la roca, su textura varía de arenosa a franca, el color es café oscuro o gris, presentan estructura en bloques subangulares de tamaño medio, sólo se ha desarrollado Horizonte A (SEMARNAT-INE, 2001). Aunque existe una variedad de suelos en esta región el suelo del sitio La Herradura se clasificó como un Antroposol debido a su contexto, ya que se encuentra dentro de la zona urbana y se observaron modificaciones e influencia de las actividades humanas como la adición de materiales orgánicos, irrigación, cultivos, materiales de construcción, entre otros factores derivados de las actividades humanas.

Parada 2. Tepexi el Viejo, Puebla.

El sitio arqueológico de Tepexi el Viejo se localiza en las coordenadas: 18° 35.71' N y 97° 58.93' W, a una altitud de 1590 msnm. En este sitio se encontraron al menos dos ambientes geológicos; por un lado existe un afloramiento de rocas calizas y algunos conglomerados, sobre los cuales se formo el suelo; por otro, también se presenta aun afloramiento de esquistos (Formación Acatlán) que son la base donde se desarrollaron otros suelos. Se tomaron muestras de suelo de estos dos ambientes (fotos 13-14).



Foto 13. Foto panorámica de Tepexi el Viejo. **Foto 14.** Perfil del suelo donde se tomó la muestra.

Geología

Esta región consiste principalmente de mesetas-terrazas y planicies que se mantienen a una altitud constante aproximada de los 1700 a los 2000 msnm. En cuanto a las terrazas se constituyen de depósitos lacustres Terciarios, hidroclásticos continentales de fuerte composición calcárea (margas, arcillas

arenosas, arenas y conglomerados) donde se presenta el denominado mármol *travertino* (figura 21). Con respecto a la planicie esta se presenta cortada por la erosión fluvial de los ríos Atoyac y Axamilpa en barrancas sinuosas de más de 100 m de profundidad, aflorando en el fondo el basamento metamórfico que consiste de esquistos micáceos y sericíticos que forman parte del Complejo Acatlán, en estas rocas se encuentra la manifestación cuprosa de Axamilpa. En las planicies lacustres Terciarias emergen serranías redondeadas con desniveles hasta de 300 m, constituidos por ventanas de calizas cretácicas en plegamientos suaves dentro de estas rocas hay la presencia del mármol victoria (Ugalde, 1972).



Figura 21. Mapa geológico del área de Tepexi de Rodríguez Δ . La litología alrededor del sitio se muestra de color verde (KaceCz) Caliza, crema punteado (Qp1Tr) Travertino y ocre punteado (Qp1TA) Toba andesítica. (Tomado de la Carta Geológica Minera Orizaba E14-6 SGM).

Suelos

Los suelos en Tepexi se caracterizan por ser suelos sueltos, sin desarrollo y su perfil está constituido por un horizonte A o C y los limita la roca. El horizonte superficial es muy delgado, con poca materia orgánica y de baja fertilidad. Aquí

se presentan dos tipos de suelos: los primeros de color blanquizco, los cuales se desarrollaron sobre rocas calizas y se clasificaron como *Regosol calcáreo* comprobándolos con la prueba de carbonatos positiva. También están los desarrollados sobre esquistos, los cuales dieron negativo en la prueba de carbonatos (figura 14) estos se clasificaron como *Regosol Eútrico*.

Parada 3. Valle de Atlixco, Puebla

El Valle de Atlixco se localiza en las coordenadas: 18° 51.49' N y 98° 27.30' W, con una altitud de 1720 msnm. Este valle se encuentra cubierto por sembradíos ya que estos suelos volcánicos han sido aprovechados de dese época prehispánica, por lo que se seleccionaron las muestras en las áreas cubiertas por vegetación local (fotos 15-16).



Foto 15. Panorámica del Valle de Atlixco, con el volcán Popocatepetl al fondo. **Foto 16.** Detalle del perfil donde se tomaron las muestras.

Geología

El Valle de Atlixco se localiza en el Altiplano Mexicano, dentro de la provincia fisiográfica denominada Eje Neovolcánico. Este amplio valle se encuentra dividido por serranías y cerros separados (Raisz, 1964). Al oriente se encuentra limitada por las Sierras de Zoapiltepec (2500 msnm), Teyuca (1800 msnm) y Vaquería (1600 msnm) y hacia el poniente la falda oriental del Popocatepetl (5452 msnm), Sierras de Tochimilco (2250 msnm) y Huaquechula (1750 msnm). En el área afloran rocas de tipo ígneo y sedimentario que varían tanto en composición como en edad.

El valle corresponde a estructuras hundidas, las cuales han recibido el aporte de una gran cantidad de materiales volcánicos provenientes de volcanes como el Popocatépetl e Iztaccihuatl, los cuales emergieron a través de grandes fracturas o fallas. El relleno del valle se compone por rocas ígneas y sedimentarias, cuyas edades varían del Terciario Medio al Cuaternario Superior (figura 22). El espesor se presenta irregular de decenas a centenas de metros en valles fluviales, siendo aun mayores en las fosas tectónicas rellenas de depósitos aluviales, lacustres y rocas ígneas (CONAGUA, 2002b).

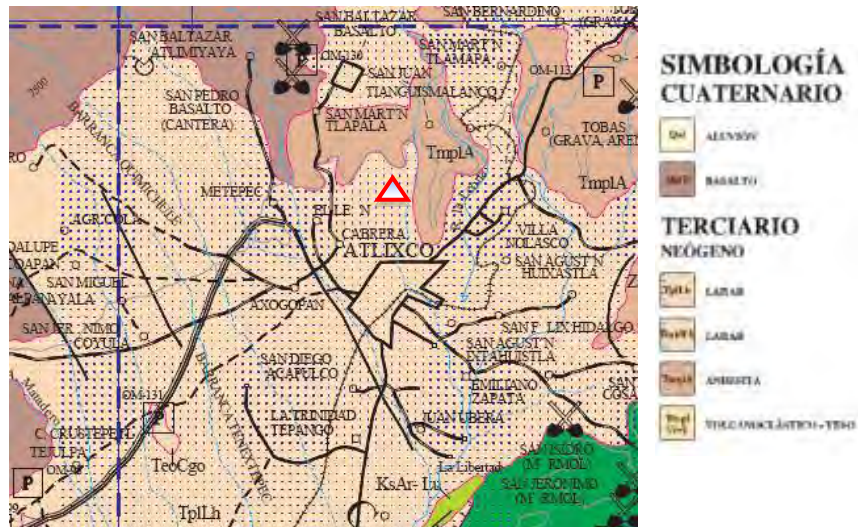


Figura 22. Mapa geológico del área de Atlixco Δ . La litología alrededor del sitio se muestra de color rosado punteado (TplLh) Lahar, rosado fuerte liso (TmplA) Andesita y café (QptB) Basalto (tomado de la Carta Geológica Minera Cuernavaca E14-5 SGM).

Suelos

Las principales unidades de suelos dentro del valle de Atlixco son las siguientes (INEGI 1987; Rodríguez, 2002):

Fluvisoles eútricos (Je): se trata de suelos profundos generados por la acumulación de material aluvial de depositación reciente. Estos suelos generalmente carecen de horizonte de diagnóstico y se caracterizan por presentar bajo nivel de fertilidad, textura media o ligeramente arcillosos y se encuentran cercanos a los afluentes del río Nexapa.

Feozem háplico (Hh): estos suelos presentan horizonte superior oscuro y son ricos tanto en materia orgánica como en nutrientes, su textura es predominantemente franca o franco arenosa. Son suelos adecuados para el cultivo con exceso de agua, su fertilidad va de moderada a alta. Se ubican en las zonas planas del noreste del valle de Atlixco.

Cambisoles eútricos, verticos y dístricos (B): son suelos poco desarrollados y relativamente jóvenes, presentan en el subsuelo acumulación de materiales como arcilla y carbonato de calcio, entre otros. Su grado de fertilidad va de moderado a alto. Los dístricos son muy ácidos y bajos en nutrimentos, por lo tanto, los menos fértiles de los tres tipos. Se localizan en el extremo noreste del valle y se encuentran asociados a Andosoles. Dentro de esta categoría se ubicaron las muestras de suelo tomadas en el sitio de Atlixco (*Cambisol eútrico*).

Rendzinas (E): se trata de suelos someros desarrollados sobre rocas calizas. Se caracterizan por su capa superficial abundante en humus y por tener buena fertilidad. Se localizan en la mayor parte de las zonas montañosas del sureste del valle.

Parada 4. Las Pilas y Chalcatzingo, Morelos.

El sitio arqueológico Las Pilas se encuentra en dentro del poblado de Jonacatepec, Morelos; entre las coordenadas: 18° 41.25' N y 98° 48.07' W, a una altitud de 1719 msnm (foto 17). La arquitectura y los materiales arqueológicos como cerámica y representaciones del dios Tláloc muestran una influencia teotihuacana lo que le da importancia la toma de muestras en este sitio para nuestro estudio. Debido a que el sitio se encuentra enclavado dentro de la zona urbana de Jonacatepec, se tomo la decisión de obtener las muestras a la periferia del pueblo cerca de las zonas de siembra.

El sitio arqueológico de Chalcatzingo se localiza en el poblado del mismo nombre al pie de los cerros Delgado y la Cantera entre las coordenadas: 18° 40.54' N y 98° 46.35' W, con un altitud de 1380 msnm. La excavaciones realizadas en este sitio también mostraron una ocupación de influencia teotihuacana (foto 18).



Foto 17. Zona arqueológica de Las Pilas, Morelos. **Foto 18.** Panorámica del Valle de Chalcatzingo, Morelos, la flecha indica la zona de ocupación teotihuacana.

Geología

El sitio arqueológico de Las Pilas se localiza dentro del estado de Morelos, el cual está comprendido dentro de las provincias geológicas del Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur. La primera cubre la mayor parte del estado y el municipio de Jonacatepec (donde se encuentra el sitio Las Pilas), mientras que la provincia Sierra Madre del Sur incluye la porción de la cuenca del río Balsas-Mexcala.

De acuerdo a la historia geológica del área se ha mencionado que durante el Mesozoico este territorio era parte del océano y ya para fines del Cretácico, el territorio emergió y sufrió compresiones que plegaron parte de las rocas

sedimentarias de ambiente marino, previamente formadas. Para el Cenozoico los plegamientos se intensificaron y se desarrollaron una serie de eventos como fallamientos en bloque, derrames lávicos y depósitos de materiales cineríticos y clásticos. En el Holoceno predominó la acumulación de sedimentos derivados de áreas volcánicas, los que se encuentran erosionados y depositados sobre las formaciones geológicas preexistentes (figura 23) (Aguilar, 1990).

Recientes trabajos han contribuido con nuevos datos geoquímicos en el área de Chalcatzingo. De acuerdo con Gómez-Tuena *et al.* (2008) el Cinturón Volcánico Trans-Mexicano (CVT) es la manifestación volcánica más joven o reciente de la historia geológica de nuestro país y su inserción como un arco magmático oblicuo, se ha fechado para el Mioceno Temprano. Sin embargo, recientes fechamientos de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ realizados en muestras de trondhjemita del complejo Chalcatzingo han revelado que este es uno de los vestigios más antiguos del CVT. La composición química del domo de Chalcatzingo se diferencia bastante de resto de rocas de composición ácida dentro del Arco Mexicano, ya que presenta un importante enriquecimiento en Na_2O sobre K_2O . El patrón de elementos traza de las rocas de Chalcatzingo es muy típico de los magmas del arco. Sin embargo, las concentraciones en la trondhjemita contienen la composición isotópica más reducida que se ha medido en las rocas del Arco Mexicano (figura 24). Las tierras raras como el Itrio (Y) se presentan fuertemente reducidas en las trondhjemitas, mientras que las concentraciones de estroncio (Sr) son relativamente más altas (Gómez-Tuena *et al.*, 2008).



Figura 23. Mapa geológico del área de Jonacatepec Δ , Morelos. La litología alrededor del sitio se muestra de color rosado punteado (TpLh) Lahar, rosado fuerte liso (TmPIA) Andesita y color rojo (ToGd) Granodiorita (tomado de la Carta Geológica Minera Cuernavaca E14-5 SGM).

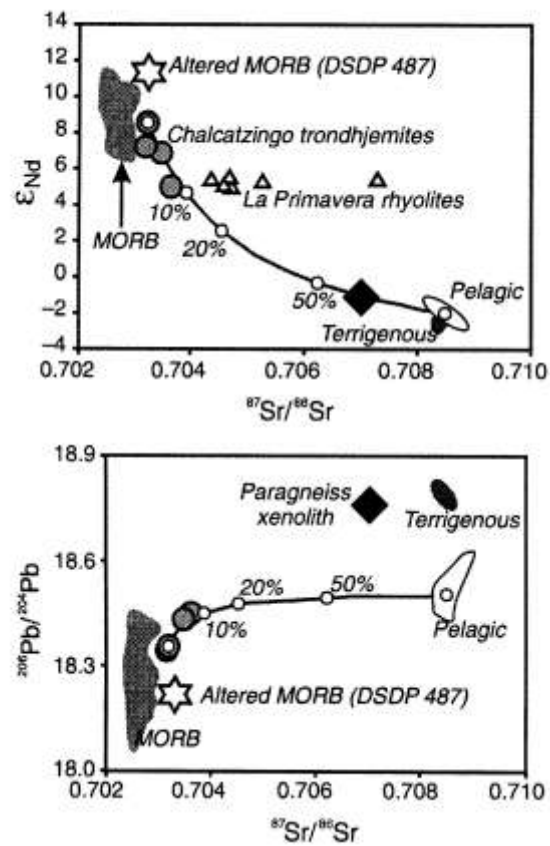


Figura 24. Composición isotópica de la trondhjemita de Chalcatzingo, Morelos (tomado de Gómez-Tuena *et. al.*, 2008)

Suelos

En esta región existe la presencia de varias unidades edafológicas como: vertisol pélico, feozem háplico y calcárico, kastoñozem háplico, chernozem cálcico y háplico, rendzinas, fluvisoles eútricos, regosoles eútricos, litosoles eútricos y cambisoles eútricos. Todos ellos representados sobre diferentes geoformas y pendientes que los caracterizan como es el caso de las benzinas las cuales se ubican sobre laderas convexas de caliza o como los regosoles eútricos sobre laderas erosivas (Jasso, 2000). Con respecto a las muestras de suelos se observó que son suelos poco desarrollados y relativamente jóvenes, presentan en el subsuelo acumulación de arcilla. Su grado de fertilidad va de moderado a alto, las pruebas tanto de carbonatos como de alofanos salieron negativas, estos suelos se clasificaron como *Cambisoles eútricos*.

Capítulo IV

Metodología del Trabajo de Laboratorio

Muestras de huesos y dientes

Las muestras de huesos y dientes fueron proporcionadas por el proyecto *Teotihuacan: elite y gobierno*, a cargo de la Dra. Linda Manzanilla. Estas muestras corresponde a los entierros recuperados de las excavaciones extensivas realizadas en el Barrio de Teopancazco (Manzanilla, 2008):

El entierro 13A, localizado en el Cuarto 45-51, corresponde a un individuo masculino de 30 a 35 años de edad, por su disposición muy probablemente fue desmembrado y por los materiales arqueológicos asociados su fecha relativa corresponde a la fase Metepec.

El entierro 15 se localizó en el Cuarto 251A, se trata de un individuo masculino de 36 a 55 años de edad, es un entierro primario sedente y probablemente corresponde a la fase Xolalpan Temprano.

El entierro 78 corresponde a un individuo mayor de 50 años. También es un entierro primario (foto 19), localizado en el Cuarto 351A, pertenece la fase Tlamimilolpa Tardío.



Foto 19. Entierro 78 de Teopancazco (fotografía tomada por la Dra. Linda Manzanilla)

El entierro 98, localizado en le Cuarto 6, es de un individuo masculino con una edad aproximada de 35 a 40 años y se trata un entierro primario directo parcial sedente (foto 20).



Foto 20. Entierro 98 de Teopancazco (fotografía tomada por la Dra. Linda Manzanilla)

Finalmente, el entierro 102 localizado también en el Cuarto 6, pertenece a un individuo femenino de 35 a 40 años de edad. Se trata de un entierro secundario, ritual. Alrededor de su cráneo se colocaron huesos largos (foto 21) temporalmente se ha definido en la fase Xolalpan.



Foto 21. Entierro 78 de Teopancazgo, nótese los huesos largos alrededor del cráneo (fotografía tomada por la Dra. Linda Manzanilla)

Composición del esmalte dental

La superficie de la corona de los dientes y molares humanos se encuentra cubierta por el esmalte, el cual se considera el tejido más duro y mineralizado del sistema óseo (figura 25). Se trata de un tejido acelular, por lo que no tiene la capacidad de sentir estímulos térmicos, químicos o mecánicos. Se compone de 96% de materia inorgánica, específicamente cristales de hidroxiapatito, los cuales se encuentran dispuestos en varillas. Cuando se presentan contenidos de flúor, estos cristales se transforman en cristales de flúorapatito los cuales son de mayores dimensiones que los de hidroxiapatito.



Figura 25. Corte de la composición de un diente, el esmalte es la parte más externa.

Mineral apatito

De la serie de fosfatos el mineral *apatito* es uno de los más importantes y abundantes, presenta cristalografía de sistema exagonal y su dureza es de 5 en la escala de Mohs. Su composición química es: $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$. Se denomina fluorapatito (figura 26) a las variedades que en su composición química presentan una contribución de flúor en cajones libres de la red cristalina, clorapatito cuando el elemento cloro es el que interviene en la fórmula y finalmente hidroxilapatito cuando los grupos OH son los predominantes, formando entre los tres una serie isomorfa (Cornelius y Cornelis, 1991). Tanto en su estructura cristalográfica como en su composición química, el mineral apatito se comporta como un *sistema aislado*, lo mismo sucede con el esmalte dental. Dentro de la termodinámica un sistema abierto es aquel sistema que puede

intercambiar tanto materia como energía con el exterior, mientras que un sistema cerrado es un sistema que no puede intercambiar materia con el exterior pero sí intercambia energía. Finalmente, un sistema aislado (figura 27) que corresponde al sistema del esmalte, es un sistema físico o químico que no interacciona con otros entes físicos situados fuera de él y por lo tanto no está conectado causalmente ni correlacionalmente con nada externo a él, es decir, en esta clase de sistema no existe intercambio ni de materia ni de energía con el exterior (Hougen *et al.*, 1982; Barrull, 1994).

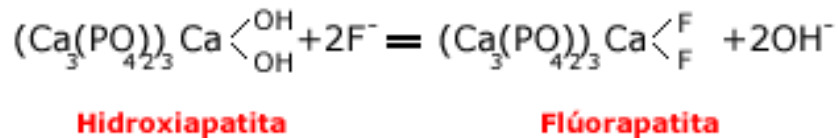


Figura 26. Estructura química del esmalte.

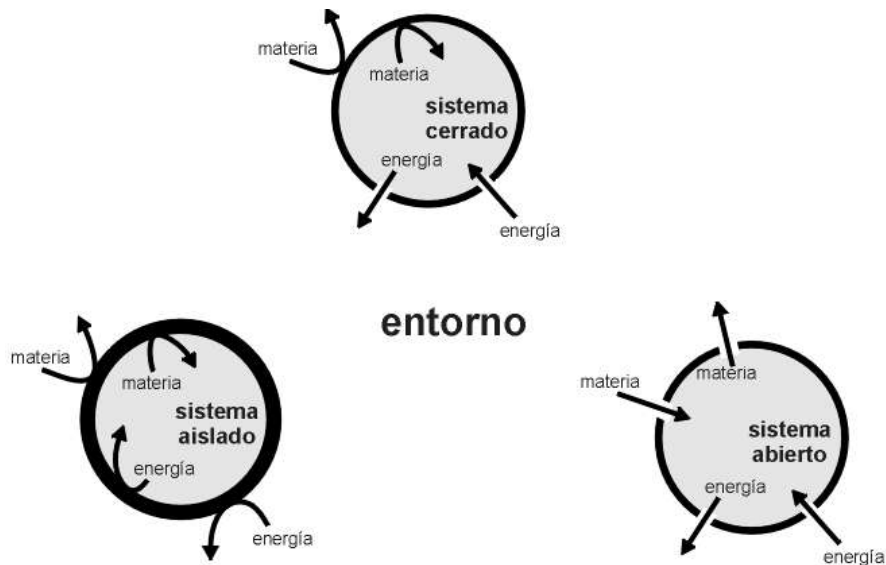


Figura 27. Esquema que muestra los tres principales sistemas en termodinámica. El sistema aislado no permite entrada ni de materia ni de energía (tomado de Barrull, 1994).

Trabajo de Laboratorio

Las muestras tanto de dientes y huesos, así como las de los diferentes suelos se sometieron a un proceso mecánico en el laboratorio de molienda del Instituto de Geofísica, UNAM. Posteriormente se prepararon mediante una serie de lavados dentro de la sección de química ultra-pura del Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica (LUGIS), del mismo Instituto. Finalmente se midieron sus relaciones isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en el espectrómetro de masas *FINNIGAN MAT 262* del mismo laboratorio. Cada tipo de muestra se trató mediante un proceso distinto, el cual se detalla a continuación.

Preparación de las muestras de dientes y huesos

Las muestras de dientes, inicialmente se cortan en sección mediante un disco de diamante, después son procesadas con la ayuda de una herramienta con motor de violón retirando la dentina y puliendo el diente hasta dejar únicamente el esmalte (fotos 21-26). Posteriormente, tanto las muestras de dientes como las de huesos son preparadas mediante una serie de lavados: en primer lugar se seleccionan fragmentos (10-20 mg) de cada muestra, la pre-limpieza consiste en colocar las muestras en vasos de teflón para aplicar H_2O_2 (agua oxigenada 30%) y colocarlos en baño ultrasonido B-US por 15 minutos, terminado el tiempo se decanta el H_2O_2 y se vierte H_2O MQ (agua dos veces desionizada) para dejar las muestras otros 15 minutos en B-US, finalmente se deja secar (fotos 27-30).

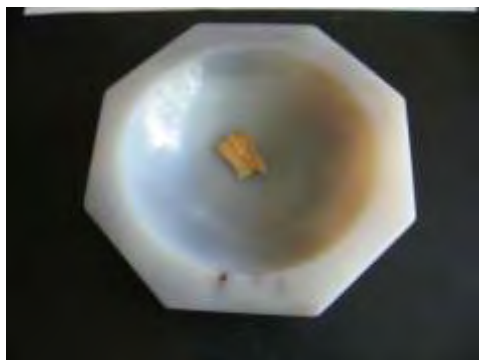
El siguiente paso es colocar las muestras en B-US por 1 minuto con HNO_3 1.5N, posteriormente se realizan una serie de lavados 3 en total de 5 minutos cada uno en H_2O MQ y un lavado de 10 minutos con etanol, finalmente se deja secar. Después de pasar por este pre-limpieza la muestra es pulverizada con un mortero de ágata hasta obtener partículas con un diámetro $< 50 \mu\text{m}$ (fotos 31-32).



Fotos 21-26. Arriba se observa la muestra de diente del Entierro 102 antes y después su corte en sección. Abajo imágenes del Entierro 78. Obsérvese la herramienta de dentista útil para remover la dentina e impurezas externas del diente.



Fotos 27-30. Fragmentos de fémur y vértebra del Entierro 15. Abajo se observa el inicio de la pre-limpieza y la colección de la muestra en vasos o bombas de teflón para comenzar con ultrasonido (B-US).



Fotos 31-32. Mortero de ágata para la pulverizar las muestras de dientes, huesos y suelos.

Posteriormente las muestras deben de ser tratadas para su intercambio iónico. También se comienza aplicando H_2O_2 (peróxido de hidrógeno 30%), para el caso de los dientes se deja 3 minutos en B-US (ultrasonido) mientras que los

huesos sin usar ultrasonido se dejan sólo 1 minuto, posteriormente ambas muestras se lavan durante 2 minutos en H₂O MQ (agua dos veces desionizada). Se continúa colocando las muestras en el B-US durante 3 minutos en NH₄Cl 1N y se deja reposar por 24 horas, después de este tiempo solo se limpian en el ultrasonido mediante 5 lavados de 5 minutos en H₂O MQ. El residuo de las muestras de huesos es diluido en HNO₃ 8N, finalmente se deja secar.

Para el caso de los dientes, éstos son tratados con ácido acético a diferentes porcentajes, es decir, se pasan por una serie de lixiviados (figura 28): en el primer de estos lixiviados las muestras son colocadas en el B-US por 30 minutos con ácido acético CH₃COOH 0.1N, se decanta y se evapora el líquido, para posteriormente diluirlo en HNO₃ 8N (tratamiento de digestión). El residuo seco del primer lixiviado pasa por el segundo lixiviado donde se agrega a la muestra ácido acético CH₃COOH 1N, dejando 15 minutos en el B-US, el líquido es decantado y se evapora, para diluirlo en HNO₃ 8N. Finalmente el residuo obtenido del segundo lixiviado, así como las muestras de huesos son diluidas en HNO₃ 8N para su tratamiento de digestión durante 24 horas, para posteriormente cargarlo en las columnas de intercambio iónico, con las que se separa el Sr (fotos 33-34). Al igual que las muestras de hueso, las de dientes son puestas en columnas de intercambio iónico tipo *Sr Spec* (compañía EICHRON). Por último, el residuo de Sr es colocado en el espectrómetro de masas, para su medición.

PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE MOLARES Y HUESOS

Selección de fragmentos limpios (~10-20 mg)

PRELIMPIEZA

Colocar las muestras en vasos de teflón:
B-US (15 min) con H₂O₂ (30%)
B-US (15 min) con H₂O MQ

SECAR
(IR)

LIMPIEZA QUÍMICA

B-US (1 min) con HNO₃ 1.5N (Huesos)
B-US (1 min) con HNO₃ 1.5N (Esmaltes)
B-US (3 x 5 min) con H₂O MQ
B-US (10 min) con Etanol

Nota: Introducir solamente de 2 en 2 las muestras al US. Si los fragmentos son pequeños o deleznales no usar US. Con molares de leche usar HNO₃ más diluido (~0.5 N - 1N), solamente 30 segundos.

SECAR
(IR)

Pulverizar las muestras utilizando un mortero de Ágata (~50 µm tamaño de grano)

INTERCAMBIO IÓNICO CON NH₄

B-US (3 min) en H₂O₂ (30%) (Esmaltes)
(1 min) en H₂O₂ (30%) (Huesos) No usar US
(2 min) en H₂O MQ (Decantar) **Nota: si es necesario repetir**
B-US (3 min) en NH₄Cl 1N
24 hrs en NH₄Cl 1N
B-US (5 x 5 min) en H₂O

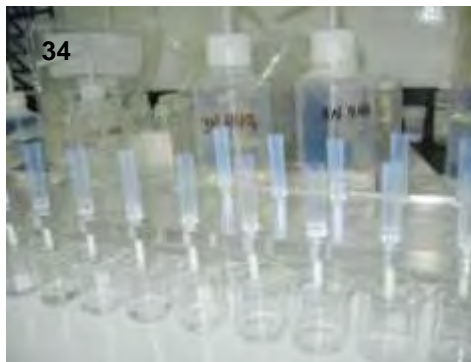
Huesos: digestión en HNO₃ 8N

SECAR
(IR)

LIXIVIADOS DEL ESMALTE

1er Lixiviado
B-US (30 min) con ácido acético 0.1N
Decantar y evaporar el líquido → Digestión en HNO₃ 8N
Residuo 1 (seco)
2do Lixiviado
B-US (15 min) en ácido acético 1N
Decantar y evaporar el líquido → Digestión en HNO₃ 8N
Residuo 2 (seco)
3er Lixiviado
Digestión en HNO₃ 8N

Figura 28. Esquema del proceso metodológico de laboratorio para el análisis de las muestras de dientes y huesos en el Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica (LUGIS-UNAM).



Fotos 33-34. Parte del procedimiento de laboratorio: en la primera foto se observa las muestras dentro del equipo de centrifugado, para posteriormente colocar cada una en las columnas de intercambio iónico foto 34.

Preparación de las muestras de suelos

Las muestras de suelos se secan en una mufla a 35°C para después pulverizarlas utilizando un mortero de ágata, se cuartean con el fin de obtener una muestra homogénea. La limpieza se lleva a cabo con H₂O MQ, ésta se decanta y si se vierte ácido perclórico HClO₄ a la muestra, éste se decanta y se vierte ácido fluorhídrico HF, aquí la muestra se queda reposando dentro de un vaso o bomba de teflón por 48 horas. Después se destapa para evaporar y al residuo se le coloca ácido clorhídrico HCl 6N, se deja reposando por 24 horas, enseguida se evapora y el residuo pasa por el tratamiento de digestión en HNO₃ 8N, finalmente se deja evaporar por 24 horas. Igual que con las muestras de dientes y huesos el residuo de las muestras es colocado en las columnas de intercambio iónico, columnas tipo *Sr Spec* (compañía EICHRON)(foto 34).

Proceso químico de las muestras

Pesado y Spike

Cada muestra es colocada dentro de una bomba de digestión de 15 ml. Se pesan en una balanza de cinco dígitos. El método para agregar el spike se basa en una diferencia de pesos, es decir, el primer peso que se obtiene es el de la bomba vacía (contenedor y tapa), después se añade la muestra y se obtiene el peso de la bomba tapada con la muestra, se hace de esta manera para evitar que el punto "0" de la balanza se desplace lo menos posible y para obtener el mejor peso de la muestra² (fotos 35-36). Ya que se obtienen los pesos mencionados se añade a la bomba con muestra un *spike* combinado de Sr-Sm-Nd para determinar la concentración de estroncio, vía dilución isotópica. Para pesar el *spike* se emplea el mismo método, es decir, primero se pesa la bomba sin el *spike* y después que se añade éste se vuelve a pesar. Durante el procedimiento del pesado de la muestra se tiene que verificar que los pesos coincidan para evitar errores. También se añade un estándar establecido ya sea interno o internacional, o bien un blanco o una muestra doble. Los registros de los pesos deben de ser precisos y claros para poder realizar los cálculos pertinentes de concentraciones de Sr.

² El peso de la muestra puede variar de 100 a 200 mg y éste depende de la concentración de los elementos que esta previamente establecida mediante la técnica de Fluorescencia de Rayos X.



Fotos 35-36. Izquierda: muestras listas para pesarse dentro de sus bombas de teflón. Derecha: balanza analítica de cinco dígitos OHAUS del LUGIS.

Digestión de las muestras

Las muestras pasaron por un proceso químico, el cual se lleva a cabo dentro del laboratorio de química ultrapura en el LUGIS. Este laboratorio se diseñó especialmente, con una serie de cuartos al vacío y filtros especiales los cuales mantiene el aire a una mejor pureza. Al mismo tiempo se tiene control de los diversos químicos usados como HCl, HNO₃, HF, entre otros, todos de calidad *supra pura* o de grado analítico, a los que se les aplica una bidestilación previa. Dentro del laboratorio se encuentra un artefacto de osmosis inversa de donde se obtuvo tanto el agua MR como la MQ que se utilizó para el análisis.

En el caso de las muestras de suelos posteriormente a la obtención de los pesos de las mismas, se agrega de 5 a 7 ml de ácido fluorhídrico (HF) al 40%, se tapan las muestras y se calientan a 90° C dentro de hornos electrónicos de

digestión con aire puro, esto se hace de manera constante en un lapso de tiempo de 2 a 3 días hasta que la muestra se disuelve completamente. Posteriormente se tiene que evaporar dejando la muestra destapada, esto es con el fin de liberar el contenido de sílice en forma de SiF_4 finalmente lo que queda es un residuo compuesto de varios fluoruros como: CaF , NaF y RbF , entre otros. Con el propósito de eliminar el flúor (F) se tiene que agregar gotas de ácido perclórico³ (HClO_4) al 70% junto con agua desionizada (MQ); nuevamente se dejan evaporar en los hornos de digestión a 90°C donde al secarse se obtendrá un residuo compuesto de cloratos.

Separación de estroncio (Sr)

Para los fines de este análisis la importancia de separar el estroncio (Sr) de los otros elementos contenidos en la muestra, radica en que por ejemplo: la presencia de calcio (Ca) puede provocar que la intensidad de la señal se vea reducida, por lo que se debe de separar todo el calcio posible contenido en la muestra. Asimismo, residuos de ^{87}Rb puede interferir con la señal de ^{87}Sr , por esta razón se debe aplicar una corrección para evitar la interferencia del poco rubidio que queda posteriormente en la muestra.

³ La aplicación de ácido perclórico en la muestra también ayuda a liberar el contenido de grafito u otros componentes orgánicos.

Finalmente, después de extraer el Sr las muestras, contenidas en pequeños vasos de teflón de 2 a 3 ml y son secadas, para que posteriormente sean colocadas en filamentos desgasificados de renio (Re) y finalmente la relación isotópica de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ es medida en el espectrómetro de masas (foto 37).



Foto 37. Espectrómetro de masas *FINNIGAN MAT 262*. LUGIS-UNAM.

Capítulo V

Resultados

Los resultados del análisis llevado a cabo en el Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica (LUGIS) de Instituto de Geofísica de la UNAM, se obtuvieron gracias a la ayuda, enseñanza y asesoría del Ingeniero Teodoro Hernández Treviño, la maestra Gabriela Solís Pichardo y el Dr. Peter Schaaf. Como se ha mencionado, tanto las muestras de dientes y huesos como las de suelos se analizaron con un gran cuidado, limpieza y sin pasar por alto cada uno de los diferentes procedimientos dentro del protocolo establecido en este laboratorio, desde la toma de muestra hasta la medición final en el espectrómetro de masas. Así mismo, se realizaron cada uno de los pasos que integran el proceso de la aplicación de isotopía de estroncio para muestras de restos óseos y de suelos. Los análisis se realizaron con un espectrómetro de masas con fuente iónica térmica marca FINNIGAN MAT 262 en el LUGIS. El espectrómetro cuenta con 8 colectores *faraday* ajustables y todas las mediciones se realizaron de manera estática. Las muestras se cargaron como cloruros y se midieron como iones metálicos. Se analizaron entre 47 y 58 relaciones isotópicas para Sr. Los errores ($\pm 1\text{sd}$ y $\pm 2\text{SE}(\text{Mean})$) reportados se refieren a los últimos dos dígitos. Valores del LUGIS para el estándar NBS 987 (Sr): $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.710238 \pm 23$ ($\pm 1 \sigma$ abs, $n = 379$) (tabla 1). Las relaciones isotópicas de Sr se corrigieron por fraccionamiento de masas vía normalización a $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0.1194$. Los blancos analíticos durante los análisis de las muestras de este trabajo resultaron: 3.6 ng Sr⁴.

⁴ Más detalles analíticos del procesamiento de muestras en el LUGIS están reportados en: (<http://geologia.igeolcu.unam.mx/Lugis/manual.html>).

Resultados de las muestras de dientes y huesos

Los cinco entierros, analizados mediante la aplicación de la isotopía de estroncio, ofrecieron información muy interesante para el aporte a la interpretación arqueológica del barrio teotihuacano de Teopancazco. Los resultados se presentan en las siguientes tablas y figuras:

| UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO | | | | | | | | | |
|---|----------|------------|-------------|-----------|-------|---------|----|----------------|---------------|
| Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica | | | | | | | | | |
| (LUGIS) | | | | | | | | | |
| Entierro | Muestra | Código | | 87Sr/86Sr | 1 sd* | 2 SE(M) | n | gramos muestra | Concentr. ppm |
| En 13 A | 33766 Di | 3439 BL ID | Lixiviado 1 | 0.707060 | 34 | 9 | 55 | 0.01707 | 57.93 |
| En 13 A | 33766 Di | 3439 BL ID | Lixiviado 2 | 0.707273 | 37 | 10 | 52 | 0.00980 | 167.10 |
| En 13 A | 33766 Di | 3439 BL ID | Diente | 0.707336 | 45 | 13 | 49 | 0.00318 | 290.27 |
| En 13 A | 33766 C | 3447 BL ID | Cráneo | 0.704686 | 34 | 9 | 55 | 0.20060 | 999.77 |
| En 13 A | 33766 V | 3446 BL ID | Vértebra | 0.704675 | 35 | 9 | 56 | 0.13507 | 1077.36 |
| En 13 A | 33766 F | 3445 BL ID | Fémur | 0.704897 | 38 | 10 | 58 | 0.12028 | 633.59 |
| En 15 | 35658 Di | 3440 BL ID | Lixiviado 1 | 0.705222 | 33 | 9 | 56 | 0.00487 | 182.49 |
| En 15 | 35658 Di | 3440 BL ID | Lixiviado 2 | 0.705201 | 41 | 11 | 54 | 0.00662 | 213.44 |
| En 15 | 35658 Di | 3440 BL ID | Diente | 0.705189 | 40 | 11 | 53 | 0.00191 | 663.47 |
| En 15 | 35658 C | 3444 BL ID | Cráneo | 0.704714 | 37 | 10 | 55 | 0.19165 | 678.46 |
| En 15 | 35658 V | 3443 BL ID | Vértebra | 0.704692 | 35 | 9 | 56 | 0.18513 | 786.93 |
| En 15 | 35658 F | 3442 BL ID | Fémur | 0.704785 | 39 | 10 | 56 | 0.04660 | 490.51 |
| En 78 | 70081 Di | 3441 BL ID | Lixiviado 1 | 0.704659 | 31 | 8 | 54 | 0.00250 | 230.93 |
| En 78 | 70081 Di | 3441 BL ID | Lixiviado 2 | 0.704679 | 31 | 8 | 56 | 0.00534 | 294.95 |
| En 78 | 70081 Di | 3441 BL ID | Diente | 0.704665 | 27 | 7 | 56 | 0.00081 | 469.34 |
| En 78 | 70081 C | 3450 BL ID | Cráneo | 0.704624 | 38 | 10 | 57 | 0.13338 | 428.56 |
| En 78 | 70081 V | 3449 BL ID | Vértebra | 0.704605 | 34 | 9 | 55 | 0.01541 | 969.73 |
| En 78 | 70081 F | 3448 BL ID | Fémur | 0.704610 | 32 | 9 | 52 | 0.16336 | 354.21 |
| En 102 | 72442 Di | 3438 BL ID | Lixiviado 1 | 0.705122 | 33 | 9 | 55 | 0.00395 | 194.18 |
| En 102 | 72442 Di | 3438 BL ID | Lixiviado 2 | 0.705362 | 34 | 9 | 54 | 0.00566 | 144.12 |
| En 102 | 72442 Di | 3438 BL ID | Diente | 0.705385 | 42 | 12 | 47 | 0.00050 | 464.50 |
| En 102 | 72442 C | 3453 BL ID | Cráneo | 0.704830 | 39 | 10 | 55 | 0.03148 | 565.89 |
| En 102 | 72442 V | 3452 BL ID | Vértebra | 0.704775 | 35 | 10 | 54 | 0.00370 | 949.52 |
| En 102 | 72442 F | 3451 BL ID | Fémur | 0.704783 | 39 | 11 | 50 | 0.07199 | 605.77 |

| | | | | | | | | | |
|-------|----------|------------|-------------|----------|----|----|----|---------|---------|
| En 98 | 72494 Di | 3437 BL ID | Lixiviado 1 | 0.705294 | 37 | 10 | 52 | 0.00659 | 226.29 |
| En 98 | 72494 Di | 3437 BL ID | Lixiviado 2 | 0.705308 | 39 | 11 | 55 | 0.00764 | 258.68 |
| En 98 | 72494 Di | 3437 BL ID | Diente | 0.705379 | 35 | 9 | 56 | 0.02766 | 277.98 |
| En 98 | 72494 C | 3456 BL ID | Cráneo | 0.704800 | 34 | 9 | 55 | 0.12818 | 564.11 |
| En 98 | 72494 V | 3455 BL ID | Vértebra | 0.704688 | 40 | 11 | 55 | 0.10872 | 1696.74 |
| En 98 | 72494 F | 3454 BL ID | Fémur | 0.704776 | 39 | 10 | 56 | 0.13279 | 622.52 |
| | | | | | | | | | |

Tabla 1. Resultados de las muestras de dientes y huesos analizadas en el espectrómetro de masas.

Entierro 13A Teopancazco

Los resultados de las firmas isotópicas del entierro 13A indicaron que este individuo masculino de aproximadamente 30 a 35 años de edad, posiblemente migró durante o después de su adolescencia a la ciudad de Teotihuacan dentro de la fase Metepec que corresponde al periodo Clásico (figura 29).

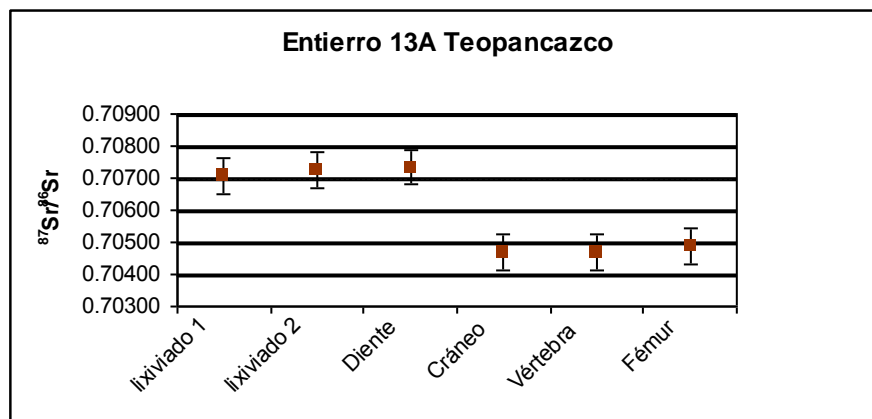


Figura 29. Gráfica que muestra las relaciones isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en dientes y huesos del entierro 13A del barrio de Teopancazco, Teotihuacan.

Entierro 15 Teopancazco

Las firmas isotópicas del entierro 15 de Teopancazco muestran que este individuo masculino de 36 a 55 años de edad también migró a Teotihuacan, probablemente durante la fase Xolalpan Temprano (figura 30).

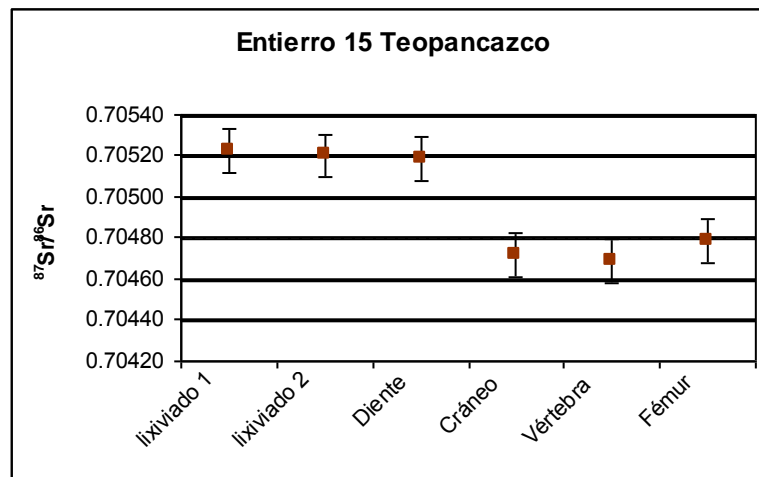


Figura 30. Gráfica que muestra las relaciones isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en dientes y huesos del entierro 15 del barrio de Teopancazco, Teotihuacan.

Entierro 78 Teopancazco

Con respecto al entierro 78 que corresponde a un individuo mayor de 50 años, temporalmente asignado a la fase Tlamimilolpa Tardío, los resultados de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ muestran claramente, que a diferencia de los demás entierros, se trata de un personaje local, el cual desarrollo su vida en Teotihuacan o posiblemente migró cuando era un infante (figura 31).

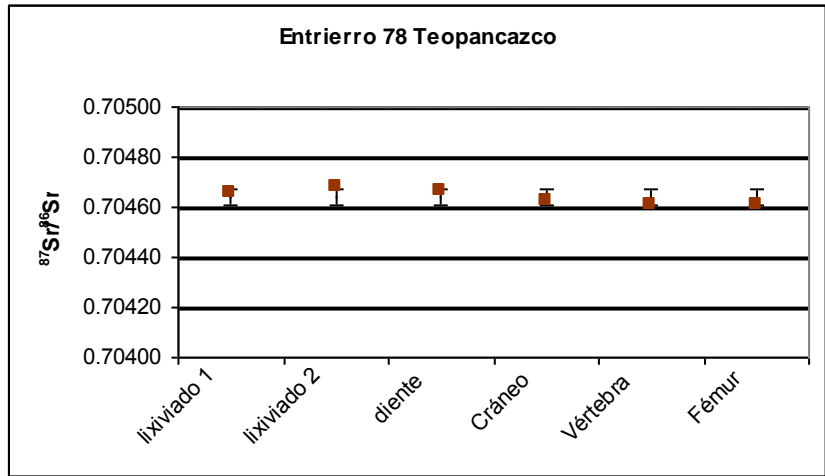


Figura 31. Gráfica que muestra las relaciones isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en dientes y huesos del entierro 78 del barrio de Teopancazco, Teotihuacan.

Entierro 98 y 102 Teopancazco

Finalmente los resultados de las firmas isotópica de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ tanto del entierro 98 (masculino con una edad de 35 a 40 años) como del entierro 102 (femenino de 35 a 40 años de edad) nuevamente indicaron que se trata de individuos que migraron a la ciudad de Teotihuacan (figuras 32-33).

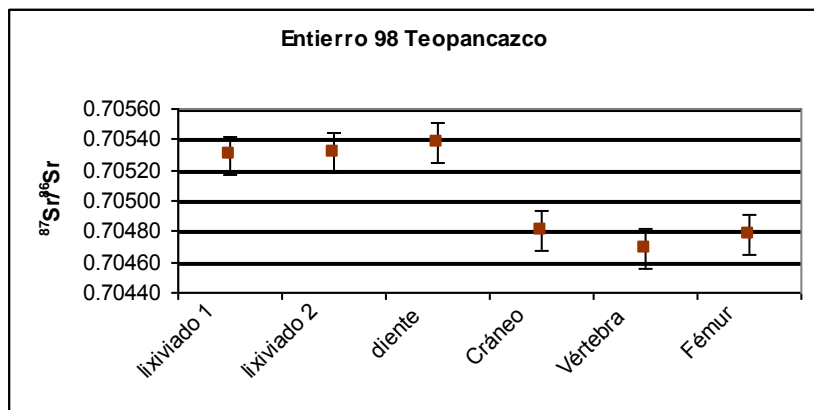


Figura 32. Gráfica que muestra las relaciones isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en dientes y huesos del entierro 98 del barrio de Teopancazco, Teotihuacan.

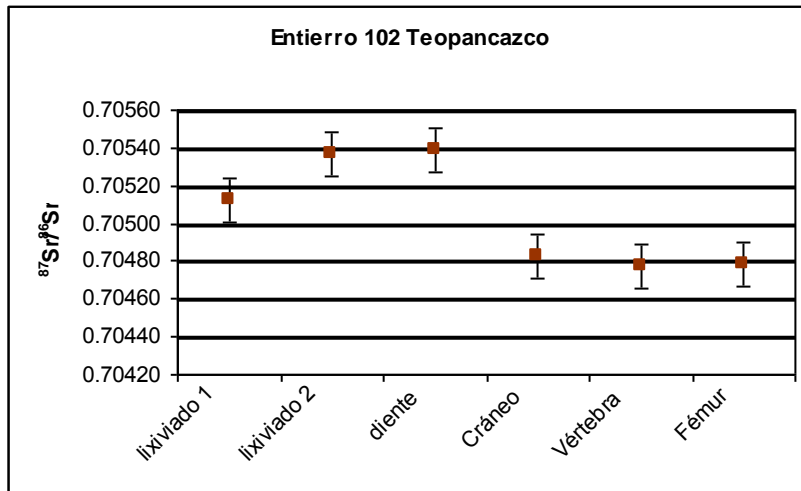


Figura 33. Gráfica que muestra las relaciones isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en dientes y huesos del entierro 102 del barrio de Teopancazco, Teotihuacan.

Resultados de las muestras de suelos

Los resultados del análisis de las muestras de suelos, obtenidos de algunos sitios arqueológicos considerados enclaves teotihuacanos dentro de los estados de Veracruz, Puebla, Tlaxcala y Morelos (tabla 2), son un importante aporte a la base de datos de isotopía de suelos en México, así mismo con el fin de comparar de las firmas isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de estos suelos con las de huesos y dientes, expuestos anteriormente. De esta forma podemos tener un acercamiento tentativo para conocer algunas regiones de donde posiblemente gente estaba migrando hacia Teotihuacan, durante el periodo Clásico.

| UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO | | | | | | | | | |
|---|---------|------------|--------------|-----------|-------|--------|----|-------------------|------------------|
| Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica | | | | | | | | | |
| (LUGIS) | | | | | | | | | |
| Localidad | Muestra | Código | | 87Sr/86Sr | 1 sd* | 2SE(M) | n | gramos muestra | Concentr. ppm |
| Morgadal Gde. | S1 s | 3475 BL ID | suelo lixiv. | 0.708395 | 39 | 10 | 59 | 0.10646 | 205.91 |
| Veracruz | S2 s | 3476 BL ID | suelo lixiv. | 0.708286 | 36 | 10 | 55 | 0.11288 | 228.08 |
| El Pital, Ver. | S3 s | 3477 BL ID | suelo lixiv. | 0.706688 | 45 | 13 | 48 | 0.10866 | 234.51 |
| Cuajilote, Ver. | S4 s | 3478 BL ID | suelo lixiv. | 0.706323 | 41 | 13 | 43 | 0.09870 | 73.81 |
| | S5 s | 3479 BL ID | suelo lixiv. | 0.706614 | 37 | 11 | 40 | 0.10143 | 64.66 |
| | S6 s | 3480 BL ID | suelo lixiv. | 0.705860 | 37 | 11 | 46 | 0.08612 | 229.86 |
| Matacapán | S7 s | 3481 BL ID | suelo lixiv. | 0.703492 | 37 | 10 | 51 | 0.10021 | 450.97 |
| Veracruz | S8 s | 3482 BL ID | suelo lixiv. | 0.703424 | 36 | 10 | 54 | 0.10189 | 586.17 |
| | S9 s | 3483 BL ID | suelo lixiv. | 0.703451 | 40 | 11 | 54 | 0.10943 | 490.31 |
| Maltrata | S10 s | 3484 BL ID | suelo lixiv. | 0.704463 | 41 | 11 | 52 | 0.10238 | 357.38 |
| Puebla-Ver | S11 s | 3485 BL ID | suelo lixiv. | 0.704536 | 38 | 10 | 55 | 0.10116 | 350.09 |
| | S12 s | 3486 BL ID | suelo lixiv. | 0.704532 | 36 | 10 | 56 | 0.10534 | 342.53 |
| La Herradura | S13 s | 3487 BL ID | suelo lixiv. | 0.704444 | 38 | 10 | 56 | 0.09982 | 690.31 |
| Tlaxcala | S14 s | 3488 BL ID | suelo lixiv. | 0.704447 | 39 | 11 | 53 | 0.09251 | 233.70 |
| Tepexi Puebla* | S15 s | 3535 BL ID | suelo lixiv. | 0.714567 | 42 | 12 | 47 | 0.10497 | 118.00 |
| Tepexi Caliza | S16 s | 3536 BL ID | suelo lixiv. | 0.706026 | 36 | 9 | 60 | 0.11584 | 82.76 |
| Atlixco, Pue. | S17 s | 3537 BL ID | suelo lixiv. | 0.704363 | 35 | 10 | 52 | 0.09834 | 423.91 |
| Chalcatz., Mor. | S18 s | 3538 BL ID | suelo lixiv. | 0.704151 | 39 | 10 | 59 | 0.10018 | 255.95 |
| Las Pilas, Mor. | S19 s | 3539 BL ID | suelo lixiv. | 0.704374 | 38 | 10 | 57 | 0.10817 | 404.79 |
| Chalcatz., Mor. | G1 WR | 3540 PS ID | granito | 0.703396 | 35 | 9 | 56 | 0.10303 | 466.67 |

Tabla 2. Resultados de las muestras de suelos analizadas en el espectrómetro de masas.

Enclaves Teotihuacanos en Veracruz

Existe una diferencia muy marcada entre la firmas isotópica de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de la región norte de Veracruz (0.708395-0.708286), los suelos en los sitios cercanos a la costa en el centro del estado (0.70688-0.706614) y por ejemplo de los resultados del sitio de Matacapan que se localiza al sur (0.703492-0.703451). Posiblemente esta diferencia se debe al aporte de estroncio de los diversos reservorios geológicos, atmosféricos, oceánicos, etcétera, ente una y otra región (figura 34).

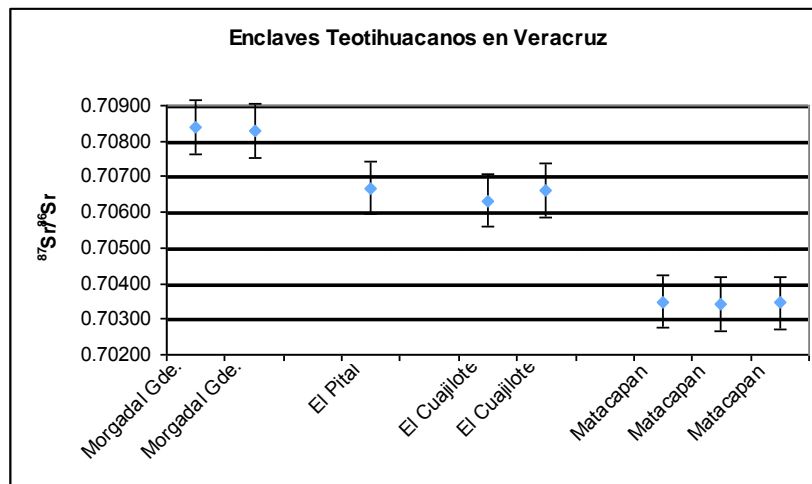


Figura 34. Gráfica que muestra la isotopía de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de enclaves teotihuacanos en Veracruz.

Enclaves Teotihuacanos en Tlaxcala, Morelos y Puebla

Con respecto a los enclaves en Tlaxcala, Morelos y Puebla, los resultados proporcionaron firmas isotópicas que van entre 0.704100 y 0.704600 (características del Faja Volcánica Mexicana) (figura 35-36) con excepción del sitio de Tepexi el Viejo

en la región sureste del estado de Puebla, donde la diferencia con los otros sitios es clara, así como una diversidad local tanto de los suelos desarrollados sobre esquistos (0.714567) como de los desarrollados sobre calizas (0.706026) (figura 36).

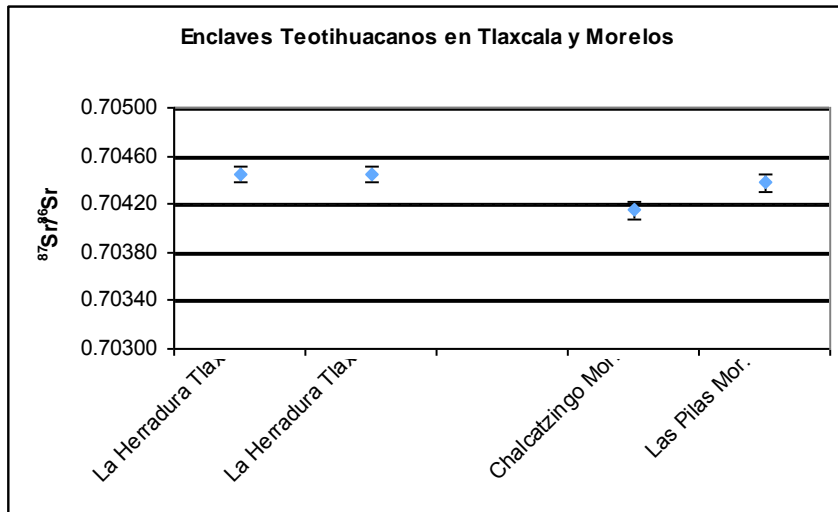


Figura 35. Gráfica que muestra la isotopía de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de enclaves teotihuacanos en Tlaxcala y Morelos.

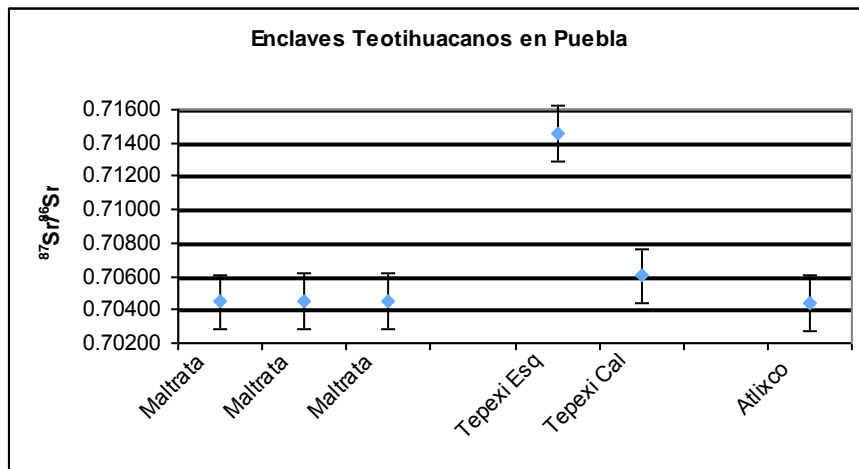


Figura 36. Gráfica que muestra la isotopía de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de enclaves teotihuacanos en Puebla. Nótese la diferencia de los resultados de suelos desarrollados sobre esquistos (0.714567) con los desarrollados sobre calizas (0.706026).

Capítulo VI

Discusión

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente trabajo, se podría mencionar de forma general que cuatro de los entierros estudiados se trataban de migrantes y sólo uno de ellos el Entierro 78 que presentó relaciones isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en diente (0.704665) cráneo (0.704624), vértebra (0.704605) y fémur (0.704610) claramente muestra que desarrolló su vida, al menos desde su infancia, en la ciudad de Teotihuacan. De los otros cuatro entierros el En-13-A, a diferencia de los otros tres, resultó con una amplia discrepancia en su relación isotópica de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ del diente con respecto a la de los huesos (diente: 0.707336; cráneo: 0.704686; vértebra: 0.704675; fémur: 0.704897); sin duda alguna se trata de un migrante (figura 37). Por otro lado los tres entierros restantes En-15, En- 98 y En-102 mostraron una diferencia menos marcada; sin embargo sus relaciones isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de sus esmaltes: 0.705189, 0.705379 y 0.705385, respectivamente, son diferentes de las firmas que comúnmente se obtienen de muestras de suelos de la Faja Volcánica Mexicana, por lo que podemos proponer que se tratan también de migrantes.



Figura 37. Gráfica que muestra las relaciones isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de las muestras de dientes y huesos. Cada barra vertical representa una muestra. Se presentan agrupadas por entierro. Nótese en el primero de ellos (entierro 13-A) la clara diferencia entre la relación isotópica de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de el diente con respecto a los huesos.

Regresando con el caso del entierro 13-A, al confrontar el resultado de la relación isotópica de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en su esmalte (0.707336) con los resultados de las muestras de suelos de los enclaves teotihuacanos analizados, se observa que existe una tenue diferencia con los sitios de Morgadal Grande (0.708286), El Cuajilote (0.706323) y El Pital (0.706688) siendo este último el más cercano con sólo una diferencia de ± 0.00064 , por lo que podemos proponer que este individuo podría haber desarrollado, al menos sus primeros años de edad, en el área noreste del estado de Veracruz cerca de la Costa del Golfo de México y probablemente emigró durante o después de su adolescencia a la ciudad de Teotihuacan (figura 38). Con respecto a los entierros En-15, En- 98 y En- 102 sus firmas isotópicas se pueden correlacionar con algunos enclaves. En el caso del En-15 su firma de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en esmalte (0.705189) presenta una ligera discrepancia con relación al enclave teotihuacano de Maltrata (0.704536) con una diferencia de ± 0.00065 . Por otro lado las firmas de los entierros En-98

(0.705379) y En-102 (0.705385) se acercan a las de los enclaves de Tepexi El Viejo (0.706026): de los suelos desarrollados sobre calizas donde la diferencia es de ± 0.00064 y una de las tres muestras de suelo analizadas para El Cuajilote (0.705860) que muestra la diferencia más cercana siendo de ± 0.00047 . Sin embargo, esta última muestra de El Cuajilote se tiene que considerar con precaución debido a que fue distinta con respecto a las otras dos analizadas de este sitio (figura 39).

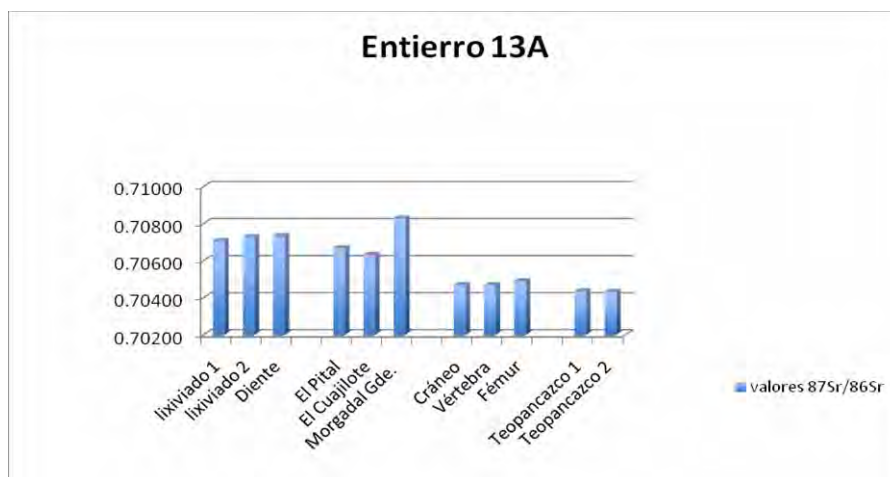


Figura 38. Gráfica que muestra las relaciones isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de las muestras de dientes y huesos del entierro 13-A, así como las de los suelos en los enclaves de Morgadal Grande, El Pital y El Cuajilote, las cuales son muy similares. Cada barra vertical representa una muestra.

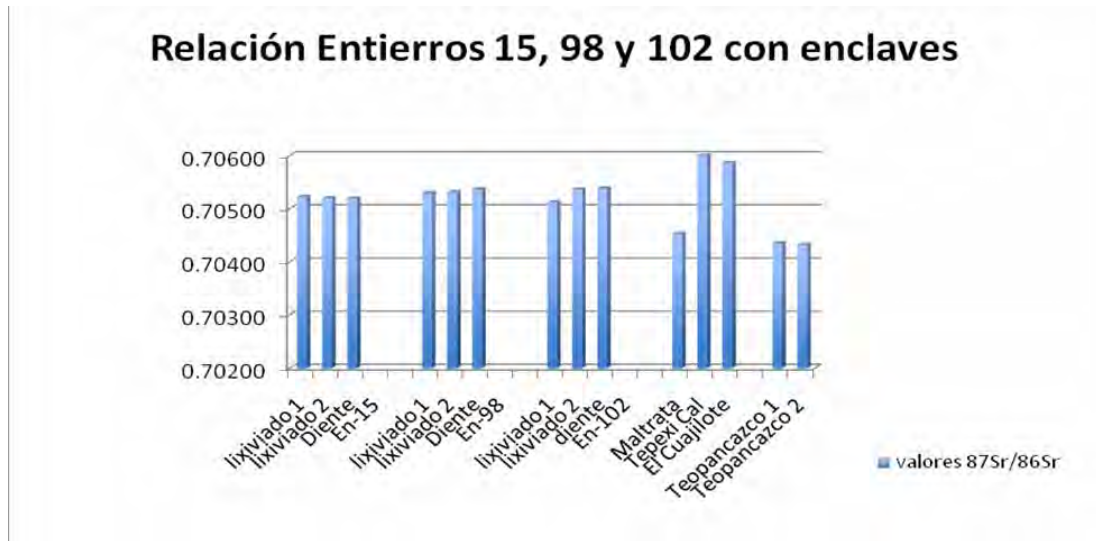


Figura 39. Gráfica que muestra las relaciones isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de las muestras de dientes y huesos de los entierros En-15, En-98 y En-102, así como su relación con las firmas de los suelos en los enclaves de Maltrata, Tepexi El Viejo y El Cuajilote. Cada barra vertical representa una muestra.

Al estudiar las muestras de huesos se encontraba dentro de los objetivos el experimentar realizando análisis en fragmentos de cráneo, vértebra y huesos del mismo individuo, ya que se quería conocer qué diferencias se podrían presentar entre estos distintos huesos, para así poder saber si en futuros análisis se podría también estudiar los individuos decapitados. Los resultados fueron al parecer favorables en el sentido que las firmas isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ entre estos huesos en su mayoría resultaron similares (figura 40). Sin embargo, se tendrían que realizar más análisis de este tipo para incrementar el rango de datos y la información; de esta manera tendríamos más elementos para resolver problemas como éste dentro de la investigación arqueológica.

Finalmente queremos enfatizar la importancia de los lixiviados durante el proceso del análisis de los esmaltes; debemos recordar que los esmaltes de los individuos teotihuacanos sufrieron diversos tipos de alteraciones naturales y culturales como caries, fisuras, despostillados, mutilaciones dentarias, entre otras cosas, esto desde que se encontraban en vida y al momento de morir y ser enterrados, diversos agentes externos orgánicos e inorgánicos combinado con factores fisicoquímicos contaminan estos esmaltes. Por lo tanto, el procesar los dientes por medio de tres lixiviados con ácido acético a diferentes porcentajes nos permite eliminar este tipo de impurezas o contaminantes que pueden alterar el resultado de los análisis. Esta una técnica metodológica la recomendamos ampliamente para futuros análisis isotópicos de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ aplicados a entierros arqueológicos.

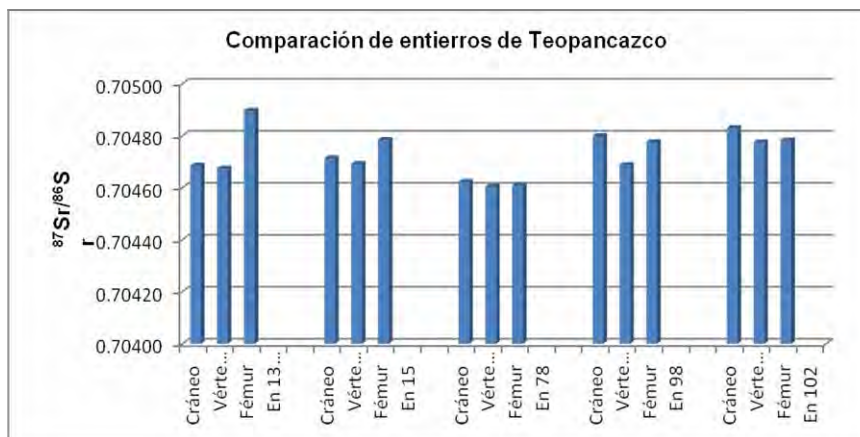


Figura 40. Gráfica que muestra las relaciones isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de las muestras de hueso (cráneo, vértebra y fémur) de los entierros En-13A, En-15, En-78, En-98 y En-102 del Barrio teotihuacano de Teopancazco.

Conclusiones

La información que se logra obtener por medio de análisis de isótopos de estroncio (Sr) es un importante aporte a los estudios arqueológicos de procedencia y de migración humana. Por medio de esta técnica isotópica se puede determinar con buena precisión, si algún individuo permaneció toda su vida en un sitio determinado o si éste emigró de alguna otra región; al mismo tiempo, comparando las relaciones isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en el esmalte de los individuos en estudio con la de los suelos, fauna o flora local, podemos indagar la región o las regiones donde ellos desarrollaron su infancia. Los datos, experimentos y resultados presentados en este trabajo de tesis nos llevan a concluir que la aplicación de la isotopía de estroncio en la arqueología es una herramienta con importante potencial en los estudios de migración humana prehistórica. Más análisis de huesos como los que se realizaron en muestras de cráneo, vértebra y fémur son necesarios para incrementar el rango de análisis y resolver otros problemas arqueológicos. Por otro lado los análisis de isotopía de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de suelos amplían la base de datos en México, la cual debe afinarse y completarse en futuros trabajos. Por último el proceso de lixiviado para las muestras de dientes se puede considerar dentro de futuros trabajos como un proceso reproducible y obligado para el análisis de isótopos de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en materiales óseos.

Además de las investigaciones de movilidad humana, también esta técnica es útil como trazador de procedencias de materiales arqueológicos, como en el ejemplo expuesto en este trabajo sobre las áreas agrícolas en el área del Cañón del Chaco (Benson *et al.* 2003). Una meta del presente trabajo es mostrar a la comunidad de investigación arqueológica esta técnica alternativa que puede resolver y enriquecer substancialmente los proyectos relacionados con el tema. Esperamos que los investigadores sean animados a colaborar con una perspectiva interdisciplinaria y aplicar las técnicas de Ciencias de la Tierra a problemas arqueológicos.

Bibliografía

- Åberg, G. (1995). The use of natural strontium isotopes as tracers in environmental studies. *Water, Air, and Soil Pollution* 79: 309–322.
- Adams, W. Y., Dennis P. Van G. y Richard S. L. (1978) The Retreat from Migrationism. *Annual Review of Anthropology* 7:483-532.
- Aguilar, B. S. (1990). Dimensiones Ecológicas del Estado de Morelos. UNAM. Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias Cuernavaca, Morelos: 222.
- Álvarez, E., Dueñas, J. C. y Rodríguez, E. (1990). Informe de la visita de reconocimiento al lote “Tizar” en San Marcos Guaquilpan, Municipio de Calpulalpan, Estado de Tlaxcala. Substancia: Sílice. En Archivo Técnico, SGM. Consejo de Recursos Minerales, SRC: 1-11.
- Anthony, D. W. (1997) Prehistoric Migration as Social Process. In *Migrations and Invasions in Archaeological Explanation*. Editado por J. Chapman and H. Hamerow: 21-32. BAR International Series, Oxford.
- Baez P. M. (2005) Comercio y política exterior teotihuacana: el caso de la interacción con el sur de Puebla durante el Clásico. Tesis de maestría, ENAH.
- Barrull, E. (1994). Apuntes de Termodinámica elemental. Biopsychology.
- Benson, L., Cordell, L., Vincent, K., Taylor, H., Stein, J., Farmer, G. L. y Futa, K. (2003). Ancient maize from Chacoan great houses: Where was it grown? *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 100: 13111–13115.
- Bentley, R. A. (2001) *Human Migration in Early Neolithic Europe: A Study by Strontium and Lead Isotope Analysis of Archaeological Skeletons*. Tesis doctoral, Universidad de Wisconsin, Madison.
- Bentley R. A. (2006). Strontium isotopes from the Earth to the archaeological skeleton: A Review. *Journal of Archaeological Method and Theory*, Vol. 13, No. 3: 135-185.
- Bryant, J. D. y Froelich P. N. (1996) Oxygen Isotope Composition of Human Tooth Enamel from Medieval Greenland: Linking Climate and Society: Comment and Reply. *Geology* : 477-478.
- Cabrera, R. (1995). 16. Teopancazco. Casa Barrios o del Alfarero. En La pintura Mural prehipánica en México. I. Teotihuacan, tomo I. B. de la Fuente (coord.). IIE, UNAM, México: 157-161.

Campa, M. F. y Coney, P. J. (1983). Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distribution in Mexico. *Canadian Journal of Earth Sciences*, vol. 20: 1040-1051.

Carlson, A. K. (1996). Lead isotope analysis of human bone for addressing cultural affinity: a case study from Rocky Mountain House, Alberta. *Journal of Archaeological Science* 23: 557–568.

Carta Geológica Minera: *Ciudad de México E14-2*. Servicio Geológico Mexicano.

Carta Geológica Minera: *Coatzacoalcos E15-1-4*. Servicio Geológico Mexicano.

Carta Geológica Minera: *Cuernavaca E14-5*. Servicio Geológico Mexicano.

Carta Geológica Minera: *Orizaba E14-6*. Servicio Geológico Mexicano.

Carta Geológica Minera: *Poza Rica F14-12*. Servicio Geológico Mexicano.

Carta Geológica Minera: *Veracruz F14-3*. Servicio Geológico Mexicano.

Cerling, T. E y Sharp Z. D. (1996) Stable Carbon and Oxygen Isotope Analysis of Fossil Tooth Enamel using Laser Ablation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 126:173-186.

Cervantes-Rosado, J., Molatore, S. D., Allende, C. A y Rivera G. I. (2005). La Tumba 1 de San Juan Ixcaquixtla, Puebla. *Arqueología Mexicana*, vol. XIII 75: 64-69.

CONAGUA, (2002a). Determinación de la disponibilidad del agua en el acuífero Martínez de la Torre – Nautla, Estado de Veracruz. SGT, Gerencia de Aguas Subterráneas, SEMH: 1-18.

CONAGUA, (2002b). Determinación de la disponibilidad del agua en el acuífero Atlizco – Izúcar de Matamoros , Estado de Puebla. SGT, Gerencia de Aguas Subterráneas, SEMH: 1-23.

Cordero, E. A. y Viveros, M. (1982). Reconocimiento geológico minero del Sierra de Chiconquiaco, área Altotonga, municipios: Atzalan, Altotonga y Las Minas, Ver. En Archivo Técnico, SGM. Consejo de Recursos Minerales, GEG, zona sur, Veracruz: 1-60.

(1983). Informe geológico minero por Au y Ag en el área Apaxteno y Toxtepec, municipios Altotonga y Atzalan, Ver. En Archivo Técnico, SGM. Consejo de Recursos Minerales, GEG, zona sur, Veracruz: 1-19.

Cornelius, S. H. y Cornelis, K. (1991). Manual de Mineralogía de Dana. Traducción de José Aguilar. Barcelona.

Cowgill, G. L. (1996). Discussion. *Ancient Mesoamerica* 7: 325–331.

Cox, G., y Sealy, J. (1997). Investigating identity and life histories: Isotopic analysis and historical documentation of slave skeletons found on the Cape Town foreshore, South Africa. *International Journal of Historical Archaeology* 1: 207–224.

Díaz-Andreu, M., Sam L., Stasa B., y David N. E. (2005). The Archaeology of Identity: Approaches to gender, age, status, ethnicity and religion. *Routledge, New York*: 171 p.

Emberling, G. (1997) Ethnicity in Complex Societies: Archaeological Perspectives. *Journal of Archaeological Research* 5: 295-344.

Ericson, J. E. (1985). Strontium isotope characterization in the study of prehistoric human ecology. *Journal of Human Evolution* 14: 503–514.

Ezzo, J. A., Johnson, C. M., y Price, T. D. (1997). Analytical perspective on prehistoric migration: A case study from east-central Arizona. *Journal of Archaeological Science* 24: 447–466.

Faure, G.(1986). Principles of isotope geology. *John Wiley & Sons, Inc.,USA*: 589 p.

Faure, G., y Powell, J. L. (1972). Strontium isotope geology. *Springer-Verlag, New York*: 188 p.

Flores-Delgadillo, L., Sommer-Cervantes, I., Alcalá-Martínez, J y Álvarez-Sánchez, J. (1999). Estudio Morfogenético de algunos suelos de la región de Los Tuxtlas, Veracruz, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol. 16 N 1: 81-88.

Fricke, H. C., O'Neil J. R. y Lynnerup N. (1995) Oxygen Isotope Composition of Human Tooth Enamel from Medieval Greenland: Linking Climate and Society. *Geology* 23:869-872.

Gale, N.H. (1989) Lead Isotope Analysis Applied to Provenance Studies--A Brief Review. In *Archaeometry*. Editado por Y. Maniatis, Elsevier, New York: 469-502.

Gamio, M. (1922). La población del Valle de Teotihuacan. Secretaría de Agricultura y Fomento, México.

García-Cook, A. (1981). The Historical Importance of Tlaxcala in the Cultural Development of the Central Highlands. *Archaeology*, Jeremy, S. (edit.). Supplement to the Handbook of Middle American Indians, University of Texas Press, Austin. vol. 1: 244-276.

Gómez-Tuena, A., Mori, L., Rincón-Herrera, N., Ortega-Gutiérrez, F., Solé, J. e Iriondo, A. (2008). The Origin of a primitive trondhjemite from the Trans-

Mexican Volcanic Belt and its implications for the construction of a modern continental arc. *GSA*. Vol 36 N6: 471-474.

González de la Vara (1999). *El valle de Toluca hasta la caída de Teotihuacan*, México. Colección Científica, INAH N 389.

Grove, M.J., Baker, P.A., Cross, S.L., Rigsby, C.A. y Seltzer, G.O. (2003). Application of strontium isotopes to understanding the hydrology and paleohydrology of the Altiplano, Bolivia-Peru, *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*. 194: 281-297.

Grupe, G., Price, T. D., Schröter, P., Söllner, F., Johnson, C. M., y Beard, B. L. (1997). Mobility of Bell Beaker people revealed by strontium isotope ratios of tooth and bone: A study of southern Bavarian skeletal remains. *Applied Geochemistry* 12: 517–525.

Gulson, B. L., C. W. Jameson y B. R. Gillings (1997) Stable Lead Isotopes in Teeth as Indicators of Past Domicile--A Potential New Tool in Forensic Science?. *Journal of Forensic Science* 42:787-791.

Gúzman, E. y Aguilera, G. (1997). Informe de la visita de reconocimiento al predio rustico congregación de Chicola, Mpio. de Mariano Escobedo, Estado de Veracruz. En *Archivo Técnico, SGM. Consejo de Recursos Minerales, SPS, zona sur, Veracruz*: 1-14.

Hernández, E. y Baca, J. C. (1991). Informe de la visita de reconocimiento al municipio de Catemaco, Veracruz. En *Archivo Técnico, SGM. Consejo de Recursos Minerales, SRS*: 1-12.

Hirth, K. (1978). Teotihuacan Regional Population Administration in Eastern Morelos. *World Archaeology* 9: 320-333.

(1980). Eastern Morelos and Teotihuacan: A Settlement Survey. Vanderbilt University Publications in Anthropology N 25. Nashville.

Hirth, K y Angulo, J. (1981). Early State Expansion in Central Mexico: Teotihuacan in Morelos. *Journal of Field Archaeology* 8(2): 135-150.

Hodell, D. A., Quinn, R. L., Brenner, M., y Kamenov, G. (2004). Spatial variation of strontium isotopes ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) in the Maya region: A tool for tracking ancient human migration. *Journal of Archaeological Science* 31: 585–601.

Hoogewerff, J., Papesch W., Kralik, M., Berner, M., Vroon, P., Miesbauer, H., Gaber, O., Kunzel, K. y Kleinjans, J. (2001) The Last Domicile of the Iceman from Hauslabjoch: A Geochemical Approach Using Sr, Cand O Isotopes and Trace Element Signatures. *Journal of Archaeological Science* 28:983-989.

- Hougen, A. O., Watson, M. K. y Ragatz, A. R. (1982). Principios de los procesos Químicos. *Termodinámica II*: 575.
- INEGI (1987). Síntesis Geográfica, Nomenclator y Anexo Cartográfico del Estado de Puebla.
- Jasso, C. (2000). Genesis, clasificación interpretativa y aptitud natural de los suelos calcimagnésicos del municipio Ayala, Morelos. Tesis de maestría, Facultad de Ciencias, UNAM: 185.
- Katzenberg, M. A. and R. H. Krouse (1987) Forensic Applications of Stable Isotope Analysis. *Canadian Society of Forensic Science Journal* 20:156-157.
- Knudson, Kelly J., T., Price, D., Buikstra J. E, y Blom D. E. (2001) *Tiwanaku Residential Mobility as Determined by Strontium and Lead Isotope Analysis*. En 66th Annual Meeting of the Society for American Archaeology: 18-22.
- Knudson, K. J., Price, T. D., Buikstra, J. E., y Blom, D. E. (2004). The use of strontium isotope analysis to investigate Tiwanaku migration and mortuary ritual in Bolivia and Peru. *Archaeometry* 46: 5–18.
- Krotser, P. y Rattray E. (1980). Manufactura y distribución de tres grupos cerámicos de Teotihuacan. En *Anales de Antropología*. Vol. XVII, tomo I: 91-104.
- Latkoczy, C., Prohaska, T., Stinger, G. y Teschler-Nicola, M. (1998). Strontium isotope ratio measurements in prehistoric human bone samples by means of high-resolution inductively coupled plasma mass spectrometry (HR-ICP-MS). *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 13: 561–566.
- Lira-López, Y. (2000). Presencia teotihuacana en el valle de Maltrata, Veracruz. En *La costa del Golfo en tiempos teotihuacanos: propuestas y perspectivas*. Ruiz G y Pascual Soto, A. (edits). INAH. 569.
- Manzanilla, L. (1993a). Anatomía de un conjunto residencial teotihuacano en Oztoyahualco. Mexico, DF: IIA. UNAM, México: 75-97.
- (1993b) Los Conjuntos Residenciales Teotihuacanos. En *Anatomía de un Conjunto Residencial Teotihuacano en Oztoyahualco*. L. Manzanilla (ed.). IIA, UNAM: 548-566.
- (1995) La zona del Altiplano Central en el Clásico. *Historia Antigua de México*. L. Manzanilla y A. López Luján (coords.). CONACULTA - IIA, UNAM. Porrúa, México: 139-173.
- (2000). The emergence of complex urban societies in Central Mexico. The case of Teotihuacan. En *Archaeology in Latin America*, Politis y Alberti. Routledge, Londres: 93-129.

(2006a). La Producción Artesanal en Mesoamérica. *Arqueología Mexicana*, vol 14, N80: 28-35

(2006b). Estados corporativos arcaicos. Organizaciones de excepción en escenarios excluyentes. *Cuiculco* vol. 13 N36: 1405-7778.

(2007). Las "Casas" nobles de los barrios de Teotihuacan; Estructuras exclusionistas en un entorno corporativo. *Memorias 2007 del Colegio Nacional*: 485-502.

(2008). Informe global de análisis de Teopancazco.

Martínez-DonJuan (1979). Las Pilas Morelos. *Colección Científica INAH N 75*: 7-85.

Martínez, V. E y Jarquín, P. A. (1998). Materiales Arqueológicos del Noroeste de Tlaxcala. *INAH*: 15-33.

Millon, R. (1973). Urbanization at Teotihuacan, Mexico I. 1. The Teotihuacan Map. University of Texas Press, Austin.

Nelson, S., y González-Caver, E. (1992). Geology and K-Ar dating of the Tuxtla volcanic field, Veracruz, Mexico. *Bulletin of Volcanology*, v. 55: 85-96.

Ortiz, A. (1990). Oztoyahualco: Estudio químico de los pisos estucados de un conjunto residencial Teotihuacano para determinar áreas de actividad. Tesis de Licenciatura en Arqueología, ENAH, México.

Ortiz, P., Santley R y Pool C. (1988). Resumen de las investigaciones arqueológicas en Matacapán, San Andrés Tuxtla (Temporadas 1982-1986). *Revista Mexicana de Estudios Antropológicos, SMA XXXIV-2*: 325-342.

Ortiz, P y Santley R.(1996). Matacapán: un ejemplo de enclave teotihuacano en la costa del Golfo. En Brambila, R. y R. Cabrera (coords.), *Los ritmos del cambio en Teotihuacan: reflexiones y discusiones de su cronología*, México, Colección Científica INAH, N 366: 377-460.

Peñafiel, A. (1900) Teotihuacan. Historical and Archaeological Study, The Typographic Office of Secretary of Fomento, Mexico.

Poszwa, A., Dambrine, E., Ferry, B., Pollier, B., y Loubet, M. (2002). Do deep tree roots provide nutrients to the tropical rainforest? *Biogeochemistry* 60: 97–118.

Price, T. D., Johnson, C. M., Ezzo, J. A., Burton, J. H., y Ericson, J. A. (1994). Residential mobility in the prehistoric Southwest United States. A preliminary study using strontium isotope analysis. *Journal of Archaeological Science* 24: 315–330.

Price, T. D., Manzanilla, L., y Middleton, W. H. (2000). Immigration and the Ancient City of Teotihuacan in Mexico: a Study Using Strontium Isotope Ratio in Human Bone and Teeth. *Journal of Archaeological Science* 27: 903–913.

Probst, A., El Gh'mari, A., Aubert, D., Fritz, B., y McNutt, R. (2000). Strontium as a tracer of weathering processes in a silicate catchment polluted by acid atmospheric inputs, (Strengbach, France). *Chemical Geology* 170: 203–219.

Plunket, P. y Mónica B. (1989). Teotihuacan y el Valle de Atlixco. *Notas Mesoamericanas* 1:120-132. México.

Plunket, P y Uruñuela, G. (1998). Cholula y Teotihuacan: una consideración del occidente de Puebla durante el Clásico. En Childs Rattray, E. (ed.), *Rutas de intercambio en Mesoamérica, III Coloquio Pedro Bosch Gimpera*, México, IIA-UNAM: 101-114.

Raisz, J. E. (1964). Landforms of Mexico. Mapa, Cambridge Mass.

Rattray, E.(1987). Los Barrios Foráneos de Teotihuacan. *En Teotihuacan: nuevos datos, nuevas síntesis, nuevos problemas*. México, UNAM: 243-273.

(1993). The Oaxaca Barrio at Teotihuacan. *Monografías Mesoamericanas*, México, UDLA N1.

(1997). Entierros y ofrendas en Teotihuacan: excavaciones, inventario, patrones mortuorios, México, UNAM.

(1998). Rutas de intercambio en el periodo Clásico en Mesoamérica. *En Rutas de intercambio en Mesoamérica III Coloquio Pedro Bosch Gimpera*, México, IIA-UNAM: 77-100.

Rodríguez, L. (2002). Evaluación de los niveles de contaminación del Río Atoyac y su impacto en los suelos y cultivos por metales pesados por el uso de aguas residuales en el ejido Flores Magon, Municipio de Atlixco, Edo. de Puebla. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias, UNAM: 143.

Sealy, J. C., Van Der Merwe, N. J., Sillen, A., Kruger, F. J., y Krueger, W. H. (1991). $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ as a dietary indicator in modern and archaeological bone. *Journal of Archaeological Science* 18: 399–416.

Sillen, A., Hall, G., Richardson, S., y Armstrong, R. (1998). $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios in modern and fossil food-webs of the Sterkfontein Valley: Implications for early hominid habitat preference. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 62: 2463–2478.

SEMARNAT-INE (2001). Ordenamiento Ecológico del Estado de Tlaxcala. Instituto de Ecología. Estado de Tlaxcala: 332.

Sosa, G. (2006). El Paleo-Popocatepetl: petrología, geoquímica e isotopía de secuencias pre 23,000 años. Tesis de maestría, Instituto de Geología, UNAM.

Spence, M. y To, D. (2000). Los restos humanos de la primera temporada de excavaciones en la Pirámide de la Luna. *Informe al INAH*, México.

Spence, M., White, C., Longstaffe, F y Law K. (2004a) Victims of the Victims: Human Trophies worn by Sacrificed Soldiers from the Feathered Serpent Pyramid, Teotihuacan. *Ancient Mesoamerica* 15: 1-15.

Spence, M., White, C., Longstaffe, F., Rattray, E. y Law K. (2004b) Un análisis de las Proporciones de los Isótopos de Oxígeno en los entierros del Barrio de los Comerciantes. *En: La Costa del Golfo en tiempos teotihuacanos: propuestas y perspectivas*. Memoria de la Segunda Mesa Redonda de Teotihuacan: 469-491.

Sponheimer, M., y Lee-Thorp, J. (1999) Oxygen Isotopes in Enamel Carbonate and their Ecological Significance. *Journal of Archaeological Science* 26:723-728.

Storey, R. (1992). Life and Death in the Ancient City of Teotihuacan: a Modern Paleodemographic Synthesis. Tuscaloosa, University of Alabama Press.

Tilley, C. (1978) Migration in Modern European History. In *Human Migration: Patterns and Policies*, editado por W. McNeill and R. Adams. Indiana University Press, Bloomington: 48-74.

Tomczak, P. (2003) Prehistoric Diet and Socio-Economic Relationships within the Osmore Valley of Southern Peru. *Journal of Anthropological Archaeology* 22:262-278.

Ugalde, V. (1972). Reconocimiento geológico evaluatorio de Tepexi de Rodríguez, Edo. de Puebla. En *Archivo Técnico, SGM*. Consejo de Recursos no Renovables, Puebla: 1-12.

Uruñuela, L. G y Plunket, N. G. (2005). La transición del Clásico al Posclásico: reflexiones sobre el valle de Puebla-Tlaxcal. En Manzanilla, L. (ed.), *Reacomodos demográficos del Clásico al Posclásico en el centro de México*, México, IIA-UNAM: 303-324.

Valenzuela, J. (1945). Las exploraciones efectuadas en los Tuxtlas, Veracruz. *Anales del Museo Nacional de Arqueología, Historia y Etnología*. 3: 83-107.

Van Der Merwe, N. J., Lee-Thorp, J. A., Thackeray, J. F., Hall-Martin, A., Krueger, F. J., Coetzee, H., Bell, R. H. V., y Lindeque, M. (1990). Source-area determination of elephant ivory by isotopic analysis. *Nature*, 346: 744-746.

Vogel, J. C., Eglinton, B., y Auret, J. M. (1990). Isotope fingerprints in elephant bone and ivory. *Nature* 346: 747-749.

White, C., Spence, M., Stuart-Williams, H y Schwarcz H. (1998) Oxygen Isotopes and the Identification of Geographical Origins: The Valley of Oaxaca versus the Valley of Mexico. *Journal of Archaeological Science* 25:643-655.

White, C., Spence, M., Longstaffe, F y Law K. (2000) Testing the Nature of Teotihuacan Imperialism at Kaminaljuyu Using Phosphate Oxygen-Isotope Ratios. *Journal of Anthropological Research* 56:535-558.

White, C., Longstaffe, F y Law K.(2001) Revisiting the Teotihuacan Connection at Altun Ha: Oxygen-isotope analysis of Tomb F-8/1. *Ancient Mesoamerica* 12:65-72.

White, C., Spence, M., Longstaffe, F y Law K. (2004) Demography and Ethnic continuity in the Tlailotlacan enclave of Teotihuacan: the Evidence from Oxygen Isotope. *Journal of Anthropological Achaeology* 23: 385-403.

Wright, L. E., y Schwarcz, H. P. (1998) Stable Carbon and Oxygen Isotopes in Human Tooth Enamel: Identifying Breastfeedings and Weaning in Prehistory. *American Journal of Physical Anthropology* 106:1-18.