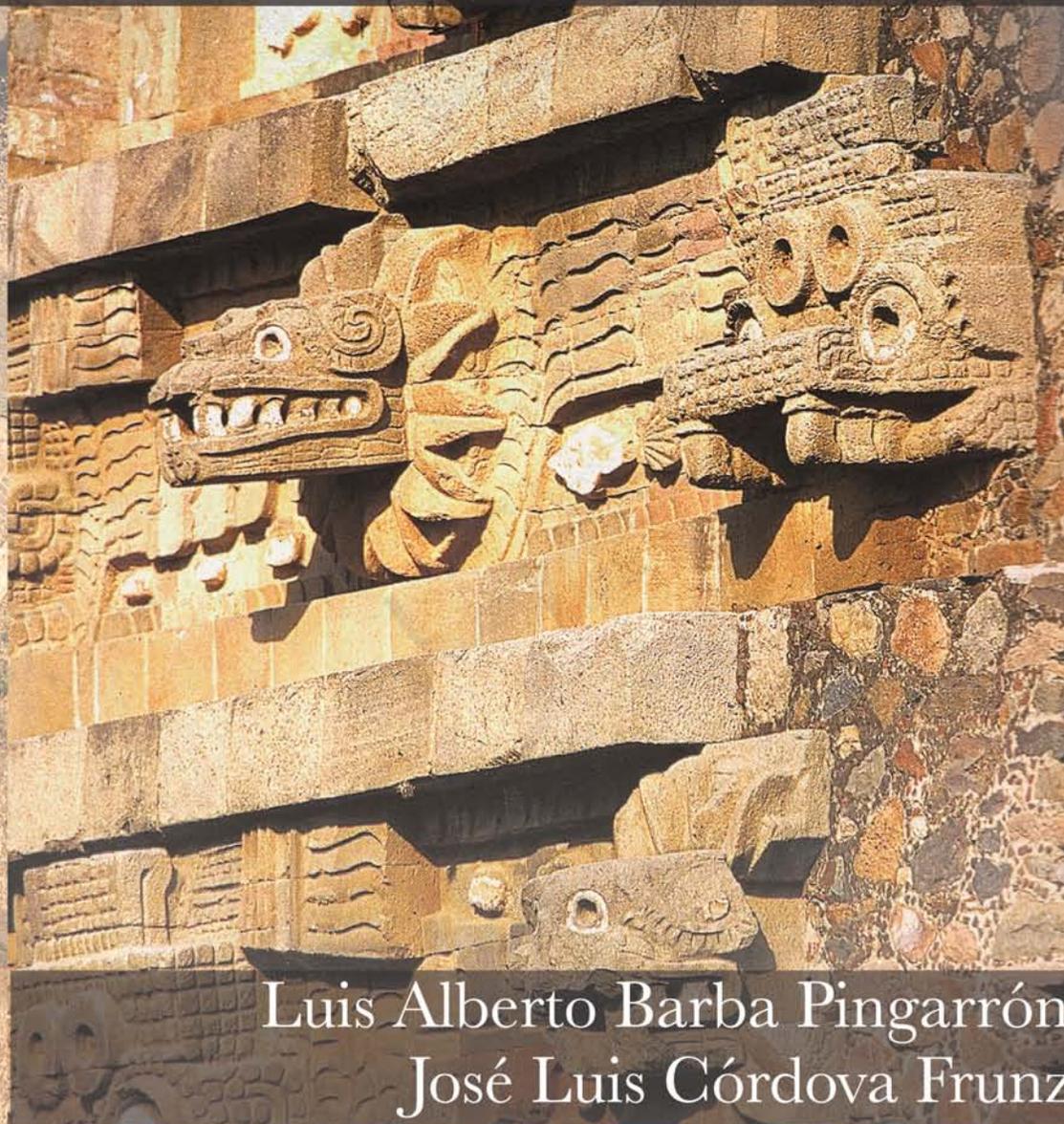


MATERIALES Y ENERGÍA EN LA ARQUITECTURA DE TEOTIHUACAN



Luis Alberto Barba Pingarrón
José Luis Córdova Frunz



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ANTROPOLÓGICAS



Materiales y
energía
en la arquitectura
de Teotihuacan

Materiales y energía en la arquitectura de Teotihuacan

Luis Alberto Barba Pingarrón
José Luis Córdova Frunz



Universidad Nacional Autónoma de México
Instituto de Investigaciones Antropológicas



Barba Pingarrón, Luis Alberto

Materiales y energía en la arquitectura de Teotihuacán / Luis Alberto Barba Pingarrón, José Luis Córdova Frunz. -- México : UNAM, Instituto de Investigaciones Antropológicas, 2010.

224 p. : il. ; 28 cm.

Bibliografía: p. 153-170

ISBN: 978-607-02-1608-4

1. Teotihuacán, Sitio arqueológico (México, Estado) - Antigüedades. 2. Vulcanismo - México (Estado) - Teotihuacán, Sitio arqueológico. 3. Geología estratigráfica - México (Estado) - Teotihuacán. 4. Materiales de construcción - México (Estado) - Teotihuacán. I. Córdova Frunz, José Luis. II. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Investigaciones Antropológicas. III. t.

972.014-scdd20

Biblioteca Nacional de México

Primera edición, 2010

Este libro fue dictaminado.

Diseño de portada: Fabio Alberto Barba Flores.

Fotografía de portada: Detalle del Templo de Quetzalcóatl de Guillermo Aldana Espinosa, 2000, México. Patrimonio Mundial. LAIA libros.

Fotografía de fondo: Pirámide del Sol en Teotihuacan, Estado de México, de Michael Calderwood, Propiedad de la Fundación Universo Veintiuno.

© D. R. 2010, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ANTROPOLÓGICAS
Ciudad Universitaria, 04510, México, D. F.

ISBN: 978-607-02-1608-4

D. R. Derechos reservados conforme a la ley.

Impreso y hecho en México/*Printed and made in Mexico*

Índice

INTRODUCCIÓN	
Objetivos	11
Consideraciones teóricas	12
Antecedentes	16
Vulcanismo en el sur de la cuenca	16
Teotihuacan	19
El culto a los cerros en el Formativo	20
1. GEOLOGÍA	
Antecedentes	25
Marco geológico general	25
Metodología del trabajo de campo	27
Reconocimientos del terreno	27
Estudios paleomagnéticos	31
Estudio magnético regional	33
Interpretación de líneas magnéticas	34
Estudios eléctricos en la Pirámide de la Luna	37
Interpretación de los resultados de la perforación	41
Sección Pirámide del Sol	44
Interpretación de datos geológicos	45
Interpretación de datos magnéticos	47
Discusión general de resultados	51

2. MATERIALES VOLCÁNICOS DE CONSTRUCCIÓN	
Tezontle	58
Estudio de las depresiones	59
Cálculo del volumen de las pirámides	66
Toba volcánica	74
3. ESTUDIO DE LOS RECUBRIMIENTOS DE CAL	
Antecedentes	81
Origen de los recubrimientos de cal	84
Descripción del proceso de transformación	90
Cálculo de la cal utilizada en...	92
Dimensiones de los conjuntos habitacionales	94
Mapas de distribución de conjuntos habitacionales	99
Cálculos de volumen de cal utilizada	103
4. CÁLCULO DEL CONSUMO DE MADERA	
Antecedentes	109
Madera necesaria para producir la cal	111
Cálculo de la masa de madera	111
Madera en techos	113
Cálculo del consumo de leña	114
Comentarios	115
5. SEDIMENTOS	
Antecedentes	119
Estudio de sedimentos en Teotihuacan	120
Estudio de sedimentos en Acolman	121
6. VULCANISMO Y CULTO A LAS MONTAÑAS	
Antecedentes	127
Actividad volcánica	128
Revisión de fechas de radiocarbono en Cuiculco	130
Sobre la construcción de las pirámides	135
Aspectos rituales	138
7. CONCLUSIONES	
Reconstrucción geológica	145
Uso de los materiales volcánicos	146
Uso de la cal	147
Uso de la madera	147
Aprovechamiento de los sedimentos	148
Consumo de materiales en el tiempo	149

BIBLIOGRAFÍA	153
A. GRÁFICAS DEL ESTUDIO PALEOMAGNÉTICO	171
B. GRÁFICAS MAGNÉTICAS	173
C. COORDENADAS DE ESTRUCTURAS	191
D. COORDENADAS DE DEPRESIONES	195
E. DISTANCIA ESTRUCTURAS-DEPRESIONES	197
F. CÁLCULO DE VOLUMEN	201
G. VOLUMEN DE PIRÁMIDES	203
H. RESULTADOS ANALÍTICOS	207
I. PLANOS DE CONJUNTOS HABITACIONALES	209
J. MEDICIONES EN MUROS	215

Dedicatoria

Queremos dar inicio a esta obra agradeciendo honda y puntualmente a todos aquéllos que de alguna manera se vieron involucrados en ella desde que apenas era un proyecto. Deseamos agradecer especialmente al doctor Zoltan de Cerna, al doctor Dante Morán y al doctor José Lugo por su valiosa asesoría y comentarios durante la visita a las cuevas y depresiones; a Linda Manzanilla por compartir el trabajo de campo, su amistad y acertada dirección a la tesis doctoral, origen de este libro; a Jaime Urrutia su ayuda en la determinación de propiedades paleomagnéticas de las muestras de basalto y por su agrupamiento de las fechas de radiocarbono de la zona de Cuicuilco; a Yoko Sugiura, Emily McClung, Doris Heyden, Johanna Broda, Saburo Sugiyama y Leonardo López Luján sus enriquecedoras discusiones y comentarios. También es menester agradecer la participación de Eliseo Linares, de Guillermo Pérez† y de Agustín Ortiz en la perforación de los sondeos y en la primer etapa de adquisición de los datos magnéticos. Adicionalmente a Agustín Ortiz por su ayuda en el minucioso cálculo del volumen de las depresiones; a Luz Lazos por la graficación de los datos de las líneas magnéticas y las determinaciones químicas en estucos; a Francisco González y Héctor Celedón por la medición de las dimensiones de los conjuntos habitacionales.

Debemos también agradecer a Carlos Córdova por permitir el uso de los datos sedimentológicos recogidos en la región de Cuanalan y Acolman y por el estudio de las muestras de adobe y toba; a Karl Link su valiosa ayuda en el procesamiento y representación gráfica de los datos y los mapas; a René Chávez y Nayeli Peralta la asistencia en la elaboración del mapa magnético al este de la Pirámide del Sol; a Gerardo Gutiérrez su ayuda en la elaboración del modelo digital de elevación del terreno; a Heajoo Chung su dedicación a los detalles finales; a René Millon toda la información proporcionada en su mapa, el cual fue la plataforma en la que se apoyó este trabajo; y a Raúl Aranda, Fernando Getino, Isabel Villaseñor y Mario Enrique Barba sus comentarios.

Introducción

OBJETIVOS

Los restos arquitectónicos representan uno de los elementos culturales más durables para el estudio arqueológico. De acuerdo con Abrams (1994: 6) [1], permiten mostrar el valor de la energía empleada en la construcción arquitectónica como un componente importante de la arqueología. La energía empleada en la construcción monumental ha sido calculada para revelar la escala de la complejidad sociopolítica dentro de una taxonomía etnológica general (Erasmus 1965) [49].

Por lo mismo, el objetivo principal de este libro es evaluar la energía involucrada en los procesos de transformación que el asentamiento urbano de Teotihuacan ocasionó en el valle homónimo.

En forma análoga a una ciudad moderna, donde el impacto de la actividad humana deja huellas en el entorno inmediato, en la ciudad de Teotihuacan, la explotación y uso de toba volcánica, tezontle, sedimentos, etc. se manifiestan en las cuevas y depresiones de la zona. Otros recursos, en cambio, provenían de lugares alejados por lo que los efectos de su explotación no se perciben y no han merecido suficiente atención.

La extraordinaria inversión de energía química, mecánica y humana en Teotihuacan puede explicarse, según los autores, por la urgente necesidad¹ de controlar la actividad de los cerros y volcanes.

Lo anterior significaría identificar los materiales disponibles para los antiguos pobladores, los conocimientos tecnológicos necesarios para aprovecharlos, identificar qué materiales obtenían por intercambio (p.ej. la cal, la madera), cuáles eran las fuentes energéticas disponibles y el consumo promedio para construir y mantener a la ciudad. Justifica lo anterior el que, sin duda, muchos de sus ritos y creencias debían estar relacionados con los elementos materiales y con los insumos energéticos indispensables así como en la localización y orientación de las construcciones. A fin de lograrlo partiremos del estudio de:

¹La pirámide del Sol fue construida, prácticamente, en una sola etapa.

- la geología de la región, con el objeto de entender la disponibilidad y el aprovechamiento de los materiales de construcción para la ciudad de Teotihuacan y explicar las consecuencias actualmente visibles, como las depresiones y las cavidades,
- la producción y el consumo de cal para la construcción y el revestimiento de las estructuras arquitectónicas, así como la energía involucrada,
- la explotación de la madera como material de construcción y fuente de energía,
- la erosión y la sedimentación que el uso intensivo de la madera pudo haber ocasionado en los alrededores del asentamiento,
- la velocidad de transformación que todos estos procesos involucraron y su relación con los periodos de mayor crecimiento urbano.

CONSIDERACIONES TEÓRICAS

Los asentamientos humanos modifican la superficie que ocupan. Esta modificación presenta diversos grados que varían desde las alteraciones producidas por un asentamiento temporal de cazadores-recolectores hasta un gran asentamiento urbano. Las modificaciones más comunes incluyen el transporte de materiales de construcción y de alimentos que originalmente no se encuentran en el lugar, Butzer (1982) [28] y Barba (1985) [11]. La hipótesis de la que ha partido esta investigación propone que las transformaciones ocasionadas por un asentamiento urbano prehispánico pueden ser detectadas, cuantificadas y evaluadas en el contexto que les dio origen y propone que esta información podría, más adelante, utilizarse con la finalidad de analizar problemas similares en la actualidad.

La energía arquitectónica entraña la cuantificación del costo de construcción de los elementos arquitectónicos en unidades comunes de comparación, energía en forma de tiempo y trabajo empleado. La arquitectura, como la suma de componentes naturales y manufacturados, es traducida al costo compuesto debido a la adquisición y el transporte de esos materiales, la manufactura de las partes necesarias y el ensamblado y acabado de los productos. Siguiendo a Abrams (1994: 2) [1], la cuantificación es una evaluación energética de la arquitectura. El método involucra, primero, cuantificar el volumen de materiales o componentes en la arquitectura como, por ejemplo, un estudio volumétrico, y segundo, la conversión de esos volúmenes en trabajo equivalente. Como en el método volumétrico, el valor analítico del método energético radica en su aplicabilidad para realizar estudios comparativos de poder, estatus y rango. La aproximación que se ha tomado en este trabajo

incluye la cuantificación de la energía arquitectónica, la que es considerada más científica que muchas otras alternativas (Binford 1989) [22].

De este modo, cuando la energía involucrada en las transformaciones rebasa cierto grado, el impacto en el medio ambiente resulta tan grande que su alteración se vuelve prácticamente irreversible. Asimismo, las actividades humanas relacionadas con concentraciones urbanas normalmente son de tal magnitud que ocasionan transformaciones drásticas. El esfuerzo humano y la organización social implícitos son, pues, proporcionales. En otras palabras, la apropiación de los recursos naturales demandada por las grandes concentraciones de población produce severos cambios en el medio ambiente que pueden permanecer durante mucho tiempo.

Como símbolo de poder social el uso de la arquitectura por el Estado es posible gracias a que dispone de una gran variedad de medios (incluyendo la fuerza o la amenaza de la fuerza) para asegurar la participación de la población en proyectos estatales (Childe 1950) [35]. De acuerdo con Price (1984: 226-227) [120], la arquitectura pública sirvió para atraer trabajo desde otras unidades políticas, involucrando aquellos individuos que esperan mejorar su calidad de vida mediante la participación en una política de control de grandes cantidades de recursos, recursos que la política puede darse el lujo de gastar en obras arquitectónicas.

Debe esperarse que los impactos producidos por la concentración urbana en el valle de Teotihuacan y sus alrededores fueran de tal magnitud que, a pesar del tiempo transcurrido y los cambios menores ocurridos, sean susceptibles de reconocerse y estudiarse actualmente.

La cultura domina a la energía a través de las herramientas tecnológicas. La energía humana involucrada ha sido, por demás, encauzada mediante una organización social. Leslie White (1949) [149], apunta “la cultura evoluciona mientras aumenta la cantidad de energía per cápita por año”. Y ha sugerido que la evolución cultural puede medirse en términos de las cantidades de energía consumida por persona, por año. Ésta es una afirmación que, en términos generales, parece concordar con la experiencia histórica de la humanidad. El desarrollo de fuentes de energía independientes de los procesos biológicos inmediatos ha sido un factor de gran importancia para las sociedades industrializadas que han dominado energía *per capita* en mucho mayor proporción que las no industrializadas y, en consecuencia, se observa que aquellos grupos humanos ricos en energía han disfrutado una gran ventaja en sus relaciones con los pobres en energía (Rappaport 1971) [121].

Para estimar la energía dominada por la cultura teotihuacana utilizaremos indicadores como la energía requerida en sus grandes empresas constructivas y en los procesos de transformación de sus materias primas. La cantidad de materiales involucrados junto con la energía en su extracción,

transporte y colocación permitirá establecer el grado de evolución cultural alcanzado, según el planteamiento de White (1949) [149]. Por otro lado, los grandes trabajos arquitectónicos atestiguan las habilidades políticas de sus dirigentes, mientras que la aseveración de que éstos alcanzaron un nivel de complejidad asociado a su civilización ha sido en su mayor parte atribuida a la medición impresionista del tamaño y la elaboración de la arquitectura (Childe 1950) [35].

Teotihuacan es una de las concentraciones urbanas preindustriales que parecen haber logrado el control de grandes cantidades de energía; entre ellas,

- la humana involucrada en las empresas constructivas,
- la de la madera como el combustible utilizado en todos los procesos de transformación,
- la de los alimentos para mantener su población,
- y la gastada en el transporte de todos los bienes demandados por sus habitantes.

Por otro lado, la agricultura no está libre de la tendencia a la especialización que ha caracterizado a la evolución social en general. Grandes regiones han sido convertidas por el hombre en ecosistemas incipientes. Sin embargo, la insistencia del hombre en forzar los ecosistemas que domina hacia la uniformidad, en contra de la diversidad biológica, disminuye aún más la de por sí limitada autonomía de los ecosistemas. Éstos están sujetos no únicamente a las presiones ambientales locales sino también a vicisitudes económicas y políticas extrañas. Aumenta, al mismo tiempo, su dependencia de una mayor cantidad de materiales importados, por lo cual los hombres que manejan dichos materiales se ven constreñidos cada vez más por eventos distantes y deben someterse a intereses y procesos que no pueden entender ni controlar. Encima, la capacidad autocorrectiva normal del sistema disminuye y, a final de cuentas, el ecosistema se destruye.

De forma semejante, en el proceso de desarrollo de Teotihuacan se manejaron cada vez mayores cantidades de energía y parece haber llegado a un punto en que se volvió demasiado dependiente de recursos externos y, en consecuencia, vulnerable. De la misma manera como los ecosistemas se destruyen, también la organización social lograda colapsó. Estos procesos pudieron desarrollarse en distintos momentos de la evolución de Teotihuacan, ya que en un principio la mayor parte de los individuos que llegaron a esta ciudad buscaban una mejor calidad de vida que la que dejaron en el sur de la cuenca de México. Con el tiempo el Estado que constituyeron alcanzó la fuerza suficiente, pudo asegurar su participación en grandes proyectos estatales.

INTRODUCCIÓN

Los puntos anteriores serán desarrollados de la manera siguiente:

En esta sección detallamos aspectos relativos a los objetivos perseguidos, la justificación de esta investigación y la descripción de las condiciones y los antecedentes que marcan la pauta del desarrollo de los puntos subsecuentes.

En el capítulo primero se trata de reconstruir la evolución geológica de la superficie donde se asentó Teotihuacan y cómo se relaciona con la explotación de los recursos para obtener los materiales de construcción. Con dicha finalidad se expondrán los resultados de los estudios geológicos, geofísicos y de las perforaciones realizadas, incluyendo sus interpretaciones específicas.

El tema de los materiales volcánicos utilizados en la construcción de la ciudad se aborda en el segundo capítulo. Se incluyen los resultados que arrojaron los cálculos de los volúmenes de los materiales contenidos en las estructuras piramidales pequeñas y en las dos mayores. Estos materiales se comparan con el volumen calculado de material extraído de las depresiones. Estas comparaciones permiten proponer las estrategias de explotación y control de este recurso usadas por los habitantes. Adicionalmente se estima la cantidad de energía involucrada en la construcción.

En el capítulo tercero se estudian los recubrimientos de cal presentes en todas las superficies construidas en Teotihuacan, además de los morteros utilizados. Se presentan las mediciones de la totalidad de las superficies recubiertas. Se estima asimismo la cantidad de cal utilizada y la energía con la cual se transformó la roca caliza en cal viva. Los resultados ilustran el impacto que conlleva el consumo masivo de un material foráneo.

El uso de la madera, como combustible y como material de construcción, se examina en el capítulo cuarto. En este apartado se calcula la cantidad de madera necesaria a fin de cumplir con los requerimientos energéticos y constructivos. Para concluir, se estima la superficie de bosque talada para proveer dicho material.

En el capítulo quinto se comentan las posibles consecuencias de la deforestación del valle. Apoyados en recientes estudios sedimentológicos se proponen algunos lugares de obtención del material limoso que forma el relleno de las dos grandes pirámides teotihuacanas.

En el capítulo sexto interpretamos los resultados anteriores en términos de la actividad volcánica cercana en el tiempo y el espacio y el culto a las montañas. Proponemos, tentativamente, que la actividad volcánica en el altiplano fue una de las motivaciones fundamentales para la extraordinariamente demandante empresa (en términos energéticos y de materiales) de construcción de las estructuras teotihuacanas. Y, paradójicamente, llevó a los habitantes a aprovechar los resultados de otra actividad volcánica previa en el valle teotihuacano.

El capítulo séptimo, que concluye este libro, presenta y fundamenta la hipótesis del origen artificial del túnel de la pirámide del Sol. Apoyado en diferentes evidencias empíricas, teóricas (techo de tepetate, imposibilidad geológica de formación de cuevas) y antropológicas, adicionalmente ofrece una propuesta de los momentos en que cada material pudo haber sido utilizado.

ANTECEDENTES

Vulcanismo en el sur de la cuenca

Por ser Cuiculco el antecedente directo de la ciudad de Teotihuacan, es conveniente presentar los aspectos relevantes de este asentamiento en los momentos en que fue abandonado. En el trabajo de Córdova, Martín del Pozzo y López (1994) [38], se intentó reconstruir algunas de las alteraciones producidas por la erupción del Xitle. La información más relevante se resume a continuación.

Los campos de lava del pedregal cubren una extensión de 80 kilómetros cuadrados en el sur de la cuenca. La ocupación de Cuiculco va de 150 a 50 aC, durante el Preclásico tardío (Parsons 1989) [113]; sin embargo, Rattray (1991) [123] difiere y asegura que la ocupación fue más prolongada (del 650 aC al 1 dC).

Debido a lo difícil que resulta excavar bajo la capa de basalto de olivino, los autores de este texto han disentido respecto a la extensión e importancia de este asentamiento. Ahora bien, Heizer y Bennyhoff (1972) [67] y Piña Chan (1977) [117], apoyados en materiales de excavación, lo consideran un centro urbano, Sanders (1979) [130] opina que fue un centro regional de importancia comparable a Teotihuacan en sus primeras fases.

La determinación precisa de su extensión e importancia requerirá de tecnologías novedosas que informen sobre las estructuras debajo de la lava. Sin embargo, todos coinciden en que Cuiculco fue una de las concentraciones poblacionales más importantes de su tiempo en el sur de la cuenca de México.

Alrededor del actual sitio arqueológico de Cuiculco se aprecia una capa de aproximadamente cuatro centímetros de espesor de ceniza gris entre la lava y el paleosuelo. Esto sugiere que la dirección del viento en el momento de la erupción de ceniza era hacia el noreste. En las áreas que no fueron cubiertas por la lava, esta capa de ceniza se ha perdido debido a la erosión. La lava hallada en el pedregal es del tipo pahoehoe acordonada, aunque cerca del volcán también pueden encontrarse bloques angulares característicos de la lava tipo aa.

En la reconstrucción de las paleoformas asociadas se han realizado las siguientes observaciones. Las capas más delgadas del flujo de lava generalmente cubren los limos arenarcillosos y los suelos limo arcillosos. Por otro

lado, los mayores espesores de lava se encuentran sobre suelos arenosos con gravas redondeadas y sin estructura o bien sobre depósitos aluviales en las áreas de topografía baja.

La mayoría de las estructuras excavadas de Cuiculco se encuentran construidas sobre las lomas de la Formación Tarango, excepto los montículos de la sección B, construidos sobre la toba pumícea de la Formación Tacubaya. Entre estas estructuras se han identificado tres paleocauces de río: El Rosal, el antiguo Magdalena y el Cuiculco.

La erupción del Xitle comenzó con la emisión de cenizas y debió ser muy parecida a la erupción del Parícutín, aunque por ser menos viscosa, la lava del Xitle formó tubos de lava en las laderas. Las fechas de radiocarbono que manejan Córdova, Martín del Pozzo y López (1994) [38] sugieren que el flujo de lava tuvo lugar alrededor de 400 dC. Según los autores, esta fecha es corroborada por la existencia de cerámica de la fase Teotihuacan II y III que Cummings excavó justo debajo de la lava. Esto fue confirmado también por el hallazgo de figurillas del tipo Teotihuacan II. Todo parece indicar que, para este momento, el sitio ya había sido abandonado. Los registros indican que Cuiculco había declinado hacia el año 150 dC. Sin embargo, estas fechas no coinciden con los estudios de Urrutia (1995) [147] que ubican este evento en el año cero y que se exponen en detalle más adelante, en el capítulo siete, pero se acercan a la reciente propuesta de Siebe.

Según Siebe (2000: 48) [139], la erupción del Xitle cubrió 70 kilómetros cuadrados de terreno, 10 km² menos que los estimados por Córdova *et al.* (1994) [38], con un volumen de roca fundida de 1.4 kilómetros cúbicos. El flujo más largo recorrió 12 kilómetros desde el cráter y descendió 900 metros. La mayoría de estos flujos avanzaron a través de tubos de lava y en forma de siete unidades mayores pahoehoe de 0.2 a 13 metros de espesor. Se estima que su duración fue de varias décadas. Apoyado en dos nuevas fechas obtenidas de carbón producido directamente por la erupción, este autor propone que las lavas del Xitle fluyeron entre 245 y 315 años dC.

Según la cronología arqueológica, después de un abandono parcial, la fase VA (100 aC - 1 dC) marcó un resurgimiento de la tradición Cuiculco. En el sitio se llevaron a cabo nuevas construcciones caracterizadas por las primeras plataformas rectangulares en Cuiculco B, así como en la pirámide Cuiculco A una plataforma cilíndrica elevada orientada al oeste construida con adobes.

La erupción del Xitle se puede ubicar en las fases II y IIIA de Teotihuacan y dentro del periodo Clásico de la arqueología mesoamericana. En contraste, Heizer y Bennyhoff (1972) [67] plantearon la posibilidad de que el Xitle estallara durante la fase Cuiculco VB. Pero, apoyados en la escasa evidencia entonces disponible sugirieron que una erupción tardía fue responsable de los flujos de lava que cubrieron el sitio. Apoyada en el estudio cerámico, Muller

(1990) [107] concluyó, en 1990, que Cuiculco fue abandonado entre 150 aC y 100 dC a consecuencia de las primeras erupciones de ceniza.

En su discusión, Siebe (2000: 60) [139] alude a algunas hipótesis que se han manejado para poder colocar la erupción del Xitle en un contexto arqueológico.

1. La caída de Cuiculco se debió a la erupción del Xitle hace 2000 años a.p.
2. Ésta se debe al crecimiento de Teotihuacan, de modo que se encontraba abandonado cuando ocurrió la erupción
3. Si bien se debió a la erupción del Xitle 2000 años a.p. y como resultado surgió Teotihuacan, la ciudad fue finalmente sepultada algunos cientos de años después, tras otra erupción del Xitle.

Siebe (2000) [139] argumenta que, debido a que el volcán es monogenético, es imposible sustentar la tercera hipótesis. Explica, además, que la variabilidad de las fechas de radiocarbono se debe a la gran variación de contextos y niveles estratigráficos y que algunas fechas provienen de excavaciones profundas. El grupo de fechas alrededor de 4000 años a.p., formado principalmente por fechas obtenidas de excavaciones arqueológicas, provienen de horizontes comprendidos entre cuatro y siete metros debajo de la lava.

Aunque Cuiculco no fue afectado directamente por las erupciones del Popocatepetl, muy posiblemente la suma de fenómenos volcánicos pudo producir su abandono. Actualmente se dispone de fechas y estudios geológicos que demuestran que otros volcanes tuvieron actividad contemporánea al evento del Popocatepetl, lo que hizo que buena parte de la sierra del Chichináutzin sostuviera una actividad volcánica conjunta y, como había propuesto Urrutia (1995) [147], algunos de los momentos de abandono de Cuiculco, previos al flujo del Xitle, pudieron haber sido causados por la actividad de otros volcanes cercanos.

La construcción de la estructura principal de Cuiculco fue realizada superponiendo tres conos truncados producto de distintas etapas de construcción. Los conos fueron recubiertos con muros de piedra y tenían el interior relleno con tierra. Debe destacarse que esta técnica constructiva tiene estrecha relación con la técnica de construcción de la pirámide del Sol, sólo que en lugar de planta circular se cambió a planta cuadrada. Después del abandono de Cuiculco sobrevino el deterioro y la erosión que depositó piedras y tierra resultado de derrumbes en la base de la estructura.

La relación estratigráfica entre estos materiales sugiere que el colapso de las paredes pudo ser el resultado de temblores que acompañaron la erupción ya que el flujo de lava no se deposita directamente sobre las paredes

de la estructura, sino sobre su derrumbe. Para López Camacho (1991) [83] esto demuestra parcialmente que en el momento de la erupción, el sitio se encontraba abandonado.

Siebe (2000: 59) [139] considera que la mayoría de las muestras fechadas alrededor de 2000 años a.p. fueron obtenidas de paleosuelos que subyacían bajo las capas de ceniza y lava y, en muchos casos, las relaciones estratigráficas descritas fueron ambiguas.

Teotihuacan

Teotihuacan es el eje de la historia mesoamericana durante el Clásico temprano. Fue el centro de peregrinación por excelencia, el lugar donde se crearon el tiempo y el espacio sagrados, el arquetipo de ciudad civilizada (Manzanilla 1993a) [88]. A partir del año 200 dC se definen los elementos de planificación urbana y la vida doméstica en conjuntos habitacionales multifamiliares. Después de la construcción de las pirámides principales y de la Calle de los Muertos, la población abandonó el sector noroeste y se dispersó por el resto de la ciudad. Millon (1993: 17) [104], coincide y comenta que, entre otras cosas, Teotihuacan se caracterizó por el desarrollo de un origen mítico centrado en la creencia de que el cosmos y el ciclo de tiempo presente comenzaron allí.

En relación con el tamaño de la ciudad, Millon (1993: 33) [104] citando a Chandler y Fox (1974: 82, 305, 368) [32] comenta:

Constantinopla fue la ciudad más grande de su tiempo con 500 000 habitantes. Siguen las ciudades chinas de Changan y Loyang; a continuación Ctesiphon la capital de Persia. Alejandría ocupa el quinto lugar con 200,000 y finalmente Teotihuacan con 125,000 habitantes.

En Mesoamérica los templos fueron construidos sobre enormes basamentos piramidales, representando el plano terrestre, o bien, simbólicamente, los pisos del inframundo. Cabe, con todo, la posibilidad de que también simulen los planos celestiales.

Según Millon (1993) [104], primero fue construida la Pirámide de la Luna con sus plazas de tres templos para rematar la Calle de los Muertos. Unos setenta y cinco años después, fue construida la Pirámide del Sol centrada en la cueva y fue dedicada al Gran Dios y al Dios de las Tormentas, o bien a la Gran Diosa, según propone Paztori (1988) [114] y al Dios de las Tormentas, Tláloc.

Entre 150 y 225 dC se construye la actual fachada de la Pirámide del Sol, se extiende la Calle de los Muertos y se inicia la construcción de la Ciudadela. La plataforma adosada de la Pirámide del Sol se terminó alrededor del 175 dC, mientras que el Templo de la Serpiente Emplumada en la Ciudadela fue concluido aproximadamente en 225 dC. Millon señala que la

inversión de energía en la construcción de las pirámides y la Ciudadela es una demostración notable del ejercicio del poder.

En su importante trabajo sobre la cuenca de México, Sanders, Parsons y Santley (1979: 107) [130] comentan acerca de la Fase 4 (100 aC-100 dC):

Casi tan extraordinario como la monumentalidad es la planeación de la arquitectura pública. La gran avenida central de Teotihuacan fue trazada y las dos estructuras públicas mayores, las pirámides del Sol y de la Luna, se construyeron a lo largo de ella. La Pirámide del Sol, con un volumen de alrededor de un millón de metros cúbicos fue la más grande estructura de una sola fase erigida en el Nuevo Mundo precolombino.

El motivo que indujo a una nucleación de la población tan extrema no es claro aún. Presumiblemente, el control político fue el principal factor. Sin embargo, no se conoce otra situación en el registro histórico o arqueológico en el cual tan grande población sedentaria regional estuviera involucrada en una relocalización tan drástica. La gran mayoría de la población (80-90 por ciento) estaba nucleada en Teotihuacan. Éste es uno de los aspectos relevantes que se discutirán en capítulos posteriores respecto a la gran cantidad de energía canalizada por la organización social.

El culto a los cerros en el Formativo

Para los nahuas, Tláloc era el corazón del gran cerro. La morada de Tláloc, el Tlalocan está ubicado en el interior de la Montaña Cósmica. A diferencia de su consorte o hermana, Chalchiuhtlicue, que sólo encarna el principio acuático, Tláloc es también la tierra. La gran montaña arquetípica que alojaba al Tlalocan, era vista como la bodega mítica de riquezas de la que salían con el nacimiento y a la que regresaban con los muertos, los “corazones” o “semillas”, contenedores de la esencia de clase de los seres mundanos. A su vez, el gran cerro era considerado como el “corazón de la tierra”, su centro y eje por antonomasia (Aramoni 1998: 126, 184, 245) [5].

Ese corazón del cerro nos remite a Xiuhtecuhtli que regía el centro, así como las cuatro direcciones o esquinas y era el pilar universal. Éste era, al igual que Tláloc, uno de los dioses más viejos del panteón mesoamericano, quizá desde el Preclásico medio (Aramoni 1998: 139, 148) [5]. Su morada es también la gran Montaña Cósmica, cuyo paradigma son los grandes volcanes americanos y por extensión, todos los montes y los cerros. Los volcanes devienen en imágenes del macrocosmos porque unifican y amalgaman el cielo, la tierra, el agua y el fuego. Desde lejos, son de color verde azulado, en su interior guardan el fuego y las aguas y tocan los cielos con su cúspide nevada en la que se originan las nubes portadoras de la lluvia, así como los rayos, truenos y relámpagos. El Popocatepetl o “Montaña que humea” es, asimismo,

INTRODUCCIÓN

un volcán muy especial, ya que su nombre indica su vitalidad, pues desde su cráter puede observarse cómo se eleva una columna de vapor y se convierte en blancas nubes.

Generalmente los volcanes tienen lagos y lagunas en su superficie; en la parte exterior de sus laderas se hallan manantiales y arroyos de deshielo. También se encuentran infinidad de cuevas de culto y en sus profundidades guardan el hogar del mundo, el núcleo energético del universo; entidad sobrenatural que siempre albergó a Xiuhtecuhtli-Huehuetotl. El fuego-tiempo del que nació el Quinto Sol y probablemente el que causaría el cataclismo final con los movimientos telúricos y la erupción última que harían que los cuatro soportes de los cielos y los rumbos sucumbieran igual que el eje o pilar central; un agotamiento del equilibrio entre las fuerzas de los elementos que cumple así cabalmente la entropía.

Pero Xiuhtecuhtli tiene como signo opuesto complementario el agua. Brundage (1982: 153) [27] concluye que los volcanes eran las ventilas por las que escapaban las llamas subterráneas.

El terror que inspiraba el fin de los tiempos nos lo transmite Sahagún (lib.VII, cap.I: 431) con sus testimonios:

Y decían, si del todo se acababa de eclipsar el sol: ¡nunca más alumbrará, ponerse han perpetuas tinieblas y descenderán los demonios y vendránnos a comer! Por eso así amonestaban los señores al pueblo: “¿Por ventura tu tienes cuidado de las cosas adversas y espantables que han de venir, que no las vieron, pero temieron los antiguos antepasados nuestros? ¿Tienes cuenta y cuidado con los eclipses de sol, o con los temblores de la tierra, o con las tempestades del mar, o con los rompimientos de los montes?”

En efecto, en una erupción de gran magnitud los volcanes, como el Popocatepetl, corren el riesgo de romperse. Este hecho ominoso ocurrió precisamente entre 250 y 50 aC, según las últimas fechas de radiocarbono, y debió ocasionar un gran impacto en la población del sur de la cuenca de México, ya que todo parecía indicar que los cuatro soportes de los cielos y de los rumbos sucumbían junto con el eje o pilar central, presagiando el cataclismo final.

Es probable que algunos cerros alrededor del Popocatepetl sean volcanes parasitarios, es decir que estén directamente asociados a su sistema magmático. Sin embargo, en tiempos antiguos los volcanes mayores, el Popocatepetl y el Iztaccihuatl, junto con el monte Tláloc eran las deidades principales. Esto es de gran relevancia, ya que el sistema parasitario pudo haber estado en actividad en el mismo tiempo geológico que el volcán principal (Aramoni 1998: 172) [5].

Respecto de los antiguos cultos, Barba de Piña Chan (1980: 31) [10] comenta que: “Aparece en Tlatilco una figurilla antecedente del dios del fuego

(Tlatilco III, temporada 1955) porque porta en la cabeza una vasija y tiene la cara arrugada, corresponde a los finales de la fase media”.

En su investigación sobre el culto a los cerros, Johanna Broda (1991: 465) [26], menciona los siguientes aspectos destacados de este culto. Según Broda, “entre las primeras deidades que se adoraban desde tiempos preclásicos se encuentra el antiguo Dios del Fuego y del tiempo, Huehuetéotl–Xiuhtecuhtli. El culto oficial en Teotihuacan fue el dios de la lluvia”. Más adelante, p. 469, describe:

Hay un conjunto de deidades que pertenecen al culto mexica de los cerros, el agua y la tierra que se encuentran en el Templo Mayor; entre ellos se encuentran el conocido como Huehuetéotl–Xiuhtecuhtli, también interpretado como Tonacatecuhtli y como Tepeyólotl, cuyas interpretaciones son el Dios Viejo del Fuego y del tiempo, la deidad suprema de los mantenimientos y el corazón del cerro.

Este aspecto tiene relación con el dato de las *Relaciones de Tequizistlán y su partido* (Acuña 1986: 235) [3], que relata cómo en la parte alta de la Pirámide del Sol se encontraba una escultura de Tonacatecuhtli:

Sin éste, había otros ídolos menores en el pueblo de San Juan, que era el templo y oráculo a donde acudían los pueblos comarcanos. Tenían, en el dicho pueblo, un cu muy alto, en el cual había tres descansos para poder subir a lo alto: en la cumbre dél, estaba un ídolo de piedra que llamaban por nombre Tonacateuctli, el cual era de una piedra tosca y muy dura, todo de una pieza. Tenía tres brazas grandes en largo y otra en ancho, y otra de gordo. Estaba vuelto al poniente, y, en un llano que se hacía delante del dicho cu, estaba otro cu más pequeño, de tres estados en alto, en el cual estaba otro ídolo un poco menor que el primero, llamado Mictlanteuctli, que quiere decir “señor del infierno”. Éste estaba vuelto hacia el primero, asentado sobre una peña grande cuadrada, de una braza en cuadra por todas partes. Un poco más adelante, en la parte norte, estaba otro cu un poco menor que el primero, al que llaman “el cerro de la Luna”, en lo alto del cual estaba otro ídolo, grande de casi tres brazas, que llamaban La Luna. A la redonda dél había muchos cúes, en uno de los cuales (el mayor dellos) había otros seis ídolos, a los que llamaban Hermanos de la Luna.

La permanencia e importancia del culto a los cerros es señalada por Broda (1991: 472) [26]:

El Templo Mayor abarcaba en su doble pirámide dos cerros: mientras que la pirámide de Huitzilopochtli se identificaba como el Coatepec (el cerro de las serpientes), la pirámide de Tláloc era el Tonacatépetl, el cerro de nuestros mantenimientos que estaba mágicamente relacionado con el agua y el maíz y contenía el acceso ritual al sustento humano.

INTRODUCCIÓN

Broda continúa comentando (p. 473), que “Los cerros deificados significaban lugares sagrados en la cuenca de México y se les rendía culto al principio y al final de la estación de lluvias. Los grandes volcanes (el Popocatepetl y el Iztaccíhuatl) así como la sierra de Tláloc eran las deidades más importantes”. Finalmente (p. 475):

... los tecuacúltin eran sacados del Tlillan, el templo de la diosa Cihuacóatl que se encontraba al lado de la pirámide de Huitzilopochtli, para las ceremonias. La arquitectura de este templo era imitación de una cueva oscura y los idolitos que se guardaban en este enigmático templo no eran sino otra clase de imágenes que representaban a todos los cerros de la cuenca

Doris Heyden (1981) [69] escribe que Tláloc no estaba asociado solamente con la lluvia y con el relámpago, sino también con la tierra que abarca las montañas y cuevas. En este sentido, cita a Durán quien describió a Tláloc como dios de las lluvias, truenos y relámpagos; “camino debajo de la tierra o cueva larga” y si bien ahora sabemos que esta definición es etimológicamente incorrecta, no lo es desde el punto de vista de su contenido simbólico en la cosmovisión náhuatl (Aramoni 1998: 183) [5].

De hecho, la proximidad e incluso la confusión entre Tepeyólotl y Tláloc se manifiestan por los significados de sus nombres. ¿No era Tláloc el “Dios de la Tierra”? Como resultado del análisis etimológico de Thelma Sullivan (1974) [143], sabemos que su nombre significa “Aquel que tiene la calidad de la tierra”, “Aquel que está hecho de tierra”, “Aquel que es la encarnación de la tierra”, definiciones que podríamos perfectamente aplicar también al “Corazón de la Montaña” (Guilhem 1998: 113) [62].

Mucho se ha escrito recientemente sobre los múltiples significados que los cerros tuvieron en el pasado y que seguramente tienen aún hoy. No es casual que Tláloc se considerara formado de la misma sustancia que los cerros: Tláloc es “El que está hecho de tierra” o “El que es la personificación de la Tierra” (Guilhem 1998: 271) [62].

Esto puede explicar la necesidad de construir la Pirámide del Sol sólo de tierra, habiendo podido utilizar la piedra volcánica disponible, (tezontle, andesitas, basaltos y tobas) como de hecho lo hicieron en el resto de las estructuras construidas en Teotihuacan, decidieron utilizar más de un millón de metros cúbicos de tierra solamente en la construcción de la gran pirámide.

En efecto, el túnel excavado en la base de la Pirámide del Sol puede estar relacionado con la definición de Durán (1984) [48] “camino debajo de la tierra o cueva larga” que, aunque incorrecta etimológicamente, presenta coincidencias que vale la pena estudiar en detalle y que no deben despreciarse.

Todos estos elementos consignados por destacados autores muestran la estrecha relación existente entre el culto a los cerros, los volcanes, las cuevas

y diversas divinidades. Estos elementos, así como su permanencia por varios siglos, serán retomados en las conclusiones para proponer una explicación a la construcción de las pirámides de Teotihuacan.

Capítulo 1

Geología

ANTECEDENTES

Como consecuencia de los reconocimientos realizados con el objetivo de localizar túneles y depresiones en el sector noroeste del valle de Teotihuacan, en el marco del Proyecto “Cambio global en perspectiva histórica. El caso del centro urbano preindustrial de Teotihuacan”,¹ se apreció que las depresiones (hundimientos del terreno), se localizaban alrededor de la ciudad, tenían cierto alineamiento y presentaban características comunes. El origen de estas depresiones nos intrigó. En un principio se manejaron hipótesis sobre fenómenos naturales de formación (Manzanilla *et al.* 1989 [87], Barba *et al.* 1990 [12]), pero poco a poco se fueron refutando algunas y afinando otras. Finalmente todos los datos indicaban que las cavidades y cuevas podían ser consecuencia de trabajo humano. Esto implicaba una actividad extractiva que necesitaba ser probada. Se planteó entonces que el material extraído debió haberse utilizado en la construcción de la ciudad. Para ello sería necesario probar que los volúmenes construidos eran comparables a los volúmenes extraídos y que los materiales visibles en las paredes de las depresiones, fueron los utilizados en la construcción de las estructuras arqueológicas.

MARCO GEOLÓGICO GENERAL

Un grupo de trabajo contratado por el proyecto (Milán 1990) [98], recopiló la información geológica que a continuación se resume. En su informe mencionó que estratigráficamente las rocas más antiguas en el valle de Teotihuacan corresponden al Mioceno medio y tardío (hace unos 70 millones de años). Estas rocas afloraron en el cerro de Malinalco y están constituidas

¹Patrocinado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

por andesitas. El conjunto de rocas extrusivas, correspondientes al Plioceno temprano, se localiza en el cerro de Patlachique. La composición de estas rocas varía de andesitas a dacitas, con algunas secuencias piroclásticas no consolidadas conformadas por tobas líticas y pumicíticas, que se encuentran cubiertas por derrames lávicos.

Los derrames de lava ácida, denominados riolitas navajas, están interestratificados con brechas, tobas y depósitos de avalancha, que presentan estructura fluída. Estas rocas afloran en el sudeste del valle en el cerro de Soltepec. También aparecen basaltos pliocénicos en la sierra de Patlachique y en las lomas del sureste del valle que presentan una composición que varía de andesítica a basáltica y se caracterizan por mostrar una morfología redondeada producida por el intemperismo prolongado al que han estado sujetas.

La actividad piroclástica y fluvial del Plioceno formó unos depósitos indiferenciados que presentan una variación granulométrica de arcillas a gravas. Cubren las últimas lavas y subyacen o se interdigitan con lavas y piroclastos del periodo Cuaternario. Las tobas amarillentas, aflorantes en los alrededores de la zona arqueológica, pertenecen a este grupo.

En el valle de Teotihuacan, el Cuaternario se encuentra representado por rocas volcánicas máficas provenientes del Cerro Gordo y de los campos volcánicos de Otumba. El Cerro Gordo es un estrato-volcán basáltico compuesto de capas de lavas y escorias estratificadas pliocuaternarias. La actividad volcánica en esta época también se manifiesta por los conos cineríticos del extremo oriental del valle y los derrames y conos al noroeste de la zona arqueológica, figura 1.19, p. 51.

Uno de los conjuntos litológicos de mayor importancia, por ser el que soporta la zona arqueológica, se encuentra representado por una secuencia uniforme de brechas escoriáceas y aglomerados, en la que predominan bombas con forma de cordón, de huso y de almendra, así como abundantes fragmentos de escorias. El aglomerado de tezontle formado presenta una granulometría variable, con fragmentos que van de un centímetro hasta bombas con 1.5 metros de diámetro.

Los depósitos aluviales, fluviales y lacustres se localizan en la parte central del valle y en los cauces de arroyos mayores, donde configuran varias terrazas de erosión. Litológicamente están conformados por gravas, arenas y limos de origen aluvial que configuran sus planicies (Milán 1990) [98].

Como propuso Mooser (1968) [105], los estudios regionales del valle indican la existencia de fallas tectónicas que forman un paralelepípedo alrededor del valle. A lo largo de estas grandes fallas se produjeron escapes de magma que originaron la actividad volcánica que se aprecia en las montañas que rodean esta región.

El mismo autor presenta las edades relativas de las estructuras volcánicas al noroeste del valle. La estructura más antigua es el cerro de Malinalco o Malinalli que corresponde al Terciario, junto al cual se formó el estrato volcánico que conocemos como el Cerro Gordo durante el Plioceno y, finalmente, en el Cuaternario aparecieron los pequeños conos cineríticos que se aprecian entre estas estructuras. Quizá, debido a que es común delimitar el valle por el parteaguas de los montes circundantes no se ha atendido la parte norte de este volcán. La topografía de esta zona muestra una gran cantidad de pequeños conos cineríticos en el norte y el oeste, que no se aprecian en la zona sur, por lo que puede suponerse que fueron cubiertos por flujos posteriores. Como se verá más adelante, éste parece ser el caso en la zona donde se levantó el asentamiento urbano de Teotihuacan.

Como se había hecho comúnmente, en la primera etapa de nuestro trabajo nos apoyamos en la propuesta de que había un flujo basáltico debajo de la zona arqueológica, y se planteó que la presencia de las cavidades podía deberse a causas naturales, como los tubos de lava. Esta propuesta empero no explicaba las bombas volcánicas intactas en las paredes de los túneles explorados.

Mooser (1968) [105] propuso un flujo en forma de lengua que partía del Cerro Coronillas, pero si así hubiera sido, las bombas deberían mostrarse muy erosionadas por haber sido acarreadas a lo largo de varios kilómetros. Por otro lado, no hay duda de que el flujo existe, pues tanto en los mapas topográficos como en los estereopares de las fotografías aéreas, se aprecia la forma lobular y los desniveles de terreno de los límites del flujo. Hasta ese momento los datos recuperados de los estudios topográficos, geológicos, fotográficos y magnéticos nos indicaban una geología volcánica muy compleja bajo la parte norte de la ciudad de Teotihuacan.

METODOLOGÍA DEL TRABAJO DE CAMPO

Reconocimientos del terreno

Con el apoyo del mapa topográfico obtenido por fotorrestitución (*Teotihuacan Mapping Project*, Millon 1973 [102]), y con el auxilio de fotografías aéreas tomadas a baja altura (CETENAL 1970), se realizó la primera aproximación al problema. Se identificaron con claridad las zonas donde el terreno presentaba un hueco o depresión. Se apreció que la mayoría de estas depresiones se encontraban en el sector noroeste de la ciudad y que algunas de ellas seguían un patrón lineal. Este alineamiento ya se había notado años atrás y se había propuesto una interpretación (Barba *et al.* 1990) [12] exclusivamente en términos geológicos, como resultantes de un flujo piroclástico.

Los elementos manejados entonces se han enriquecido y la interpretación, por tanto, se ha modificado. Al mismo tiempo, en colaboración con Linda Manzanilla se recorrieron sistemáticamente todas las depresiones y se llevó a cabo un registro de los túneles encontrados en sus paredes. Este registro incluyó su localización en el mapa y el rumbo que mostraba el túnel desde su acceso (figura 1.1).

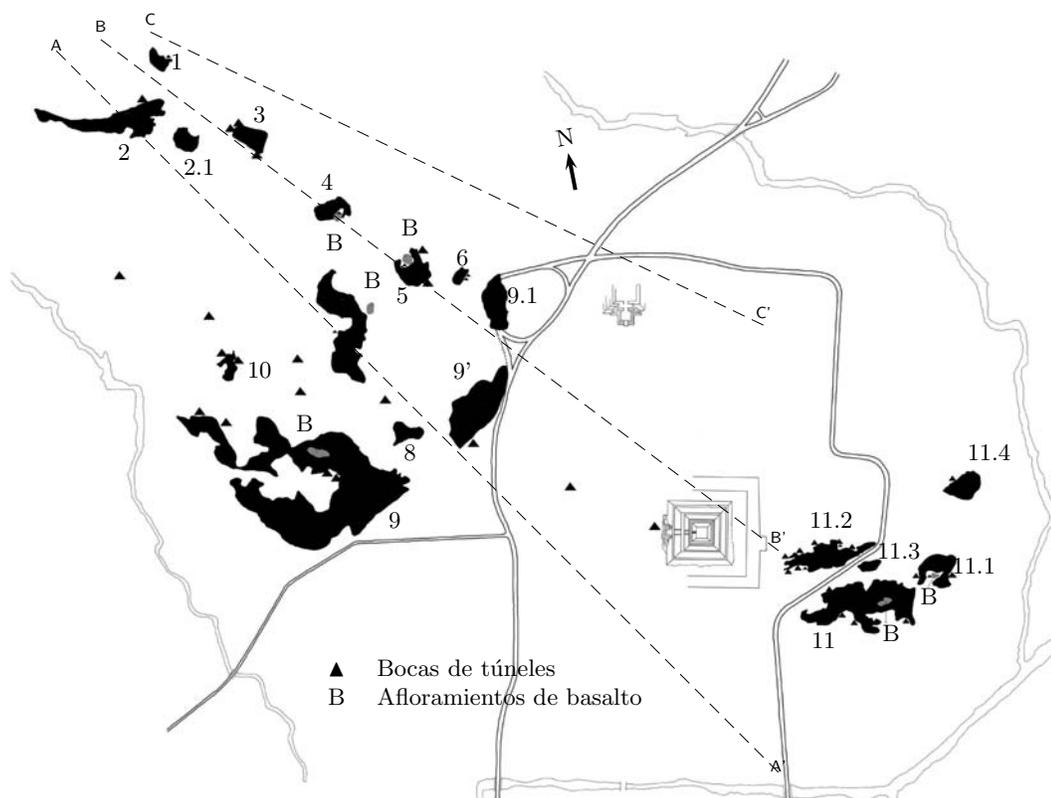


Figura 1.1. Mapa de localización de las depresiones. Las zonas en negro señalan las áreas deprimidas. Las líneas de corte señalan la ubicación de los cortes topográficos de la figura 1.2, p. 29. Los triángulos muestran las bocas de túneles y las manchas en gris señaladas con “B” representan los afloramientos de basalto.

Adicionalmente se registraron los materiales presentes en las depresiones; pueden apreciarse los trazos de tres cortes topográficos que se despliegan en la figura 1.2, p. 29.

En ellos pueden observarse algunos detalles de interés. En el corte C-C' una pendiente constante sin alteraciones va desde la zona de Oztoyahualco a

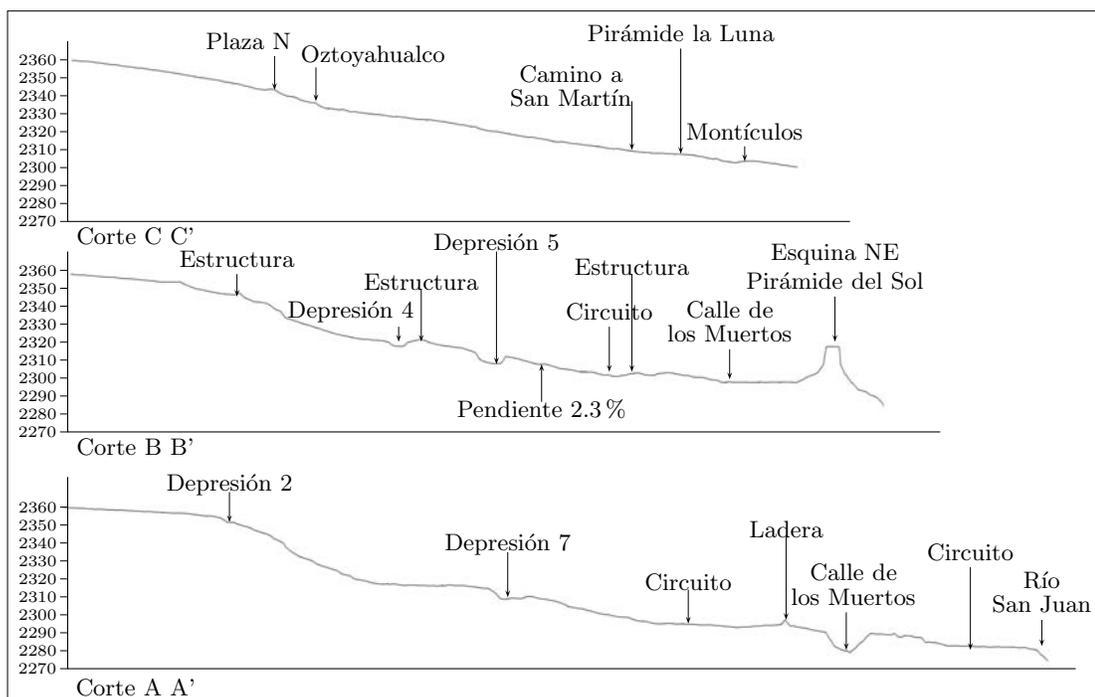


Figura 1.2. Cortes topográficos. El corte C-C' muestra una pendiente suave y constante desde Oztoyahualco hasta el norte de la Pirámide de la Luna. En contraste, el corte A-A' muestra el marcado desnivel topográfico cerca de la Depresión 2 y los rellenos cerca de la Calle de los Muertos (ver figura 1.1).

la parte norte de la Pirámide de la Luna. Debajo se encuentra el corte B-B', y nuevamente desde Oztoyahualco a la Pirámide del Sol, también se aprecian modificaciones tanto en el terreno como en las depresiones, así como de la nivelación del terreno cerca de la pirámide, y se tiene una medición de 2.3 por ciento de pendiente cerca de la Depresión 5. En el corte A-A', se nota con claridad el escalón topográfico al sur de la Depresión 2 ocasionado por el límite del flujo y una elevación del terreno a ambos lados de la Calle de los Muertos que sugiere la presencia de rellenos y subestructuras.

El alineamiento este-oeste de los grandes bloques basálticos en el fondo de las depresiones alargadas complementa el alineamiento mencionado de las depresiones más pequeñas. Algunas presentaron formas semianulares alrededor de un macizo de basalto.

Durante el reconocimiento sobre el camino que parte del cuartel militar de San Juan Teotihuacan hacia el norte, un cambio muy notorio se percibe en las características de la superficie. Desde la salida de San Juan pueden

verse afloramientos de toba amarillenta a lo largo de todo el camino, con una pendiente que baja hacia el este. Luego de la barranca Cosotlán una cuesta inclina la pendiente del terreno hacia el sur. En este punto también cambia el color del suelo: se torna rojizo a consecuencia de la gran concentración de pequeños fragmentos de escoria volcánica. En este lugar se inicia la depresión 2, en cuya pared norte se encuentran principalmente tobas mientras que en la sur predominan las escorias.

Esta depresión forma un interesante conjunto con las depresiones 1, 2.1 y 3. Al oeste de la depresión 3 se abre una boca que conduce a una gran cámara repleta de escoria roja de tamaño uniforme y pequeño. Esto sugiere que los puntos de emisión están alineados formando un montículo alargado el cual operó como la barrera que desvió un flujo posterior.

A diferencia del grupo de depresiones 9 y 11, rebasados por este flujo, la depresión 2, por encontrarse en la orilla de la corriente, pudo desviarla y permitir el afloramiento del tezontle en su ladera sur (figura 1.1, p. 28).

En la depresión 11.1 se observó un fenómeno interesante que puede ayudar a comprender las depresiones con características semejantes. Se trata de una depresión semicircular en cuyo centro se halla un espacio elevado con afloramientos de basalto en su superficie, debajo de los cuales se encuentra una gran caverna. Lo extraño de este caso es que en su interior se han desplomado del techo grandes bloques de basalto. Esto resultaba contradictorio ya que se asume que la tecnología teotihuacana no podía aprovechar los bloques de basalto, dada su densidad y dureza.

Afortunadamente, diversas perforaciones cilíndricas de una pulgada en varios de los bloques evidencian el uso de tecnología moderna para su desprendimiento. A juzgar por los resultados magnéticos obtenidos en el Restaurante de La Gruta y por sus dimensiones, es posible que estas dos cavidades fueran lugares de extracción de material basáltico en tiempos relativamente recientes, acaso a finales del siglo XIX, pues el espacio del restaurante fue utilizado en 1910 para el banquete de inauguración del sitio arqueológico.

En la depresión 11.1 ocurre lo mismo que en la 4 y la 5, cuyos espacios semicirculares vaciados rodean afloramientos de basalto centrales; ésta es la evidencia de una emisión de magma que produjo un anillo concéntrico de escoria que ya fue removido y aprovechado. En estos tres casos tratamos con puntos de emisión, que forman parte de un fracturamiento mayor y que pueden considerarse lugares de emisión aislados entre sí, lo que contrasta con las depresiones alargadas 2, 9, 11 y 11.2, donde el magma parece haberse emitido a lo largo de una grieta.

Las diecisiete depresiones encontradas en los alrededores de Teotihuacan pueden agruparse en cuatro grandes grupos. El primer grupo lo forman las depresiones 1, 2, 2.1, y 3 como parte de una posible grieta de emisión. Asocia-

das a ellas se encuentran dos plazas con tres templos y la zona completa de conjuntos habitacionales de Oztoyahualco. Las depresiones 4, 5, 6 y 7 forman otro grupo con tres centros de emisión independientes. Las 8, 9 y 10, constituyen otro centro de emisión con una fractura en el centro de la depresión mayor, la 9.

Finalmente se encuentra el grupo de las depresiones al este de la Calle de los Muertos: lo constituyen las depresiones 11, 11.1, 11.2, 11.3 y 11.4 que realmente debieron formar una sola, pero que ahora aparecen separadas. Es necesario aclarar que la depresión 11.3 ya no puede estudiarse pues ha sido rellenada. Debe notarse la marcada orientación este-oeste de este conjunto. En el centro de la depresión 11, precisamente en el lugar que ocupa el escenario del teatro construido en este lugar, grandes bloques de basalto nuevamente señalan el mayor centro de emisión. A diferencia de las depresiones del noroeste, que estaban asociadas a plazas de tres templos, en los grupos de las depresiones 9 y 11, en cambio, se observa asociación con estructuras piramidales sencillas.

Estudios paleomagnéticos

Con el fin de probar la hipótesis de que los bloques de basalto encontrados en el centro de las depresiones son los restos de los centros de emisión, se efectuaron perforaciones de 2.5 centímetros de diámetro en uno de los afloramientos dentro de la depresión 9. Se tomaron ocho muestras del bloque estudiado, las cuales se analizaron en el Laboratorio de Paleomagnetismo del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México, a cargo de Jaime Urrutia (1995) [147], y se determinaron sus parámetros magnéticos. Con la finalidad, a su vez, de determinar el emplazamiento y la dirección de flujo durante el enfriamiento de la roca se tomaron las muestras de la parte superior del afloramiento de basalto, el cual pudo haber sido un cuello volcánico.

En rigor, se midieron los siguientes aspectos:

- Susceptibilidad a baja y alta frecuencia;
- Intensidad y dirección del magnetismo remanente natural (NRM);
- Estabilidad y composición vectorial del NRM;
- Desmagnetización por campos magnéticos alternos;
- Fábrica magnética (anisotropía de susceptibilidad);
- Adquisición de magnetización isothermal para la identificación de minerales magnéticos.

Las mediciones de anisotropía se realizaron con el equipo Minisep conectado a una computadora personal. Estas mediciones se llevaron a cabo con campo magnético bajo y baja frecuencia. Este análisis usa las direcciones principales y las magnitudes de susceptibilidad magnética en el tensor. La representación geométrica tiene forma de elipsoide en la cual $k_1 > k_2 > k_3$. Esto define una lineación magnética (en el plano de k_1) y un plano de foliación (plano de k_2 y k_3). Por otro lado, el grado de anisotropía se determina como $k_1/k_3 = A$; la alineación como $k_1/k_2 = L$; la foliación $k_2/k_3 = F$ (apéndice A).

Los resultados indican que las direcciones de k_1 son casi verticales. La fábrica es inversa y k_1 podría marcar la dirección del flujo –o bien los estados de esfuerzos durante el enfriamiento–, lo cual sería de esperarse en cuanto al sentido del flujo de un conducto volcánico o un dique vertical en la parte central de un aparato volcánico (figura 1.3, p. 32). En consecuencia, los datos señalan que el bloque muestreado fue la porción somera de un conducto volcánico dentro de un cono. Los reconocimientos geológicos sugieren que dicho cono era de dimensiones reducidas.

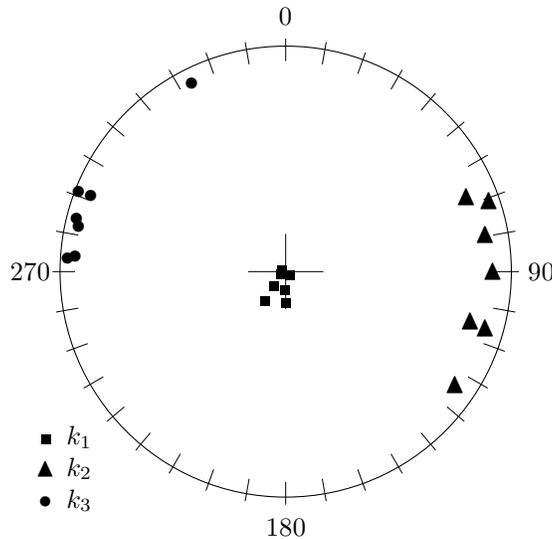


Figura 1.3. Gráfica de direcciones principales de susceptibilidad. La presencia de los valores de k_1 en el centro de la gráfica indica la dirección de flujo vertical.

Hay que hacer notar que en el flujo de lava horizontal la fábrica normal k_3 sería vertical y k_1 o k_2 paralelos a la dirección del flujo, lo cual indicaría la existencia de un derrame lávico. Por lo mismo, la hipótesis planteada se sustenta con solidez. Sin embargo, ciertos resultados de estas pruebas presentan anomalías. La anisotropía de susceptibilidad magnética tiene una fábrica dispersa y la dirección de magnetización remanente muestra valores muy al-

tos. Esto indicaría que los minerales de la roca han sufrido una alteración posterior.

Aunque la gráfica de desmagnetización por campos alternos muestra la magnetización de un solo componente estable y se ha determinado que el mineral predominante en las rocas estudiadas pertenece a la serie titanomagnetitas-magnetitas, como corresponde a lo esperado en estos basaltos, en opinión de Urrutia se requieren estudios más amplios para despejar las dudas, dada la inconsistencia de los resultados. En resumen, existen evidencias de un flujo vertical, pero es necesario estudiar la alteración posterior a la emisión, quizá ocasionada por el lahar que recubre el área.

Estudio magnético regional

El estudio de las variaciones del campo magnético en el terreno se propuso como una forma de complementar las observaciones de campo, ya que era una de las formas de estudiar las áreas entre las depresiones. Por otro lado, las anomalías magnéticas ya habían sugerido algunas cavidades y, gracias a su ayuda, también sería posible localizar diferencias en las propiedades de los materiales geológicos. Las lecturas se tomaron, en efecto, durante varias temporadas de trabajo en 1989. Se utilizó un magnetómetro Varian de vapor de cesio para campo total con el cual se recorrieron las veredas alrededor de donde se agrupan las depresiones, en el cuadrante noroeste de Teotihuacan.

En la mayoría de las líneas, las lecturas se hicieron cada dos metros y los recorridos se registraron sobre los mapas topográficos publicados por Millon (1973) [102]. Se registraron cerca de diez mil puntos mientras se trazaron sesenta y cinco líneas en el mapa. Se utilizó el programa Microsoft Excel 4.0 para graficar los datos dentro de una hoja de cálculo y se ajustó la escala de la impresión a la del mapa utilizado (apéndice B); todas las gráficas incluidas en este apéndice requieren sumar 42 000 gamas al eje de las ordenadas para obtener la lectura del campo total.

De esta manera, se logró dibujar cada línea magnética sobre el trazo del camino recorrido. Esta representación permite observar la forma de la anomalía magnética en el sitio donde el dato fue obtenido y asociarlo a otras informaciones obtenidas.

Los resultados vertidos en los mapas indican diferencias notables en las características magnéticas del terreno. De inmediato se aprecia que si bien las depresiones están alineadas entre ellas las características del terreno son disímiles. Esto es, si se tratara de diques basálticos, la respuesta magnética esperada sería continua, pero en este caso los resultados indican que son fenómenos más o menos independientes y concentrados. También se apreció que en las zonas donde hay afloramientos de basalto aumentan los valores de las lecturas magnéticas (figura 1.4, p. 34).

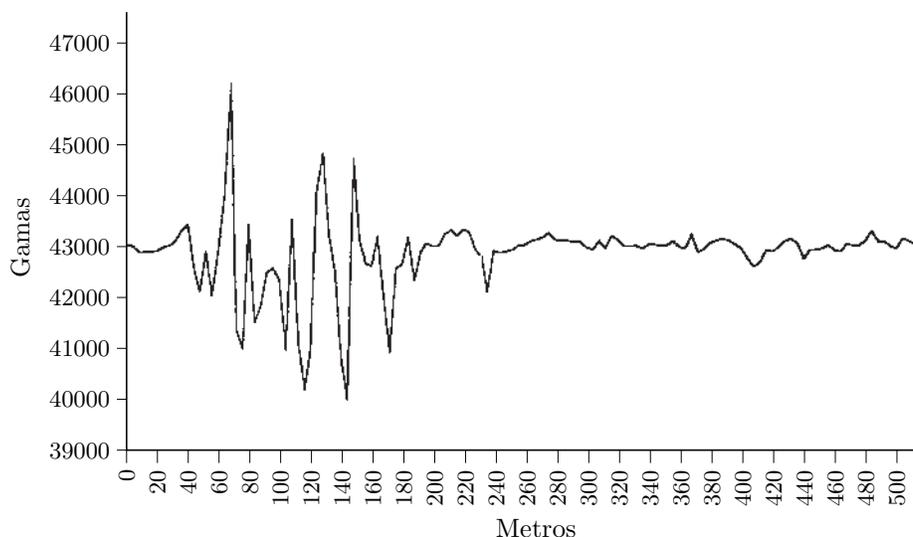


Figura 1.4. Gráfica de la línea magnética S, pueden apreciarse las grandes variaciones en la intensidad de campo magnético ocasionadas por la presencia del basalto entre 60 y 160 metros que contrastan con un sustrato más homogéneo de escoria y toba entre 200 y 500 metros, en esta línea trazada al este de la depresión 7.

Interpretación de líneas magnéticas

Para realizar esta etapa de interpretación de los datos magnéticos, se determinaron los valores máximos y mínimos obtenidos de las lecturas en todas las líneas y se estableció una sola escala para todas las gráficas. Con esto pudieron compararse entre sí, lo que permitió destacar las zonas donde se concentraba el basalto, esto es, las zonas con alta susceptibilidad magnética. En contraste, las líneas con pocas alteraciones se interpretaron como áreas con predominio de toba. Evidentemente entre estos dos extremos encontramos extensas áreas con mezclas de toba y tezontle manifestadas como variaciones magnéticas de poca amplitud pero constantes (figura 1.5, p. 35).

Sección Pirámide de la Luna

Las líneas magnéticas alrededor de las depresiones 4 y 5 casi no muestran variaciones y confirman que se trata de una zona con puntos concentrados de emisión que formaron zonas independientes, como se había mencionado en la interpretación de la forma de las depresiones.

Esta zona de bajos valores representa tobas que sólo se interrumpen merced a la pequeña anomalía cercana a la depresión 6, donde las concentraciones

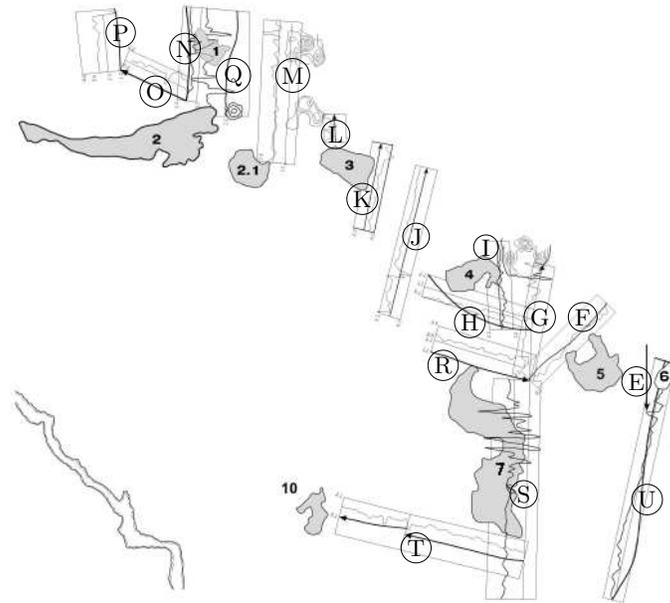


Figura 1.5. Mapa de localización de líneas magnéticas. Las líneas magnéticas del apéndice B se ubicaron en los lugares de adquisición de la información. Estas líneas siguen los caminos y veredas en la parte noroeste del actual sitio arqueológico. Puede apreciarse también la relación espacial entre las plazas de tres templos y las depresiones.

de basalto sugieren otra zona de emisión de magma. Éste parece ser el último punto de emisión de basalto en la fractura que proviene de Ozttoyahualco. A partir de la depresión 9.1 hasta la Plaza de Tres Templos, al este de la Pirámide de la Luna, los datos magnéticos sugieren la existencia de una zona de tobas y escorias sin afloramientos de basalto.

Sección Ozttoyahualco

En sus anomalías la línea Q coincide con la línea N y ambas con la presencia de la depresión 1. Las variaciones en las líneas P, N y M, sobre todo en la Q, muestran una trayectoria que sugiere a su vez la existencia de basalto emitido a lo largo de una fractura (figura 1.5, p. 35).

Parece ser que la depresión 1 pudo ser de exploración teotihuacana para buscar la trayectoria de escorias producidas por esta zona de emisión, y al no mostrar el rendimiento necesario, no continuó su explotación. Cuando se visitó el túnel en la esquina noreste de esta depresión, se descubrió que el tezontle se encuentra muy mezclado con la toba, lo que indica cierta distancia

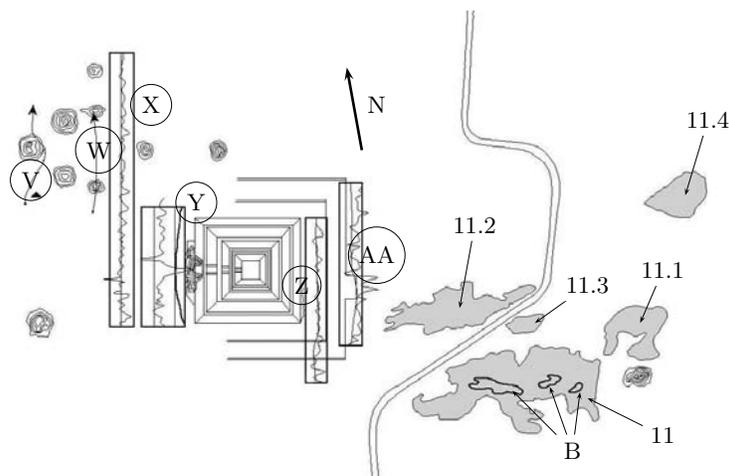


Figura 1.6. Mapa de líneas magnéticas en los alrededores de la Pirámide del Sol. Se incluyen las depresiones de la parte este del sitio.

del centro de emisión. La depresión 2, por su parte, es poco profunda y alargada, aun cuando es el único punto donde afloraba y era aprovechado el tezontle en tiempos teotihuacanos.

La importancia de este afloramiento se discutirá en la parte acerca de dicho material de construcción. Los túneles al oeste de la depresión 3 tienen gran cantidad de tezontle rojo fragmentado que lo hace muy útil como material constructivo.

Sección Depresión 9

La línea R tiene en su extremo este una variación importante, que debe estar relacionada con el afloramiento cercano de basalto. La línea S, en cambio, presenta las máximas anomalías al pasar encima de un afloramiento de basalto (figura 1.5, p. 35). La depresión 7 representa la explotación de la mitad oeste de este lugar de emisión. Pero la zona de emisión más importante es la depresión 9, complementada con la anterior (figura 1.1, p. 28).

En el espacio comprendido entre las depresiones 7, 8, 9 y 10 se ha explorado una extensa zona de largos túneles subterráneos, que indican que una gran acumulación de tezontle se encuentra en medio de dos de los centros de emisión más importantes. Los valores magnéticos presentan variaciones constantes de poca amplitud, lo que habla de una capa de escoria subterránea de alta susceptibilidad, pero fragmentada aleatoriamente, lo que no modifica sustancialmente el campo magnético total (líneas T, U, y sur de S).

Sección Pirámide del Sol

La línea V parece mostrar subestructuras o límites de plataformas de la zona de la Plaza de las Columnas. Estrechamente relacionada con la anterior la línea W muestra anomalías semejantes que no parecen bloques de basalto, aunque representan un cambio importante en el tipo de material involucrado. La zona alrededor de la Pirámide del Sol, por su parte, presenta cambios importantes que sugieren una gran variabilidad en las propiedades magnéticas del terreno (figura 1.6, p. 36).

Las anomalías mayores se aprecian justo en el centro de la base de la pirámide, sugieren la presencia de centros de emisión de magma debajo de la Pirámide del Sol. Chávez *et al.* (1988) [33], confirmaron la presencia de un bloque mayor de basalto colocado al frente de la plataforma adosada el cual fue interpretado con gran detalle mediante varios métodos. De la misma forma, los estudios geofísicos detallados realizados en la parte este de esta pirámide mostraron la presencia de pequeñas zonas de emisión aisladas y alineadas formando el puente de unión con las depresiones del grupo este (11 a 11.4).

Estudios eléctricos en la Pirámide de la Luna

La mayor parte de los estudios eléctricos se realizaron con el propósito de confirmar las anomalías magnéticas que sugerían la presencia de cavidades. Sin embargo, ciertos estudios eléctricos proporcionaron información sobre las capas más profundas en las cercanías de la Pirámide de la Luna. Los estudios superficiales destinados a la localización de cavidades permitieron producir mapas eléctricos y magnéticos útiles para el porvenir (Arzate *et al.*, 1990 [9]; Barba *et al.*, 1990 [12]). Para la realización de los estudios eléctricos profundos, se contrató a la compañía Investigaciones Geofísicas de México. Dichos estudios eléctricos consistieron en la realización de cinco líneas en forma de calicatas, dos líneas de corte polo-dipolo y trece sondeos eléctricos verticales alineados de forma que produjeran tres líneas próximas a la base de la Pirámide de la Luna (figura 1.7, p. 38).

Interpretación

Pseudosección 1

Con los sondeos eléctricos verticales (SEV) números 1 al 4, que utilizaron el arreglo Schlumberger, se formó la sección 1, en atención a las diferencias en resistividad eléctrica. Se identificaron tres capas:

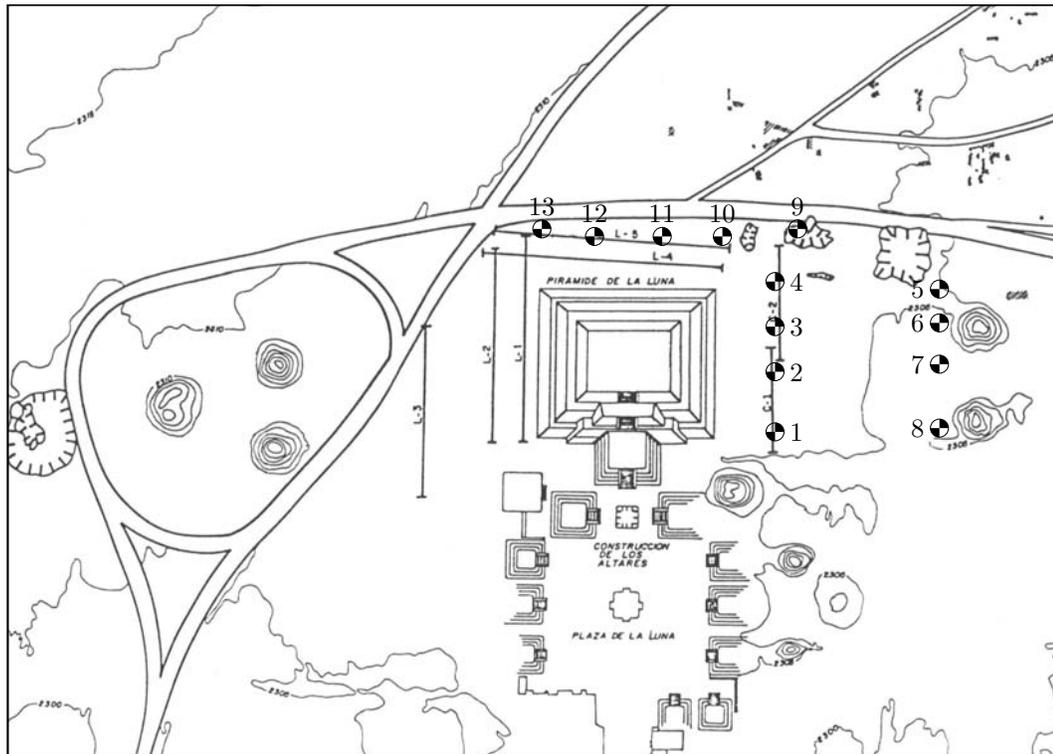


Figura 1.7. Mapa de localización de estudios de resistencia eléctrica; se muestran los puntos estudiados con sondeos eléctricos verticales (SEV) ● al este de la Pirámide de la Luna cuyos resultados se representan en forma detallada en la figura 1.8.

- Capa A. Valores menores de 500 ohmio-metros. Se constituye principalmente por materiales de relleno como el suelo (50 centímetros) y la toba (2 metros).
- Capa B. Con valores entre 34 y 64 ohmio-metros y constituida por el aglomerado de toba y tezontle. Su espesor es de 2 a 10 metros.
- Capa C. Muestra valores de 400 a 1900 ohmio-metros y un espesor de entre 10 y 20 metros. Está formada por basaltos. Se localizaron diques inclinados a la altura del límite norte de la base de la Pirámide de la Luna (figura 1.8, p. 39).

Pseudosección 2

Formada por los sondeos eléctricos verticales 5 al 8. Esta línea es paralela a la anterior y ambas se encuentran separadas alrededor de 50 metros. Las

METODOLOGÍA DEL TRABAJO DE CAMPO

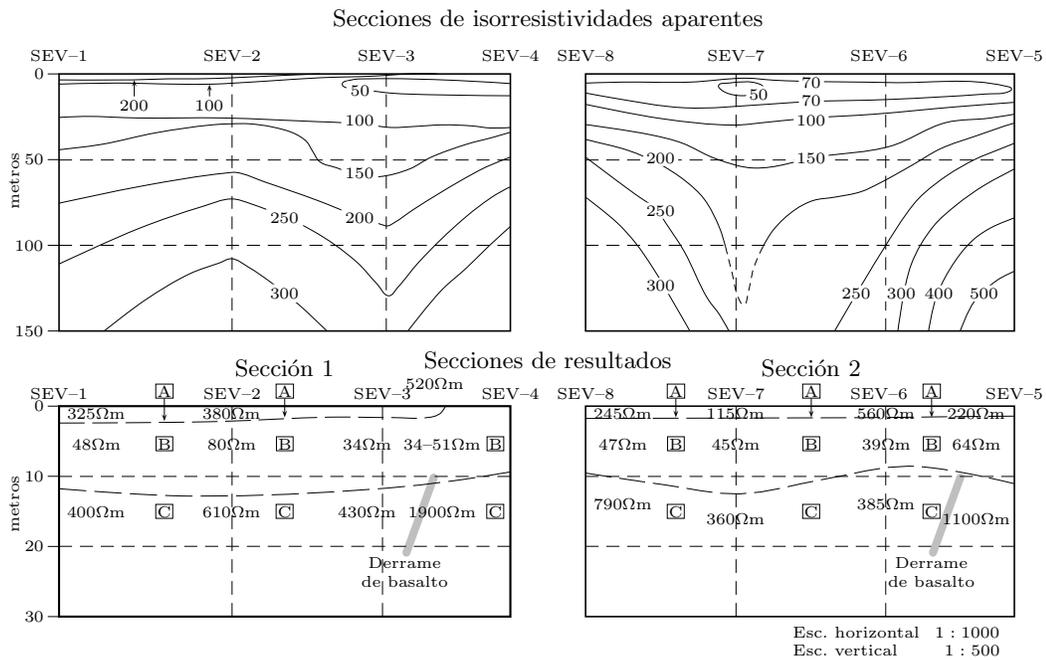


Figura 1.8. Gráficas de sondeos eléctricos verticales. Los ocho sondeos alineados se representan en forma de dos perfiles. La interpretación muestra la presencia de una zona inclinada con alta resistencia eléctrica que se ha interpretado como un derrame de basalto.

capas detectadas son muy semejantes y el dique mencionado reaparece en el mismo sitio que en la pseudosección 1.

Pseudosección 3

Esta sección está formada por los sondeos eléctricos verticales (SEV) del 9 al 13. Tiene una dirección perpendicular a las dos anteriores. El SEV 9 colinda con la Pseudosección 1. La Capa A es más delgada que las anteriores y en algunos puntos se pierde. En cambio la Capa B, aumenta de espesor y muestra menor resistividad. La Capa C manifiesta, por el contrario, menores valores de resistividad y sólo en el SEV 9 alcanzan los 700 ohmio-metros, lo que coincide con los diques mencionados en las pseudosecciones 1 y 2.

Esto sugiere que el cuerpo resistivo no continúa a lo largo de la cara norte de la pirámide.

Calicatas eléctricas

Este tipo de estudio eléctrico se practicó en los lados norte y oeste de la pirámide y se considera más superficial que las pseudosecciones. Sólo en el

oeste se apreciaron anomalías directamente asociadas con los restos de estructuras enterradas, lo que se asocia con la topografía.

Cortes Polo–Dipolo

Se encuentran sobre la misma trayectoria que la pseudosección 1. Ésta es otra forma de acomodo de los electrodos que confirman los trabajos anteriores. A simple vista se aprecian cuatro inflexiones en las cotas dibujadas. Son pequeñas, pero pueden ser interpretables si se relacionan con otras líneas eléctricas practicadas en la misma zona y con los datos magnéticos recogidos en el área (Arzate *et al.* 1990) [9].

Perforación de núcleos

En los lugares donde se obtuvieron anomalías que, en su momento, fueron interpretadas como cavidades subterráneas, se practicaron perforaciones de verificación. (Estas perforaciones se hicieron en colaboración con Linda Manzanilla como parte de los trabajos del proyecto “Túneles y cuevas”.) En Teotihuacan se utilizó una nucleadora Black and Decker Trico con broca de diámetro interior de 7 centímetros y exterior de 8.7 centímetros (figura 1.9, p. 40).



Figura 1.9. Equipo de perforación empleado; el diámetro interior de la broca es de 7 cm, llega hasta 9 m de profundidad al unir tramos roscados de 45 cm.

El equipo completo consta de un generador eléctrico, una bomba hidráulica de un cuarto de caballo de fuerza y mangueras. Puede perforar hasta diez metros uniendo tramos roscados de 45 centímetros. Las barrenas tienen filos de polvo de diamante; puesto que son huecas, recuperan en su interior el material perforado, sobre todo cuando atraviesan materiales consolidados. En algunas ocasiones, el núcleo recuperado midió seis metros de longitud.

La representación gráfica del material obtenido en forma de columnas respeta su altura topográfica en el terreno y muestra las capas perforadas en cada caso, lo que permite complementar la información obtenida por medios eléctricos (figura 1.8, p. 39).

Interpretación de los resultados de la perforación

Sección Pirámide de la Luna

La posición de las perforaciones, que se explican a continuación, está representada en la figura 1.10, p. 42.

Perforación A. Debajo de un metro de suelo mezclado con piedra de derrumbe, se presentan tobas bandeadas en forma diagonal y con capas arenosas. Los perfiles de las perforaciones A a C se muestran en la figura 1.11, p. 43.

Perforación B. En esta perforación puede apreciarse un fuerte desnivel de más de dos metros relleno con sedimentos, el cual podría interpretarse como un depósito excavado, pues en la superficie actual se percibe una ligera depresión. Pero más interesante es la presencia a cuatro metros de cantos rodados. Éstos pueden ser consecuencia de la fricción generada en el contacto entre el paleosuelo y el flujo de lodo que formó la toba. A seis metros acaso existen indicios de la parte superior de un flujo de basalto dada la existencia de vesículas en el fragmento recuperado. Este flujo podría ser parte de los afloramientos encontrados 500 metros al norte, en el arroyo Piedras Negras y que provienen de los derrames del estrato-volcán Cerro Gordo. También se relaciona con la interpretación eléctrica que localiza un dique inclinado aproximadamente a 10 m de profundidad entre los sondeos eléctricos verticales SEV 3-4 y SEV 5-6.

Perforación C. Muestra la presencia de tobas bandeadas como en la perforación A y de los gujarros o cantos rodados como en la B (figura 1.13, p. 45). Un estudio reciente muestra tres capas en el radargrama (figura 1.12, p. 44) la primera es la capa de toba volcánica o tepetate, la capa intermedia más clara es la de escoria volcánica o tezontle, y la capa oscura del fondo es basalto, lo que coincide con los estudios eléctricos y las perforaciones.

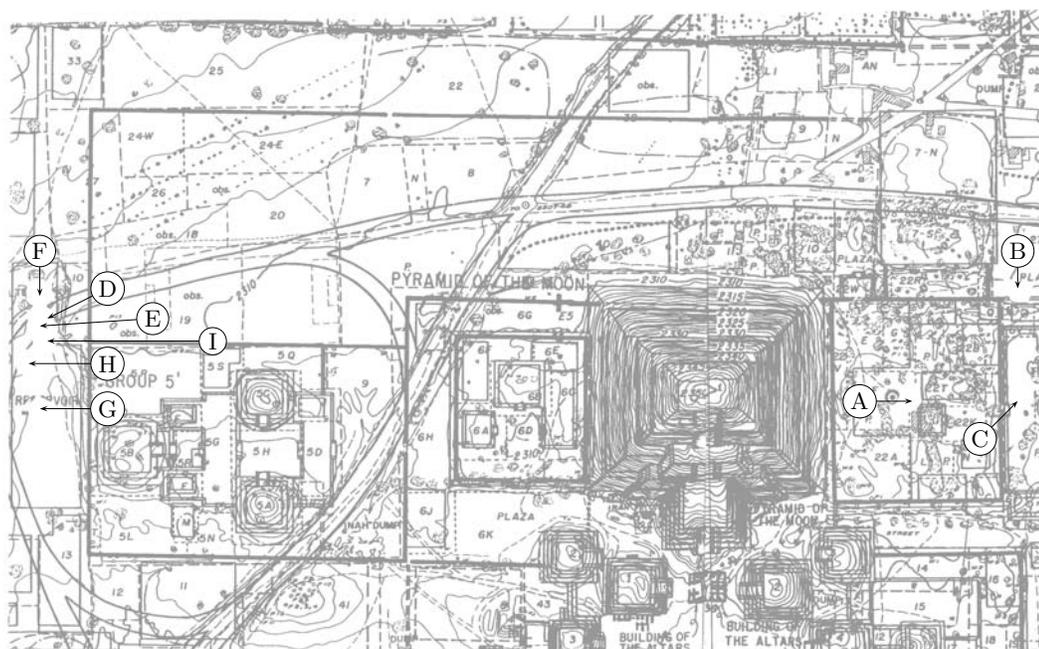


Figura 1.10. Mapas de localización de perforaciones al este y al oeste de la Pirámide de la Luna. Incluye las perforaciones de la A a la I.

Sección de la Depresión 9.1

Los perfiles de las perforaciones al oeste de la pirámide de la Luna se presentan en la figura 1.14, p. 46.

Las perforaciones D y E se realizaron sobre el relleno del camino al norte de la depresión 9.1, con la finalidad de verificar fuertes anomalías magnéticas. Como consecuencia, se presenta más de un metro de piedras de relleno en el núcleo recuperado. Debajo se encontraron los sedimentos arcillosos propios del fondo de esta depresión depositados sobre basaltos tal vez relacionados con los de la depresión 6.

De la perforación H puede deducirse que en esta depresión no quedan restos del techo de una cámara, así que debieron aprovechar toda la toba como material constructivo, dejando una oquedad en lo que antes fue una zona relativamente plana, quizá para que sirviera como depósito de agua, como señala Millon (1973) [102], pues en este lugar no hubo aprovechamiento de escoria (tezontle). Los bajos valores magnéticos en las líneas A y C reflejan las propiedades de los materiales debajo de la toba. Ésta es una zona donde la capa de escoria volcánica no se presentó, como lo muestran las perforaciones G, H e I, aunque cabe la posibilidad de que se encuentre a mayor profundidad.

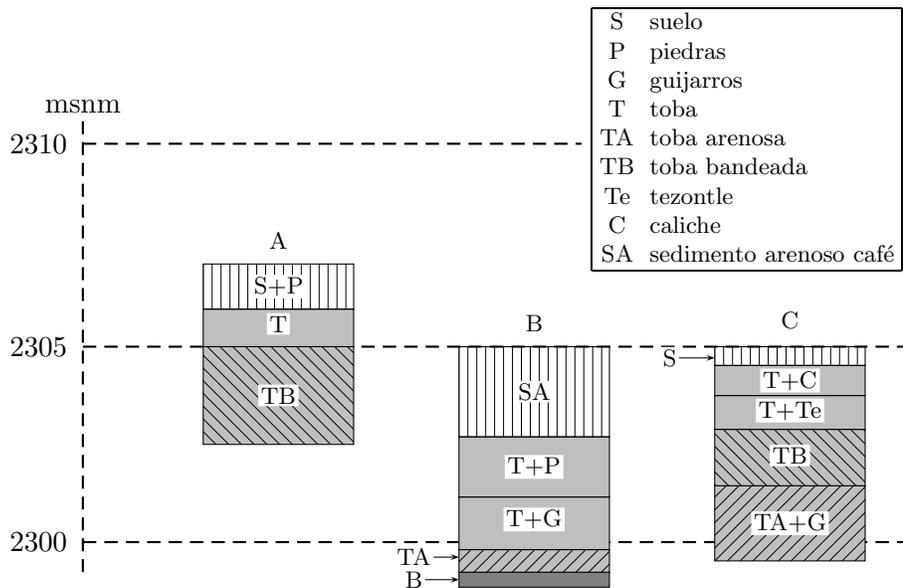


Figura 1.11. Perfiles de las perforaciones al este de la pirámide de la Luna. Estas representaciones muestran el perfil reconstruido a partir de los materiales recuperados durante las perforaciones.

Llama la atención que en esta zona, al norte de la Depresión 9.1, se aprecia un espesor somero de toba y que aparecen basaltos en la parte más profunda de las perforaciones D, E y F. La Perforación F se realizó al pie de un montículo, por lo cual en la parte superior del núcleo se encontró piedra de derrumbe. La mezcla de fragmentos de tezontle y basalto cementados con toba, muestra una zona de contacto entre fragmentos móviles de escoria y el flujo de lodo. En las perforaciones realizadas en el fondo de esta depresión fue constante la presencia de cuando menos un metro de espesor de sedimentos arcillosos, debajo de los cuales se presentan más de dos metros de tobas bien consolidadas.

La figura 1.15, p. 47 muestra los materiales recuperados de las perforaciones E y F entre los que predominan los bloques de toba mezclada con tezontle y los basaltos.

Este contraste de materiales indica que entre estas dos zonas de perforación se encuentra el límite de los basaltos y escorias, y que ya en el centro de la depresión y hacia el sur sólo tenemos tobas. Como en el lado este de

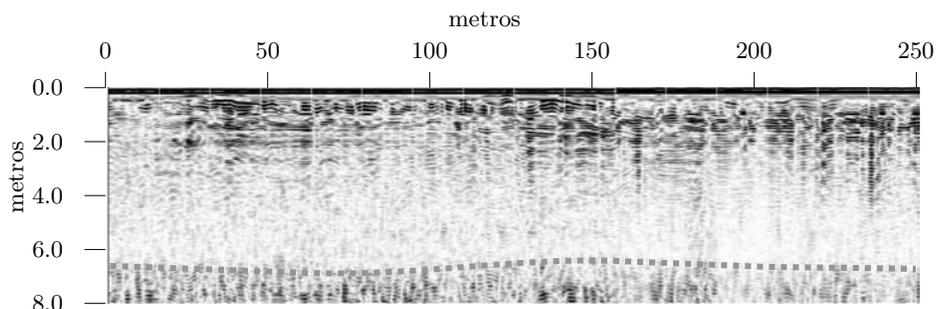


Figura 1.12. Radargrama Xalla (200 MHz), muestra tres capas, la superior es la de toba volcánica o tepetate (0-2m), la intermedia (más clara) es escoria volcánica o tezontle (2-6m); la tercera capa (oscura) es basalto (> 6m).

la Pirámide de la Luna, en la Perforación H los cantos rodados semejantes a los encontrados en la Perforación B, pueden representar la capa de contacto entre el paleosuelo y el flujo de lodo. Es notable también, en los materiales recuperados de esta zona, la escasa presencia de tezontle, lo cual refleja la ausencia de puntos de emisión de magma cercanos.

Sección Pirámide del Sol

Las tres perforaciones, J a L, cuya ubicación se muestra en la figura 1.16, p. 48, se efectuaron con el propósito de conocer el origen de unas anomalías, magnética y eléctrica, detectadas durante los estudios geofísicos.

Las interpretaciones geofísicas sugirieron la presencia de un bloque de basalto rodeado por material de menor susceptibilidad magnética. Las perforaciones permitieron comprobar que el máximo magnético correspondía a un bloque de basalto (J) (figura 1.17, p. 49), mientras que a ambos lados se obtenían valores magnéticos menores asociados a una acumulación de escoria no consolidada (Chávez *et al.* 1988) [33]. Este modelo fue aplicado a otros casos y facilitó la interpretación de otras anomalías magnéticas.

Otras tres perforaciones (M, N, P), cuya ubicación se muestra en la figura 1.16, p. 48, se practicaron para verificar la presencia de una posible cavidad en las cercanías de adoratorio al este de la plataforma perimetral de la Pirámide del Sol. Los perfiles de estas tres perforaciones se muestran en la figura 1.18, p. 50.

Es claro que los bajos valores magnéticos fueron consecuencia de la suma de los efectos producidos por la toba y la escoria y que no existió la cavidad.

En estas perforaciones muy próximas entre sí se pudo apreciar que la secuencia de las capas era consistente. Principalmente se trata de una capa superficial de suelo seguida por una capa de toba de aproximadamente dos metros de espesor, debajo de la cual se encuentra una capa de transición en

INTERPRETACIÓN DE DATOS GEOLÓGICOS

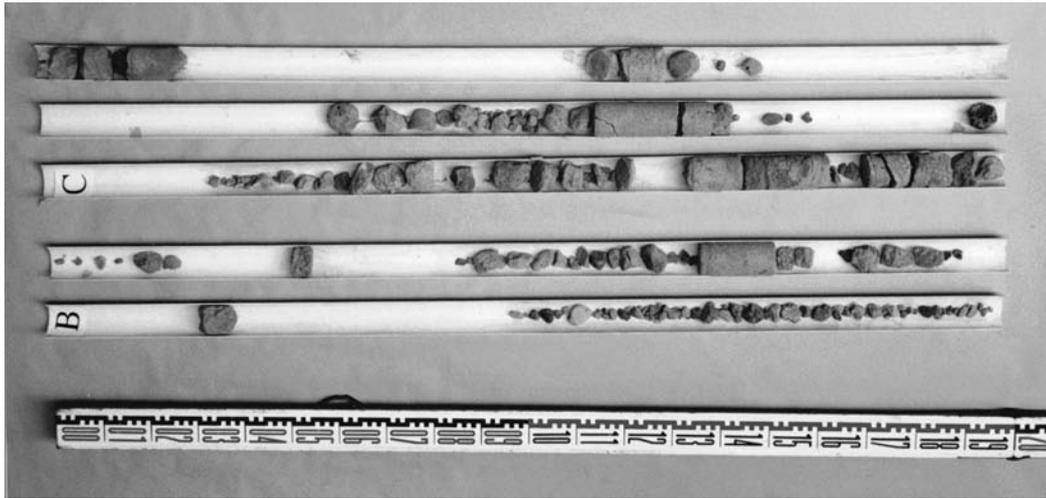


Figura 1.13. Presencia de cantos rodados en los cilindros obtenidos en las perforaciones B y C al este de la Pirámide de la Luna.

la que la toba y el tezontle se mezclan y varían en proporciones y consistencia siendo el tezontle el material predominante. Al fondo de las perforaciones M y N, por otro lado, se localizaron fragmentos de basalto a más de tres metros de profundidad.

INTERPRETACIÓN DE DATOS GEOLÓGICOS

Gracias a la asesoría de especialistas en geología y geomorfología, se aclararon los fenómenos involucrados en la formación geológica de la zona. Como se ha mencionado, en un principio no se contaba con una explicación satisfactoria de la presencia de bombas volcánicas en las paredes de los túneles, ya que su buen estado de conservación y las grandes dimensiones de algunas de ellas indicaban que no podían haber sido transportadas, sino que, por el contrario, se encontraban muy cerca del lugar de emisión, lo que contrastaba con los guijarros encontrados en las perforaciones.

Se propuso, entonces, que los restos de los lugares de emisión se mostraban ante nuestros ojos en forma de macizos de basalto y que el resto de la estructura volcánica asociada había sido removida por el trabajo de extracción de tezontle. En las depresiones más extensas, las concentraciones de basalto que permanecen en su centro muestran una tendencia a alargarse y alinearse del este al oeste. Esto nos indicó que en el caso de las depresiones 2, 9 y 11 no se trata de un centro de emisión simple, sino más bien de una fisura de donde

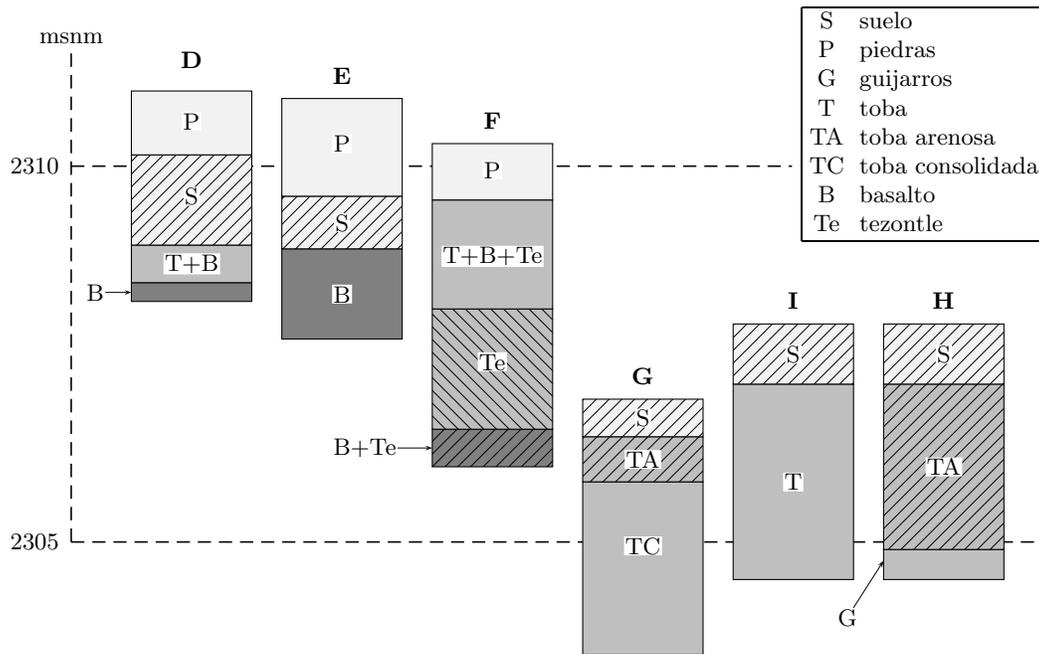


Figura 1.14. Perfiles de las perforaciones al oeste de la pirámide de la Luna. Estas representaciones muestran el perfil reconstruido a partir de los materiales recuperados durante las perforaciones.

emanó la lava. De esta fisura quedan los bloques que formaron parte de los canales de salida. Todo el espacio vacante, que ahora forma las depresiones, debió haber estado ocupado por la escoria volcánica. En las paredes de las actuales depresiones puede apreciarse efectivamente la existencia de restos de esta escoria, además de mucha toba volcánica. Ésta representa lo que ya no formó parte del montículo de escoria y provino del flujo de lodo que los cubrió posteriormente (figura 1.19, p. 51).

No obstante el recubrimiento posterior de toba, algo debió aflorar en la superficie como indicador de la presencia de las escorias, ya que los teotihuacanos las reconocieron y aprovecharon (Sotomayor 1968) [141]. Ahora es evidente que éstos utilizaron preferentemente tres materiales volcánicos presentes en el área: el tezontle, la toba y el basalto. Aunque existen andesitas, su proporción es comparativamente menor. En cuanto a la toba, no tuvieron dificultad para encontrarla pues es omnipresente y aflora en muchos puntos. El basalto puede encontrarse en pequeños fragmentos sobre la superficie, pero

INTERPRETACIÓN DE DATOS MAGNÉTICOS

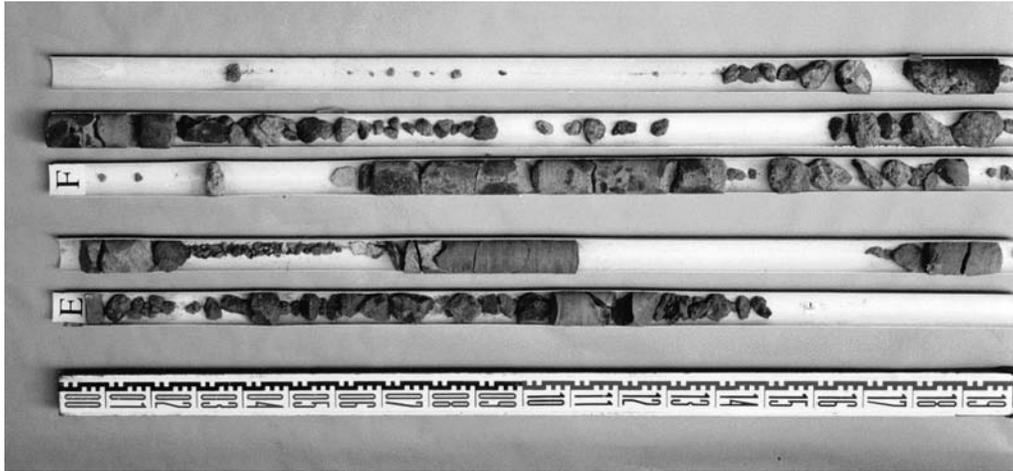


Figura 1.15. Materiales obtenidos en las perforaciones E y F al oeste de la Pirámide la Luna.

principalmente aparece formando grandes macizos prácticamente imposibles de aprovechar en tiempos teotihuacanos.

Una forma de basalto en lajas proveniente de las faldas del Cerro Gordo se utilizó para sostener las cornisas de los tableros teotihuacanos y se han denominado “ixtapaltetes”. Debe considerarse que muy poca de la escoria que formó los montículos debió mostrarse a los teotihuacanos y, sin embargo, éste fue uno de los materiales más explotados para la construcción, toda vez que combina su disponibilidad, una gran resistencia mecánica y una baja densidad, propiedades especialmente útiles en las construcciones masivas de Teotihuacan.

INTERPRETACIÓN DE DATOS MAGNÉTICOS

Los estudios magnéticos regionales mostraron notables diferencias en el comportamiento del terreno. Esto, sin duda, refleja la existencia subterránea de los materiales que hemos discutido anteriormente. Ahora sabemos que en la parte noroeste de la ciudad se concentra la mayor parte de las depresiones; sólo unas cuantas pueden verse en el sector este, pero por razones geológicas, estas depresiones no pueden existir en la parte sur de la ciudad.

Observamos que las variaciones por encima de tres mil gamas están relacionadas con la presencia de afloramientos de basalto. En los alrededores de la depresión 2 se manifiestan estas grandes variaciones. Lo mismo ocurre en las cercanías de la depresión 5, pero la más evidente de las asociaciones entre

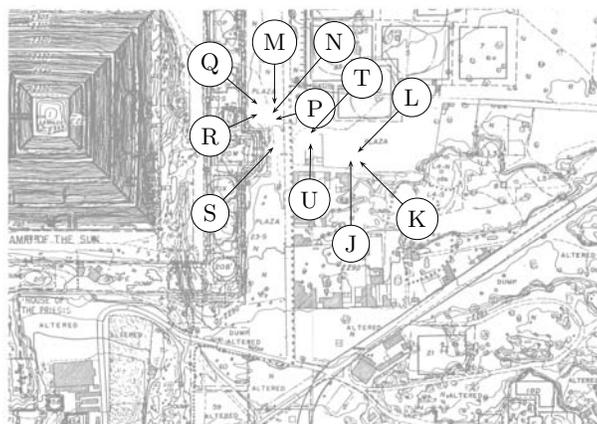


Figura 1.16. Mapa de localización de perforaciones al este de la Pirámide del Sol. Incluye las perforaciones de la J a la U.

altos valores magnéticos y basalto se encuentra en el afloramiento localizado al este de la Depresión 7. Así, todo parece indicar que en la zona de Ozttoyahualco se tienen dos fracturas principales que han producido dos zonas de emisión y que en algunos puntos las líneas magnéticas las han detectado (figura 1.4, p. 34).

Otro aspecto relacionado es que la línea magnética practicada sobre la Calle de los Muertos, frente a la Ciudadela, muestra propiedades magnéticas totalmente distintas a las practicadas en la parte norte de la ciudad, donde se encuentran las depresiones, y se observan variaciones bruscas de las propiedades magnéticas. En la parte sur, donde no hay depresiones, las bajas lecturas magnéticas son muy homogéneas. A partir de esta información, puede concluirse que el cauce del río San Juan es una línea que coincide con la división de un ambiente de rocas magnéticas extrusivas hacia el norte, en tanto que al sur se encuentra una capa de tobas homogéneas cubiertas con sedimentos recientes (figura 1.20, p. 52).

En algunos casos, cuando el medio circundante es homogéneo, una anomalía magnética de bajos valores sugiere la presencia de túneles. Pero en el caso de Teotihuacan, donde se tienen variaciones muy bruscas, ha sido imposible diferenciar la señal producida por las cavidades subterráneas. En conclusión, después de los estudios realizados, la interpretación de Mooser (1968) [105] presenta las siguientes modificaciones: no se trata de un derrame basáltico sino de un flujo de lodo caliente; evidentemente dos zonas de fracturamiento atraviesan esta parte del valle: la primera corre desde la zona de Ozttoyahualco y llega muy cerca de la Pirámide de la Luna. Para extraer

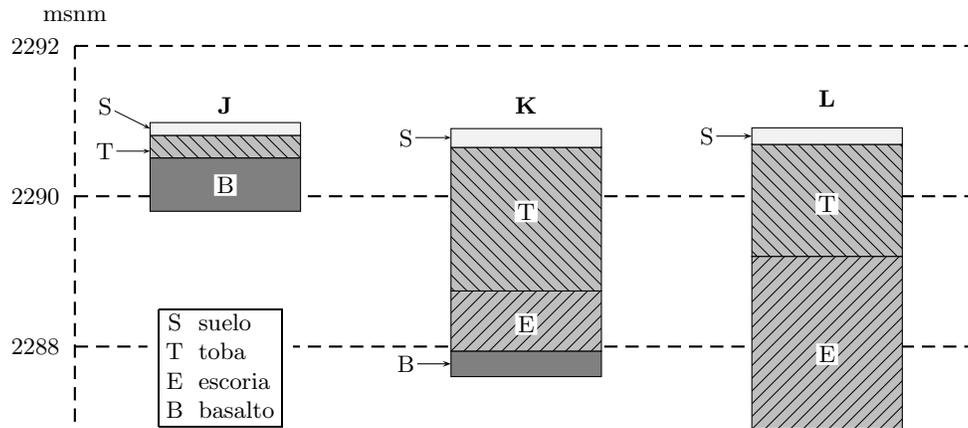


Figura 1.17. Perfiles de las perforaciones J, K y L al Este de la pirámide del Sol. Estas representaciones muestran el perfil reconstruido a partir de los materiales recuperados durante las perforaciones de un punto de emisión (N120, E100) en la figura 1.21.

el material piroclástico producido (tezontle), los teotihuacanos excavaron las depresiones 1, 2, 2.1, 3, 4, 5 y 6 (figura 1.1, p. 28). La segunda zona de fracturamiento se encuentra a la altura de la Pirámide del Sol y va desde la depresión 9 a la 11 e incluye las depresiones 8, 9, 10, 11, 11.1, 11.2, 11.3, 11.4 (figura 1.1, p. 28). El material piroclástico acumulado alrededor de los puntos de emisión fue ocultado por el lahar (lodo caliente) que recubrió toda la zona.

Considerando que el único punto en que pudo haber estado disponible el tezontle en tiempos teotihuacanos fue el límite sur de la depresión 2 –que en esta zona muestra un desnivel de 20 metros y que en la fotografía aérea se aprecia con claridad la desviación del flujo de lodo–, se propone la presencia de un gran montículo alargado de tezontle que impidió el paso del flujo de toba. Este montículo terminó en la depresión 3, aunque tiene su continuación en forma de puntos de emisión que formaron pequeños conos que ahora aparecen como depresiones alineadas. Los datos magnéticos entre ellas no muestran continuidad en las propiedades magnéticas. Además, la forma que ha dejado la extracción del material en las depresiones 4 y 5, claramente habla de un cono de escoria que alguna vez rodeó el centro de emisión.

Por otro lado, la zona de fracturamiento al sur ha dado lugar a las depresiones más extensas, la 9 y la 11. Ambas tienen un claro alargamiento este-oeste. Ambas presentan grandes bloques de basalto residual en el centro

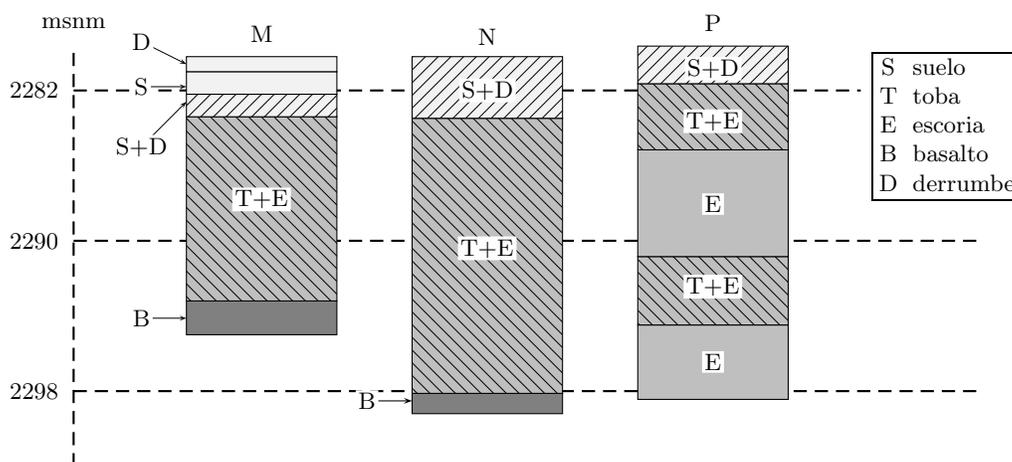


Figura 1.18. Perfiles de las perforaciones M, N y P. Estas representaciones muestran el perfil reconstruido a partir de los materiales recuperados durante las perforaciones.

de los espacios vacíos. Se incluyen en esta zona las depresiones 8 y 10. Ahora bien, el caso de la depresión 7 puede considerarse como un punto de emisión aislado entre las dos grandes fracturas.

En el espacio entre estas grandes depresiones, 9 y 11, se encuentra la Pirámide del Sol y su túnel. Nuestras últimas observaciones permiten proponer que no se trata de una cavidad natural, sino por el contrario, es un túnel excavado en la escoria, como es el caso del resto de las cámaras y túneles estudiados en la región. La diferencia es que se trata de un túnel recto, largo y estrecho y de una cámara sin pilares que, considerando el peso que soporta, parece muy amplia.

En la parte este de la Pirámide del Sol se tiene un terreno sin estructuras registradas en los planos de Millon (mapas 45 y 46). Lo mismo ocurre en el área de los estacionamientos al frente de la pirámide (mapa 44). El estudio magnético detallado, realizado en la parte este de la pirámide, con una malla de 2 por 2 metros (figura 1.21, p. 53) ha mostrado, entre otras cosas, que nuevamente no se trata de un dique continuo sino más bien de un alineamiento discontinuo en el cual existen puntos de emisión concentrada. El mapa magnético muestra tres picos alineados donde existe basalto, lo cual fue verificado con perforaciones.

Entre estos puntos de emisión se encuentran zonas de acumulación de escorias que muestran valores magnéticos más homogéneos.

Este espacio tiene relación con la depresión 11.2 que se encuentra inmediatamente al este (figura 1.1, p. 28).

DISCUSIÓN GENERAL DE RESULTADOS

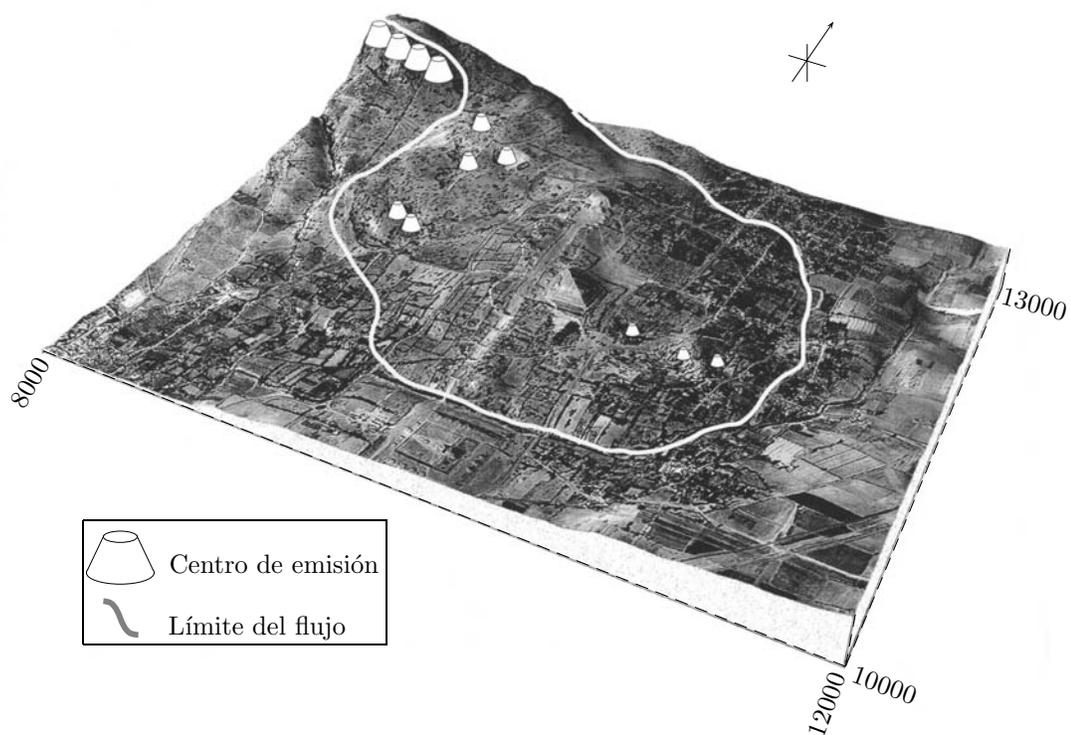


Figura 1.19. Mapa de interpretación de eventos volcánicos. Esta imagen muestra la foto aérea superpuesta a la topografía del terreno. Sobre ella se marca con línea blanca el límite del flujo de lodo caliente y con conos truncados la localización de los centros de emisión de escorias (modelo producido por Karl Link).

DISCUSIÓN GENERAL DE RESULTADOS

Los resultados mostrados anteriormente permiten entender la evolución de un área donde la actividad de fisuras y centros de emisión liberó la lava que ahora vemos solidificada como roca basáltica. La erupción produjo bombas volcánicas y escorias que formaron conos y montículos alargados. Por otro lado, en varios eventos se obtuvieron coladas de basalto y capas de escoria alternados en la base del Cerro Gordo. Pero todo esto no es aparente porque está cubierto por una capa superficial de toba amarillenta que ha suavizado el relieve y ha disimulado la existencia de estos materiales. Tomó algún tiempo entender esto ya que tuvieron que reunirse muchos elementos aportados por el trabajo de distintas personas (Mooser 1968 [105]; Milán 1990 [98]), pero en

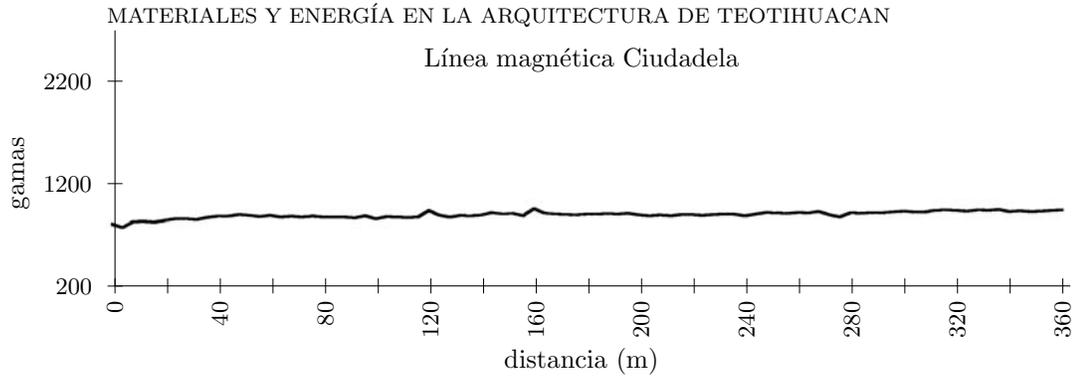


Figura 1.20. Línea magnética al frente de la Ciudadela. Esta línea muestra los valores de intensidad de campo magnético obtenidos al recorrer la Calle de los Muertos de norte a sur frente a la Ciudadela. Estos valores contrastan con el resto de las líneas magnéticas y demuestran que la geología de esta parte es distinta de la encontrada al norte del río San Juan.

este momento se puede decir que hay evidencia de que existieron dos fracturas principales que formaron zonas de emisión alargadas.

Los materiales producidos por estos eventos fueron el basalto gris oscuro, denso, que quedó solidificado en los conductos de emisión, el tezontle que formó todos los montículos de escoria asociados a los conductos de emisión. Esto también se manifiesta en el mapa magnético tomado al este de la Pirámide del Sol, en donde se probó que los altos valores de las lecturas correspondieron a bloques de basalto. Aquí vale la pena aclarar que no se trata de conos cineríticos porque no alcanzaron las dimensiones de un cono pequeño y tampoco se trata de material homogéneo dispuesto en capas. Se trata de fracturas en las que el material emitido produjo escorias con muy distintos tamaños, desde bombas de casi dos metros hasta gravas de 1 centímetro de diámetro no consolidadas. El material encontrado presenta todos sus bordes y aristas sin redondeamiento, lo que garantiza que no ha sido transportado. Finalmente, se encuentra la capa de toba que recubre todo el terreno y forma el piso actual (figura 1.19, p. 51).

El estudio estereoscópico de las fotografías aéreas de esta zona permite apreciar diferencias notables en el relieve del terreno en forma de lóbulos. Se tiene la impresión inmediata de que se trata de un flujo que forma frentes semicirculares y que recorrió un camino sin obstáculos. Sin embargo, todo indica que en la zona de Oztoyahualco, en la Depresión 2, el montículo alargado formó una barrera y desvió el flujo de lodo caliente, mientras que en las depresiones 9 y 11, donde también se hallaron montículos alargados, éstos fueron rebasados y el flujo se extendió cuando menos hasta el río San Juan.

Es posible que la temperatura de este flujo sea lo que esté modificando las propiedades magnéticas de las muestras de basalto analizadas. Puede apreciarse que los actuales arroyos corren exactamente en los límites del flujo.

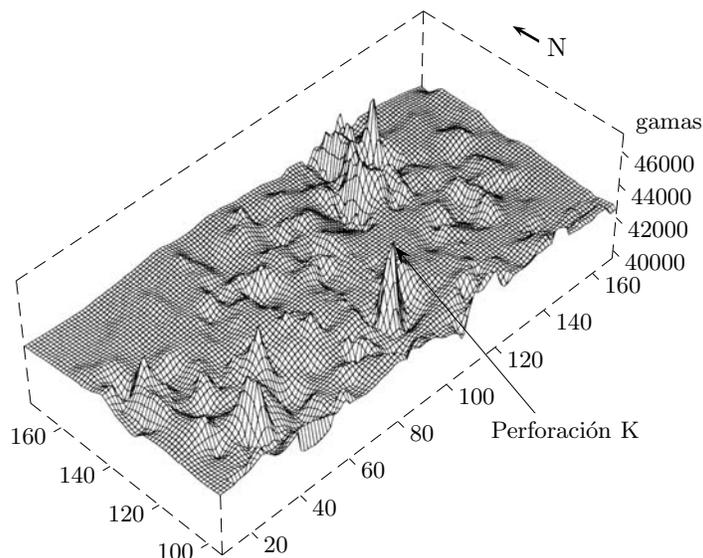


Figura 1.21. Retícula magnética al este de la Pirámide del Sol. Esta retícula se formó adquiriendo valores de campo total cada dos metros. Los picos muestran la presencia de bloques de basalto que corresponden a pequeños centros de emisión como el verificado con perforaciones en la figura 1.17.

En todos los casos, los arroyos debieron haber tenido una trayectoria más recta, pero la presencia del material tobáceo del flujo desvió los cauces. Aunque al sur del río San Juan se hallaron tobas, parecen provenientes de otro flujo y corresponden a otro contexto geológico. Los datos magnéticos obtenidos sobre la Calle de los Muertos, frente a la Ciudadela (figura 1.20, p. 52), muestran consistentemente valores bajos, lo que los diferencia del resto de los datos magnéticos al norte del río. Los datos interpretados hasta el momento indican la presencia de zonas perfectamente definidas de basaltos que se evidencian por variaciones bruscas de los datos magnéticos y, en algunas ocasiones, por el afloramiento del material. Las escorias son difíciles de encontrar actualmente ya que han sido extraídas y los vacíos dejados son lo único que se aprecia (figura 1.21, p. 53).

Sin embargo, en ciertas paredes dentro de las depresiones todavía pueden verse estas escorias. Tampoco existen tobas en la zona de las depresiones, aun cuando siguen formando las paredes y el techo de muchos de los túneles.

En relación con el túnel debajo de la Pirámide del Sol, autores como Heyden (1975) [68], Millon (1981) [103], y López Austin (1989) [82] han destacado la sacralidad de este lugar. Todos ellos han partido del supuesto de que se trataba de una cueva natural. En el mismo sentido Millon (1993: 22) [104] menciona que las cuevas son tubos de lava en asociación con escoria volcánica,

que la escoria fue excavada para formar parte del concreto teotihuacano y que la cueva debió ser limpiada para convertirla en un lugar sagrado, tema que será desarrollado en el capítulo 2 “Materiales volcánicos de construcción”.

En este momento ya no puede sostenerse el origen natural de esta cueva y debe incorporarse a la discusión el hecho de que se trata de un túnel excavado deliberadamente, y que pudo realizarse en cualquier parte de la base de la pirámide. Las condiciones geológicas eran favorables, poseían la tecnología para realizarla y, seguramente, tenían una razón importante para excavarlo a un lado de la plataforma adosada.

Aun sin poder precisar la fecha en que se excava el túnel, sí puede ubicarse en un momento constructivo definido. Como se discute más adelante, el primer material utilizado fue el suelo superficial para formar el cuerpo de la pirámide del Sol. Poco después hubo necesidad de obtener piedra y para esto se desarrolló la tecnología de excavación de túneles para obtener bloques de escoria. Con esta experiencia ya es posible excavar un túnel recto, orientado en el centro de la base de la Pirámide.

Por lo anterior, es probable que el túnel se haya excavado cuando se tuvo muy adelantada la construcción de la pirámide del Sol, tan es así que ya existía la plataforma adosada, puesto que la entrada al túnel y a la cámara está fuera de ésta. Según la figura 3.7, p. 106, la plataforma adosada se construye en la fase Tlamimilolpa, 250 dC, fecha probable para hacer coincidir la disponibilidad tecnológica y la necesidad de excavar el túnel.

Uno de los contactos más importantes entre la toba y la escoria de cuantos se han conocido hasta el momento en Teotihuacan es el localizado en el interior de la cámara tetralobulada debajo de la Pirámide del Sol. En una de las visitas efectuadas como parte de los trabajos del proyecto “Túneles y Cuevas”, se verificó una observación anterior acerca de un contacto geológico en esta cámara. Millon (1981: 234) [103] aseveró que la cámara tenía techo de “tepetate”, lo cual no es del todo correcto, pues sólo la mitad norte de la cámara lo muestra, mientras que la parte sur presenta un techo de escoria volcánica mezclada con toba (figura 1.22, p. 55).

Mas aún, se percibe el contacto inclinado que baja hacia el norte. Se trata de un contacto con un ángulo de 20 grados a partir de la horizontal, que muestra nuevamente cómo la toba de un evento posterior cubre un talud de escoria volcánica. Esta evidencia apoya la interpretación de que el túnel debajo de la Pirámide del Sol no es una cueva natural, sino que se trata de una excavación intencional en dos materiales distintos. Con la información acumulada hasta el momento, puede asegurarse que no existe ningún proceso de formación natural que pueda explicar la presencia de una cavidad en este lugar y, en cambio, existe una gran semejanza con las técnicas de excavación encontradas en el resto de las cámaras y túneles de la zona. Otro detalle

DISCUSIÓN GENERAL DE RESULTADOS



Figura 1.22. Techo de toba con escoria volcánica mezclada en la parte inferior del contacto señalado.

importante es que normalmente todas las demás cuevas estudiadas han sido excavadas en tezontle, pero la cámara tetralobulada intruye la capa de toba, lo que la distingue. Esto no resta sacralidad a la cueva, aunque le quita el carácter natural.

La ubicación de la ciudad puede obedecer a muchos factores; uno de ellos, sin duda, es la disponibilidad de los materiales de construcción: toba, tezontle, basalto (capítulo 2).

Resaltemos que en el valle existen otros lugares donde puede encontrarse el mismo tipo de tezontle, por ejemplo, Oztoticpac, pero Teotihuacan es el único en que, al norte, se encuentra un gran cerro, el Cerro Gordo. Ningún otro lugar dentro del valle y con la misma disponibilidad de material puede tener un cerro de estas dimensiones al norte, lo que debe considerarse en relación con el culto a los cerros.

Capítulo 2

Materiales volcánicos de construcción

Allí también se enterraban los principales señores, sobre cuyas sepulturas se mandaban a hacer túmulos de tierra, que hoy se ven todavía y aparecen como montecillos hechos a mano; y aún se ven todavía los hoyos donde sacaron la piedra.

Sahagún *ca.* 1570.

Como argumentan Arnold y Ford, (1980) [8], el poder social puede ser mejor estimado a través de la comparación de la energía total invertida en la arquitectura. La arquitectura pública (Price 1984) [120] debió servir para atraer el trabajo de los individuos provenientes de pequeñas comunidades y otras unidades políticas que presumiblemente esperan mejorar su calidad de vida incorporándose ellos mismos a una política que controla gran cantidad de recursos, mismos que la política puede darse el lujo de gastar en arquitectura.

En la etapa de consolidación teotihuacana hay mayor intercambio con las zonas de influencia externas de la cuenca de México, como pudieron ser el Valle de Oaxaca, la costa del Pacífico guatemalteco, el valle de Kaminaljuyú y Tikal estableciéndose así una red comercial de primera magnitud acompañada de ideologías e influencias, inclusive las tecnológicas y militares. Entre las diversas influencias que aportaron las relaciones comerciales están las técnicas y materiales de construcción, los cuales son elegidos por sus características y su disponibilidad; considerando las dimensiones de esta gran ciudad, no hay duda de la extrema importancia que tuvo para sus habitantes. A continuación se presenta el análisis del tezontle y la toba, la cal merece un tratamiento aparte, lo que se hace en el capítulo 3.

TEZONTLE

Entre los materiales más utilizados en el proyecto constructivo teotihuacano se encuentran el tezontle y la cal, les siguen la toba, la andesita y el basalto. Para tratar de entender la explotación y el uso de los materiales característicos de ambientes ígneos extrusivos, se requirió estudiar la geología de los alrededores del asentamiento. Como se mencionó en el capítulo anterior, Mooser (1968) [105] propuso que la ciudad fue erigida sobre un flujo piroclástico en forma de lengua. Nuestras observaciones recientes muestran que el flujo efectivamente existió, pero se trata de un lahar debajo del cual se hallan los restos de eventos volcánicos anteriores. Los reconocimientos geológicos realizados en todos los cortes visibles, los estudios geofísicos para tomar lecturas magnéticas y eléctricas y las perforaciones de verificación practicadas en parte de la zona, han permitido entender la secuencia estratigráfica bajo la ciudad. En el área cercana a la pirámide de la Luna, pueden apreciarse claramente zonas sin suelo donde aflora la capa de toba volcánica. Ésta es la capa formada durante el flujo más reciente. Se ha confirmado, en efecto, la interpretación de Mooser (1968) [105], de que el flujo recorrió el espacio entre los dos volcanes, el Malinalco y el Cerro Gordo. Debajo de esta capa, de dos metros de espesor en promedio, se encuentran los restos de otros eventos volcánicos previos.

Como se explicó anteriormente, en esas etapas de actividad volcánica hubo emisiones a lo largo de grietas y fisuras que produjeron patrones lineales que ahora han podido reconocerse. El centro de emisión se identifica por la presencia de bloques de basalto rodeados por grandes acumulaciones de pequeños fragmentos de escoria porosa. Durante el reconocimiento magnético, el aumento de los valores nos mostró la presencia de cuerpos con gran magnetismo termorremanente, que fueron los bloques de basalto, mientras que en contraste con ellos se tienen amplias extensiones de valores magnéticos promedio que representan la acumulación de fragmentos de escoria volcánica con direcciones magnéticas aleatorias. De esta forma se han descubierto grandes volúmenes de tezontle, que en la depresión 9 alcanzan diez metros de profundidad; en la zona de túneles, al oeste de la Pirámide del Sol, miden seis metros y son el sustrato profundo sobre el cual se levantaba la ciudad arqueológica.

ESTUDIO DE LAS DEPRESIONES

Una pirámide es como un pequeño cerro, sólo que hecho a mano. Por allí hay agujeros, de donde sacaron las piedras, con que hicieron las pirámides, y así las hicieron muy grandes, la del Sol y la de la Luna.

Códice Matritense 1971: 38.

Durante los reconocimientos y estudios realizados en la zona desde 1985 se detectaron las depresiones en la parte noroeste de la ciudad. Éstas son partes del terreno que se destacaron por un desnivel topográfico que varía entre uno y diez metros de profundidad. Su extensión también es muy variable. En las paredes de muchas de ellas se encontraron túneles que, partiendo del límite vertical de la depresión, se extienden radialmente. En algunos casos, el recorrido dentro de los túneles mide varios cientos de metros y en su interior las paredes muestran escoria volcánica, lo que sugiere que el material removido fue el tezontle, mientras que sus techos frecuentemente están formados por toba.

En los reconocimientos de los asentamientos rurales y el propio asentamiento de Copán, las depresiones se registraron en el terreno adyacente a los asentamientos y parecen haber sido huecos excavados para obtener materiales constructivos.

En su reporte, Marcos Milán (1990) [98] opina que la existencia de pilares que soportan los techos de las cámaras es prueba de una técnica de excavación (figura 2.1, p. 60).

En el registro de los bloques de basalto presentes en el fondo de depresiones y en el interior de cuevas y cámaras se ha podido apreciar que son sistemáticamente evitados por el curso de la excavación prehispánica. En el capítulo anterior se mencionó la forma de las depresiones 4, 5 y 11.1 que evidencian una excavación semianular que rodea un macizo basáltico. De la misma forma, los bloques presentes en el centro de las depresiones 9 y 11 son muestra de un material que se dejó casi intacto. Adicionalmente, en la trayectoria de los túneles explorados puede apreciarse cómo el túnel de extracción rodea los grandes bloques de basalto.

Una de las metas que este trabajo arqueológico se ha impuesto es establecer la relación entre la presencia de depresiones y de estructuras arqueológicas. Se propone que las depresiones han ocurrido como consecuencia de trabajos de explotación de un recurso utilizado para la construcción en la ciudad de Teotihuacan y, en consecuencia, la distancia entre las depresiones y las estructuras es un importante factor por evaluar. Si tomamos el cuadrante noroeste del mapa de Millon, notamos primeramente que casi todas las depresiones se encuentran en esta parte y que, además, la mayor densidad de estructuras también se percibe en esta zona. Cuando aumenta la distancia entre las



Figura 2.1. Este pilar es uno de los muchos que sostienen los techos de cámaras aún en pie. Al remover estos apoyos ocurre el derrumbe de las cámaras, lo que a su vez produjo las depresiones.

depresiones y otras zonas de la ciudad, también la densidad de estructuras disminuye. Existe otra interesante relación: las depresiones más grandes están cerca de las dos pirámides mayores.

La observación de los mapas indica que un alto porcentaje de las estructuras mayores y de los conjuntos habitacionales se relacionan directamente con las depresiones, pues se hallan relativamente cerca de éstas. Para ello puede proponerse una explicación. A diferencia de otros grandes centros urbanos clasificados como preindustriales de todo el mundo, en Teotihuacan no se disponía de transporte por medio de animales de tiro y de la rueda. Sus habitantes tuvieron que hacer todo este trabajo con energía humana, lo que implica que debieron tomar en cuenta la distancia a las zonas de extracción de materias primas. La simplicidad y redundancia involucradas en el aprovisionamiento y en el transporte sugieren que esas operaciones fueron realizadas por trabajadores generales, no especializados. Todas las labores en esas operaciones involucran trabajos pesados pero no calificados. La extracción de piedra es un trabajo simple que requiere de muy poco entrenamiento y calificación. De la misma forma, el transporte de materiales requiere sólo fuerza y balance.

Para probar esta hipótesis era necesario calcular las distancias entre las depresiones y las estructuras, y para hacerlo se requirió asignarles coordenadas. Nuevamente el mapa de Millon 1973 [102] fue la base para construir una tabla en la que las coordenadas alfanuméricas del mapa original fueran transformadas en valores numéricos (apéndices C y D).

Para realizar el cálculo de las coordenadas cartesianas de cada una de las estructuras piramidales registradas en el mapa de Millon, se procedió a asignarles coordenadas dentro del cuadro en que aparecían, con un escalímetro. Sabiendo que cada uno de los cuadros mide 500 metros por lado se contó el número de cuadros de distancia a partir del punto cero de su retícula, localizado en la esquina sudoeste de la Ciudadela. Con esto fue posible calcular las coordenadas para el centro de cada estructura respecto a la retícula de Millon.

Adicionalmente se determinaron las coordenadas para cada una de las depresiones registradas (apéndice D). Se enfrentó el problema adicional de la forma de las depresiones, que sobre todo en el caso de las depresiones alargadas, dificulta asignarle un centro. Con todo, se asignó arbitrariamente un centro a cada una de ellas y con esto se calcularon sus coordenadas. Es claro que arrojará un error en el cálculo de la distancia, aunque no será determinante, ya que si la distancia mínima está calculada conforme al centro es posible que, en muchos casos, sea aun menor pues se pudo extraer material de las orillas de la depresión.

Finalmente se elaboró un programa para calcular las distancias entre cada una de las estructuras y las depresiones y, de esta forma, encontrar la distancia mínima entre ellas. Con este algoritmo se calcula la distancia entre una estructura y todas las depresiones y este cálculo se repite para el total de las estructuras. En cada uno de los casos se compararon las distancias y se identificaron las distancias mínimas, las cuales se graficaron para determinar su promedio (figura 2.2, p. 62).

Pudo apreciarse que la distancia mínima promedio fue de 500 metros aunque la dispersión es grande dada la presencia de cinco estructuras que superan los 1000 metros de distancia. En general, se muestra que el 90 por ciento de las estructuras se encuentra a menos de 800 metros de distancia, muchas de las cuales están a menos de 400 metros de algún lugar de aprovisionamiento de toba y tezontle para la construcción. Ésta es una distancia eficiente para el transporte del material de construcción y prueba la relación estrecha entre los proyectos constructivos, la disponibilidad del material y la energía humana invertida (apéndice E).

Con base en la evidencia anterior era necesario verificar la hipótesis de que el material extraído se ocupó en la construcción. Para esto se comparó el volumen de las estructuras piramidales y el de las depresiones. Con un pro-

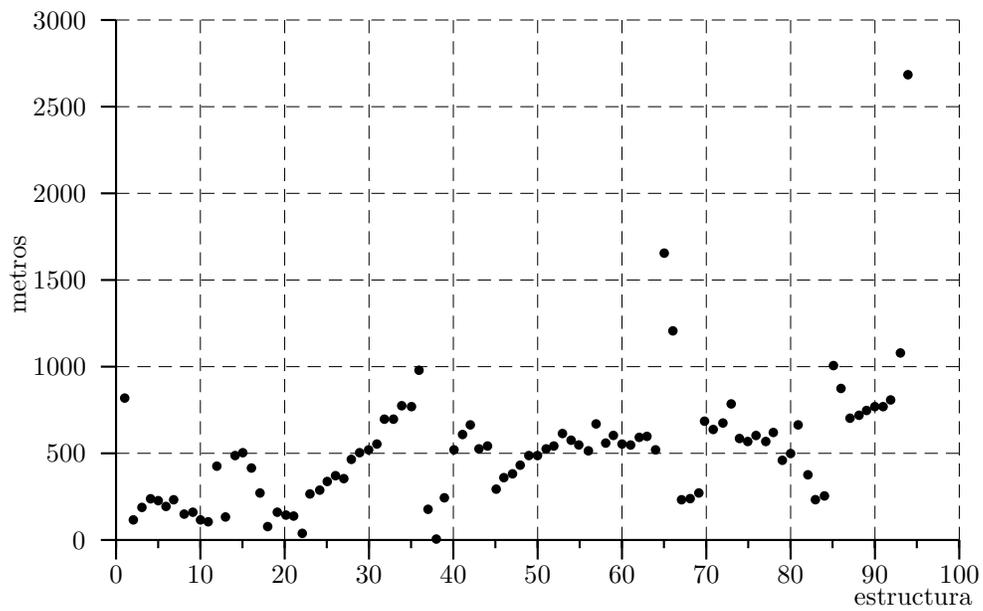


Figura 2.2. Gráfica de la distancia contra estructuras. Esta gráfica representa la distancia mínima calculada entre cada una de las noventa y cuatro estructuras registradas y su depresión más cercana.

MATERIALES VOLCÁNICOS DE CONSTRUCCIÓN

Cuadro 2.1. Resultados del cálculo de volumen de las depresiones. Este cuadro resume los volúmenes calculados por distintos métodos para cada depresión. El asterisco indica volumen estimado.

No. depresión	cuadro	vol. m ³
1	N6W4	7 448
2	N6W4	17 910
2.1	N6W3	2 853
3	N6W3	48 607
4	N5W2	12 755
5	N5W2	20 404
6	N5W2	3 237
7	N5W2	38 186
7.1	N4W2	38 648
8	N4W2	9 711
9	N4W2/3-N3W2/3	200 000*
9.1	N5W1	11 138
10	N4W3	13 500
11	N3E2	136 010
11.1	N3E3	47 790
11.2	N3E2	34 719
11.3	N3E2	5 299
11.4	N3E3	20 749
Vol. total m ³		668 784

grama que permite calcular el volumen entre dos superficies (GeoView 2.3), se alimentó la topografía actual y se construyó la capa que existiría si el material no hubiera sido extraído. Entre estas dos superficies estuvo el volumen vaciado de las depresiones. Se realizó el cálculo de todas las depresiones y el resultado en números redondos fue 670 mil metros cúbicos (cuadro 2.1, p. 63).

Adicionalmente se empleó un programa de análisis digital de imágenes (Image 1.49), se midió el área limitada por cada cota en el mapa topográfico de las depresiones y se sumaron las cotas que definen toda la depresión. Con esto se verificaron los cálculos anteriores y se completaron los faltantes. Una justificación adicional para este método de cuantificación reside en su naturaleza científica: es replicable, explícito, comparativo y empírico.

Como quedó asentado en el principio de este capítulo, el objetivo principal del estudio energético de la arquitectura es estimar su orden de magnitud no

partiendo de suposiciones simplistas y subjetivas sino de datos obtenidos del trabajo de campo.

Los resultados del cálculo del volumen de las depresiones que rodean a la ciudad de Teotihuacan muestran que la suma de los volúmenes extraídos representa sólo el 30 por ciento del volumen calculado para las estructuras principales. Así pues, debe asumirse que la mayor parte del tezontle extraído de las minas debió emplearse en el revestimiento de las pirámides y en la construcción de los muros de los conjuntos habitacionales y no en el relleno.

Para confirmar lo anterior, se investigó sobre la técnica constructiva de las pirámides principales. En su resumen de las excavaciones practicadas en el interior de la Pirámide del Sol, Cabrera asegura que el primer túnel fue excavado durante la temporada que emprendió Gamio entre 1917 y 1922 y concluyó que la base de la pirámide estaba formada por una plataforma de adobes (Cabrera, Rodríguez y Morelos 1991 [29]; Marquina, citado en Gamio 1979: 132 [59]). En el otro túnel, excavado por Pérez en 1933 y dirigido por Noguera, fue descubierto un relleno de tierra y adobes. Los dos túneles se unen por medio de una escalinata casi en el centro de la base de la pirámide (Pérez, 1931: 91) [116]; Noguera, 1935: 5-6 [109]). En 1947, Rémy Bastien excavó un pequeño túnel perpendicular donde se unen los dos anteriores (Bastien 1947 [19]). Posteriormente durante una visita pudimos apreciar que en este sitio no se emplearon sólo adobes sino varias capas de sedimentos oscuros mezclados con fragmentos blanquecinos.

Por su parte, Marquina (1951: 64) [93] afirma que esta pirámide fue construida de una sola vez con tierra en capas horizontales, así como con la intención de evitar que este núcleo, semejante al de Cuicuilco, fuese destruido por las lluvias, fue recubierto con gruesas capas de piedra y lodo y, posteriormente, por un aplanado de cal muy grueso. En el mismo sentido,

Los trabajos [del túnel] se continuaron en esta clase de material hasta llegar al centro de la pirámide, sin que fueran encontradas estructuras interiores, y solamente se descubrieron en el lado sur del túnel, entre los 56 y los 80 metros, cinco agujeros hechos en sentido vertical, los que contenían madera que con el tiempo y la humedad de la tierra se pudrió completamente hasta convertirse en polvo. (Pérez 1935, en Matos 1995: 129 [97]).

... todo el edificio fue hecho por la mano del hombre sin que se hubiera aprovechado ninguna eminencia natural que hubiese sido ampliada. Por tal razón los constructores del monumento emplearon adobes para esta construcción con material recogido en los alrededores, el cual contenía restos de una cultura más antigua que existía antes de la ocupación teotihuacana en el lugar. Por otra parte, era de presumirse que si la pirámide se hubiera construido en diversas épocas, los fragmentos del fondo del túnel corresponderían a una época anterior, pero tal cosa no ocurre, sino que toda la construcción corresponde a una sola etapa

como así lo señala la uniformidad de los fragmentos en todo el relleno. (Noguera 1935, en Matos 1995: 136 [97]).

En ambas citas se habla de la uniformidad del material constitutivo de la Pirámide del Sol. Ambas son aproximadamente del mismo momento, la diferencia es que una es durante la excavación del túnel y la otra es durante el análisis de los materiales recuperados de la excavación.

Millon, Drewit y Bennyhoff (1965) [101] reportaron que los adobes y demás materiales contenidos en el núcleo de la estructura de los túneles no aparecen de manera continua y homogénea sino que se muestran en concentraciones irregulares, sobre todo, los adobes de la parte central y en los extremos opuestos de ambos túneles. En 1962 Robert Smith había excavado un túnel en el último cuerpo de la pirámide (Rattray 1991: 36) [123]); en el cual halló varias clases de relleno de tierra y tepetate, y dejó al descubierto restos de un núcleo de adobe.

De los túneles descritos, Cabrera *et al.* (1991) [29] dedujeron que pudo existir una subestructura debajo de la visible actualmente terminada con adobes, seguida de la que actualmente apreciamos –reconstruida por Batres a principios de siglo– y una última etapa constructiva representada por los contrafuertes en tres de las cuatro caras de la pirámide que le dieron un mayor volumen. Concluye también que no hay suficientes evidencias para sostener que se emplearan los cajones para relleno, igual que en otros edificios. Propone, pues, que en la base de la pirámide el relleno haya sido una simple acumulación de materiales contenidos por algunas hileras de adobes y que en los siguientes cuerpos pudieran emplearse cajones de adobes para contener el relleno.

En la pirámide de la Luna se han efectuado muy pocas excavaciones pero parecen existir cajones como sistema de relleno. Respecto al cajón mencionado, Schávelzon (1982) [132] describe la presencia de sillares de piedra y tepetate. Gamio (1979: 135) [59] publicó un dibujo del túnel de Ordóñez y una transcripción de la descripción de Marquina: afirma la presencia de piedras cementadas con barro, lajas, pedazos de tepetate y tezontle argamasado con barro, una capa de adobes, mampostería de piedra y barro. El cajón localizado está formado por lajas de tepetate. Esto distingue las formas de construcción de las dos pirámides principales. Sin embargo, aun en el caso de que la descripción de este túnel fuera correcta, de todos modos la participación de la tierra en forma de argamasa de barro resulta muy importante y puede considerarse que aunque los cajones fueran de piedra, la mayor parte del relleno debió ser de tierra.

Saburo Sugiyama y Cabrera (2006) [142] explican que la primera etapa constructiva se inicia alrededor de 100 dC y la última etapa está fechada en 380 dC, lo que coincide con la fecha de la conquista de Tikal y la llegada

a Copán en 378 dC. Ahora esta fecha adquiere mayor relevancia ya que los personajes sepultados en la fosa de la etapa 5 parecen ser personajes mayas y también corresponden al momento en el que cambia por completo la forma de la estructura quitando las esquinas y ampliándola hacia atrás. También ocurre un crecimiento importante de la ciudad.

En contraste, el Templo de Quetzalcóatl tiene un sistema de profundos cajones con estructuras de pilotes de madera rellenas con tierra. Las paredes de los cajones eran de bloques de tepetate unidos con lodo. La construcción del templo viejo de Quetzalcóatl se inicia hacia la fase Miccaotli, entre 150 y 200 años dC. Esta edificación es posterior a la de las otras dos pirámides. La plataforma adosada que cubrió gran parte de la fachada del Templo de Quetzalcóatl comenzó a erigirse entre los 200 y 350 años dC.

Con base en esta información puede aseverarse que partiendo de la pirámide del Sol, cuyo volumen consiste principalmente en tierra y adobe, la participación de la piedra en la construcción se incrementa paulatinamente de la Pirámide de la Luna hasta el Templo de Quetzalcóatl donde ya desempeña un papel relevante en la formación de su sistema de cajones.

Debemos aclarar que estos cálculos no incluyeron el volumen de tezontle extraído de los túneles y cuevas explorados. Dado que para calcularlo sería necesario hacer el levantamiento topográfico interior de todas y cada una de las cuevas y túneles, se decidió dejar a las generaciones futuras esta apasionante tarea. Con todo, no creemos que se altere apreciablemente el volumen calculado hasta el momento y menos aún las conclusiones obtenidas.

CÁLCULO DEL VOLUMEN DE LAS PIRÁMIDES

Gracias al trabajo de recopilación realizado por Eduardo Matos (1995) [97] ahora tenemos una idea más precisa de las dimensiones y volumen de estas estructuras.

Las mediciones del volumen de las pirámides de Teotihuacan han variado con el tiempo. Hace 200 años Humboldt menciona las primeras mediciones: "... [la Pirámide del Sol] tiene una masa de 128 970 toesas cúbicas" (Humboldt 1966) [70]. Considerando el equivalente de una toesa francesa como 1.949 m encontramos que el volumen calculado por Humboldt es de 954 826 m³.

Por su parte, Almaraz dejó esta descripción y las siguientes medidas: "Pirámide de la Luna. Está colocada al norte, su base es rectangular, el mayor de sus lados tiene 156 m y el menor de N a S mide 130 m; la superficie de la base es 20 280 m². Su altura de 42 m, su volumen 383 320 m³", en tanto que de la Pirámide del Sol dijo: "... El lado mayor tiene de N a S 232 m y de E a W 224 m. La superficie de su base es de 51 968 m², su altura es de 62 metros,

su volumen es $1\,400\,736\text{ m}^3$ (Almaraz 1865) [4]. Es sorprendente el buen trabajo realizado por esta comisión que en 1865 determinó las dimensiones y volumen de las estructuras piramidales con gran precisión. Más adelante Peñafiel (1900) [115] utilizó estos datos. Si tomamos en consideración que en ese momento la pirámide no había sido excavada, este cálculo destaca por su exactitud.

A fines del siglo XIX, Leopoldo Batres (1906: 100) [20] describió así a la Pirámide del Sol:

... es de forma cuadrangular, cuyos lados medían de norte a sur 232 metros, y de este a oeste 224, medidas que tomó la Comisión Científica de Pachuca el año de 1865, cuando la pirámide estaba cubierta de escombros y de tierra; hoy mide de norte a sur 225 m y de este a oeste 219.8 m [...] La plataforma que rodea la pirámide por tres de sus caras, exceptuando la occidental, mide de ancho 39.2 m y 6 m de altura.

Décadas después, Gamio difirió de Batres: “La pirámide del Sol tiene 64 m de altura y 215 m por lado, una base de $46\,225\text{ m}^2$. La pirámide de la Luna mide 42 m de altura y $18\,000\text{ m}^2$ de base” (Gamio 1922: 127) [59].

A continuación presentamos los diferentes procedimientos que usamos para determinar la forma más eficiente de calcular el volumen de las pirámides. Los resultados nos permitieron concluir que el volumen de una pirámide truncada era muy semejante al de las pirámides de varios cuerpos y el error era de menos de 10 por ciento. Este modelo se aplicó con éxito a todas las estructuras piramidales encontradas en la parte central de Teotihuacan.

El procedimiento que adoptamos para validar los cálculos de volumen realizados anteriormente por Millon *et al.* (1965) [101] y Cook (1947: 51) [36] fue el de calcular el volumen de la Pirámide del Sol, cuerpo por cuerpo, utilizando las dimensiones determinadas por Harleston (1974) [65]. Decidimos revisar los datos reportados en la literatura pues existen diferencias debido a variaciones en las dimensiones consideradas para realizar el cálculo. Sin embargo, aclarando las dimensiones utilizadas, los cálculos parecen consistentes. Indican que, en nuestro caso, suman $1\,403\,701$ metros cúbicos considerando a seis pirámides truncadas. Es obvio que se puede simplificar el cálculo si se modifica la forma geométrica hasta convertirla en una pirámide de base cuadrada, con su vértice en el punto de altura máximo de la estructura, procedimiento 2 (figura 2.3, p. 70), sin embargo, como precisamos más adelante, hay un error considerable.

Con los datos tomados de la publicación de Wiercinski (1977) [150] se realizaron tres diferentes cálculos para determinar el volumen de la Pirámide del Sol (figura 2.3, p. 70):

1. la suma de seis cuerpos, cinco en forma de pirámides truncadas y uno en forma de paralelepípedo cuadrangular.

2. pirámide completa con altura igual a la del cuerpo 6.
3. pirámide trunca de un solo cuerpo.

La fórmula para determinar el volumen de una pirámide truncada es:

$$V = \frac{1}{3} \times h \times (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \times A_2})$$

donde:

$$\begin{aligned} h &= \text{altura entre la base y la tapa} \\ A_1 &= \text{área de la base} \\ A_2 &= \text{área de la tapa} \end{aligned}$$

para el caso de bases cuadradas se reduce a:

$$V = \frac{1}{3} \times h \times (b_1^2 + b_2^2 + b_1 \times b_2)$$

donde:

$$\begin{aligned} b_1 &= \text{lado de la base} \\ b_2 &= \text{lado de la tapa} \end{aligned}$$

Nótese que en el cálculo del volumen de la Pirámide del Sol se ha duplicado D4.2 y H4.2 en la hoja de cálculo. El Cuerpo 4 es compuesto y no tiene banqueta. El área lateral se determinó con la fórmula:

$$A = b_2^2 + 2(b_1 + b_2) \times \sqrt{h^2 + \left(\frac{b_1}{2} - \frac{b_2}{2}\right)^2}$$

El volumen de estuco en las pirámides mayores se calculó considerando un espesor de 0.10 metros para las pirámides menores y 0.15 metros para las dos mayores. Se aplicó la fórmula:

$$V_{\text{estuco}} = A_{\text{lat.}} \times \text{espesor}$$

El resultado anterior corresponde sólo a los lados de las pirámides truncas, debería sumarse el de la plataforma superior y de los pasillos entre cuerpos. Sin embargo, dada la baja incidencia de esta diferencia en el resultado final se omitirá del cálculo.

Para el caso de las pirámides menores se aplicaron las mismas fórmulas (ver Apéndice G). En este cuadro se registraron 94 estructuras piramidales. Su volumen se calculó mediante la fórmula para pirámides truncadas expuesta arriba. El total es de 354 651 metros cúbicos. También a las pirámides

truncadas se les calculó su área lateral que hace un total de 118 511 metros cuadrados. Con esta área lateral se consideró que el espesor de los recubrimientos exteriores de aplanados de estuco de las estructuras piramidales menores podía ser de 10 centímetros, a juzgar por los restos en la base de algunas pirámides. Con esto se tienen 11 851 metros cúbicos de aplanado de cal sobre las estructuras. Se sabe que la densidad de la calcita es de 2.75, pero en este caso estamos lejos de tener calcita pura; más bien se trata de un aplanado con el 80 ó 90 por ciento de material soluble en ácido. Entonces estimaremos una densidad de 2.5 ton/m³ para calcular la masa de estucos aplicados. El total es de 23 702 199 kilogramos de estucos o sea 23 702 toneladas.

Aunque hasta el momento no se ha determinado el porcentaje exacto de carbonato de calcio en el estuco de Teotihuacan, este cálculo se realiza considerando un porcentaje de 80 por ciento (determinado en dos muestras) menor al 95 por ciento reportado por Littman (1959, 1960) [76], [77], [78], en el área maya donde se utiliza *sascab*.

Para calcular el volumen de piedra utilizada para el recubrimiento de las estructuras piramidales se utiliza el dato de la superficie lateral y se considera que la capa de piedra tiene alrededor de 20 centímetros de espesor. El resultado para las 94 estructuras pequeñas es de 23 702 metros cúbicos de piedra de tezontle. Además de los cálculos descritos para las 94 estructuras piramidales pequeñas, se repitió el procedimiento para las dos mayores, la del Sol y la de la Luna. Los resultados aparecen en la parte baja del mismo cuadro y cuando se suman los resultados anteriores a los de las dos pirámides mayores se tienen los siguientes resultados. Si se considera que la mayor parte de los rellenos que forman el cuerpo de las estructuras es tierra se hace un volumen total de 1 953 600 metros cúbicos, con un área lateral total de 204 530 metros cuadrados. Considerando que el espesor de los aplanados es de 15 centímetros en las estructuras mayores y 10 centímetros en las menores, se hizo el cálculo del volumen del revestimiento con aplanados de estuco que da un total de 24 750 metros cúbicos. Finalmente, se calculó la masa de carbonato de calcio presente en los aplanados de cal que arrojó un total de 49 508 toneladas. Con el mismo valor de área lateral se calculó el volumen de la piedra utilizado para revestir la superficie de las mismas estructuras y se obtuvo un total de 49 510 metros cúbicos. El procedimiento 2 de cálculo de volumen de la pirámide del Sol arrojó un error de -17% al reducir el volumen a 1 164 484 metros cúbicos, lo cual se explica porque, al ser realmente truncada, el modelo pierde parte del volumen de los cuerpos en la parte superior de la pirámide (cuadro 2.2, p. 80 y figura 2.3, p. 70).

Como ya mencionamos, el procedimiento 3 simplifica la forma mediante una pirámide truncada en la cual se consideran las dimensiones de la base y de la parte superior del último cuerpo. Haciendo el cálculo con este modelo se

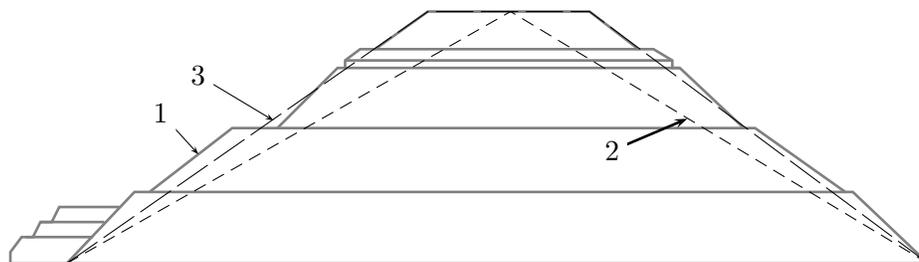


Figura 2.3. Dibujo del perfil de la pirámide. Este dibujo se relaciona con el cuadro 2.2 ya que el cálculo 1 se realizó sumando el volumen de cada cuerpo. El cálculo 2 simplifica la forma a una pirámide de base cuadrada y pierde parte del volumen de los cuerpos superiores. El cálculo 3 es el modelo que se aplicó al resto de las estructuras y mostró un error menor al 10 por ciento.

obtuvo un volumen de 1 269 611 metros cúbicos y se decidió que considerando el ahorro de tiempo, el -9.5% representa un error tolerable para aplicar este modelo al cálculo de todas las estructuras piramidales teotihuacanas (figura 2.3, p. 70 y cuadro 2.2, p. 80).

Llama la atención el añojo dato de Antonio Peñafiel (1900: 30) [115], quien determinó el volumen de las dos pirámides y formuló que la pirámide de la Luna medía 383 320 metros cúbicos y la del Sol 1 400 736, este último es un valor muy cercano al que obtuvimos con el procedimiento 1 que omite cualquier simplificación.

Las dimensiones de las pirámides encontradas en el mapa de Millon (1973) [102] se determinaron con base en las medidas que propuso en las reconstrucciones hipotéticas de las micras de su libro. Dado que se asume que son estructuras de base cuadrada, se midió un lado de la base y un lado de la arista del último cuerpo. La altura de la estructura se determinó contando las cotas de nivel marcadas para cada estructura en el mismo mapa topográfico. Con estos datos se elaboró el cuadro (apéndices F y G), y se aplicó la fórmula para determinar el volumen de pirámides truncadas de base cuadrada.

La suma del volumen de todas las estructuras piramidales (menos la pirámides del Sol y de la Luna) resulta en un total de 355 mil metros cúbicos, que sumado a los volúmenes de las dos pirámides mayores ($330\,000 + 1\,270\,000$) arroja un gran total de 1 955 000. A esto hay que agregar las banquetas que rodean la Pirámide del Sol, la Ciudadela y la Plaza de las Columnas (que aproximadamente suman 200 mil metros cúbicos). Esto hace un total de 2 150 000 metros cúbicos de material de construcción. Una comparación permitirá visualizar esta dimensión: si se llenaran camiones para transporte de materiales de 6 metros cúbicos de capacidad y se colocaran defensa contra

defensa sobre la carretera, podrían alinearse de manera ininterrumpida 360 mil camiones de 6 metros de largo en una fila de 2 150 kilómetros de longitud; esta es la distancia desde el Distrito Federal hasta Nogales, Sonora. Esto significa un volumen descomunal y desde luego implica gran cantidad de mano de obra y tiempo en el momento teotihuacano.

Todo lo anterior confirma que la disponibilidad del material de construcción tuvo una gran importancia en la selección del sitio. Es por ello que proponemos que, debido a la gran cantidad de materiales de construcción requeridos para el proyecto y al hecho de que el transporte de materiales residía en la fuerza humana, los materiales constructivos no podían encontrarse muy alejados del lugar de construcción. Proponemos, además, que lograron obtenerlos de la periferia y aun del subsuelo de la ciudad. También es muy clara la preferencia que los teotihuacanos tenían por el tezontle sobre otros materiales y es que la densidad del tezontle es mucho menor que la del basalto, pero además la resistencia mecánica del tezontle supera en mucho la de la toba. Este material combina, por consiguiente, una gran resistencia mecánica, comparable a la del basalto, y menor peso que transportar.

En el capítulo anterior se mencionó que la depresión 2 se distinguía por ser un montículo alargado que desvió el flujo. La reconstrucción hipotética de este evento importa por tres razones:

1. Es evidencia de cómo el flujo de lodo candente pudo ser desviado;
2. Explica la trayectoria lineal de las depresiones en esta zona;
3. Es el único punto donde el tezontle afloró en época teotihuacana.

Ahora se puede explicar, por tanto, la presencia alineada de las depresiones atendiendo al hecho de que la escoria se encontraba acumulada a lo largo de una fractura. Si el interés era la explotación del tezontle, tuvieron que seguir esta trayectoria. Al parecer, la depresión 2 fue el único punto en el cual la escoria afloraba en tiempos teotihuacanos. Puede ser que éste haya sido el lugar en el cual los teotihuacanos descubrieron el material e iniciaron su explotación. Todos los demás sitios estuvieron cubiertos con una capa de toba. En consecuencia, es muy probable que en las cercanías de esta depresión fuera el lugar en el cual por primera vez se organizara su explotación. Esto correspondería a las primeras etapas del asentamiento de la zona de Ozttoyahualco y estaría relacionada con la presencia de las plazas con tres templos en este lugar.

Millon (1993: 29) [104] narra que durante el trazo de la Calle de los Muertos en el primer siglo, se construyeron muchos complejos de tres templos encima o cerca de la calle y en el cuadrante noroeste. Menciona que esos complejos de templos parecen haber desempeñado un rol político temprano

y que, más tarde, formaron parte de la estructura administrativa de la ciudad. Como se ha mencionado, pueden apreciarse interesantes asociaciones entre estructuras y depresiones. Desde hace tiempo (Barba *et al.*, 1990) [12] se apreció que las plazas con tres templos estaban directamente relacionadas con las depresiones, y que la trayectoria que comenzaba en Oztoyahualco terminaba en dos plazas a los lados de la Pirámide de la Luna. Ello sugiere que el momento en que se realizó la extracción de estos materiales fue el mismo de la construcción de estas plazas. Según datos de Cook de Leonard (1957) [37] y Millon (1957: 16) [99], las plazas con tres templos corresponden a las primeras etapas de este asentamiento. Puede decirse, por ende, que la organización para la explotación de este material podía partir de las mismas personas que tenían a su cargo los templos y las plazas de la zona de Oztoyahualco. Aun así, para cuando se inicia la explotación de las depresiones mayores, algo cambia, pues en las depresiones 9 y 11 ya no se edificaron plazas con tres templos; en su lugar hay una estructura piramidal en los bordes de la depresión, que debieron ser los lugares donde se ejercía el control de esta época de explotación.

Debemos hacer notar el gran conocimiento empírico de las propiedades de los materiales y su atinada selección en el proyecto constructivo de Teotihuacan. El desarrollo de este proyecto de enormes dimensiones, que requirió de cantidades de energía nunca antes concebidas, debió incluir el aspecto de la disponibilidad de los materiales constructivos a una distancia adecuada y en las cantidades requerida. Algunos autores habían formulado la posibilidad de que las depresiones que observaban en los alrededores de Teotihuacan, especialmente al noroeste, fueran lugares de donde se obtuvieron materiales de construcción (Sahagún *ca.* 1570) [127]; Cook de Leonard 1957 [37]; Millon 1957 [99]; Basante 1986: 90 [18]), pero en ningún caso se habían aportado pruebas para sustentar dicha aseveración. Esta obra pretende fundamentarla. Lo cierto es que existen en el terreno que circunda a Teotihuacan profundas cicatrices producto del trabajo de extracción y que este material debió emplearse en la construcción de la antigua ciudad, aunque también se tienen datos de que en tiempos recientes se excavaban estas depresiones para extraer material (Cook de Leonard 1957: 5) [37].

En sus mapas Millon (1973) [102] reporta la presencia de pequeñas estructuras habitacionales teotihuacanas en el fondo de unas cuantas depresiones, lo que revela un tiempo reciente de explotación y que la mayor explotación se dio en momentos arqueológicos. Como ya hemos mencionado, en las grandes cuevas de las depresiones 11 y 11.1 encontramos evidencias de explotación moderna de basalto, si bien dudamos de una gran extracción de tezontle en tiempos modernos, pues en muchos casos ya se habría agotado.

En el estudio que a principios del siglo xx Enrique Díaz Lozano realizó como parte del proyecto “La población del valle de Teotihuacan” (Gamio 1979) [59], se presentan algunos datos sobre las proporciones de los materiales constructivos utilizados. Se dice que la mitad de los materiales contados y medidos en las áreas excavadas hasta ese momento fueron fragmentos de tezontle; la andesita sólo se encuentra en el 20 por ciento de los casos y el basalto en el 16 por ciento. Menciona que la toba se utilizaba para rellenos (Díaz 1922: 60) [45]. Con la información proporcionada por la medición del recorrido de muros que se detalla en el capítulo 3, pueden calcularse las proporciones de los materiales utilizados en la construcción de los muros de los conjuntos habitacionales.

Para estimar el volumen total de los muros levantados para construir los conjuntos departamentales medidos, se procedió con los siguientes pasos:

1. Se emplea el coeficiente promedio calculado de los conjuntos excavados y medidos que resultó de 0.35 metros de muros por metro cuadrado construido (0.35 m^{-1}), obtenido de la medición de 1 094 tramos de muros con una longitud total de 5 447 metros; la superficie total construida de los conjuntos estudiados es de 16 202 metros cuadrados. El coeficiente general es de 0.34 metros de muros por cada metro cuadrado de construcción, sin embargo, para los cálculos utilizaremos el coeficiente de 0.35 metros por metro cuadrado.
2. se considera el espesor promedio del núcleo de los muros, sin aplanados, de 40 centímetros (0.4 m),
3. se estima la altura promedio de 2.5 metros.

De lo anterior se obtiene el volumen de muro por unidad de superficie construida:

$$V = 0.35 \text{ m/m}^2 \times 0.4 \text{ m} \times 2.5 \text{ m} = 0.35 \text{ m}^3 \text{ de muro/m}^2 \text{ de construcción}$$

Puesto que se conoce la superficie total construida, cuadro 3.3, p. 96, el volumen total de materiales en muros (sin contar aplanados) será:

$$\begin{aligned} V_t &= 4\,559\,500 \text{ m}^2 \times 0.35 \text{ m}^3/\text{m}^2 \\ &= 1\,595\,825 \text{ m}^3 \text{ de materiales en núcleos de muros} \end{aligned}$$

Según los datos de Díaz (1922: 60) [45], obtenidos a principios de siglo, los materiales componentes de los muros tienen las siguientes proporciones: andesitas 20 %, basalto 16 %, tezontle 52 % y toba 12 %. Sin embargo, hay que considerar que todas estas piedras se encuentran unidas al muro por el mortero que las rodea. Así, el 30 % del volumen es ocupado por el mortero,

TOBA VOLCÁNICA

mientras que el 70 % restante lo constituyen las piedras. La proporción aproximada de los materiales que forman los muros en los conjuntos habitacionales de Teotihuacan será:

$$V_{\text{piedra}} = 1\,595\,825 \times 0.7 = 1\,117\,077 \text{ m}^3 \text{ de piedra en muros}$$

No obstante, habría que considerar los 49,500 metros cúbicos de piedra que recubren las construcciones piramidales. Desafortunadamente no se tienen datos sobre la composición de estos recubrimientos y, por ello, no se incluyen en los siguientes cálculos. Aun incluyéndolos, los cálculos casi no se modificarían. El volumen total de materiales en muros es aportado por los siguientes materiales:

$$\begin{aligned} V_{\text{andesita}} &= 1\,117\,077 \times 0.2 = 223\,415 \text{ m}^3 \\ V_{\text{basalto}} &= 1\,117\,077 \times 0.16 = 178\,732 \text{ m}^3 \\ V_{\text{tezontle}} &= 1\,117\,077 \times 0.52 = 580\,880 \text{ m}^3 \\ V_{\text{toba}} &= 1\,117\,077 \times 0.12 = 134\,049 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

La suma del tezontle y de la toba hace casi 715 000 m³ de materiales, lo que se aproxima mucho a los 670 000 m³ de volumen extraído de las depresiones (cuadro 2.1, p. 63) y cuya diferencia puede atribuirse al material que fue extraído de la excavación de túneles.

Este resultado sustenta la propuesta de que las depresiones en el terreno son producto de las actividades de extracción de materiales para la construcción de las estructuras teotihuacanas.

TOBA VOLCÁNICA

Este material generalmente amarillento se encuentra aflorando en los alrededores de Teotihuacan. Se le conoce comúnmente como tepetate y fue muy utilizado durante la construcción de la ciudad. Es también un producto de la actividad volcánica. Está constituido por pequeñas partículas de ceniza que cuando han sido suficientemente alteradas por el intemperismo, adquieren el color amarillento y se consolidan, muchas veces con la participación de carbonatos.

Como ya se ha discutido, el flujo que puede percibirse estudiando estereoscópicamente el relieve en fotografías aéreas, es la lengua de material basáltico propuesta por Mooser (1968) [105]. Dentro de este flujo se detectan algunas variaciones en el espesor de la capa formada debido a que el relieve topográfico previo era muy irregular.

En la parte oeste de la ciudad, en los alrededores de la zona militar, se localizan las laderas del volcán Malinalco, el más antiguo del valle. El espesor

de las capas de toba en la barranca Cosotlán rebasa los quince metros de profundidad. En este punto la erosión permite ver una estratigrafía horizontal con caliche en la parte superior. Pero hay que establecer que se trata de eventos previos originados en el Malinalco y no de la lengua de piroclastos descrita.

En la parte sur y tomando como límite el curso del río San Juan, las tobas están cubiertas con sedimentos posteriores y se aprecia un cambio en la pendiente que se acerca a cero. En contraste, al norte, en los alrededores de la Pirámide de la Luna, en amplios espacios aflora la toba. En estos puntos se ha perdido la capa de suelo que los cubría, posiblemente a causa del aprovechamiento del suelo para la construcción, como se verá en el capítulo 5.

Nosotros proponemos que el mencionado flujo piroclástico se trata más bien de un lahar constituido por lodo caliente que al descender siguió la trayectoria descrita entre los dos volcanes. En las cercanías de Oztoyahualco se tiene una orilla del flujo, con menor energía, y por ello pudo ser desviada, pero cuando nos acercamos a la parte central puede observarse que todos los obstáculos fueron superados y cubiertos. Este flujo relleno el espacio comprendido entre los volcanes y, como consecuencia, desvió el curso de los arroyos. En la actualidad puede observarse cómo la lengua de lodo se encuentra rodeada por arroyos, barrancas y el curso del río San Juan. Este flujo tuvo la particularidad de formar una superficie de pendiente suave y constante que facilitó el asentamiento humano. Las estructuras volcánicas que cubrió difícilmente hubieran permitido un asentamiento de las dimensiones de Teotihuacan, ya que esta capa de material amarillento tiene una pendiente promedio de 2 a 3 por ciento en las áreas más urbanizadas. Otra evidencia de la forma en que fluyó este lahar es la presencia de una capa de cantos rodados en el techo de la cueva explorada entre las depresiones 7 y 9 (figura 2.4). Estos cantos son el producto del desgaste ocasionado por un flujo y su mayor densidad los ubica en el fondo de la capa de lodo. Adicionalmente se observan cantos rodados en dos de las perforaciones practicadas en las inmediaciones de la pirámide de la Luna (perforaciones B y H, 2.3.4.1).

Todo parece indicar que durante el trabajo de explotación del tezontle, se prefirió extraer este material en túneles y así evitar perforar constantemente la capa de toba. De esta forma, la toba quedó como techo en la mayoría de las cavidades excavadas. Pero dado que se trata de un buen material de construcción, más tarde también se aprovechó la toba misma. Se cuenta con datos de su uso en muros, en firmes de pisos y en rellenos. Este material debió haberse obtenido de las capas removidas de las depresiones. Con base en las observaciones realizadas entre las depresiones 11 y 11.1, donde pudo verse la manera como se debilitaba el techo de una cámara, se ha propuesto

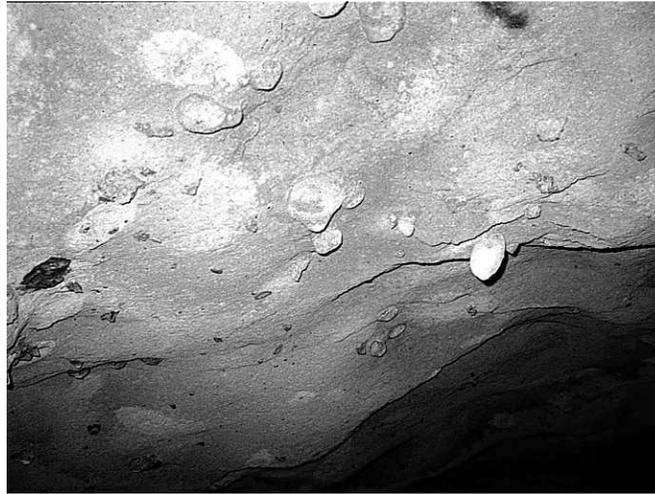


Figura 2.4. Fotografía de los cantos rodados en el techo de una cueva. Estos cantos se relacionan con los encontrados en algunas perforaciones (marcados como guijarros en las figuras 1.11 y 1.14) y son la prueba del flujo de lodo caliente.

que para obtener bloques pequeños de toba, se permitió que los techos de las cámaras excavadas se desplomaran (figura 2.5).

De esta manera pueden fragmentarse las capas de tepetate con el mínimo esfuerzo y así obtener materiales fáciles de usar. De aquí se deduce que las depresiones que ahora observamos son el producto de cámaras que sistemáticamente se han derrumbado; de lo contrario, encontraríamos todavía los pilares soportando los techos y aunque se apreciarían derrumbes en algunos lugares, las depresiones no estarían vacías. En el fondo de las depresiones se han encontrado espesores apreciables de sedimentos pero no hay bloques de toba; éstos fueron removidos y aprovechados para la construcción.

Una de las razones por las que se utilizó el sistema de extracción del material por medio de túneles es por el hecho de que la perforación de la toba es extremadamente difícil. En sí mismo el material es muy tenaz y no se fractura; aun los instrumentos modernos de acero no lo penetran con facilidad. Se vuelve especialmente resistente cuando sus partículas se han consolidado con carbonatos, como ocurre con la capa de caliche que se forma en la superficie de la región poniente. Tan resistente resulta que forma el techo de la cámara debajo de la pirámide del Sol y ha soportado la carga de la pirámide por muchos años. Así, es comprensible que los teotihuacanos evitaran atravesar este material. Entonces debieron buscar un acceso más fácil a la capa de escoria que, fácilmente deleznable, les permitía una extracción más eficiente. De este modo, todo el sistema de túneles explorado muestra



Figura 2.5. Techo en proceso de desplome de una cámara; una vez desplomado permitió, en tiempos teotihuacanos, el aprovechamiento de la capa de toba.

un techo de toba e invariablemente el ambiente en que se han excavado los túneles es de escorias.

Aquí surge la pregunta ¿cómo se formaron las depresiones? Todo parece indicar que los teotihuacanos adquirieron un gran conocimiento del terreno y lo que posiblemente fue accidental en un principio, fue completamente intencional al final. Merced a pilares de sustento en las cámaras excavadas, evitaron que se desplomaran durante el tiempo que convenía tenerlas con techo, pero una vez que decidían aprovechar el material tobáceo, eliminaban los pilares y permitían que el tiempo derrumbara esta capa. Cuando llegaba a ocurrir el derrumbe, los fragmentos de toba ya tenían dimensiones aprovechables y el esfuerzo humano invertido en el aprovechamiento de material habría sido mínimo. Por esto, en la actualidad, las depresiones no contienen restos de bloques de toba en su piso.

Entre las depresiones que no presentan tezontle en sus paredes están la parte norte de las depresiones 9 y 9.1. Éstas son diferentes de las demás y parece que el único material que se removió en ellas fue toba. La presencia de escorias en esta área es reducida como lo demuestran las perforaciones G, H e I.

Los teotihuacanos, en definitiva, tuvieron el conocimiento para identificar el material requerido para un gran proyecto de construcción y, de alguna manera, pudieron prever que sería suficiente para tal propósito. Se dispuso de la tecnología para explotar el recurso y, desde luego, de un gran proyecto rector que determinó la distancia a la cual se usaría el material.

A autores como el propio Mooser (1968) [105] y como Millon (1981) [103] les ha inquietado el porqué de este emplazamiento para construir la ciudad, pues no se encuentra cerca del abastecimiento de agua, ni de los terrenos de cultivo. Ahora el conocimiento sobre la existencia y la explotación de los materiales de construcción acaso respondería a esta interrogante.

Por tanto, la importancia del recubrimiento geológico de toba es que sin él no hubiera sido posible la construcción de la ciudad y su crecimiento. Éste fue el material que proporcionó la superficie plana, con pendiente suave que tuvo la estabilidad mecánica suficiente que permitiera construir encima las enormes estructuras piramidales. Esto no hubiera sido posible si las mismas estructuras se hubieran construido al sur del cauce del río San Juan, donde las capas de sedimentos se hubieran deformado por la carga. De hecho, se tienen evidencias de que el desplante de muchas estructuras arqueológicas excavadas se hizo desde el tepetate removiendo la capa de suelo quizá para evitar dichas deformaciones (Cabrera, Rodríguez y Morelos 1991 [29]). Por otro lado, es un estupendo material para nivelación y rellenos que se utiliza aún en la actualidad. Se encontró también formando parte de muros en las estructuras teotihuacanas.

El volumen de toba calculado en la página 74, 134 049 metros cúbicos, corresponde a la quinta parte del volumen calculado para todas las depresiones estudiadas, lo que sugiere que si consideramos una profundidad promedio para las depresiones de 5 metros, el primer metro correspondería a la capa de toba volcánica, lo que es una suposición razonable.

Lo dicho hasta aquí se ha limitado a los materiales empleados; hay mucho por investigar acerca de la energía utilizada. En el capítulo 3 se desarrollan los cálculos para estimar la energía calorífica involucrada en la producción de cal, único material usado en la arquitectura de Teotihuacan que fue obtenido por tratamiento químico. En lo que se refiere al trabajo humano involucrado, nos limitaremos a hacer una brevísima enumeración de algunas variables implicadas y los autores que lo han estudiado. McGuire y Schiffer (1983: 282) [85] aseguran que los costos bajos de mantenimiento se alcanzan por medio de altos costos de manufactura, mientras que los bajos costos de manufactura tienden a aumentar el costo de mantenimiento; la capacidad de gastar más durante la construcción inicial resulta en ahorros a largo plazo, lo que repercute en beneficios económicos para la élite y representa una forma de acentuar las diferencias.

Así, la obtención de piedra de una cantera es una tarea que requiere poco entrenamiento y capacidad, el transporte del material sólo requiere una fuerte espalda y sentido de balance. Para las estructuras más elaboradas el porcentaje promedio de trabajo empleado en estas dos operaciones puede considerarse del 62% del proceso total de construcción.

Por tanto, en su análisis el 87% del esfuerzo total de construcción se emplea por trabajadores generales en la construcción de estructuras de mampostería. Estas tareas incluyen todo el tiempo empleado en los procesos de construcción excepto el utilizado en la manufactura de la cal y en la escultura.

Para el caso teotihuacano, en las primeras etapas, la construcción involucró mucha mano de obra no especializada que transportó y acumuló mucha tierra. Poco después, la excavación de túneles para la extracción de piedra de tezontle demandó un mayor nivel de especialización. Su transporte fue nuevamente una tarea no especializada, pero su colocación para recubrir las estructuras requirió albañiles más preparados.

El alto costo energético y los grandes conocimientos técnicos necesarios para la producción de cal debieron limitar su uso a temporadas; con mucha seguridad podemos afirmar que era producida inmediatamente antes o durante el proceso de construcción.

Las unidades de energía humana pueden ser medidas en unidades estándar de trabajo-tiempo: personas-hora (p-h) o persona día (p-d). Pueden considerarse apropiadas cinco-horas de trabajo diario para tareas tan extenuantes como la extracción en canteras de toba, la excavación de tierra y el transporte de materiales (Erasmus 1965) [49]. Mientras que ocho horas parecen apropiadas para tareas tales como el tallado de bloques de mampostería, la escultura y la construcción (Culbert 1977: 43) [43].

En cuanto a la energía humana, López Luján *et al.* (1993) [84] hablan de la distancia máxima de transporte, que estima es 15 kilómetros para la mayoría de los materiales empleados en la construcción del Templo Mayor de Tenochtitlan. La carga que estima es de 23 kg para cargar en la espalda y 1200 kg en una canoa, dato que proviene de Hassig (1985: 55-66) [66] y Sanders (2000: 355) [131].

Como podrá inferirse, la estimación del trabajo humano involucrado puede relacionarse con la estructura social jerárquica y las diversas concepciones religiosas de Teotihuacan, así como con las diversas relaciones con otros grupos humanos. Es un tema promisorio donde hay mucho por investigar y las nuevas técnicas de arqueometría tienen un papel fundamental.

Cuadro 2.2. Resultados del cálculo del volumen de la Pirámide del Sol. Se resumen las tres formas utilizadas para calcular el volumen de la pirámide.

Volumen de la pirámide del Sol

1. Cálculo del volumen por cuerpos.

Lado	Longitud (m)	Altura (m)	Volumen (m ³)
lado 1.1	228.84		
lado 1.2	190.70	h1 = 19.07	841 457.54
lado 2.1	171.63		
lado 2.2	135.61	h2 = 15.89	376 707.80
lado 3.1	114.42		
lado 3.2	85.81	h3 = 12.71	128 259.46
lado 4.1	76.28		
lado 4.2	74.79	h4.1 = 2.11	12 039.07
lado 4.3	74.79		
lado 4.4	68.44	h4.2 = 4.23	21 708.65
lado 5.1	57.2		
lado 5.2	38.14	h5 = 9.53	21 949.60
lado 6.1	25.42		
lado 6.2	19.07	h6 = 3.17	1 579.29
Totales		Ht = 66.71	1 403 701 m ³

2. Cálculo del volumen de una pirámide sin truncar.

lado 1.1	228.84		
lado 6.2	0	66.71	1 164 484 m ³

3. Cálculo del volumen de una pirámide truncada.

lado 1.1	228.84		
lado 6.2	19.07	66.71	1 269 611 m ³

Capítulo 3

Estudio de los recubrimientos de cal

ANTECEDENTES

Distintos autores (Sanders 1965 [129]; Margáin, 1966 [92]) han planteado la posibilidad de que una desmedida tala de árboles haya precipitado la caída de la ciudad de Teotihuacan. Este estudio retoma esta posibilidad y fundamenta la hipótesis de que una de las causas de la deforestación pudo haber radicado en el uso intensivo de la madera para la fabricación de la cal, para la construcción de columnas y techos y para el consumo doméstico cotidiano. Para esto será necesario calcular los volúmenes de los materiales involucrados y, sobre todo, complementar estos cálculos con una prueba indirecta de la deforestación. Si tal cosa ocurrió, debió ocasionar una intensa erosión y una sedimentación en las partes bajas del valle. Por esta razón se propone incluir en los siguientes capítulos datos sobre un estudio sedimentológico para reconstruir las secuencias de sedimentación y sus fechas.

La cal fue un material muy importante para las culturas prehispánicas porque permitió dar a las edificaciones los acabados de superficie que sus estructuras requirieron, decorar sus interiores e impermeabilizar sus pisos y techos. Se utilizó en diversas formas: como mortero, aplanado, enlucido, etcétera. Los teotihuacanos fueron los primeros en el altiplano en utilizar la cal de manera intensiva. Entonces, desde luego, era un material novedoso y esta nueva tecnología encontró, en el proyecto de construcción de la nueva ciudad, el lugar propicio para desarrollarse.

Aunque es uno de los materiales comunes en las excavaciones arqueológicas de sitios posteriores al Clásico, hasta el momento el estudio de los recubrimientos arquitectónicos a base de cal ha sido muy limitado. Entre los estudios más destacados se encuentran los análisis sistemáticos realizados por Edwin

Littman entre los años 1957 y 1962, quien recorrió distintos sitios arqueológicos del país recogiendo muestras y analizándolas. A continuación se presenta un resumen de sus aportaciones. Al cabo de varios años publicó artículos con el título común de *Morteros, aplanados y estucos* y que se refieren a sus hallazgos en diversos sitios.

En su primer trabajo en Comalcalco, Tabasco, Littman (1957) [74] propuso que el uso de morteros de cal en el Nuevo Mundo fue, al parecer, un invento desarrollado en, y limitado a, Mesoamérica. Entonces eran muy pocos los estudios sobre este material y antes de Littman sólo existían algunas alusiones al uso de extractos de corteza de árboles en la preparación de los morteros. Al respecto, cita los trabajos de Morris, Charlot y Morris (1931: 220-224) [106], E. H. Thompson (1932: 174) [144] y Villa Rojas (1934) [148] que registraron el empleo de *sascab*, la tierra blanca y caliza del subsuelo yucateco, en lugar de la arena en la preparación del mortero. Respecto al área maya, J. E. S. Thompson (1954: 75) [145] por su parte, describió el uso de pómez mezclado con lodo en los acabados y de corteza de chacté para preparar los aplanados. Ruppert, Thompson y Proskouriakoff (1955: 67) [126] aseguraron que no existe evidencia del uso de arena o piedra caliza molida en el mortero de Bonampak. A su vez, Foster (1935: 577) [58] ya había efectuado el análisis químico de un mortero de Chichén Itzá, y en cuanto a Uxmal un informante de Alberto Ruz aseguró que tradicionalmente se preparaban morteros con miel.

En su trabajo, Littman (1957: 136) [74] ha establecido las siguientes definiciones:

Morteros: un material de unión comúnmente entre las piedras y ladrillos, como material de nivelación y relleno en faltantes pequeños. Normalmente contiene un agregado de arena, piedra molida, tierra, *sascab* o concha.

Aplanados: recubrimiento exterior, generalmente plano, usado como medio protector o como superficie para pintura mural. Frecuentemente tiene mayor densidad que el mortero y contiene fragmentos más pequeños y menos visibles de piedra o concha.

Estucos: superficie de cal moldeada o modelada con fines decorativos o simbólicos.

Lechada de cal: superficie muy delgada de material de cal que pudo ser aplicada con brocha o vaciando un líquido en una superficie horizontal.

Agregado de cal: mezcla compacta de cal y arenilla, cuando húmeda puede parecer un terrón firme, cuando seca es más dura y es difícil quebrarla con la mano; suele hallarse en las estructuras más tempranas que no usaban tabiques ni piedras.

Las pruebas químicas fundamentales son la determinación de calcio, magnesio y material insoluble en ácido clorhídrico e identificación microscópi-

ca de residuos. La alta relación molar de calcio a magnesio sugieren el uso de concha para producir cal. Los altos valores de insolubles indican que la cal fue preparada usando una mezcla con una a dos partes de arena por una de cal.

Una relación de 1 : 1 calcio y magnesio sugiere el uso de la roca dolomítica del lugar, pero en algunos estucos las relaciones pueden ir de 3 : 1 a 16 : 1 (apéndice H).

Durante el estudio realizado en el área Puuc, Littman (1960) [78] identificó un poco de yeso en una de las muestras. La cal fue producida quemando materiales marinos como conchas. Difieren de las muestras de Palenque en que no tienen muchas capas y se advierte una clara presencia de materiales granulares y fragmentos de rocas. Muy pocas muestras presentaron fragmentos de carbón, lo que sugirió al autor que la forma del quemado de la cal fue diferente, de manera que no se mezclaron los pequeños fragmentos de ceniza y carbón con la cal producida. Las diferencias en los colores han sido atribuidas a mezclas con *sascab* de colores distintos.

Existen muchas referencias al uso de extractos de corteza de diferentes árboles, que involucran al ácido tánico, para modificar las propiedades de los aplanados, facilitan el trabajo de aplicación, aumentan la resistencia y reducen las fracturas resultantes de la contracción. Littman [79] propone que es posible que la adición de extractos produzca quelatos de calcio y magnesio que modifican las propiedades finales del aplanado.

En cuanto a las características más importantes de un piso se incluyen su resistencia al intemperismo y al desgaste, así como a la carga y la facilidad para repararse. El piso está constituido por firme, aplanado y acabado, y la suma de esos elementos constructivos forman un piso completo. En muchos aplanados, por ejemplo, de Uaxactún (Littman 1962) [80] parece haberse usado un apisonado de *sascab*, en lugar de cal quemada en la preparación de los firmes, ya que no hay carbón en las muestras.

Con la información proporcionada por diversos trabajos Littman elaboró un cuadro para concentrar los datos analíticos reportados (apéndice H). Un aspecto relevante es el porcentaje de insolubles en los llamados “agregados de cal”, que deben ser considerados como firmes, es el más alto del cuadro y se puede decir que varían entre el 65 y el 40 por ciento, que corresponde a la presencia de materiales como la arena mezclada en proporción 1:1. De todos éstos sólo hay dos firmes provenientes de Palenque que tienen un valor del 25 por ciento.

Porcentaje promedio de insolubles en trabajos de Littman

	firmes	aplanados	lechadas	morteros
Comalcalco	55.5	17.4	17.4	
Las Flores	65.9	8.5		
Palenque	30.4	4.1	0.6	4.1

Para concluir, se puede decir que existe una relación estrecha entre la clasificación de los materiales y el porcentaje de insolubles en ácido. Esto significa que sus nombres se fundamentan en características macroscópicas relacionadas con la proporción de cal y su función. Por otro lado, se aprecia también una relación entre la localidad en la que se obtuvieron las muestras y la relación molar de calcio a magnesio. Esto indica que en sitios como Las Flores y Comalcalco la cal se preparó a base de concha; en consecuencia, se nota alta proporción de calcio y baja de magnesio –los valores de la relación Ca/Mg varían entre 10 y 50–. Sin embargo, en Palenque se aprecia un valor de la relación inferior y esto quiere decir que la proporción de magnesio se incrementa con respecto al calcio, lo cual indica que se trata de cal proveniente de una roca dolomítica con proporciones semejantes de los dos elementos (varía de 1 a 10 aproximadamente).

En resumen, los trabajos de Littman [74], [75], [76], [78], [80] constituyen el punto de partida de los estudios posteriores. Desafortunadamente gran parte de estos trabajos versan acerca de los aplanados con propósitos decorativos ya sea para relieves o murales. El resto de los aplanados, usados para pisos, techos o muros sin decoración, ha recibido muy poca atención. Los datos analíticos anteriormente discutidos serán de utilidad en los cálculos posteriores sobre los consumos de cal en Teotihuacan.

ORIGEN DE LOS RECUBRIMIENTOS DE CAL

Todo parece indicar que el uso de los aplanados de cal se remonta al Formativo en la península de Yucatán. Es evidente que por la abundancia de roca caliza se favorezca su aprovechamiento como cal. En nuestra opinión, en la península el simple uso de tres piedras en los hogares es suficiente para realizar la conversión de roca caliza en cal viva, y el apagado ocurriría con adición accidental de agua o la humedad del ambiente. De esta forma accidental, fácilmente pudo descubrirse la producción de hidróxido de calcio. Sin embargo, su empleo como recubrimiento arquitectónico no fue tan intenso, ni siquiera en Palenque. Es muy probable que los teotihuacanos hubieran tenido conocimiento de esta tecnología y que la aprovecharan para la construcción de su ciudad. Respecto al barrio de Oaxaca, Crespo y Mastache (1981: 103) [42]

citan una comunicación de Sanders: “la actividad de este grupo en Teotihuacan pudo estar relacionada con el trabajo en estuco, ya que el uso de estuco en las construcciones es una tradición más temprana en Monte Albán que en Teotihuacan”.

Hay evidencias de que el intercambio de productos fue muy específico, por ejemplo, los bienes de lujo, y de que había intercambio de regalos. También pudo haber intercambio del tipo administrado, quizá dirigido por las élites. Esto se evidenciaría por el espacio temporal y la distribución de bienes producidos para exportación en ambas sociedades (Carpio 2000: 106-107) [30].

Sin embargo, el intercambio tecnológico no se ha discutido con la misma amplitud que el intercambio de bienes. Existen suficientes evidencias de que la tecnología para el uso de la cal llegó a Teotihuacan y se utilizó principalmente en el momento en que se realiza la construcción de conjuntos habitacionales. Pudo haber llegado desde Oaxaca o bien directamente desde el área maya. Las relaciones bien documentadas con Kaminaljuyú y otros sitios pudieron ser la vía a través de la cual el conocimiento tecnológico fue transferido. Los recientes hallazgos de Sugiyama en la Pirámide de la Luna muestran la presencia de personajes mayas y pueden sustentar la importancia de los intercambios teotihuacanos con el área maya. Quizá el más importante de estos intercambios fue el tecnológico requerido para producir y utilizar la cal y posiblemente estemos ante las primeras evidencias de este tipo (Carpio 2000) [30].

Dado que en la cuenca de México la cal es un material raro, fue necesario primero reconocer los afloramientos de roca apropiada. Una vez localizados los sitios de aprovisionamiento, fue necesario extraer la roca con las dimensiones y características necesarias para quemarla (cantidad y tipo de leña, forma de los emparrillados, disposición de los trozos, duración de la quema, etcétera). Parte del conocimiento transferido incluyó también las condiciones de apagado de la cal viva para producir el material adecuado para la construcción.

El desarrollo de la tecnología de la porcelana es explicable en China por la abundancia de caolín, la del tallado de la obsidiana se da en el Altiplano Central por su disponibilidad. En forma análoga, proponemos, se desarrolló la producción de la cal en la península de Yucatán. Baste señalar que el primer uso de mampostería con piedra cortada y aplanados de cal en Tikal está asociado con la estructura 5D-sub-14-3, fechada en el Preclásico tardío en la fase Chuen (250-100 aC) (Culbert 1977: 38) [43].

Recientemente se han reportado fechas más tempranas, por ejemplo: pisos de Cuello, entre 1100 y 600 aC (Hammond y Gershwin 1990) [63]; estucos de Preclásico, medio temprano de Nakbé (900-600 aC) (Hansen *et al.* 1997) [64];

friso de la subestructura IIb de Calakmul (alrededor del 400 aC) (García *et al.* 2006) [60].

Hasta el momento, todo parece indicar que el intercambio fue asimétrico, ya que la repercusión que la cal tuvo en la arquitectura teotihuacana no se aprecia en ninguno de los elementos de intercambio encontrados en la zona maya como cerámicas, obsidianas, etcétera.

El acontecimiento conocido como la posible intrusión teotihuacana en Tikal, Uaxactún y Kaminaljuyú ocurrió entre los años 378 y 550 d.C. o sea durante el Clásico temprano (Fahsen 2000: 57) [52]. De esa área maya proviene la mayor colección de cerámica del centro de México, en particular, en los montículos A y B de Kaminaljuyú. Entre los recursos intercambiados por Teotihuacan y Kaminaljuyú se hallaron algunos cuencos Anaranjado delgado sin decoración, unos cilindros y algunos incensarios y obsidiana verde de Pachuca, mientras que posiblemente la contraparte intercambió bienes perecederos. Este contacto duró aproximadamente entre 100 a 150 años (fases Xolalpan y Esperanza) (Carpio 2000) [30]. Los constructores de estructuras talud-tablero en Kaminaljuyú conocieron la apariencia de la arquitectura de Teotihuacan, pero no utilizaron la misma técnica de construcción, lo que sugiere que las semejanzas arquitectónicas son producto de una emulación simbólica realizada por las elites locales mayas.

Adicionalmente, según Fahmel (1995) [51] existen evidencias de esta relación, y es muy posible que la tecnología maya hubiera sido canalizada hacia Teotihuacan a través de Monte Albán entre los años 150 y 200 dC. Como se verá adelante, hay evidencias muy tempranas de recubrimientos estucados en la zona oaxaqueña que sustentan esta propuesta, además de los aplanados localizados en el propio sitio de Monte Albán. También Fahmel (1995: 11) [51] considera que entre el año 1 y el 400 dC se desarrolló un intercambio estrecho entre las tierras altas de Oaxaca y el sudeste mesoamericano que desembocó en “un enriquecimiento tecnológico y formal de la arquitectura oaxaqueña y un incremento en el intercambio de tipos cerámicos”. Durante la época II tardía los señores de Monte Albán recibieron tipos cerámicos de las fases Miccaotli y Tlamimilolpa (150-350 dC). Además, hacia el periodo 350-400 dC el basamento de las Serpientes Emplumadas fue destruido y un grupo de personas se trasladó al “barrio oaxaqueño” y enterró bajo sus viviendas el recuerdo de Cocijo-Viento-Fuego. Éstas son algunas evidencias de la forma en que un desarrollo tecnológico proveniente de la zona maya pudo haber llegado a Teotihuacan, a través de Monte Albán, justo en el momento en que la ciudad inició la construcción de los conjuntos habitacionales y, en consecuencia, el consumo de grandes cantidades de cal durante la fase Tlamimilolpa.

Por otro lado, existen algunas alusiones dispersas de la presencia temprana de recubrimientos de cal. A propósito, por ejemplo, de Tlapacoya, Barba de Piña Chan (1980: 36) [10] relata: “aparecen pisos de estuco, muy rudimentarios, pero en los que ya se aplica la cal, que corresponden a las etapas finales de la época”. Más adelante, prosigue, “en la parte baja de la pirámide, en el piso que corresponde a la última época, había un estuco incipiente: arena y lodo con una poca de cal, formando una mezcla bastante consistente, pero no tanto como el estuco que encontramos posteriormente en Teotihuacan” (Barba de Piña Chan 1980: 126) [10].

Respecto a Oaxaca pueden leerse algunas interesantes descripciones en un texto de Flannery y Marcus:

... en la fase Tierras Largas temprana (*ca.* 1350 aC) se construyó en San José Mogote un nuevo tipo de construcción “pública”. Se trataba de un edificio público de un cuarto con aplanados de cal, de los cuales se conocen 8 ejemplos. El piso era de estuco de cal sobre una plataforma de fragmentos de roca madre, arcilla, cal y arena (Flannery y Marcus 1983: 47) [56].

Esta fecha se corrigió después, la evidencia más temprana que se tiene de la cal en Oaxaca es aproximadamente 900 aC (Flannery y Marcus 1990) [57].

También se cuenta con la información suministrada por el propio Flannery (1976: 31) [55] al describir la Unidad Habitacional 1 de la Fase Tierras Largas Tardía, descubierta en el Área B. Observó que la construcción fue hecha de bajareque recubierto con lodo y acabado con arcilla caliza blanca. En la descripción de edificios públicos encontrados en San José Mogote también fechados en la fase Tierras Largas (1400-1150 aC), Flannery asienta:

... eran construcciones rectangulares con postes de pino y con piso de aplanado de cal sobre una plataforma de fragmentos de toba volcánica, cal y arena. Las paredes fueron construidas con los mismos materiales y recubiertas con verdaderos aplanados de cal y algunas veces pueden detectarse varias capas. En el piso de una de estas construcciones se encontró, frente a un pequeño altar, un hoyo de almacenamiento lleno con cal en polvo para hacer estuco. (Flannery 1976: 334) [55].

Éstas son evidencias del conocimiento de la cal durante el Formativo en el sureste y sugieren la difusión de un conocimiento tecnológico que pudo haber partido de la región maya, pasó a través de la zona oaxaqueña y llegó al altiplano a principios del periodo Clásico. Sin embargo, este tema requiere más trabajo y más contextos fechados para poder establecer el mecanismo de difusión de este importante desarrollo tecnológico. Lo que es indudable es que este conocimiento fue aplicado de manera intensiva por primera vez en la ciudad de Teotihuacan.

A diferencia de los asentamientos anteriores en el Altiplano Central, las construcciones de Teotihuacan se caracterizaron por un extenso uso de la cal en sus diversas formas: estuco, aplanado, mortero, revoque, lechada, etcétera. Los datos recientemente recabados sobre el asentamiento anterior de mayor importancia, Cuicuilco, indican que allí no se utilizaron los aplanados de cal. En cambio, en las excavaciones recientes practicadas en Tetimpa por Plunket y Uruñuela [119], en 1995, en un sitio Formativo (200-100 aC) en la ladera del volcán Popocatepetl en el valle de Puebla, se localizan elementos arquitectónicos de tablero y talud con posible recubrimiento de cal.

Si bien en nuestra cultura el recubrimiento de un edificio desempeña funciones estéticas o utilitarias (conservación, impermeabilización, entre otros), para los teotihuacanos pudo haber desempeñado, además, una función religiosa. Una de las dualidades del pensamiento prehispánico, que prevalece hasta nuestros días, es la del fuego y el agua. Este binomio purifica y sacraliza y estos dos elementos precisamente son los necesarios para fabricar la cal. Por esto, valdría la pena buscar el significado de algo, como los recubrimientos de cal, que habían pasado inadvertidos, en una ciudad donde todo tiene un simbolismo mágico y religioso.

En Teotihuacan, este pensamiento se combina con la magnitud de la urbe y con la gran cantidad de estructuras recubiertas con aplanados de cal. Margáin (1966) [92] recomendó realizar un cálculo de sus aplanados y propuso un procedimiento para llevarlo a cabo, pero una tarea de esta naturaleza rebasaba con amplitud los recursos y datos disponibles en los años sesenta.

Se ha considerado conveniente, pues, llevar a efecto esta cuantificación y tratar de obtener datos sobre cuál pudo haber sido el impacto del uso de la madera en la producción de cal, en aspectos como la erosión y la sedimentación en el valle. Si se parte de que la cantidad de cal utilizada en la construcción de la ciudad debió haber sido muy grande y que, en consecuencia, la madera necesaria para producir esa cal también fue muy abundante, se sigue que el volumen de madera cortada para este propósito debió arrasar con grandes extensiones de bosques. Así pues, debió haber aumentado la erosión en las laderas del valle y aumentar la tasa de sedimentación en las cuencas. Con el fin de probar la hipótesis anterior se necesita calcular la superficie de las construcciones teotihuacanas recubiertas con aplanados de cal. Aprovechando las dimensiones registradas en el cuadro para el cálculo de los volúmenes de las pirámides (apéndice G), se calculó la superficie lateral de las dos pirámides principales, pero además fue preciso incluir las estructuras menores.

Hasta donde se sabe, la piedra caliza necesaria para la producción de cal se hallaba en la región de Tula –Teotihuacan carecía de este material–. A 9 kilómetros al este de Tula, es posible que los teotihuacanos tuvieran

un centro para controlar su explotación en Chingú, según Díaz Oyarzábal (1980: 60) [46]. La piedra caliza fue el material de construcción del sitio ya que abunda en las cercanías. Aunque existen evidencias de la relación de este sitio con Teotihuacan desde el Preclásico, y se sabe que la expansión teotihuacana pudo haber comenzado en la época Tzacualli, fue durante la fase Tlamimilolpa cuando Chingú se convirtió en una zona vinculada con Teotihuacan. En efecto, éste pudo haber sido “el mayor y más complejo asentamiento de la época Clásica en las inmediaciones de Tula y presentaba rasgos teotihuacanos en sus materiales de construcción, cerámica, orientación y patrón de asentamiento” (Díaz Oyarzábal 1981: 107) [47]. Ello coincide con el inicio de la construcción de los conjuntos residenciales en la ciudad. Durante la ocupación Xolalpan se han observado indicios de un fin gradual del sitio. Aunque hasta el momento no existen evidencias arqueológicas sobre la explotación de roca caliza para producir cal en el sitio, también Crespo y Mastache (1976) [41] coinciden en que el aprovechamiento de los bancos de roca caliza pudo haber sido uno de los motivos de la expansión teotihuacana. Rattray (1995: 71) [124] también sugiere la posibilidad de que el barrio oaxaqueño tuviera como función la distribución de la cal.

De acuerdo con Gibson (1991: 343) [61] en el siglo XVI la piedra caliza era difícil de conseguir en la ciudad de México. En el principio de la Colonia: “la cal se producía en los pueblos de Zumpango, Citlaltépec, Xaltocan, Hueyoxotla y Tequixquiac. En Hueyoxotla la quema de piedra se convirtió en una industria importante”. Sin embargo, a finales del periodo Colonial la mayor parte de la cal para la capital virreinal ya se obtenía de la región de Tula. Esto indica claramente que uno de los lugares más accesibles para los teotihuacanos debió ser la región cercana a Tula, con afloramientos de roca caliza localizados en las cercanías de los actuales poblados de Santa María Apaxco, Apaxco de Ocampo, Hueyoxotla, Santiago Tequixquiac y Tlapana-loya. Estas poblaciones modernas coinciden con las del siglo XVI, aparte de otras posibilidades en lugares un poco más al norte, Chingú es una zona lógica de aprovisionamiento de roca caliza, a sólo 80 kilómetros de distancia de la ciudad (figura 3.1, p. 90) la cual debiera estudiarse con detalle para justipreciar su relación productiva con Teotihuacan. Otros afloramientos a distancia razonable son los de los alrededores de Cuernavaca, aun cuando hay que considerar que la distancia casi se duplica y el desnivel de terreno es de 1,000 metros llevando una carga de subida. Esta posibilidad de aprovisionamiento tiene empero la ventaja de que desde Chalco la mitad del viaje podía recorrerse en canoa a través del lago. Otra posibilidad adicional es la obtención de cal de los yacimientos del valle de Puebla y Tlaxcala.

Lo que es un hecho es que el valle de Teotihuacan no dispone de este recurso geológico, los puntos mencionados son los más cercanos y un estudio de



Figura 3.1. Localización de las posibles fuentes de aprovisionamiento de cal al noroeste de Teotihuacan.

proveniencia con herramientas analíticas aporta información sobre los lugares de obtención del material. Tepeaca, Puebla, es otro lugar con afloramientos de roca caliza, pero se encuentra a unos 150 km de Teotihuacan. Sin embargo, coincide con la ruta de distribución de la cerámica anaranjado delgado.

Resultados recientemente publicados (Barba 2009) [16] demuestran que al menos la cal utilizada en el patio de Teopancazco provino directamente de la roca caliza que aflora en las cercanías de la ciudad actual de Tula.

Hasta el momento, en todo caso, falta evidencia arqueológica del uso de hornos en Teotihuacan, para la transformación de cal, sólo existe el descubrimiento de Carlos Múnica [108] de un horno para la quema de cerámica al norte de la Ciudadela pero, de todos modos, los hornos no son un requisito indispensable para llevar a cabo estos procesos y la quema puede efectuarse en hogueras abiertas o en emparrillados (Bargalló 1966) [17].

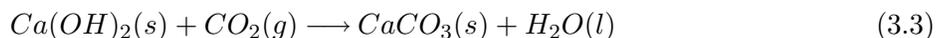
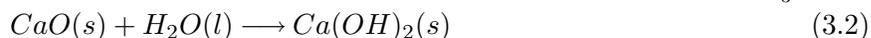
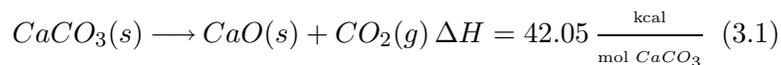
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN

Las etapas de transformación química se inician con la descomposición de una piedra caliza con alta proporción de carbonato de calcio ($CaCO_3$), a un óxido (CaO), la cal viva, mediante el uso de calor. Luego, al reaccionar con el agua forma un hidróxido ($Ca(OH)_2$), la cal apagada, y finalmente fragua incorporando el bióxido de carbono atmosférico para volver a formar el carbonato de calcio, pero ahora con la forma que el constructor le ha dado como mortero o estuco. En estas transformaciones destacan la gran necesidad

de energía para la primera transformación y, por ende, la gran cantidad de leña requerida; así como la reacción de apagado, fuertemente exotérmica, que transforma el óxido en hidróxido de calcio (cal apagada).

Para cuantificar el primer paso requerimos el dato del calor de reacción en la reacción química. El siguiente paso de apagado implica que fue difícil transportar la cal viva. En efecto, para el transporte de carga, con *tamemes* o *mecapaleros*, se utilizaba un *tenate* o canasto. El contacto de la cal viva con el agua provoca una reacción química que libera una gran cantidad de calor, al punto de que llega a hervir la mezcla alcalina, con proyecciones. Esto debió obligar, al menos durante las primeras etapas constructivas de Teotihuacan, a que la transformación se realizara cerca del lugar de uso por los riesgos del transporte.

La producción de cal apagada implica un avance tecnológico y pudo ocurrir en etapas posteriores. Por otro lado, actualmente existen culturas aborígenes que obtienen cal apagada con procedimientos relativamente sencillos. Al fin y al cabo, aun cuando la producción de cal apagada significa un avance tecnológico, puede considerarse como de nivel preindustrial. De manera resumida, las reacciones químicas involucradas en la producción y uso de la cal son:



Como puede verse, el número de moles de $CaCO_3$ en la roca caliza es igual al número de moles de $CaCO_3$ en el aplanado. En otras palabras, la masa de carbonatos en el aplanado es igual a la masa de la piedra caliza (supuesto el 100 por ciento de carbonato de calcio en la roca). Por esto, en los cálculos se determina el carbonato de calcio presente en el recubrimiento ya que su masa es igual a la consumida en la reacción 3.1. Esta reacción es la única que requiere de energía calorífica (de leña): 420.5 kilocalorías por cada kilogramo de roca caliza ($CaCO_3$), ya que la masa molar del $CaCO_3$ es 100 gramos por mol.

La “cal viva” producida en la reacción 3.1 se combina en la reacción 3.2 con agua en un proceso exotérmico (gran desprendimiento de calor). Como mencionamos, la cal viva literalmente explota al entrar en contacto con el agua; cuanto mejor haya sido la calcinación, más violenta será la reacción de apagado. Una posibilidad es que la cal viva fuera producida *in situ* pues su transporte resultaba peligroso. La madera empleada debía ser, en consecuencia, oriunda de las cercanías de Teotihuacan. Durante las primeras etapas debió ser casi imposible que los teotihuacanos produjeran cal apagada (reacción 3.2) y luego la transportaran, ya que se necesita un control sobre la

cantidad de agua y sobre el fraguado para evitar la reacción 3.3 antes de tiempo.

Conocidas las etapas de transformación química, resta cuantificar cuál pudo ser la superficie recubierta con aplanados en la antigua ciudad de Teotihuacan a fin de estimar la masa de carbonato de calcio y la energía calorífica necesaria.

CÁLCULO DE LA CAL UTILIZADA EN LOS CONJUNTOS HABITACIONALES

Para tener una idea del orden de magnitud con el que trataríamos se efectuó una estimación preliminar utilizando los resultados del proyecto “*Teotihuacan Mapping Project*”. Según Millon (1973) [102] existen alrededor de 2 200 conjuntos habitacionales registrados durante los trabajos de arqueología de superficie, cuyas dimensiones promedio son de 60 por 60 metros. Con estos datos se hizo una estimación aproximada de la superficie estucada. La superficie de cada unidad sería en promedio de más o menos 3 600 metros cuadrados, aunque si consideramos que tienen piso y techo, tendremos que se duplica a 7 200. Considerando las dos caras de los muros internos de estos conjuntos, cuando menos debemos agregar otro tanto, con lo que tendríamos cerca de 10 mil metros cuadrados de superficie por unidad. Al multiplicar por el número total de conjuntos el resultado es de 20 millones de metros cuadrados (2 mil hectáreas). Si se estima, además, que el espesor de estos recubrimientos es de 5 centímetros en promedio esto suma un millón de metros cúbicos de aplanados de cal. Si éstos fueran, a su vez, preparados con 90 por ciento de cal, de manera preliminar podemos hablar de 900 mil metros cúbicos de carbonato de calcio. Esto equivaldría a una montaña de carbonato de calcio casi del 60 % del tamaño de la Pirámide del Sol, lo que sugiere que valía la pena realizar el cálculo detallado con el objeto de obtener resultados más confiables y exactos.

Esta primera aproximación nos muestra que puede ser muy grande la cantidad de cal involucrada en los acabados de una ciudad como Teotihuacan, aunque también hay que considerar que fue amplio el periodo de tiempo ocupado. Hay que agregar el recubrimiento de las pirámides, el de las plazas y calles, el de las subestructuras y sus reparaciones, de modo que la cifra aumentaría todavía más. Si, como señalamos, por la ineficiencia del sistema se requiere una gran cantidad de energía para realizar la transformación, nos encontramos ante la posibilidad de que la cantidad de combustible utilizado haya sido también muy grande.

Para verificar esta propuesta y profundizar los detalles de este estudio, se procedió al cálculo de la superficie total estucada. Para ello nos apoya-

ESTUDIO DE LOS RECUBRIMIENTOS DE CAL

mos en el mapa de Millon (1973) [102] quien interpretó los datos del reconocimiento de superficie y determinó los límites probables de los conjuntos habitacionales. Medimos, por consiguiente, una a una, las dos dimensiones de los rectángulos que representan cada unidad. Siguiendo la retícula N-S y E-O trazada en el proyecto original, por cada cuadro registramos todos los conjuntos encontrados. Se capturó la información en una hoja de cálculo y se determinó la superficie total. Para verificar algunas de las mediciones, se digitalizaron algunos de los cuadros del mapa y se midieron automáticamente la superficie y el perímetro. Este procedimiento permitió observar diferencias mínimas en las dos formas de medición (figura 3.2, p. 93).

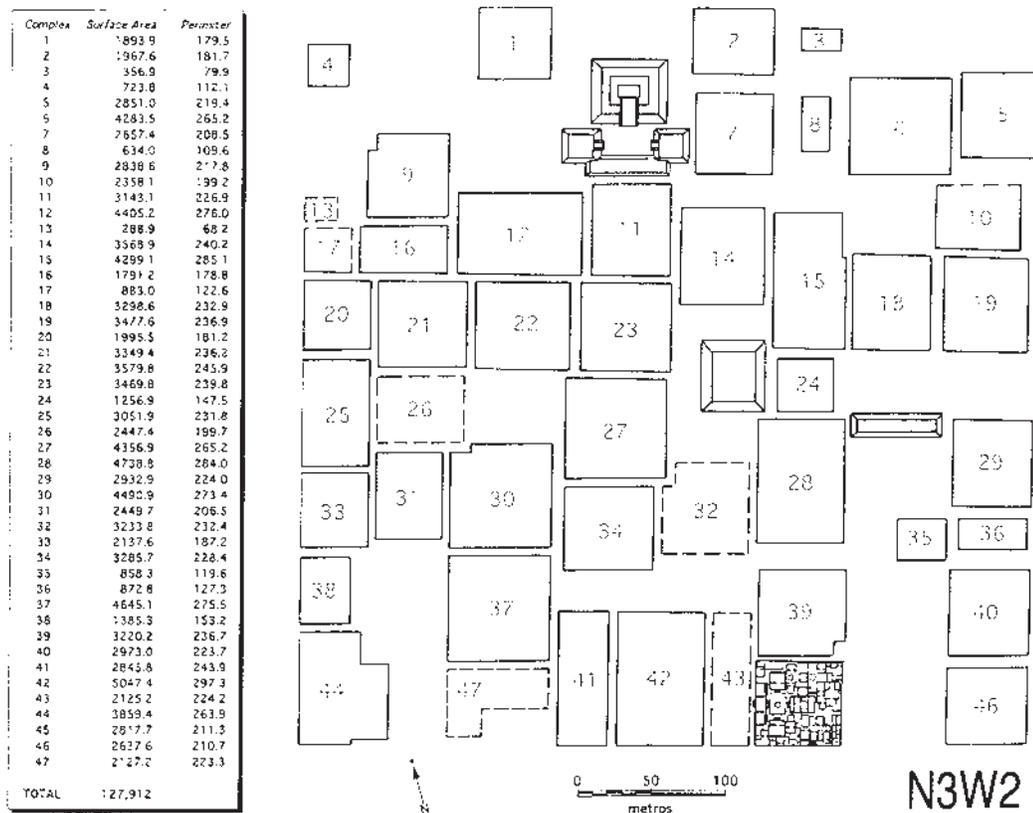


Figura 3.2. Ejemplo de medición digital de conjuntos habitacionales en el cuadro N3W2. Esta forma de medición de áreas lo realiza digitalmente el programa *Image v.1.49* utilizado.

Se encontró que las dimensiones promedio de los lados son muy parecidas, lo que indica una gran tendencia a erigir conjuntos cuadrados. La dimensión promedio de los lados es de 43.88 metros, valor muy cercano al propuesto por

Cuadro 3.1. Resultados promedio por cuadro de la longitud (m) N-S medida en cada rectángulo registrado en el mapa de Millon

	W8	W7	W6	W5	W4	W3	W2	W1	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
N7						38	46	50									45
N6					28	33	41	53	71	64	64						51
N5					37	46	44	50	57	55	34	51					47
N4				31	35	41	47	32	40	45	41	41					39
N3		19	23	51	39	26	55	45	45	38	44	66	47				42
N2	42	28	30	43	50	53	55	36	26	39	44	43	40	65	53	50	44
N1	34	63	44	50	44	58	60	57		39	49	52	40	43	48	61	49
S1		51	52		64	52	52	41	54	52	46	46	48	35			49
S2			40			49	41	34	40	52	40	40	34	24			39
S3						47	36	37	33	29	40	41	37	30			37
S4					45	45	31	33	37	38							38
S5					62	30		29	40								40
S6					44			22	24								30
S7								35	22								29
	38	40	38	44	45	43	46	40	41	45	45	48	41	39	51	56	43.16
																	prom

Cowgill en 1992 [40]. El área promedio calculada hasta el momento resulta, por tanto, de 1 925 metros cuadrados por conjunto. Estas dimensiones son menores que la estimación de Millon y permiten ajustar nuestros cálculos.

DIMENSIONES DE LOS CONJUNTOS HABITACIONALES

Cuadro dimensión N-S

El cuadro 3.1, p. 94 resume los datos de la medición de altura (dimensión N-S) de los rectángulos que representan los conjuntos habitacionales en cada cuadro del mapa de Millon. Analizando los valores promedio por renglones puede observarse que hacia el norte aumentan los valores y hacia el sur disminuyen. En cambio, los promedios en la dirección E-O se aprecia que hacia el este aumenta esta dimensión de altura. En el análisis por sectores se concluye que el Sector 2 (noreste) tiene un promedio de altura mayor, mientras que el Sector 4 (sudeste), tiene el valor menor. Los dos sectores del oeste son iguales. El promedio general es de 43 metros en la longitud norte al sur (cuadro 3.1, p. 94).

Cuadro dimensión E-O

En el cuadro 3.2, p. 95 aparecen los datos de la dimensión este-oeste (base) de los rectángulos que representan los conjuntos habitacionales en los cuadros del mapa de Millon. Respecto a los promedios de las dimensiones de los

ESTUDIO DE LOS RECUBRIMIENTOS DE CAL

Cuadro 3.2. Resultados promedio por cuadro de la longitud (m) E-W medida en cada rectángulo registrado en el mapa

	W8	W7	W6	W5	W4	W3	W2	W1	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
N7						34	40	51									42
N6					21	34	42	53	64	64	47						46
N5					43	44	42	44	58	51	36	46					46
N4				33	38	45	48	37	42	44	41	55					43
N3		30	22	43	51	23	52	46	56	40	51	60	45				43
N2	40	36	29	58	56	59	56	42	27	36	40	45	44	61	51	50	46
N1	62	49	40	52	45	60	59	51		55	44	59	43	60	44	62	52
S1		45	50		63	56	53	54	49	51	43	48	62	34			51
S2			42			44	44	36	39	46	40	52	35	26			40
S3						47	39	34	41	48	50	40	38	29			41
S4					55	45	31	31	38	38							40
S5					62	30		28	60								45
S6					47			22	27								32
S7								25	27								26
	51	40	37	47	48	43	46	40	44	47	44	51	45	42	48	56	44.61
																	prom

conjuntos de la ciudad vistos del norte al sur, puede apreciarse que hacia el centro aumentan los valores y hacia el sur se presentan los mínimos. En la dimensión E-O, se tiene un promedio constante con ligeros aumentos en el centro y el extremo oriental. El promedio global es casi 45 metros y es muy cercano al del cuadro (cuadro 3.1, p. 94).

Cuadro de superficie construida por cuadro

El cuadro 3.3, p. 96 reúne los datos sobre los resultados del cálculo de la superficie construida por cada cuadro del mapa de Millon. La superficie se calculó multiplicando el dato de la base por la altura de cada rectángulo registrado y sumando el total por cuadro. En este cuadro es notable cómo se incrementa la superficie construida por línea en el centro de la ciudad, a los lados de la Calle de los Muertos y en el sector entre la Pirámide del Sol y la Ciudadela.

Cuando se atiende a los promedios de superficie construida por línea nos percatamos de que en los extremos el promedio se incrementa. Lo que es una constante es que la parte sur de la ciudad presenta los valores menores de todos los indicadores. El promedio global de la superficie de todos los conjuntos es 2 073 metros cuadrados por unidad (cuadro 3.3, p. 96), esto es, superficie total/total de conjuntos habitacionales (4 559 500 m²/2 199 ch).

Cuadro 3.3. Área construida por cuadro. Suma de las superficies construidas por cada cuadro del mapa

W-E N-S	W8	W7	W6	W5	W4	W3	W2	W1	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
N7		0	0	0	0	37442	40040	10875	0	0	0	0	0	0	0	0
N6	0	0	0	0	34173	120160	103235	65947	36519	43573	41082	0	0	0	0	0
NS	0	0	0	3081	11678	62134	68668	60590	50393	96852	24696	6084	0	0	0	0
N4	0	0	0	18433	10153	69796	128938	87585	16263	122155	49873	16250	0	0	0	0
N3	0	3060	9256	20936	0	18423	143239	122971	22951	56733	71731	23125	22093	0	0	0
N2	1680	7321	39191	44993	29973	98769	179390	96863	55644	2.25	84198	1935	0	12461	5319	2500
N1	8292	15893	38488	0	58220	116316	167748	83158	0	81132	96022	64244	65300	16234	20534	27379
S1	0	42049	5200	0	8428	78389	94262	42360	57387	79282	24595	25375	29333	13012	0	0
S2	0	0	0	0	0	133589	9154	38223	32806	26144	3250	6050	8541	8944	0	0
S3	0	0	0	0	0	10615	31339	33521	31058	0	2000	9825	8658	8999	0	0
S4	0	0	0	0	0	4100	19519	21313	13900	0	0	0	0	0	0	0
S5	0	0	0	0	7708	900	0	1909	2400	0	0	0	0	0	0	0
S6	0	0	0	0	11305	0	0	1700	4025	0	0	0	0	0	0	0
S7	0	0	0	0	0	0	0	0	1725	0	0	0	0	0	0	0

Superficie total: 4 559 500 m².

Cuadro de densidad de conjuntos

En el cuadro 3.4, p. 98, se resume la cantidad de conjuntos habitacionales construidos por cada cuadro del mapa de Millon. Como en todos los cuadros anteriores, puede apreciarse que la mayor cantidad de los conjuntos habitacionales se concentra en los cuadrantes de la parte norte de la ciudad. El máximo de conjuntos construidos se encuentra en el sector noroeste, el cual tiene la misma cantidad de conjuntos que la suma de los tres sectores restantes. En cuanto a los promedios, a los lados de la Calle de los Muertos se tiene el más alto promedio de conjuntos construidos y lo mismo ocurre cuando se considera la parte norte de la ciudad. El número total de conjuntos registrados es de 2 199 y el promedio general de conjuntos construidos por cuadro es de diecinueve. Cuando se atiende al promedio por sector tenemos que los sectores del norte tienen valores superiores al promedio general y el valor máximo está en el sector noroeste (27 ch/cuadro), mientras que los sectores del sur tienen valores promedio bajos con un mínimo en el sudeste de 9.3 conjuntos por cuadro en el sector. El sector NW, con 1 061 conjuntos habitacionales comprende un promedio de 27 ch/cuadro. El sector NE, tiene 669 ch y una densidad de 22 ch/cuadro. El sector SW incluye a 254 conjuntos habitacionales, con una densidad de 11 ch/cuadro. El sector SE, 215 ch/cuadro y 9 ch/cuadro, respectivamente.

Cuadro de conjuntos irregulares

Aunque la mayoría de los conjuntos tienden a ser cuadrados o rectángulos regulares, algunos conjuntos medidos fueron irregulares y formaban ángulos rectos (forma de L). Se notó que en la parte norte se hallaba el mayor número de conjuntos irregulares, cuadro 3.5, p. 98. De un total de 2 199 conjuntos irregulares, 135 se ubican en el sector NW, 105 en el NE, 11 en el SW y 8 en el SE. Cabe señalar que el número de conjuntos irregulares representa el 11.78 % del total.

Habiendo una dimensión promedio muy constante y una gran tendencia a hacerlas cuadradas y regulares, es notable cómo tuvieron que adecuarse a los espacios libres disponibles y esto motivó que variara su patrón de construcción tornando irregulares los conjuntos. Éste es un fenómeno que puede apreciarse en la actualidad en el centro de las grandes ciudades, cuando aumenta la plusvalía del terreno. Con estos datos debe explorarse la posibilidad de que los conjuntos irregulares representen los conjuntos construidos en la última etapa, cuando ya no se disponía de lugares idóneos.

MATERIALES Y ENERGÍA EN LA ARQUITECTURA DE TEOTIHUACAN

Cuadro 3.4. Número de conjuntos habitacionales registrados por cada cuadro del mapa. Se indica, además, el número total de conjuntos estudiados y algunos promedios

	W8	W7	W6	W5	W4	W3	W2	W1	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	sum	prom E-W
N7						27	21	4									52	17
N6					5	102	58	23	8	10	13						219	31
N5					21	28	36	25	17	34	18	2					181	23
N4				3	9	35	54	62	10	60	28	7					268	30
N3		5	18	9	5	22	48	53	9	34	31	6	10				250	21
N2	1	7	41	8	10	31	57	55	72	64	43	1	35	3	2	1	431	27
N1	4	5	21	16	28	33	44	27		32	40	21	36	6	9	7	329	22
S1		19	13		2	25	32	20	20	27	12	11	9	10			200	17
S2			3			5	5	27	18	10	2	3	7	13			93	9
S3						5	20	23	19	8	1	6	7	10			99	11
S4					1	2	18	16	9	3							49	8
S5					2	1		4	1								8	2
S6					5			4	6								15	5
S7								2	3								5	3
SUM	5	36	96	36	88	316	393	345	192	282	188	57	104	42	11	8	2199	
prom N-S	3	9	19	9	9	26	36	25	16	28	21	7	17	8	6	4		19

Cuadro 3.5. Número de conjuntos habitacionales irregulares por cada cuadro del mapa

	W8	W7	W6	W5	W4	W3	W2	W1	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
N7						6	4	1								
N6					0	22	14	0	0	1	0					
NS					0	3	0	3	4	2	0	0				
N4				0	0	4	0	14	0	11	4	0				
N3		0	1	0	0	0	1	16	1	8	2	0	1			
N2	0	0	0	0	2	3	7	15	25	13	6	0	0	1	0	0
N1	1	1	1	0	0	2	8	6		7	14	0	3	1	1	0
S1		0	0		0	5	2	0	6	1	1	0	0	1		
S2			0			0	0	0	0	1	0	0	0	1		
S3						0	0	0	0	0	0	0	0	0		
S4					0	0	0	0	0	0						
S5					1	0		0	0							
S6					0			0	0							
S7								0	0							

MAPAS DE DISTRIBUCIÓN DE CONJUNTOS HABITACIONALES

Gráfica de distribución de conjuntos habitacionales

La figura 3.3, p. 99 representa los conjuntos habitacionales en cada cuadro del mapa de Millon. Puede apreciarse cómo el máximo de densidad de conjuntos habitacionales se concentra en la parte central norte de la ciudad. Una densidad media sigue los dos ejes principales hacia el este y el oeste y hacia el sur, pero hacia el norte el incremento es notable. Corresponde con exactitud a la zona que rodea la Pirámide del Sol y la cercana a la Pirámide de la Luna. Un gran pico se destaca en la zona de Oztoyahualco.

Otra concentración de conjuntos edificados en Teotihuacan se encuentra cerca de la Calle de los Muertos entre las dos grandes pirámides. Fuera de la concentración central destaca la zona noroeste y los barrios desarrollados sobre los ejes, como el Barrio de Oaxaca al oeste y el de los Comerciantes al este.

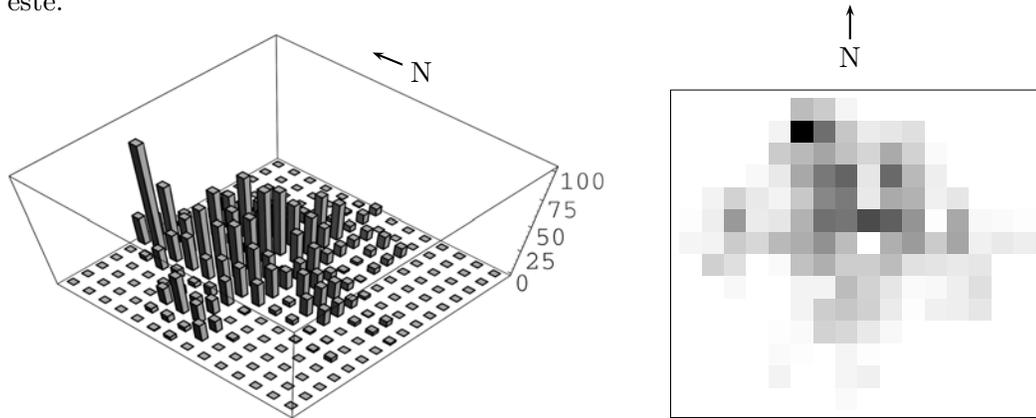


Figura 3.3. Mapa de distribución de los conjuntos habitacionales por cuadro del mapa de Millon. En esta representación gráfica del cuadro 3.4, p. 98, se muestra la distribución de conjuntos habitacionales en la ciudad. Los prismas más altos se localizan entre la Ciudadela y Oztoyahualco.

Gráfica de distribución de superficie construida

En principio, la distribución en la figura 3.4, p. 100, refleja la anterior por razones obvias, pero, en este caso, se proporciona información adicional acerca de las dimensiones de los conjuntos habitacionales. Aun cuando en el mapa anterior se aprecia una mayor densidad en la Calle de los Muertos, entre las dos pirámides mayores, en éste sus dimensiones tienden a ser pequeñas. Esto debe estar relacionado con la superficie disponible. En este espacio tan importante, el terreno es más cotizado y la superficie disponible reducida; la consecuencia estriba en que concentra muchos conjuntos pequeños.

En contraste, en los espacios al oeste de la Ciudadela, las dimensiones aumentan considerablemente, puesto que por lógica hacia las afueras de la ciudad se dispuso de mayores espacios. Tal es el caso de la zona inmediatamente al noreste de la Pirámide de la Luna y la zona del Barrio de los Comerciantes al este de la ciudad. Como en el mapa anterior, es notable cómo en las orillas del mapa disminuye la presencia de conjuntos y sólo pueden verse incrementos que colindan con la Calle de los Muertos al sur y hacia el este y el oeste. Se destaca un aumento en la superficie construida en un sector al sur cercano a la Calle de los Muertos. Hemos propuesto anteriormente que la mayoría de las construcciones se encuentra en la parte norte de la ciudad, pero en este mapa puede delimitarse la mancha urbana y correlacionarla con la presencia de las depresiones. El resultado es que la relación entre las depresiones y la presencia de las construcciones es muy estrecha, y tiene que ver con el aprovisionamiento de materiales, como consta en la figura 1.1, p. 28.

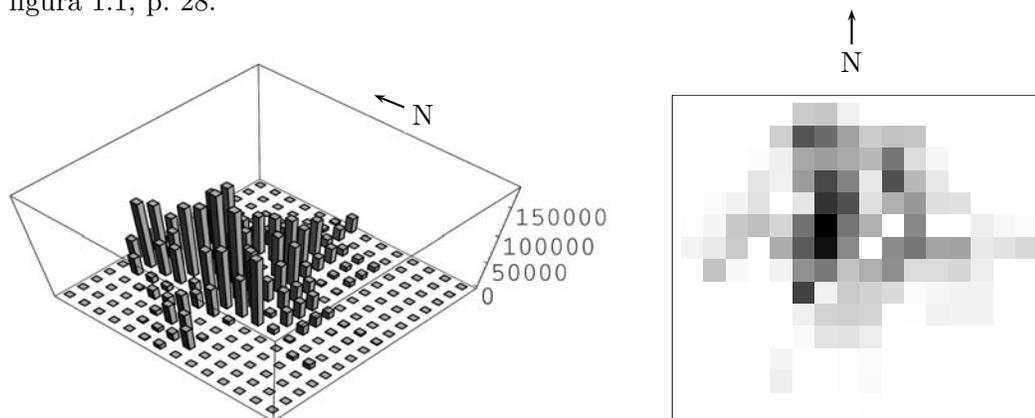


Figura 3.4. Mapa de distribución de la superficie construida. Esta representación muestra cómo los máximos valores de superficie construida por cuadro se agrupan al oeste de la Pirámide del Sol.

Mapa de distribución de conjuntos irregulares

Uno de los indicadores de la limitación en espacio disponible para la construcción es que conociendo la gran tendencia teotihuacana a hacer sus conjuntos cuadrados, se encuentran conjuntos en forma de escuadra. Esto puede indicar restricciones de espacio. En este mapa se muestra que nuevamente el espacio comprendido entre las dos pirámides mayores, que resultó el más densamente construido, tiene más conjuntos irregulares, en tanto que el área siguiente es, otra vez, el área al noroeste de la Pirámide de la Luna. El resto del área muestra que en la cercanía del perímetro urbano no se requirió deformar los conjuntos y que todas pudieron levantarse de forma cuadrada. Como se pro-

puso anteriormente, los conjuntos cuadrados en las áreas más densamente construidas debieron ser anteriores a los conjuntos irregulares que se adaptaron al espacio restante. La correlación entre los valores máximos en el mapa de densidad y el de conjuntos irregulares es casi exacta y se aprecia una gran correspondencia (figura 3.5, p. 101).

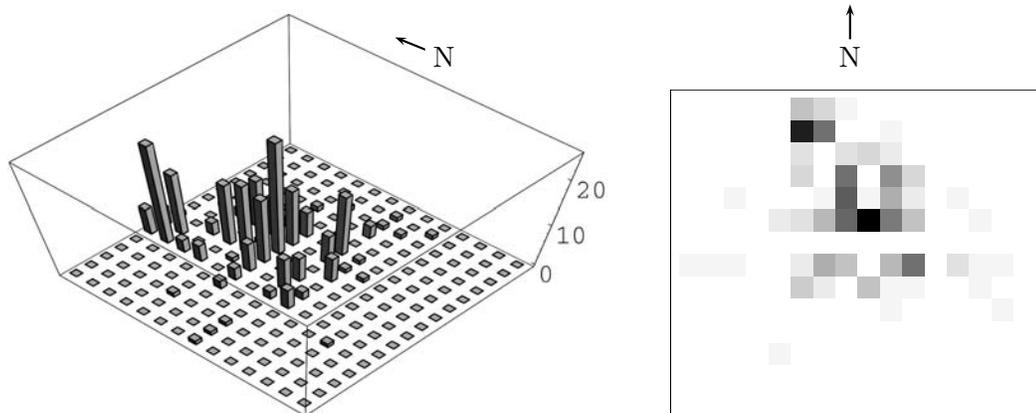


Figura 3.5. Mapa de distribución de los conjuntos irregulares. Este mapa muestra cómo los conjuntos habitacionales irregulares se concentran en las áreas más densamente construidas.

Mapa de superficie promedio por cuadro

Este mapa es más homogéneo, y representa el promedio de la superficie por cada cuadro. Sin embargo, existen diferencias dignas de destacarse. En el mapa de distribución en el área de Oztoyahualco se presenta una gran cantidad de pequeños conjuntos habitacionales, pero en este mapa el área construida promedio es menor. En contraste, aunque también existen conjuntos construidos en el centro de la ciudad, éstos pueden ser mayores, pues el resultado es que el área promedio aumenta considerablemente en la zona cercana a la Depresión 9, en la zona de conjuntos residenciales al noroeste del Gran Conjunto. Hacia el sur resulta ínfima la superficie promedio de los conjuntos habitacionales por cuadro (figura 3.6, p. 102).

Hasta el momento sólo se han considerado las superficies de piso construidas pero otra gran extensión de superficie con aplanados son los techos. Según la reconstrucción de los materiales utilizados en el techado, publicado por Margáin (1966) [92], la impermeabilización final se lleva a cabo mediante aplanados de cal. Para determinar la superficie techada se consultaron los planos arquitectónicos publicados por los autores de las excavaciones realizadas en conjuntos habitacionales (Linné 1934, 1942, [72], [73]; Séjourné 1966 [135];

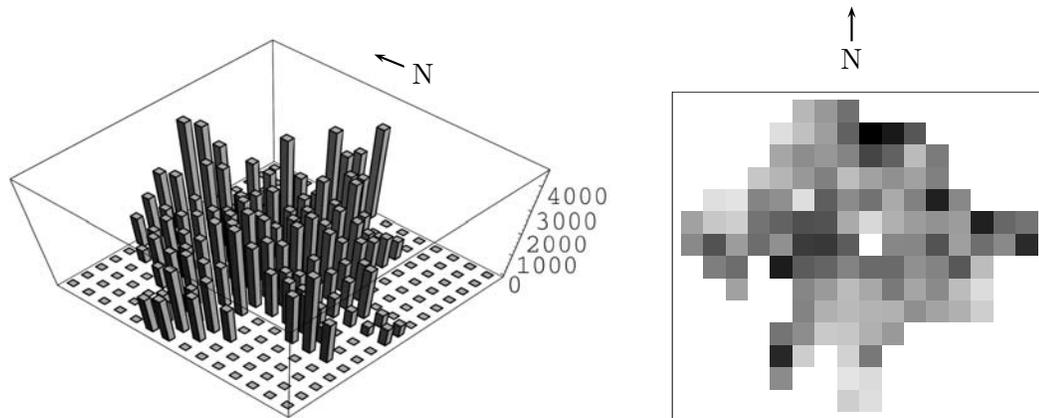


Figura 3.6. Mapa de distribución de la superficie promedio de conjunto habitacional por cuadro. En este mapa se nota la homogeneidad de los valores promedio por cuadro, pero se destacan algunas zonas donde este promedio se incrementa por las grandes dimensiones de los conjuntos.

Manzanilla 1993b [89]) y se determinó el porcentaje de la superficie total que tiene patios descubiertos. Para tres de los conjuntos estudiados tenemos 15, 20 y 25 por ciento del área total sin techo. Hasta el momento podemos utilizar el 80 por ciento como el factor a aplicar en todas los conjuntos, a reserva de ampliar la muestra y mejorar el dato. Este factor fue aplicado al total de los conjuntos y con esto se estimó la superficie techada total (3 647 000 m²). Utilizando los mismos planos arquitectónicos se calculó la superficie de muros recubierta con aplanados de cal en los conjuntos habitacionales.

Mediciones de muros en los conjuntos habitacionales excavados

Con el fin de conocer cuál sería el recorrido de muros por cada metro cuadrado de superficie construida en los conjuntos habitacionales, se midieron las longitudes de los muros en los planos obtenidos de algunos de los conjuntos excavados en Teotihuacan y los resultados se muestran a continuación. Los dibujos de los planos se obtuvieron del artículo de Manzanilla (1993: 32-40) quien cuidadosamente redibujó los planos originales (apéndice I).

Oztoyalhualco

De las mediciones realizadas en los tramos de muros de esta unidad excavada por Manzanilla entre 1985 y 1987 se midieron 181 metros de muros con 52 tramos, con un promedio de 3.5 metros por tramo. La superficie total excavada fue de 550 metros cuadrados. El recorrido de muros por metro cuadrado de construcción es de 0.33 (apéndice I).

Tetitla

En este cuadro se tienen los datos de la medición de 256 tramos de muros que suman un total de 1 238 metros de muros, con un promedio de 4.8 metros por tramo. Sus dimensiones son 60 metros por lado y su superficie total es 3 600 metros cuadrados. El coeficiente es de 0.34 metros de muro por cada metro cuadrado de construcción.

Tlamimilolpa

En esta unidad se midieron 346 tramos de muro que sumaron 1 424 metros de longitud de muros, con un promedio de 4.1 metros por tramo. La superficie excavada es de 3 640 metros cuadrados con 176 cuartos. Según Margáin (1966: 164) [92], la superficie aproximada es 4 mil metros cuadrados. En este caso, el recorrido de muros por metro cuadrado varía entre 0.35 y 0.39.

Xolalpan

En esta unidad se midieron 109 tramos de muro y su longitud total es de 400 metros, lo que significa un promedio de 3.7 metros por tramo. Éste es, por supuesto, uno de los conjuntos habitacionales pequeños. Sus dimensiones son 38 por 32 metros y su superficie de 1 300 metros cuadrados. También en este caso el coeficiente es de 0.31 metros por metro cuadrado.

Yayahuala

En esta unidad se midieron 188 tramos, y la longitud total de muros es de 1,198 metros y el promedio es de 6.4 m por tramo. También sus dimensiones son 60 metros por lado, lo que arroja como resultado una superficie de 3 600 metros cuadrados con un coeficiente de 0.33 metros por metro cuadrado.

Zacuala

Se midieron 561 metros de longitud de muros sumando 86 tramos, con un promedio de 6.5 metros por tramo. Sus dimensiones externas son 58 por 62 metros, que suman una superficie construida de 3 596 metros cuadrados. Es notable que, en este caso, el promedio de los tramos medidos es alto con 6.5 metros. Esto coincide con un coeficiente bajo de sólo 0.16 metros por metro cuadrado, lo que sugiere que en las construcciones denominadas “palacios”, podemos encontrar espacios mayores que se manifiestan en los datos como tramos de muros más largos y, en consecuencia, menos muros por unidad de superficie.

CÁLCULOS DE VOLUMEN DE CAL UTILIZADA

En el apartado “Cálculo del volumen de las pirámides” del capítulo anterior se realizó el cálculo del volumen total de materiales presentes en el núcleo del muro. De ellos el volumen del mortero que liga las piedras en los muros se estimó en 30 por ciento del total. En consecuencia:

$$V_{\text{mortero}} = 1\,595\,825 \times 0.3 = 478\,747 \text{ m}^3 \text{ de mortero en muros.}$$

Masa mortero = $478\,747 \times 2.5 \text{ ton/m}^3 = 1\,196\,867 \text{ ton}$ de mortero.

Longitud = $4\,559\,500 \text{ m}^2 \times 0.35 \text{ m/m}^2 = 1\,595\,825 \text{ m}$ de muros totales.

Si consideramos el 60 % de insolubles en ácido (apéndice H) en el mortero, se tienen:

$1\,196\,867 \text{ ton de mortero} \times 40\% = 478\,720 \text{ ton de } CaCO_3 \text{ en mortero}$

Tentativamente se incluye en el cálculo de la cal utilizada en el mortero que aglutina las piedras en los muros. Sin embargo, no se dispone de pruebas concluyentes de que el mortero contuviera esta proporción de cal. La restauración de los muros excavados en Teotihuacan impide la toma de muestras de mortero. En las pocas excavaciones recientes en que esto fue posible, se encontró que en algunos casos no presenta reacción al ácido, lo que implica que en algunos de los casos estudiados se tiene sólo lodo como mortero. (El dato del 40 % de cal en el mortero se obtuvo del promedio de los datos de Littman, apéndice H, para agregados de cal.)

El cálculo del volumen de aplanados en los muros fue hecho de la siguiente manera: Si consideramos sus dos caras:

$$\text{Longitud} = 3\,191\,650 \text{ m de muros}$$

Para calcular a su vez la superficie recubierta con aplanados se consideran 2.5 metros de altura:

$$S_t = 7\,979\,125 \text{ m}^2 \text{ de superficie aplanada.}$$

Se consideran dos cm de espesor promedio de los aplanados:

$$V_t = 159\,582 \text{ m}^3 \text{ de aplanados en muros.}$$

Se requiere añadir la superficie de pisos recubierta con aplanados. Aunque se sabe que el acabado de los techos también tenía aplanados de cal y que pudiera representar el 80 por ciento de la superficie de pisos, este dato es incierto y por el momento no se incluirá en los cálculos.

Entonces:

$$V_p = 4\,559\,500 \text{ m}^2 \times 2 \text{ cm}$$

$$V_p = 227\,975 \text{ metros}^3 \text{ de aplanados en pisos.}$$

Esto suma un volumen total de aplanados en conjuntos residenciales de 387 557 metros cúbicos. La masa total se calcula utilizando una densidad promedio de 2.5 toneladas por metro cúbico:

$$M_t = 968\,892 \text{ ton de aplanados en muros y pisos.}$$

Apoyado en los datos de Littman (1959a, 1959b) [76], [77] y en nuestros propios resultados analíticos puede considerarse que el aplanado tiene un 80 por ciento de pureza. Por tanto, la masa de carbonato de calcio puro en los aplanados será:

$M_{\text{carb}} = 775\,114$ ton de CaCO_3 en los aplanados de muros y pisos (apéndice H).

Este resultado, 775 mil toneladas, sumado a los obtenidos por el cálculo de los recubrimientos de las estructuras piramidales (48 400 toneladas), más la cantidad de cal en los morteros (478 720 toneladas), suman el gran total de carbonato de calcio utilizado en la construcción de la gran ciudad de Teotihuacan (1 302 234 toneladas). Sin embargo, aún existe un alto grado de incertidumbre ya que hacen falta datos confiables para tener mayor certeza en los resultados; además, debemos hacer notar que se han excluido los materiales utilizados en la construcción de la Calle de los Muertos, las plazas abiertas, las calles y las subestructuras no excavadas. Aun así, este resultado será útil en el siguiente capítulo para el cálculo de la madera necesaria para transformar la cal.

Millon (1993: 29) [104] comenta que el Estado tuvo que haber patrocinado la construcción de los complejos habitacionales organizando el aprovisionamiento de los materiales de construcción.

Ésta fue una decisión política que resultó en la formación de unidades administrativas de cincuenta o cien personas en la base de la sociedad teotihuacana. Los cálculos de este capítulo permiten conocer las cantidades de material involucradas en la construcción de las células que dieron vida a la sociedad teotihuacana. Es notable que individualmente no requieran de mucho material constructivo, pero el hecho de ser más de dos mil las hace muy importantes en cuanto al total de materiales que necesitaron conjuntamente.

Los resultados obtenidos muestran la importancia que los recubrimientos a base de cal desempeñaron en la construcción de Teotihuacan. Por la cantidad presente, por la distancia a la que se encuentra el recurso, así como por la tecnología desarrollada al efecto y por la energía que requirió su producción es, sin lugar a dudas, un material que demanda mayor atención. Si a esto agregamos que ha demostrado ser uno de los materiales que mejor conservan los residuos químicos impregnados (Ortiz y Barba 1993) [111] y, por tanto, que puede informar sobre las actividades desarrolladas sobre su superficie, debe convertirse en uno de los materiales arqueológicos de mayor importancia en el futuro cercano.

Sin ser éste un objetivo del presente trabajo, no deja de ser atractivo estimar la población apoyándonos en el dato de la superficie total construida. Si consideramos que, en promedio, una persona puede disponer de una superficie aproximada de 30 metros cuadrados, la cantidad de personas que

pueden ocupar 4 559 500 metros cuadrados sería 152 mil. En cambio, si consideramos 40 metros cuadrados por persona la cifra será de 114 mil habitantes, cifras manejadas con frecuencia para describir la población de esta ciudad en su momento de auge. Claramente el problema de éste y otros cálculos es la dificultad de saber si todos los complejos residenciales fueron habitados al mismo tiempo.

Para vislumbrar un marco temporal que defina los momentos en los que cada uno de los materiales estudiados fue utilizado en la construcción de la ciudad fue necesario recopilar las opiniones de distintos autores para tratar de establecer los límites de las fases en la cronología de Teotihuacan. Matos (1990) [95], Rattray (1991) [123], Manzanilla (1995) [91] y Beramendi *et al.* (2009) [21] son los autores que aportaron los datos para resumir el cuadro cronológica empleada en este capítulo. En la figura 3.7, p. 106. pueden apreciarse las etapas constructivas importantes para la ciudad de Teotihuacan.

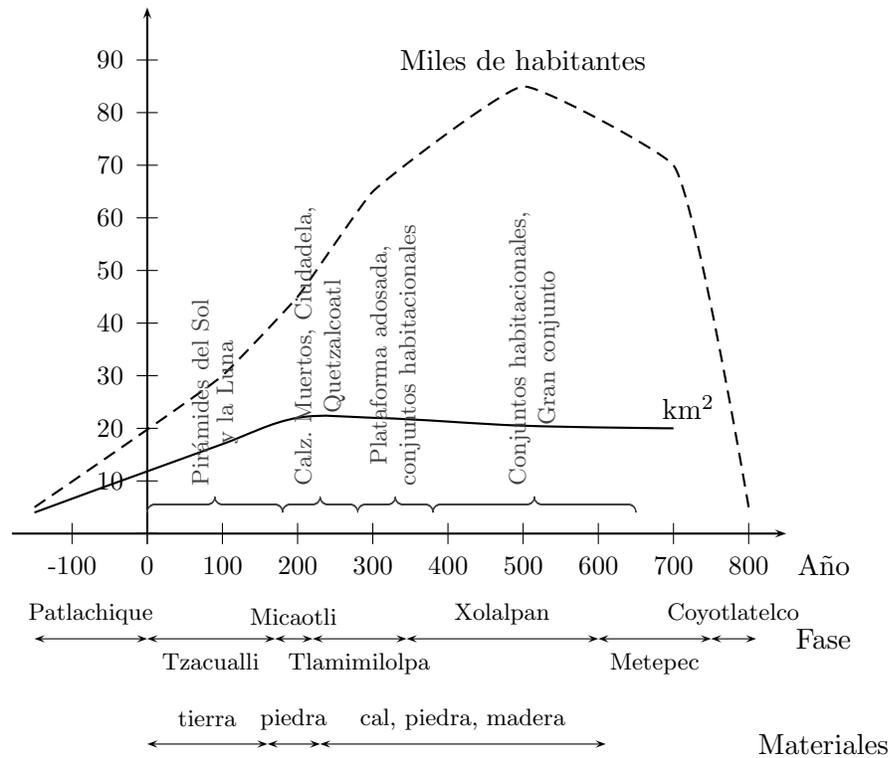


Figura 3.7. Gráfica del consumo de materiales por fase; se resumen los principales eventos y características de cada una de las fases que forman la cronología de Teotihuacan. Se incluyen además los materiales usados predominantemente en cada etapa constructiva.

En la primera, que comprende las fases Tzacualli y Micaotli (0-220 dC) puede considerarse que la mayor parte de la energía se dedicó a la construcción de las pirámides del Sol y de la Luna así como a la construcción de la Ciudadela con su Templo de Quetzalcóatl.

La segunda gran etapa constructiva incluye las fases Tlamimilolpa y Xolalpan (220-550 dC) y es el momento de la construcción de todos los complejos habitacionales. Esto implica el momento de mayor demanda de cal para la construcción y la necesidad de establecer relaciones con las áreas de aprovisionamiento. Esto coincide con la llegada de una tecnología desarrollada en el sudeste, posiblemente canalizada a través de Monte Albán y aprovechada en el proyecto constructivo de la ciudad. Ni antes, ni después de los intervalos establecidos la demanda de materiales de construcción puede considerarse de importancia. Son 550 años de intenso consumo de materiales separados en dos partes. Primero la tierra, la piedra del revestimiento y la cal de acabado de las pirámides; a continuación, el programa de construcción de conjuntos habitacionales con gran consumo de cal, pero también de toba para rellenos y nivelaciones, de tezontle para levantar los muros y de madera para los techos.

La construcción de los conjuntos permitió aumentar la densidad de población, de esta forma pudo aumentar la cantidad de habitantes sin variar la superficie ocupada por el asentamiento.

Capítulo 4

Cálculo del consumo de madera

ANTECEDENTES

En Mesoamérica se desarrollaron culturas cuya tecnología se basó en el aprovechamiento de los recursos vegetales, entre los que destaca la madera. Este material se utilizó para la construcción, la fabricación de armas, artesanías, objetos domésticos y religiosos, así como combustible para cocinar, quemar cerámica y fundir metales. Sahagún, citado en López Luján *et al.* (1993) [84], alude a los variados usos de la madera como material de construcción; se empleaba en las columnas, los dinteles, las estacas, las jambas, los postes, las soleras, las tablas, los tablones, los trozos, los umbrales, las vigas, las viguetas, los tejamaniles y los morillos para el techado.

Al parecer, durante el siglo XVI la población en nuestro país fue de entre siete y nueve millones de habitantes. El aprovechamiento forestal debió ser intenso ya que la cultura prehispánica dependía en gran medida de ello. En efecto, la madera hallada en el Templo Mayor provino de algunas poblaciones de la cuenca de México como Amecamecan, Coatepec, Ixtapallucan, Tepeapulco y Xochimilco. Es posible que la población de escasos recursos de aquel momento aprovechara grandes cantidades de productos del bosque (madera, frutos, resinas, colorantes, plantas y animales). Algunos ejemplos de la explotación de los recursos del bosque pueden leerse en el *Códice Mendocino* en el cual se establece la entrega anual de: 5 400 cargas de leña, 5 400 vigas y 10 800 tablas grandes (Ortega 1992: 28) [110].

Otro ejemplo es la entrega de los productos que diversos pueblos situados en el actual estado de México, hacían a los aztecas: así pues, cada ochenta días los de Culhuacan entregaban 1 200 tercios de leña para quemar, 1 200 cargas de vigas grandes desbastadas, 1 200 tablones para pisos y 1 200 morillos. Otras fuentes de suministros fueron provincias tributarias foráneas como

Ixtepeji, Coayxtlahuacan, Yoaltepec, Tepeacac (Puebla), Cuauhtochco, Xalapa y Tochpan, de donde quizás provenía especies de madera muy especiales por hallarse a 500 kilómetros del centro del Anáhuac.

En la época colonial el mayor consumo de madera se efectuaba en la minería, tanto en forma de vigas y tablas para apuntalar, como en la construcción de los carros de transporte. Además se usaba la madera como combustible en las fundiciones, en la recuperación del azogue y en el refinado de los metales.

Otro dato de explotación forestal distinta a la expuesta es la del Palo de Campeche, del cual entre 1570 y 1577 se exportó a España treinta mil quintales, misma que aumentó en 1598 a ochenta mil. En 1793 los diputados de minería de Guanajuato informaron, (Ortega 1992: 30) [110]:

... siendo cuantioso el consumo de madera para menesteres de las minas y haciendas, y de leña y carbón para lo mismo, para hacer cal y para gasto común del pueblo, se han destrozado los montes [...] así los montes y las selvas del circuito de más de cinco leguas (unos 20 km) se hallan ya talados y en los que están a más distancia, las exacciones y fletes hacen insoportables los precios, de suerte que de no proveerse de pronto oportuno remedio, se harán incosteables las labores y beneficios y hasta llegarán a aniquilarse las especies.

Recientemente se realizó una investigación en 170 comunidades rurales considerando los siguientes criterios: los estratos de población, la distancia a las vías de comunicación, la actividad económica no productiva y que se encontraran a más de 20 kilómetros de grandes ciudades (Palacios 1992) [112]. Los resultados indican que el consumo rural promedio de energía es de 11 458 kilocalorías por persona diarias, con extremos en 22 814 y 9 419 kilocalorías por persona diarias, cuando el consumo nacional promedio es de 26 112, incluyendo otros energéticos.

La leña representa el 69.15 % de la energía utilizada en el medio rural. El consumo promedio de leña en el medio rural es de 54.02 kilogramos por persona mensuales, con extremos en 90.98 y 29.63 kg/persona-mes. Actualmente, el consumo total de leña en el país alcanza las 15.7 millones de toneladas anuales.

Los principales usos que actualmente se da a la leña son: la preparación de alimentos, el calentamiento de agua, la calefacción y como combustible para hornos. La leña normalmente se colecta en un radio de 1 a 7 kilómetros de distancia.

Por otro lado, de acuerdo con Sheeche (1993) [138], en estudios realizados en África el consumo de leña promedio es de 1.7 toneladas por persona al año y en Latinoamérica de 0.9. El consumo promedio mensual de leña se convierte en 0.65 ton/pers-año en el medio rural mexicano. Si consideramos

CÁLCULO DEL CONSUMO DE MADERA

el consumo promedio de energía de 11 460 kilocalorías por persona diarias, lo multiplicamos por 365 días y lo dividimos entre 4 mil kilocalorías por kilogramo de madera con 20 por ciento de humedad tenemos 1 ton/persona-año de consumo de leña. Por conveniencia, utilizaremos esta cifra en los cálculos posteriores. Tomando en cuenta la población en las distintas etapas puede calcularse el consumo de leña para cada una de las fases de crecimiento de la ciudad. Como la madera era el combustible utilizado para obtener la energía necesaria para transformar la roca caliza en cal viva útil, se requieren los cálculos que se muestran a continuación para evaluar cuál pudo ser el impacto del uso de este material en los alrededores de la ciudad.

MADERA NECESARIA PARA PRODUCIR LA CAL

De manera simplificada, la principal reacción involucrada en la producción y uso de la cal es:



Esta reacción es la única que requiere de energía calorífica (proporcionada por la madera): 420.5 kilocalorías por cada kilogramo de cal ($CaCO_3$), ya que 1 mol de $CaCO_3$ es igual a 100 gramos. La “cal viva” producida se combina con agua en una reacción exotérmica. Ello hace suponer que la cal viva pudo ser producida *in situ*, pues su transporte es difícil. En consecuencia, la madera pudo provenir de las cercanías de Teotihuacan. Puesto que la masa de cal calculada en el capítulo anterior es 1.78×10^9 kilogramos, la energía necesaria para producirla es:

$$\text{Energía} = 1.78 \times 10^9 \text{ kg} \times 420.5 \text{ kcal/kg}$$

$$\text{Energía} = 7.48 \times 10^{11} \text{ kcal}$$

CÁLCULO DE LA MASA DE MADERA

La madera recién cortada tiene de 40 a 50 por ciento de agua, mientras que la secada al aire contiene de 15 a 25 por ciento. Lo anterior es muy importante ya que el poder calorífico depende mucho de la humedad de la madera. Por tanto se distingue el poder calorífico superior (PCS) y el poder calorífico inferior (PCI). El primero se refiere a la medición en el laboratorio del calor liberado por la madera cuando las condiciones de temperatura y presión de los productos de combustión (CO_2 y H_2O) son iguales a las de la madera. El PCI se refiere al calor neto utilizable en la combustión y es, obviamente, inferior al PCS por las siguientes razones:

- parte del PCS se emplea para evaporar el agua higroscópica de la misma madera;
- parte se emplea en evaporar el agua producto de la combustión

Los dos puntos anteriores reducen sensiblemente el calor producido por la combustión de la madera. En la madera seca, el PCS varía de 4 400 a 4 500 kilocalorías por kilogramo, en tanto que el PCI es de 3 300 a 3 900. En general, la madera deja pocas cenizas, de 0.5 a 3 por ciento.

La fórmula para calcular el PCI en función del grado de humedad (x) de la madera es la siguiente (siendo el grado de humedad igual al porcentaje de humedad/100):

$$\begin{aligned}\Delta H_{\text{vap}} &= 540.5 \text{ kcal/kg} \\ PCI &= 4\,860(1 - x) - 540.5x\end{aligned}$$

Para madera secada al aire el grado de humedad es 0.2. Por tanto:

$$PCI = 4\,860(0.8) - 540.5(0.2) = 3\,779.9 \text{ kcal/kg}$$

La energía necesaria es 7.48×10^{11} kilocalorías, o sea 748 mil millones. Sin embargo, sería un error considerar que la cantidad de madera se obtiene por la multiplicación directa, porque será necesario involucrar la eficiencia:

$$\begin{aligned}\text{Masa madera (ideal)} &= \frac{7.48 \times 10^{11} \text{ kcal}}{3\,779.9 \text{ kcal/kg}} \\ \text{Masa madera (ideal)} &= 19.8 \times 10^7 \text{ kg}\end{aligned}$$

Para producir la cal los teotihuacanos pudieron haber empleado emparrillados de madera cuya eficiencia era muy baja. Sin embargo, para hacer una estimación vamos a considerar tentativamente un 20 por ciento de eficiencia, parece alto para tiempos preindustriales, pero ofrece una cantidad mínima sujeta a afinarse con mejores datos. Efectivamente, investigaciones llevadas a cabo en la zona maya coinciden con nosotros:

Las caleras mesoamericanas tradicionales son estructuras construidas con combustible húmedo densamente apilado, generalmente leña fresca. Funcionan como hornos verdaderos capaces de alcanzar y mantener los 900°C necesarios para convertir el material carbonado (CaCO_3) en cal viva (CaO). Los caleras controlan el patrón de combustión en el centro, donde reflejan y concentran el calor, evitan la pérdida de calor mediante el aislamiento que produce la humedad de la capa externa de la madera, y tienen un sistema de ventilación que recibe aire frío del perímetro lateral y suelta gases calientes a través de la piedra caliza que cubre la estructura. Como combustible se utiliza madera, que suele tener un contenido de agua superior al 50%, y como mineral piedra caliza, concha [...] o coral. Estas caleras son hornos y no simplemente piras... (Schreiner 1998: 406) [133].

CÁLCULO DEL CONSUMO DE MADERA

Lo anterior también se encuentra referido en la tesis doctoral de Schreiner (2002) [134].

La relación de eficiencia típica determinada en este estudio es de 5 : 1 (madera/cal viva):

$$\text{Masa de madera} = 19.8 \times 10^7 / 0.2$$

$$\text{Masa de madera} = 9.9 \times 10^8 \text{ ton}$$

Ello significa que se requieren aproximadamente un millón de toneladas de madera con una densidad promedio para el pino de 0.5 ton/m^3 , que equivalen a 2.2×10^6 metros cúbicos de madera.

Por otro lado, hay dos razones para suponer que empleaban leña más que madera en trozos grandes: era conveniente conservar la madera para las construcciones; y cuanto menor fuera el tamaño de los trozos, mayor la velocidad de combustión y, por tanto, mayor temperatura adquiere la piedra caliza quemada.

En este capítulo se desarrolla con detalle el cálculo de la madera utilizada. La estimación pudo hacerse considerando la pureza de la roca caliza (100 por ciento), el contenido de humedad de la madera (20 por ciento), una eficiencia térmica en la reacción de transformación del 20 por ciento y conociendo que para descomponer un kilogramo de carbonato de calcio se requieren 420 kilocalorías, y un kilogramo de carbonato en la roca caliza es igual a uno de carbonato en el estuco. Con estos datos se calculó la energía necesaria para transformar toda la cal. Las primeras estimaciones indicaron que, cuando menos, hubo que producir 7.48×10^{11} kilocalorías (Barba y Córdova 1999) [15].

Los cálculos para determinar el volumen de madera utilizado en la producción de cal en Teotihuacan sólo consideran las propiedades y características de la madera de pino. El volumen total es 2.2×10^6 metros cúbicos de madera, lo que equivale a un cubo de 130 metros por lado. De otra forma, si consideramos una capa de 10 metros de altura de madera compacta, la superficie se extendería 44 campos de fútbol de 100 por 50 metros.

MADERA EN TECHOS

Un factor adicional de consumo de madera que hasta el momento no hemos considerado es el uso de morillos en los conjuntos habitacionales. Los morillos son cilindros de aproximadamente siete centímetros de diámetro, que se usaron para sostener los techos. Según Margáin (1966) [92], durante la excavación de Tetitla se encontró un techo original y pudo conocerse la forma de su construcción. Sobre una viga maestra se colocaban los morillos, uno junto a otro hasta cubrir todo el claro. Sobre él se apisonaba una capa de “tepetate” (toba volcánica). Se colocaba un firme con mortero de tezontle

molido y cal, para finalmente impermeabilizar con una capa de estuco de cal de alta pureza (figura 4.1, p. 114).



Figura 4.1. Fotografía del techo reconstruido en el Palacio de Quetzalpapálotl.

Por otro lado, acerca del Palacio de Quetzalpapálotl, Acosta explica:

... nos fundamos en un fragmento de techo original que se había desplomado y que permaneció enterrado entre el escombros. Según [Acosta] el entortado superior tenía 36 cm de espesor, contando la delgada capa de estuco en la parte superior. Si a la medida anterior se le suman los 12 cm de diámetro de los morillos que se apoyan sobre las vigas vemos que el techo debió haber tenido 48 cm de peralte aproximadamente. Otro importante dato que pudimos conocer, fue que no se veían los morillos porque estaban recubiertos con una capa de barro en la parte inferior, el cual estaba pintado de rojo. (1964: 39) [2]

Esto indica que los morillos podían medir de 7 a 12 centímetros de diámetro y una longitud variable dependiendo de las dimensiones del espacio que debían cubrir. A todo esto, después de calcular el volumen de madera empleado en los morillos, se requiere cuando menos de 0.19×10^6 metros cúbicos de madera, que sumados a los 2.2×10^6 metros cúbicos de madera combustible hacen un total de 2.4×10^6 metros cúbicos.

CÁLCULO DEL CONSUMO DE LEÑA

La leña de consumo cotidiano también repercute en la explotación de los bosques. Como hemos asentado, puede utilizarse el dato de consumo de leña

CÁLCULO DEL CONSUMO DE MADERA

de 1 tonelada por persona al año para medir el consumo de la población de Teotihuacan. Utilizando cifras conservadoras entre los años 0 y 150 dC, en la fase Tzacualli, se estima una población de treinta mil habitantes. En la fase Micaotli, entre 150 y 250 dC se acepta una población de 45 mil habitantes. Aumenta a 65 mil en la fase Tlamimilolpa entre los años 250 y 350 dC. El máximo se alcanza durante la fase Xolalpan, entre 350 y 650 dC con 85 mil habitantes. En consecuencia, los consumos de leña serían:

Tzacualli	150 años	30 000 ton/año	4 500 000 ton
Micaotli	100 años	45 000 ton/año	4 500 000 ton
Tlamimilolpa	100 años	65 000 ton/año	6 500 000 ton
Xolalpan	300 años	85 000 ton/año	25 500 000 ton
Fase Metepec	100 años	70 000 ton/año	7 000 000 ton

Es oportuno anotar que hay diferencias en las estimaciones de las fases; así, por ejemplo, Cowgill (1992) [40] propone para la fase Xolalpan del ¿300-450? al 550 dC precisando que los cortes entre periodos no se pueden definir tajantemente.

De la tabla presentada obtenemos un gran total de 48 millones de toneladas de leña consumidas en el intervalo de 0 a 650 dC que equivalen a 96 millones de metros cúbicos de madera de pino. Sumado a lo anterior, el gran total es de 98.4×10^6 metros cúbicos; si consideramos el volumen de un pino maduro igual a 3m^3 el número de árboles empleados fue cercano a 33 millones.

Considerando el bosque de pino en pie con un rendimiento de 50 metros cúbicos por hectárea, significa una superficie de 1.96×10^6 hectáreas, que equivalen a 19 600 kilómetros cuadrados. Si consideramos que el valle de Teotihuacan tiene una superficie de 505 kilómetros cuadrados, durante el tiempo de explotación cuando menos se hubiera cortado casi cuarenta veces la madera en toda la superficie del valle. Sin embargo, hay que considerar que el piso del valle no tuvo bosque, como lo demostraron McClung y otros (1995) [86], lo que evidentemente multiplica el número de veces que se tendría que talar una superficie más limitada.

Los cálculos anteriores no incluyeron las vigas de soporte de los morillos usados en los techos, la madera en el interior de pilares y columnas, la leña utilizada en la producción de cerámica y, sin duda, muchos otros usos de la madera en un asentamiento urbano como el de Teotihuacan.

COMENTARIOS

La madera ha sido uno de los materiales más nobles que ha permitido el desarrollo de las civilizaciones. En el caso de Teotihuacan su empleo fue muy

amplio. Como material de construcción es indudable su importancia. Fue el soporte interior de gran parte de las columnas y también permitió techar los espacios construidos. La madera es el material predominante en las estructuras de las habitaciones y menos presente en las estructuras de mampostería, sin embargo, todas las vigas, soportes de arcos y dinteles fueron hechos exclusivamente de este material (Abrams 1994: 18) [1]. Sobra decir que las estructuras construidas principalmente de madera y de materiales vegetales de techado son mucho más susceptibles al fuego que las de mampostería (Culbert 1977: 32) [43].

Además, su uso como combustible para los procesos de transformación que requerían energía calorífica como la quema de la cerámica y de la roca caliza se ha hecho evidente en este trabajo. Asimismo fue importante como combustible doméstico. Sheehe (1993) [138] ha calculado la contribución de las cañas secas de maíz como combustible y concluye que esta fuente de energía solamente contribuyó con el 10 por ciento del requerimiento energético de la ciudad. Por ende, la madera proporcionó el restante 90 por ciento de la energía calorífica.

Hemos estimado el total de madera consumida en 48 millones de toneladas durante los 750 años de vida de la ciudad, lo que hace un consumo promedio de 64 mil toneladas anuales de leña por los habitantes de la ciudad. Es muy posible que el aprovechamiento del recurso forestal haya sido un proceso en el que primero se utilizó la madera del valle, pero poco tiempo después, la demanda propició que se rebasaran sus límites, por lo cual aprovecharon asimismo la madera de los lugares montañosos vecinos. Pero al quedar cada vez más alejados los lugares de aprovisionamiento, la explotación se organizó cada vez más. Existe la posibilidad de relación con el valle de Toluca para el aprovechamiento de la madera de esta zona. No sería difícil sostener que parte de la madera utilizada por la ciudad pudiera provenir de este lugar, pues se contaba con los fondos de ambos valles donde había espejos de agua que facilitaron el transporte. Además, se dispone de grandes extensiones boscosas en los alrededores de la ciudad, fuera del valle de Teotihuacan, donde puede obtenerse este recurso. Lo que queda claro es que el valle no fue autosuficiente. Estos cálculos indican que, como muchos otros bienes en el funcionamiento de esta gran urbe, la madera participó en mecanismos de intercambio con otras regiones y su aprovisionamiento fue de importancia no sólo para la parte productiva, sino también en el consumo cotidiano de leña.

Hasta el momento, los datos de polen y fitolitos obtenidos por el Laboratorio de Paleobotánica del Instituto de Investigaciones Antropológicas permiten asegurar la presencia de pino y de encino. Los datos obtenidos por McClung y sus colegas (1995) [86] muestran la presencia de *Pinus* y de *Quercus* entre los materiales microbotánicos estudiados, siendo el *Pinus* el

más abundante. Otro dato importante es que la gran presencia de polen y fitolitos de compuestas y la amplia distribución de gramíneas sugieren que las planicies aluviales y el pie de monte bajo fueron intensamente cultivados entre el 100 aC y el 600 dC. Sin embargo, es imposible distinguir entre el matorral o bosque de encino. Cabe mencionar que este último conviene a la calcinación de la cal, ya que se trata de una madera dura con gran superficie de combustión. Hay evidencia de que se usaba pino para vigas y morillos, aunque no la hay en cuanto al encino, quizás porque se trataba de matorrales o porque era madera dura, difícil de trabajar.

En el inicio de la etapa constructiva, que requirió de los aplanados de cal (Micaotli), la tecnología no permitía la producción de cal hidratada, sino sólo de cal viva. Como consecuencia, debió utilizarse la madera cercana al asentamiento urbano dada la dificultad de transporte de este material. Al mejorar la tecnología y poderse fabricar la cal hidratada apagando la cal viva en otro lugar, la deforestación pudo haberse trasladado a otras zonas fuera del valle de Teotihuacan y dado que los afloramientos de roca caliza se encuentran en las inmediaciones de la actual ciudad de Tula, puede suponerse que ésta pudo ser la zona de deforestación. Aun así, será necesario acumular mejores datos para obtener una mayor certidumbre sobre la determinación de la zona de aprovisionamiento de este recurso.

Uno de los problemas principales enfrentado en el cálculo de la madera consumida en el proceso de producción de cal es la ausencia de datos cuantitativos. Como se ha mencionado, parece ser uno de los materiales arqueológicos más olvidados. Esto también se refleja en el hecho de que las pocas descripciones sobre el proceso de producción que se encuentran son muy generales y nunca incluyen datos como el tiempo, las cantidades involucradas de materiales y las dimensiones de los lugares de producción. Esto hacía difícil obtener información técnica del rendimiento del combustible en función de la materia prima utilizada y tuvimos que realizar una estimación con una cifra del 20 por ciento de eficiencia en la combustión. Los recientes intentos de registrar información técnica en un lugar de producción de cal en el estado de Guanajuato, tampoco pudieron aportar esta información ya que nadie ha pesado la madera utilizada en el trabajo.

Schreiner (1998) [133] en su trabajo describe las proporciones y confirma nuestra estimación al obtener una relación 5:1 de madera contra cal.

Capítulo 5

Sedimentos

ANTECEDENTES

En capítulos anteriores se describió la forma en que se calcularon 1 400 000 metros cúbicos de tierra dentro de la Pirámide del Sol. Los responsables de las excavaciones practicadas en su interior han reportado un sedimento limoso, más o menos uniforme. Los estudios muestran que está construida principalmente de tierra y que sólo su parte externa está revestida de piedra. Las excavaciones practicadas indican que es mínima la presencia de piedra en su interior (Bastien 1947 [19]; Rattray 1975 [122]; Millon *et al.* 1965 [101]). La mayor parte del relleno de la pirámide está constituido por una tierra limoarcillosa oscura y por adobes del mismo material. En la Pirámide de la Luna, Schávelzon (1982) [132] cita las excavaciones de Sigüenza y Góngora, quien informó la existencia de tierra y de adobes combinados con piedra y toba en el túnel explorado. Si esto es así, difiere de lo referido acerca la técnica constructiva del interior de la Pirámide del Sol, pero la tierra sigue siendo el material predominante.

Muchos de los suelos fueron también importantes en el proceso de construcción, ya que la tierra fue la principal materia prima para los rellenos constructivos, además de que la tierra mezclada con agua sirvió como mortero en las construcciones. No obstante, los huecos (las cavidades de donde se obtuvo la tierra) no han sido sistemáticamente registrados por el trabajo arqueológico.

El túnel principal que atraviesa la base de la Pirámide del Sol de este a oeste, llega a una excavación perpendicular, cerca de las escalinatas centrales, donde pueden observarse capas de los sedimentos descritos con una concentración de pequeños fragmentos blanquecinos, que pudieran ser de toba alterada.

El hecho es que, después de haber considerado materiales como la toba, el tezontle y la cal, es imposible no advertir una enorme cantidad de este sedimento limoarcilloso contenido en esta estructura (posiblemente también en buena parte del interior de la Pirámide de la Luna y otras estructuras) y cuya procedencia no ha recibido la atención debida por parte de los investigadores.

Como en los materiales anteriores (madera, leña y cal, estudiados en los capítulos precedentes), este material también requirió de procesos de selección, extracción, transporte y colocación que involucraron una enorme cantidad de energía humana, lo que le confiere importancia. Y a semejanza de las huellas dejadas por el consumo de leña, el tezontle y la toba, los sedimentos también debieron haber dejado huellas. Si consideramos los casos anteriormente expuestos, ha podido observarse que la extracción de toba y tezontle dejó una huella permanente en la superficie del terreno. Se han localizado con precisión los sitios donde se obtuvieron 670 mil metros cúbicos de estos materiales. En contraste, cuando hablamos del volumen del sedimento limoarcilloso dentro de las pirámides, estamos hablando de casi dos millones de metros cúbicos, el triple del volumen de los otros materiales, y no existen en el terreno evidencias de esta extracción.

Éste es un problema interesante, ya que se ha planteado que una de las razones por las que la ciudad se localiza sobre el flujo de lodo fue la de reducir la distancia entre los lugares de extracción y los lugares de uso del material constructivo. En consecuencia, deberíamos esperar que el lugar de extracción del sedimento limoso no se encontrara muy lejos de las pirámides. Sin embargo, en las fotos aéreas estudiadas no existe algún lugar de donde hubieran podido retirarse casi dos millones de metros cúbicos de tierra.

ESTUDIO DE SEDIMENTOS EN TEOTIHUACAN

A una pequeña muestra obtenida del interior de la Pirámide del Sol se le practicaron algunas pruebas. Se trata de un material oscuro, homogéneo, cuya densidad en probeta fue de 1.2 gramos/mililitro (1.2 ton/m^3), y que no es arcilloso ni tiene gravilla. Suponemos que se trata de un material superficial, por el distinto contenido de materiales arqueológicos reportados. Aurora Montúfar ha expuesto los resultados obtenidos del análisis de muestras tomadas del túnel excavado en el lado norte de la pirámide. Encuentra evidencias carbonizadas de cultivos que sugieren una acumulación de tierra superficial. Sería difícil sostener que este material fue introducido en el valle y que, por esta razón, no advertimos antes la huella de su extracción. Una alternativa que proponemos, a manera de hipótesis, es que el espacio producido por la extracción haya sido disimulado por una acumulación posterior de sedimentos. Se ha propuesto que el uso de madera como combustible provocara la

deforestación y por tanto un aumento en las tasas de sedimentación, de modo que no sería incongruente proponer que la acumulación de estos sedimentos pudo disimular los sitios de extracción.

Pudiera haber ocurrido que en la parte más baja del valle se obtuvieran los sedimentos limosos para la construcción de la pirámide: cerca del actual Acolman. Este sitio estuvo habitado desde los primeros momentos de la construcción de Teotihuacan y pudiera haberse entablado una relación tributaria. En mapas coloniales muy tempranos –como el Mapa de Upsala– se observa la existencia de una laguna en esta zona. Esta depresión topográfica pudiera ser la que buscamos, ya que en ningún otro lugar podrían acumularse tantos sedimentos y, aun después de mucho tiempo de su extracción, se manifestara como una depresión rellenada.

ESTUDIO DE SEDIMENTOS EN ACOLMAN

Como resultado de su trabajo de tesis doctoral, Carlos Córdova (1995) [39] ha estudiado los sedimentos de la parte oriental de la cuenca de México. Los datos de sedimentos obtenidos de la parte norte los tomó de las paredes de las ladrilleras cercanas a los poblados de Cuanalan y Acolman. Esta región se caracteriza por ser un estrecho que casi cierra por el sur el valle de Teotihuacan. Precisamente en este lugar, se construyó una presa en el siglo XVII que contuvo las avenidas de los ríos San Juan y San Lorenzo. Sin embargo, los resultados fueron catastróficos para los habitantes de Acolman, que vieron elevar el nivel de la presa y de los sedimentos más de un metro en sus casas y su convento.

Estos eventos pueden verse con claridad al examinar los sedimentos más superficiales cerca de la antigua cortina de la presa. Como es lógico, la localización de la cortina se ubica en el punto más estrecho entre las dos coladas de piroclastos que forman el cuello de botella que cierra el valle por el sur.

Pero lo más relevante es que, atendiendo a los materiales arqueológicos recuperados de los perfiles y a las fechas de radiocarbono, han podido ubicarse temporalmente los límites de las capas y se identificaron capas del periodo Formativo, del Clásico, del Posclásico y de la época colonial. Llama la atención que la capa más gruesa sea la de origen colonial y que la capa del periodo Clásico posea un espesor semejante a las capas que representan las otras épocas. Ninguno de los perfiles visitados en las ladrilleras de esta zona evidencia un aumento en la tasa de sedimentación a causa de la tala immoderada durante la época teotihuacana.

Como resultado de sus trabajos, Córdova (1995) [39] ha encontrado que uno de los momentos de mayor erosión y sedimentación es el momento del contacto azteca-español. Parece ser que durante el tiempo de la Conquista

en que se abandonaron los campos de cultivo, las terrazas fueron destruidas y, en consecuencia, el aumento en la erosión se tradujo en un aumento de la tasa de sedimentación. Esto es especialmente claro en el perfil localizado después de la cortina de la presa. Aunque el fenómeno se repite en el perfil ubicado antes de la cortina (secuencias CUAN-4 y CUAN-5), el disturbio del material retenido por la cortina dificulta la apreciación. En estos perfiles se muestra la presencia de dos unidades antrópicas: un bordo en la secuencia CUAN-4 fechado en 710 dC y un *tlatel* con material Azteca III.

Lo que sí es claro es que existe una capa de material sedimentado entre los materiales arqueológicos del Formativo y Coyotlatelco y que aunque no es muy grande, representa etapas de erosión que pueden ser los momentos del abandono de la ciudad. En resumen, la evidencia estudiada hasta el momento no muestra ausencia de capas en la secuencia natural, lo cual refuta la hipótesis de extracción de materiales sedimentarios en esta zona. Por otro lado, tampoco hay evidencia de un aumento desmedido en las tasas de sedimentación que pudieran atribuirse a un aumento en los procesos erosivos durante el Clásico. Por consiguiente, se descartan las hipótesis de extracción de materiales para construcción de las pirámides en Acolman y de una catástrofe producida por la tala inmoderada.

Otra de las aportaciones del trabajo de Córdova es la determinación de las características del material sedimentario y su relación con la distancia del cauce del río. De esta forma ha podido localizar los lugares donde se acumuló el material fino arcilloso que ahora forma los lugares de explotación de barro para fabricar ladrillos. Así pues, todas las ladrilleras estudiadas se encuentran a distancias constantes del cauce original del río que pasa entre Acolman y Cuanalan. Este fenómeno se repite en el poblado al sur de la zona arqueológica de Teotihuacan en la zona de Tlajinga, donde tradicionalmente se han fabricado recipientes cerámicos y debe encontrarse a una distancia definida del cauce del río.

De unas muestras de adobe de construcción de la Plataforma que rodea la Pirámide del Sol obtenidas del derrumbe removido durante los trabajos de perforación expuestos en el capítulo 1, Carlos Córdova realizó un estudio preliminar que confirma que estos adobes contienen una mezcla de sedimentos, predominantemente limosos aunque combinados con un poco de sedimentos arenosos que le dan la consistencia requerida a los adobes utilizados. También informa que en la mezcla de adobe había fragmentos hasta de 5 milímetros de diámetro de toba volcánica. Adicionalmente, estudió una muestra de toba obtenida de las perforaciones y reportó que el material es bastante arenoso y tiene comportamiento del tipo de flujo de cenizas (Córdova, comunicación personal). Esto último tiene estrecha relación con la interpretación del lahar discutida en el capítulo 1.

Por otro lado, los estudios de McClung y su equipo (1995) [86] concluyen que los horizontes de suelo estudiados derivan de toba volcánica sometida a condiciones que van de condiciones frías-secas a frías-subhúmedas. Esto indica que la formación del suelo en el valle acontece *in situ* por la alteración de la roca madre, que principalmente se trata de toba volcánica y esto produce suelos limosos.

Dado que la primera hipótesis fue refutada, fue formulada la hipótesis alternativa de que los sedimentos del interior de las pirámides mayores fueron obtenidos del suelo circundante. Afortunadamente las más recientes excavaciones de Matos Moctezuma en la base este de la pirámide del Sol muestran afloramientos de tepetate sobre los que se construyó esta estructura, habiendo removido la capa de suelo superficial. Por otro lado, existen evidencias de excavaciones arqueológicas realizadas en la parte central de la ciudad de Teotihuacan donde el desplante de las estructuras se efectúa desde el tepetate (Cabrera, Rodríguez y Morelos, 1991) [29]. También actualmente en todos los terrenos directamente al oeste de la Pirámide de la Luna aflora el tepetate y la mayoría de las estructuras se levantan sobre esta capa. Las evidencias de las estructuras edificadas permiten suponer que el suelo sobre la toba fue despalmado y todo parece indicar que alrededor de 5 kilómetros cuadrados (equivalentes a veinte cuadros del mapa de Millon) de suelo superficial de 40 centímetros de espesor fue recogido para acumular el volumen de material que formó los montículos de las primeras pirámides.

La superficie despalmada está comprendida, principalmente, entre la Pirámide de la Luna y la Ciudadela con un kilómetro a ambos lados de la Calle de los Muertos y constituye la parte central de la ciudad (figura 5.1, p. 124).

La presencia de fragmentos de toba volcánica en la muestra de adobe y los fragmentos blanquecinos observados mezclados con los sedimentos en el interior de los túneles de la Pirámide del Sol sugieren que el sedimento limoarcilloso descrito se encontraba en contacto directo con la toba en el momento de su obtención. Esto también es congruente con la propuesta discutida en la obtención de piedra de que la distancia no puede ser muy grande ya que incrementa la demanda de energía desproporcionadamente.

Los datos obtenidos hasta el momento refutan la hipótesis de que los sedimentos fueran acarreados desde Acolman y apoyan la posibilidad de que el despalmado de los terrenos adyacentes a la pirámide proporcionara el material suficiente para levantarla. Esta forma de obtención del material sería congruente con el hecho de que no existe evidencia de su extracción en las fotos aéreas estudiadas y que la distancia que media a la fuente de aprovisionamiento es mínima (figura 5.2, p. 125).

Con los datos disponibles actualmente se puede hacer una estimación de la cantidad de viajes que debieron hacer los cargadores teotihuacanos para

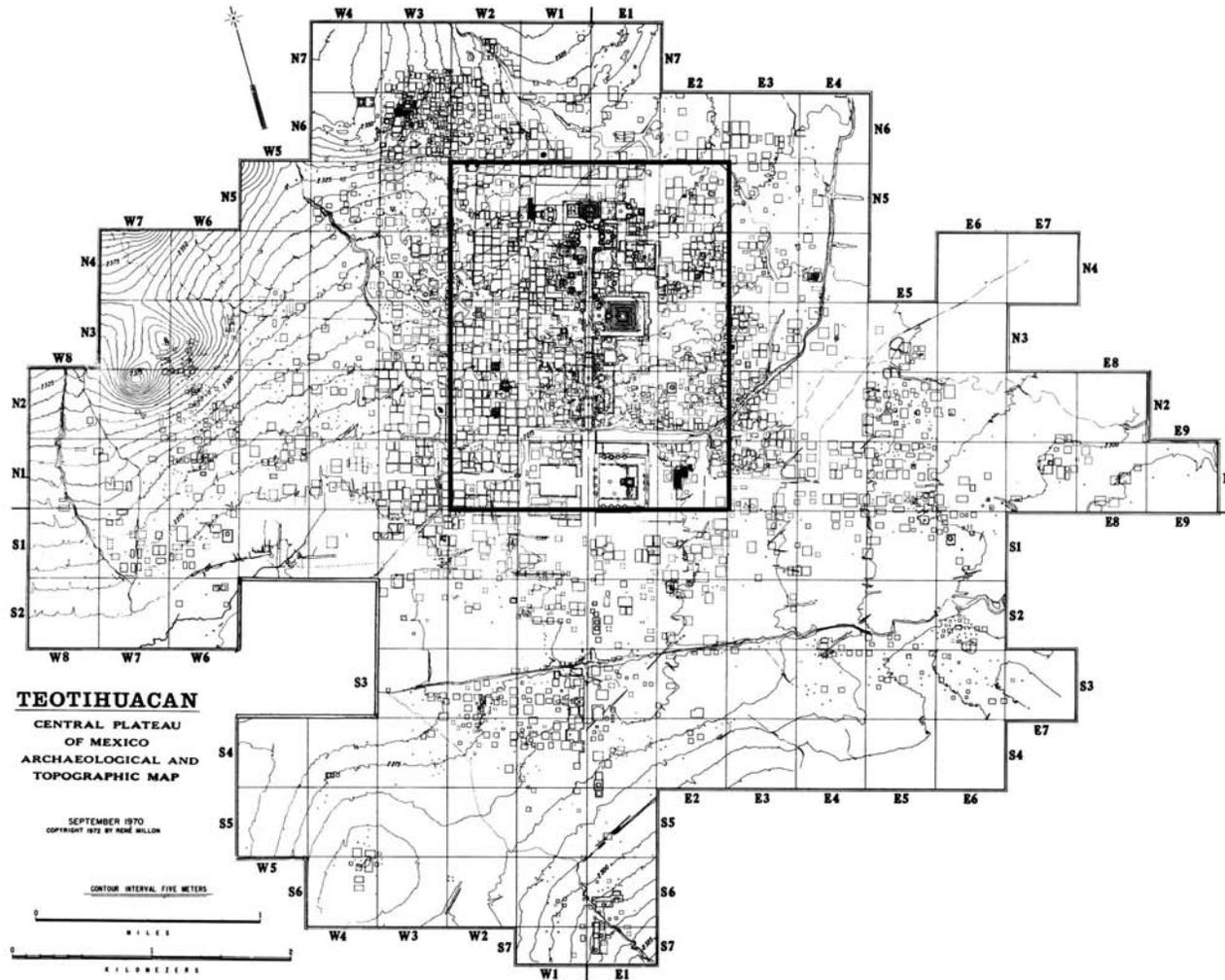


Figura 5.1. Mapa que ilustra los conjuntos habitacionales y la zona de 5 km² de donde, probablemente, los teotihuacanos obtuvieron los sedimentos para construir las primeras pirámides (modificado de Millon 1973).

SEDIMENTOS



Figura 5.2. Túnel excavado en la base de la Pirámide del Sol donde puede observarse la presencia de adobes y de pequeños fragmentos de toba y material vegetal carbonizado.

acumular todo el suelo que forma el núcleo de las estructuras mayores en Teotihuacan.

Sabemos que en total se requirieron $2\,150\,000\text{ m}^3$ de suelo (p. 70) removido de la parte central de la ciudad y que tiene una densidad aproximada de 1.2 ton/m^3 (p. 120). Esta multiplicación nos da un total de $2\,580\,000\text{ ton}$. Si se toma en cuenta la cifra de 23 kg por persona (p. 79) se necesitaron cuando menos $112\,173\,900$ viajes de cargadores para transportar este material.

Capítulo 6

Vulcanismo y culto a las montañas

ANTECEDENTES

Después de calcular la enorme cantidad de materiales involucrados en las etapas constructivas de la ciudad de Teotihuacan, que incluye los materiales transportados, los materiales locales y el combustible para transformar la roca caliza en cal útil para producir los aplanados que recubren las superficies expuestas de la ciudad y, en general, apreciadas las dimensiones gigantescas del asentamiento, sobreviene la pregunta: ¿por qué o para qué tanto esfuerzo humano? Sobre todo, en el principio del asentamiento ¿cuál fue la razón que indujo a tanta gente a trabajar en una empresa común, durante tanto tiempo? Especialmente cuando uno considera que no existía un asentamiento urbano previo, es decir, que los colonos llegaron a construir las pirámides y al cabo de un tiempo, los conjuntos habitacionales para los habitantes y que la Pirámide del Sol fue construida en una sola etapa.

Aunque este capítulo no se refiere completamente al tema central de esta obra, las preguntas anteriores coincidieron con la reciente aparición de una serie de datos relevantes que permitieron elaborar la propuesta que a continuación se expone.

Es claro que las grandes empresas constructivas requieren de un poder que organice el esfuerzo colectivo. Un ejemplo es la construcción de las grandes pirámides en Egipto. En aquel caso el poder de un faraón ordenó erigirlas como monumento funerario. En efecto, en la construcción de la Pirámide de Keops trabajaron cien mil personas durante veinte años. En las grandes catedrales medievales, también la gente trabajó durante decenas de años regida por el poder de la iglesia y, en muchas ocasiones, sin remuneración. En algunos otros casos religiosos las apariciones milagrosas, las epifanías y los portentos motivaron la construcción de alguna gran capilla o iglesia. Existen

ejemplos documentados de que algunas creencias religiosas conjuntan los esfuerzos de una comunidad que al ser guiada por un líder permite emprender obras titánicas.

ACTIVIDAD VOLCÁNICA

El vulcanismo en el sur de la cuenca de México ha desempeñado un papel importante en la evolución geológica y geomorfológica de esta zona, pero además ahora se muestran evidencias de que ha sido determinante para poder explicar los movimientos poblacionales que se dieron a finales del Preclásico y principios del Clásico en la cuenca. Más aún, existen evidencias de que esta actividad volcánica también pudo haber favorecido el surgimiento de algunas de las deidades más importantes que prevalecieron hasta el Posclásico en el centro de Mesoamérica.

Algunos trabajos realizados en fechas recientes y otros que se encuentran en proceso sugieren que la actividad volcánica de la sierra de Chichinautzin y de la Sierra Nevada fue más intensa de lo sospechado hasta ahora (Siebe *et al.* 2004) [140]. De acuerdo con el presente estudio el volcán Chichinautzin (¿el Señor del quemado?) hizo erupción 1835-55 años a.p. (60-170 dC), lo que se encuentra muy cerca del límite entre el Preclásico y el Clásico de la arqueología mesoamericana.

Entre las representaciones iconográficas relacionadas con la actividad volcánica, Yarza de la Torre (1992: 16) [151] menciona algunas representaciones en códices que muestran una columna de humo saliendo de un cráter adornado con un lazo en el cuello, que simboliza el jade. Aparecen representaciones asimismo en el *Códice Nuttall*, en el *Tellerianus Remensis*, en el *Huamantla* y en el *Cuauhtinchan*, así como en el *Lienzo de Zacatepec*, los cuales muestran el conocimiento de estos eventos. Distintos autores han detallado los fenómenos que acompañan a una erupción, como la del Parícutín, descrita en ocasión de su cincuentenario. Yarza (1992) [151] relata los temblores de tierra locales que ocasionan desastres, derrumbes y desaparecen manantiales. Al mismo tiempo se producen ruidos subterráneos y fenómenos luminosos en el cielo en forma de rayos. Las cenizas producidas por la erupción se dispersan por grandes extensiones. En ocasiones se produce también una gran cantidad de vapor de agua que puede desencadenar lluvias calientes. Como uno de los ejemplos más impresionantes de la actividad volcánica se recuerda la erupción del Vesubio en 79 dC, en la cual Plinio describió con gran detalle, sobre todo la presencia de nubes de ceniza y de nubes ardientes, que dieron el nombre a este tipo de eventos.

Entre los eventos volcánicos más importantes, Chiesa y Henriot(1991) [34] mencionan algunos datos acerca de la reciente erupción del volcán Santa Ele-

na. En esa ocasión seiscientos kilómetros cuadrados de bosques que rodeaban al volcán fueron arrasados por la erupción. La distancia que alcanzó la zona de máxima afectación fue de 28 kilómetros y la nube de ceniza viajó mil kilómetros en diez horas. Asimismo estas grandes erupciones producen cambios climáticos, no sólo por el hecho de la proyección de las cenizas volcánicas sino más bien por la emanación de vapores sulfurosos que anticipa la formación de ácido sulfúrico. Estas gotas suspendidas en la atmósfera actúan como reflectores de la radiación solar y disminuyen la temperatura, modificando de esta forma las condiciones climáticas.

Según varios autores (Chiesa y Henriot 1991 [34]; Yarza 1992 [151]), otro efecto importante de las erupciones volcánicas es la presencia de grandes relámpagos de descargas eléctricas, también descritas por Plinio. Este efecto no había sido considerado, pero ahora cobra importancia por la existencia de dioses antiguos del trueno y el rayo (Aranda 1994 [6]; Millon 1993 [104]) que pudieron haber sido sugeridos por la impresión de estas descargas eléctricas en los observadores.

Por otro lado, en la primera etapa de formación del volcán Popocatepetl se construyó el edificio volcánico, llamado El Fraile, y tuvo tres eventos principales: el primero antes de los 10 mil años a.p., el segundo alrededor de 9 mil años a.p. y, finalmente, el tercero alrededor de 4 500 años a.p. (Robin y Boudal 1987) [125]. El segundo edificio llamado propiamente volcán Popocatepetl se formó principalmente entre 3 800 y 1 200 años a.p. para después entrar a un periodo explosivo. Durante este periodo se acumularon 300 metros de espesor de flujos de lava. Esto equivale a una actividad volcánica constante durante 2 600 años, desde 1850 aC hasta 750 dC, lo que abarca gran parte de los periodos Formativo y Clásico en el altiplano. Como parte de esta actividad puede considerarse el evento volcánico fechado de 200 a 100 años aC que sepultó una aldea formativa con una capa de fragmentos de piedra pómez en la ladera este del volcán Popocatepetl.

Más tarde ocurrieron dos episodios cataclísmicos que incluyeron grandes erupciones de piroclastos hace 1 200 y 950 años a.p. (esto corresponde a 750 dC, la fase Coyotlatelco), al final de la época teotihuacana y coincide con el año 1 000 dC correspondiente a la fase Mazapa. Después de estos eventos se tiene un registro histórico muy completo de los eventos volcánicos que han ocurrido en el volcán Popocatepetl (Delgado *et al.* 1988) [44], pero pueden considerarse de menor intensidad.

En la figura 11 de Siebe *et al.* (2004) [140] puede apreciarse cierta correspondencia de erupciones que se agrupan en un tiempo relativamente cercano. Asociado a la erupción del Popo de 22 000 años a.p. se tienen las erupciones del Tezontle en 21 800 y las del Cuautli en 20 000 años en el segundo grupo se tiene otra erupción del Popocatepetl de 14 000 y la de Oyameyo en 13 755 a.p.

En el valle de Toluca se tiene la erupción del Nevado en 10 500, la del Tres Cruces en 8 400, la del Tenango en 8 500 y la del Pelado en 10 900 años a.p. en la Sierra de Chichinautzin.

Ya más cerca del tiempo arqueológico que nos interesa se tiene la erupción del Popocatepetl en 5 000 y la del Guespalapa en 4 90 años a.p.

Con estos datos podemos apreciar que ya los primeros pobladores de la cuenca de México y del valle de Toluca fueron testigos de numerosas erupciones volcánicas y aunque pocas de ellas los afectaron directamente, estos antiguos pobladores fueron capaces de percibir los alcances y consecuencias de estos fenómenos y de esta forma procesar la información para elaborar una idea de una deidad que controlara estos eventos.

No obstante que los vulcanólogos han insistido que el sistema magmático de los grandes volcanes es totalmente distinto del de los conos cineríticos, al parecer existe una relación entre la actividad de los grandes volcanes y los pequeños conos y que pudiera ser ocasionada por la desestabilización de equilibrios que tienen como consecuencia la aparición de pequeños escapes magmáticos en forma de conos. Los estudios muestran claramente periodos de gran actividad y periodos que no la tienen lo que constituye una de las aportaciones del trabajo de Siebe que propone una periodicidad para estos eventos volcánicos que pueden afectarnos en el presente inmediato y el futuro.

Otro aspecto interesante es que a lo largo de la presencia humana en nuestro planeta, las cenizas volcánicas, al producir tierras fértiles, siempre han llamado a la población, a pesar de los riesgos que implica vivir en las cercanías de volcanes. Recientemente Siebe (2000: 61) [139] ha documentado que el Popocatepetl experimentó grandes erupciones cataclísmicas entre 250 y 50 aC lo que parece haber desempeñado un importante papel en los movimientos migratorios que ocasionaron que el sur de la cuenca paulatinamente se fuera quedando sin asentamientos de importancia.

En resumen, puede asegurarse que la actividad volcánica más violenta ocurre entre 250 y 50 aC, pero afecta principalmente el valle de Puebla y Tlaxcala, sin descartar importantes repercusiones en las condiciones ambientales de la esquina sudeste de la cuenca de México. Según Siebe, la erupción del Xitle ocurre cuando menos 300 años después. Sin embargo, cabe la posibilidad de que algunos de los conos que geomorfológicamente tienen semejanzas con el Xitle pudieran haber complementado este panorama durante el tiempo vacante (figura 6.1, p. 131).

REVISIÓN DE FECHAS DE RADIOCARBONO EN CUICUILCO

El fechamiento por radiocarbono en la arqueología es una de las principales herramientas para ubicar temporalmente los eventos. En la cuenca de



Figura 6.1. Imagen satelital de la sierra de Chichinautzin, G Guespalapa, Ch Chichinautzin, P Pelado, X Xitle, A Ajusco. Se han marcado algunos de los derrames de basalto.

México, el periodo que abarca el Preclásico tardío y el Clásico temprano se ha representado mediante algunos fechamientos de muestras obtenidas principalmente de los alrededores de la Pirámide de Cuicuilco. La erupción volcánica ocurrida en esta zona carbonizó buena parte de los materiales orgánicos debajo de la superficie cubierta por la lava. Este hecho ha permitido que en los lugares donde la extracción moderna de piedra de basalto ha expuesto la capa de ceniza en contacto con el paleosuelo, se encuentren y se recuperen materiales carbonizados susceptibles de fechamiento por carbono¹⁴. Una de las primeras fechas ($2\,422 \pm 250$ años a.p.) fue precisamente en el recién estrenado laboratorio de Libby (Arnold y Libby 1951) [7] posteriormente en el mismo laboratorio (Fergusson y Libby 1963) [53] y 1964 [54] establecieron otras, pero éstas han sido muestras que parecen presentar deficiencias en la toma o en la asociación con el contexto arqueológico.

En un interesante estudio, Jaime Urrutia (1995) [147] y su equipo han recopilado más de treinta fechas de radiocarbono obtenidas del material carbonizado recogido debajo de las capas de basalto en los alrededores del sitio arqueológico de Cuicuilco. Uno de los objetivos de este trabajo radica en explicar las grandes diferencias entre las fechas proporcionadas por los laboratorios. En sus extremos este conjunto de fechas abarca desde 4 800 a 1 400 años a.p. Desde luego, una de las primeras explicaciones es que se tiene algún error en el procedimiento para el fechado; sin embargo esto no explica la consistencia entre varias muestras. Urrutia se dio a la tarea de recopilar todas las fechas publicadas. Apoyado en un reciente trabajo de Evelyn Rattray (1991) [123], reunió poco más de treinta y dos fechas. Representó, a continuación, estos datos en histogramas de frecuencia y pudo observar cómo se formaban tres grupos. Los corrigió mediante dendrocronología y finalmente obtuvo tres grupos de fechas claramente definidas. Un grupo tiene un promedio de 4 mil años a.p. (2050 años aC), otros datos se agrupan alrededor de 2 400 años a.p. (450 años aC) y finalmente un tercer grupo tiene como promedio 1 950 años a.p. (año cero).

Hasta el momento estos datos se han tratado de relacionar con la erupción del volcán Xitle. Como mencionan Córdova, Martín del Pozzo y López (1994) [38], el Xitle es un volcán monogenético con una erupción de corta duración –aproximadamente veinticinco años– y, por tanto, sólo puede estar representado por uno de los grupos de fechas. Esto sugiere que las fechas obtenidas pueden ser el reflejo de varios eventos volcánicos distintos; sólo uno de ellos puede relacionarse con la erupción del Xitle, pero los otros dos deben estar asociados a la erupción de otros volcanes cercanos. En opinión del propio Urrutia, el volcán Yololica, por su geomorfología y su cercanía, es uno de los que pueden estar representados. Quizá lo más importante de esta investigación es que sustenta la hipótesis de que la actividad volcánica de la sierra

del Chichinautzin –que incluye volcanes como el propio Chichinautzin y el Teutli– fue muy intensa durante el periodo Formativo en la cuenca de México. Afortunadamente un grupo de investigación del encabezado por Siebe se ha dedicado a estudiar la evolución geológica de esta sierra y está aportando evidencias para asociar los eventos volcánicos ocurridos con los asentamientos humanos.

De acuerdo con el estudio de Siebe *et al.* (2004: 18) [140] el volcán Chichinautzin (¿el Señor del quemado?) hizo erupción 1835-55 años a.p. (que corresponde a 60-170 dC).

El grupo de erupciones que más afectó a las poblaciones que habitaron el sur de la cuenca fueron la erupción del Popocatepetl en 2 150, el Chichinautzin en 1 835 y el Xitle en 1 670 años a.p.

No obstante que las laderas orientales del Popocatepetl fueron las más severamente afectadas por los depósitos plinianos, las laderas del noroeste fueron devastadas por los flujos piroclásticos. Según Siebe *et al.* (2004: 19) [140] aproximadamente entre 250 y 50 aC, los sobrevivientes del suroeste del valle de Puebla y los de la región de Amecameca-Chalco, localizada en la esquina sureste de la cuenca de México, tuvieron que migrar a otras áreas.

Un efecto similar, pero de menor importancia podría ser atribuido al Chichinautzin, que tuvo su erupción en 60-170 dC, unos cien años después del Popocatepetl y que afectó también el sur de la cuenca de México, esta erupción tuvo una magnitud similar a la del Xitle y destruyó un área considerable en las cercanías de Topilejo.

Aunque Cuicuilco no fue afectado directamente por las erupciones del Popocatepetl, es muy posible que la suma de fenómenos volcánicos haya sido lo que produjo su abandono. Apoyado en dos nuevas fechas obtenidas de carbón producido directamente por la erupción, Siebe (2000: 62) [139] propone que las lavas del Xitle fluyeron entre 245 y 315 años dC.

En los casos del Chichinautzin y del Xitle, lo que ahora se puede observar son los restos de los flujos de lava, pero ya no es posible apreciar las zonas de caída de cenizas. El efecto combinado de los tres volcanes y la suma de las áreas afectadas directamente por los flujos de lava, las áreas cubiertas de ceniza y los incendios forestales ya tienen un impacto a lo largo del tiempo que puede explicar el movimiento de población hacia el norte de la cuenca.

Los datos aportados por el reciente estudio de Siebe *et al.* confirman la idea presentada por Barba (1995) [14] en su tesis doctoral quien sugiere que la erupción del Xitle no podía explicar la migración y despoblamiento del sur de la cuenca de México. Los datos actuales muestran que la combinación de la gran erupción del Popocatepetl, la del Chichinautzin y la del Xitle fue lo que logró lo que parecía inexplicable.

Además del momento geológico en que emerge la sierra de Chichinautzin, cuando se cierra la cuenca en el Cuaternario, es muy probable que esta sierra desempeñara un papel determinante y presentara una gran actividad en los periodos que ahora nos ocupan: los del Formativo tardío y Clásico temprano. Estrechamente relacionada con esta etapa de intensa actividad volcánica en la sierra, y con un intervalo de tiempo mucho mayor, se dio la formación del cono actual del Popocatepetl (Robin y Boudal 1987) [125]. Como parte de este proceso se tienen los datos aportados por la excavación reciente de una comunidad del Formativo sepultada por una lluvia de piedra pómez en las faldas del Popocatepetl. En el trabajo de Uruñuela y Plunket (1995) [146] hay evidencia de la actividad del Popocatepetl entre el 200 y el 100 aC. Los elementos anteriores permiten proponer que, en la época de referencia, los habitantes de la parte sur de la cuenca de México padecían constantemente los eventos asociados a la actividad volcánica, tales como temblores, ruidos subterráneos, lluvia de ceniza, relámpagos y flujos de lava.

En su trabajo sobre Tlapacoya, en todo caso, Beatriz Barba de Piña Chan (1980: 49) [10] dice que:

... la capa XI es un tendido delgado (5 cm) de ceniza volcánica, que corresponde con toda seguridad a una erupción, que puede ser la del Teutli que se ve en el mapa de Lobato (1876: plano2) [81] y que fue más o menos contemporánea del Xitle, según Maldonado Koerdell.

Esto a su vez está ligado a las evidencias que Sanders, Parsons y Santley (1979: 106) [130] presentan acerca de los estudios geológicos realizados en conexión con el proyecto del Instituto Nacional de Antropología e Historia en la Villa Olímpica de Cuicuilco dirigido por Florencia Müller. Indican que hubo dos flujos de lava, uno fechado hacia el final de la Fase 3 que redujo drásticamente la productividad en el área y un segundo, al final de la Fase 5 que redujo la totalidad del área a pedregales.

Nuevamente Barba de Piña Chan (1980: 174) [10] aludiendo a su excavación de Tlapacoya explica:

Según la interpretación geológica y arqueológica del lugar, antes del Preclásico hubo una etapa pluvial que fue decreciendo en intensidad y permitió el asentamiento de un grupo correspondiente a dicha fase del Preclásico. Al parecer, un poco después ocurre una erupción volcánica, después de la cual no hay indicios de ocupación humana.

A continuación, un grupo del Preclásico Superior se asienta de nuevo en Tlapacoya, para integrar una cultura que, perdurando más allá de los límites del Preclásico Superior, sólo declina hasta el apogeo de Teotihuacan II y muestra condiciones climáticas de sequedad.

Finalmente expone el desplazamiento de grupos de habitantes hacia el norte: “Tlapacoya, en su fase del Preclásico Superior, comienza cuando las

erupciones volcánicas que afectan a la cuenca (especialmente el Xitle en la región SW) hace que algunos grupos se desparramen hacia la región central” (Barba de Piña Chan 1980: 175) [10].

Afortunadamente las excavaciones arqueológicas de los sitios tardíos de Tetimpa delimitan la edad de la fase eruptiva Pliniana del Popocatepetl y la ubican alrededor de 2 100 años a.p. (Plunket y Uruñuela 1996) [118] que equivale a 150 años aC, momento en que se produce el abandono de las ocupaciones de Tetimpa.

Durante la excavación del sitio Temamatla (Serra 1988) [136], ubicado en la esquina sureste del lago Chalco-Xochimilco, se documenta el abandono del sitio al final del periodo Preclásico; la mayor intensidad de la ocupación se da en la fase Ticomán (400-200 aC) aunque se han recuperado materiales de la fase Cuicuilco (200 aC-0) que corresponden a los últimos momentos de ocupación del sitio.

De la misma forma, las excavaciones recientes de Serra (1998) [137] en el sitio arqueológico de Xochitecatl, Tlaxcala muestran el abandono del sitio a finales del periodo Clásico. Sin embargo, y más importante para nuestros propósitos es el primer abandono de este sitio que ocurre entre 100 y 200 dC cuando una importante erupción del Popocatepetl modificó sustancialmente las posibilidades de utilización del valle, arrasando los cultivos y alterando en gran medida las zonas de caza y pesca.

La misma autora excavó el sitio Terremote-Tlaltenco en el centro del lago Chalco-Xochimilco en 1978 y menciona que también ocurre un abandono del asentamiento aproximadamente al final del periodo Preclásico.

Son evidencias, pues, de la misma actividad volcánica en un sitio más distante que coincide con la descripción de algunos de los eventos que los afectaron.

SOBRE LA CONSTRUCCIÓN DE LAS PIRÁMIDES

Regresando al caso teotihuacano, durante las primeras etapas constructivas, el gobierno de la ciudad de Teotihuacan no contaba con un poder militar que pudiera obligar a las personas a trabajar. Por el contrario, se le ha caracterizado por la ausencia de esta fuerza y por la importancia y la permanencia de sus tradiciones religiosas.

Algunos autores (Sanders *et al.* 1979) [130] han propuesto que la emigración de Cuicuilco, al cabo del tiempo, pobló a Teotihuacan. Si bien la literatura que describe la erupción del Xitle tiende a minimizarla, Córdova y otros (1994) [38] han estudiado el impacto de erupciones volcánicas, especialmente en la sierra del Chichinautzin y coinciden en que el efecto que ocasiona

un evento de esta naturaleza es más importante de lo que hasta ahora se ha considerado.

Proponemos que antes del flujo de lava basáltica apreciado ahora en la zona de los pedregales en la ciudad de México, ocurrieron muchas cosas y durante mucho tiempo. Sabemos de la existencia de temblores de gran intensidad y continuos, ruidos terrestres y erupciones de ceniza. Durante el desarrollo de los proyectos de investigación realizados en los alrededores de Cuicuilco (Linares *et al.* 1992) [71] se apreciaron capas de ceniza gris en el corte del arroyo, de 10 a 15 centímetros de espesor. El grupo de trabajo de la Escuela Nacional de Antropología e Historia que estudia dicha zona también ha registrado espesores equivalentes de ceniza (Córdova *et al.* 1994) [38].

Aunque hay menos estudios, algo semejante pudo ocurrir en la erupción del Chichinautzin que afectó al área de Topilejo. Esta cantidad de ceniza llega a derribar los techos de material percedero, pero, más aún, en el contacto de la ceniza con el paleosuelo se han podido apreciar cambios en la coloración, lo que indica alta temperatura. Esto también debe considerarse, pues pudo haber repercutido en los habitantes al quemar sus construcciones. Aun la ceniza fría debió haber cubierto sus campos de cultivo, sus manantiales y sus depósitos de agua. No sería difícil que gran parte de la ribera sudoeste del lago hubiera quedado arrasada. Todo lo anterior debió haber trastornado la vida de los habitantes del sur de la cuenca aun antes de los derrames de lava.

Córdova (1994) [38] describe, por otro lado, los efectos de la erupción del Xitle y entre las consecuencias se encuentra el cambio de curso de los ríos que desembocaban al lago de Chalco-Xochimilco, los que después de la erupción fueron hacia el lago de Texcoco.

Esto debió haber acarreado también consecuencias sobre el nivel del lago. En la actualidad, en ciertas zonas extensas no puede apreciarse el depósito de ceniza producido por esta erupción, pues en trabajos anteriores (Linares *et al.* 1992) [71] se ha advertido que los procesos de erosión en el área fueron muy intensos. Aparentemente la ceniza que cubrió los campos y quemó la vegetación fue rápidamente removida por las intensas lluvias que, en ocasiones, suceden a estos eventos volcánicos. Sin embargo, hay que considerar no sólo esto, sino que la capa de suelo desapareció, porque carecía de cubierta vegetal. Se sabe que una vez que se ha perdido la capa vegetal, la ceniza es fácilmente lavada por las lluvias posteriores arrastrando al mismo tiempo el suelo, lo que hace que la erosión sea muy intensa en estas zonas.

Otro dato adicional aportado por el grupo de la Escuela Nacional de Antropología e Historia (Córdova *et al.* 1994) [38] sugiere que la pirámide de Cuicuilco ya se había derrumbado parcialmente cuando fue cubierta por el derrame de lava. Si consideramos que la estabilidad de estas grandes estructuras masivas es muy grande, puede deducirse que los temblores pudieron ser

de gran intensidad. Esto complementa la idea de que los eventos previos a la erupción sucedieron durante un largo tiempo y que los habitantes del sitio tuvieron suficiente tiempo para abandonar sus casas antes de que ocurriera el derrame de lava. También nos permite suponer que toda esta población sobreviviente recibió un fuerte impacto psicológico que no se ha considerado suficientemente. Imaginemos el panorama de uno o varios volcanes naciendo en las estribaciones de la sierra, temblores constantes, ruidos estruendosos, proyecciones de cenizas incandescentes que, sobre todo, en las noches, debieron ser impactantes. Los techos derrumbados, los terrenos circundantes cubiertos con cenizas y muchos animales y plantas muertos. Los habitantes que huyeron, caminaron mucho antes de que pudieran dejar de pisar la ceniza y se llevaron consigo la impresión del evento en sus mentes.

La erupción del Xitle pudo ser la gota que derramó el vaso pues durante el periodo Formativo toda la Sierra del Chichinautzin se encontraba en gran actividad y pudieron ocurrir erupciones en los volcanes Yololica, El Teutli y el propio Chichinautzin, según muestran los estudios referidos. Si a esto agregamos que hay evidencia de intensa actividad en el Popocatepetl en la última etapa de formación del cono actual, se presenta un panorama de tal actividad volcánica que puede sustentar el crecimiento de un culto importante en esta época.

Un incremento importante en la población de Teotihuacan se da precisamente durante la construcción de las estructuras principales y continúa incrementándose después durante la construcción de las unidades habitacionales. Las fechas de las erupciones obtenidas recientemente nos permiten ahora plantear que los movimientos poblacionales se pudieron dar en forma de oleadas, siendo las poblaciones desplazadas de las cercanías del Popocatepetl las primeras en llegar a Teotihuacan a principios del primer siglo de nuestra era y puede asumirse que fueron las encargadas de erigir las grandes pirámides. El siguiente grupo pudo haber sido desplazado del área de Topilejo alrededor de 200 dC y llegar a Teotihuacan para contribuir en la construcción de la Ciudadela y el Templo de Quetzalcóatl. Finalmente los desplazados por la erupción del Xitle llegan aproximadamente en el año 300 dC para participar en la construcción de las unidades habitacionales. Ésta es una propuesta para explicar el incremento sostenido de la población en Teotihuacan que incluye los datos más recientes y relaciona el proceso de crecimiento del centro urbano con los eventos volcánicos.

Existe otro gran evento eruptivo del Popocatepetl entre 650 y 850 dC que ha sido claramente documentado y que afectó directamente y propició el abandono de Xochitécatl en Tlaxcala, pero este mismo evento también puede estar relacionado con el abandono de una ciudad que ya se encontraba en graves problemas de viabilidad como Teotihuacan. Así resulta paradójico

que una ciudad que creció como consecuencia de los desplazamiento poblacionales producidos por eventos volcánicos también pudo haber concluido su existencia por los efectos de otra erupción volcánica.

A nivel mundial en diversos panteones existen dioses responsables de los eventos volcánicos, a los cuales se recurre cuando se producen catástrofes (Pele en Hawai, el culto al Fujiyama, etcétera). Sugerimos que para los habitantes de Cuicuilco, y en general del sur de la cuenca, debió ser lógico que en la relación con sus dioses algo estaba fallando. Tenía que haber algo que ocasionara el enojo del responsable de las montañas y volcanes con los pobladores. Un factor importante de este argumento es que debió haber muchos sobrevivientes para que el efecto tuviera un impacto posterior. En el caso en que la catástrofe fuera de tal magnitud que arrasara con los pobladores, quedarían muy pocos para contar lo sucedido. Pero en el caso que nos ocupa, un gran número de sobrevivientes pudo experimentar y contar lo sucedido y requería encontrar una solución a sus problemas con la divinidad.

Mientras esto ocurría en la parte sur de la cuenca, en el norte, en el valle de Teotihuacan habitaba un grupo de personas que, al parecer, podía proponer una solución. Esta propuesta pudo haber sido el construir un lugar de culto, con el cual el airado dios pudiera ser desagraviado. Ya se ha dicho que la existencia del túnel de la Pirámide del Sol implica que ésta se construyó intencionalmente encima y que debió ser un lugar muy importante para el culto relacionado con el inframundo (Heyden 1975 [68]; Manzanilla 1994 [90]).

ASPECTOS RITUALES

Recientemente Aramoni (1998: 148-149) [5] ha propuesto que las montañas fueron una de las formas de representación sintética del Tlalocan y que de entre ellas, la más importante sería el volcán. Según esta autora, éste reúne elementos como el fuego, la tierra, el viento y la lluvia que junto con otros, lo vuelven muy importante. Si esto es cierto, cabe la posibilidad de que los teotihuacanos quisieran construir una montaña o quizá un volcán, con algo en su interior que tuviera que ver con el Tlalocan y que debía ser agradable al dios con el que querían reconciliarse. Ya Manzanilla (1994) [90] ha destacado la semejanza del paisaje circundante con la pendiente de los taludes de las pirámides y comenta que su perfil es muy armonioso. Sin embargo, yendo un poco más lejos, no es casual que se asemejen, pues lo que se propone es que ellos quisieron reproducir una montaña, tanto su perfil como sus dimensiones y materiales.

Por otra parte, los trabajos de Raúl Aranda (1994) [6], apoyados en los de Broda (1982 [23], 1991 [26]), exponen la idea de un culto muy antiguo—durante el Formativo—, dedicado a los cerros, especialmente a los cerros ne-

vados y a los volcanes. En sus excavaciones en el Cerro Metepec, estado de México, halló los elementos relacionados con dicho posible culto, aun cuando también ese cono cinerítico presenta cuevas en sus laderas, semejándose mucho a lo estudiado hasta el momento en Teotihuacan. Puede proponerse entonces que como parte de esta práctica religiosa, las cuevas hubiesen desempeñado un papel importante y uno de los materiales utilizados para su excavación es precisamente la escoria volcánica. Esto indicaría que por el tiempo de aquellas erupciones existía un culto bien establecido a las montañas y precisamente en los restos de un volcán con cuevas en su base, como se apreció en Metepec.

Otra idea estrechamente ligada con las expresadas anteriormente, es que en la Leyenda de los Soles de los nahuas se relata que durante el Cuarto Sol toda la humanidad fue exterminada a causa de una lluvia de fuego de la cual sólo sobrevivió una pareja porque se refugió en una cueva. Por alguna razón, este mito no ha sido asociado con la existencia de cuevas ni con los eventos volcánicos. Sin embargo, con los elementos reunidos tenemos suficientes asociaciones para sostener dicha relación.

Hay un mito mexicana que dice que los volcanes habían surgido después que los mares invadieron la tierra, en la edad de predominio del fuego Tletonatiuh, época en que brotaron las enormes corrientes de lava y los cráteres encendidos, y como sólo los pájaros podían escapar del incendio general, cuenta la tradición que todos los hombres se convirtieron en aves, a excepción de una pareja que se salvó en el interior de una caverna. (Yarza de la Torre 1992: 11) [151].

Sería necesario documentar con cuidado esta propuesta, pero consideramos que los especialistas en el tema podrían explorar estas posibilidades y desarrollarlas en toda su extensión; baste por el momento y para los efectos de este libro, exponerlo como una posibilidad de explicación a una desmedida inversión de energía humana en la construcción de la Pirámide del Sol. De esta manera, proponemos que puede explicarse cómo la gran cantidad de población afectada por las erupciones pudo voluntariamente haber trabajado en una empresa como ésta, pues ya había experimentado las consecuencias de disgustar al dios encargado del control de los volcanes. Esto también ayudaría a explicar por qué la pirámide fue construida prácticamente en una sola etapa y el que sus modificaciones y ampliaciones posteriores fueran relativamente pequeñas. Otro aspecto digno de considerarse es que la pirámide del Sol y, posiblemente, la de la Luna están hechas mayormente con tierra en tanto que sólo su recubrimiento exterior es de piedra (Sugiyama 2006) [142].

En contraste, una estructura posterior como la pirámide de Quetzalcóatl, está construida con más piedra en su interior (Cabrera *et al.* 1991) [29]. Esto apoya la propuesta de que los constructores trataron de imitar un cerro. De

hecho, los estudios presentados en este libro indican que los lugares para la extracción del tezontle se encuentran casi debajo de los sitios de construcción, lo que indica la disponibilidad inmediata del recurso; sin embargo, se determinó utilizar solamente el suelo de los alrededores. Claramente la decisión de utilizar un material especial propicia la semejanza con la montaña, no sólo en forma sino también en composición.

En su trabajo Aranda (1994) [6] también muestra evidencias sobre un culto a deidades muy antiguas, como el volcán Popocatepetl. Los datos del sitio de Xico provienen del periodo Formativo terminal (200 aC a 300 dC). Los trabajos de excavación permitieron definir el sitio como un centro de culto ocupado durante la transición del Formativo terminal a los inicios del Clásico. La disposición y orientación de los enterramientos y de las ofrendas mostraron una dedicación del culto al agua y una referencia directa al volcán Popocatepetl. La información arqueológica relativa al Horizonte formativo, ha permitido establecer el surgimiento de deidades acuáticas y el reconocimiento de la serpiente como el símbolo acuático. Piña Chan planteó que “es muy probable que el culto a la serpiente Quetzalcóatl tuviera su origen en alguna vieja deidad acuática (la serpiente nube de lluvia) desde luego asociada al rayo-trueno-relámpago-fuego”. Según Matos (1993) [96], siguiendo a Pasztory –quien originalmente lo propuso–, en Teotihuacan se discute la presencia de un dios del trueno que ha sido identificado con Tláloc y, posiblemente, con las erupciones pues hay fenómenos eléctricos y truenos durante la emisión de cenizas volcánicas.

Los incensarios del dios del fuego de la fase Cuicuilco VB (1-150 dC) sugieren que el vulcanismo pudo haber sido anterior (Córdova, Martín del Pozzo y López 1994) [38]. Manzanilla (1993a) [88] también cita entre las deidades presentes en Teotihuacan, que aparecen desde tiempos anteriores al Horizonte Clásico y que están relacionadas con el ámbito doméstico, al dios del fuego (Huehuetéotl), siempre asociado a la porción oriental de los conjuntos habitacionales. Hay que destacar, a su vez, que estos adoratorios domésticos se encuentran en la misma posición que la Pirámide del Sol, que los volcanes nevados y el cerro de Tláloc. Valdría la pena explorar esta relación. De la misma manera, otras evidencias permiten proponer que la posición de la cueva y de la pirámide fue escogida del tal manera que el Cerro Gordo quedara exactamente al norte.

En concordancia con lo anterior, Uruñuela y Plunket (1995) [146] han estudiado el sitio Tetimpa, en el valle de Puebla. Como se mencionó, este sitio fue cubierto por una erupción de fragmentos de pómez. El evento fue súbito y como resultado los restos de los habitantes y sus pertenencias se encontraron *in situ*. Afortunadamente, las excavaciones de los sitios tardíos de Tetimpa delimitan la edad de la fase eruptiva pliniana del Popocatepetl

y la ubican alrededor de 2 100 años a.p. (Plunket y Uruñuela 1996) (Tabla 1) [118] que equivale a 150 años dC momento en que se produce el abandono de las ocupaciones de Tetimpa. Este importante sitio con contextos primarios es una clara evidencia de la intensa actividad volcánica de estos momentos. Las fechas de radiocarbono recientemente obtenidas indican que el evento volcánico ocurrió entre el 200 y el 100 aC. Lo más destacado de este hallazgo fue la presencia de un adoratorio con las figuras de los dos volcanes, prueba arqueológica de una preocupación y del culto propuesto por Aranda (1994) [6].

López Austin (1989) [82] y más tarde, Manzanilla (1993a) [88] han propuesto que en Teotihuacan se dio, por primera vez, una superposición de deidades en dos capas: los dioses de linaje, protectores de líneas de descendencia y, encima de ellos, Tláloc como dios de lugar, que amparaba el territorio, patrono de la ciudad y de la cueva. Millon (1993) [104] anota que la religión desempeñó un papel crítico en la integración de la sociedad teotihuacana. La religión teotihuacana temprana se orientó a la celebración ritual del mito de origen asociado a la cueva sagrada. No obstante, este ritual continuó en tiempos posteriores aunque su importancia disminuyó merced al surgimiento del culto de la guerra sagrada y el sacrificio, asociado con la Serpiente Emplumada, el dios de la tormenta y los ciclos del movimiento del planeta Venus. De este modo, la relación cueva-montaña dentro del culto a Tláloc es una y la misma cosa. La montaña y la cueva implican un factor hidráulico relevante en la cosmovisión mesoamericana. El templo mismo era considerado como un cerro sagrado que cubría las aguas subterráneas como una cueva. La relación que conecta a Tláloc con las cuevas y los cerros esta definida en el concepto Tepeyóllotl (el corazón del cerro), deidad representada como un jaguar que resume los aspectos preclásicos de cueva, tierra y selva tropical. Completa este esquema la idea de la Tierra, llamada Cemanáhuac (el lugar rodeado por agua), como un disco flotando sobre el agua. El paraíso o Tlalocan se concebía, en cierto modo, como un espacio debajo de la tierra, lleno de agua que comunicaba a los cerros y las cuevas con el mar. Se pensaba que existía una conexión subterránea entre las grandes cuevas (la entrada al Tlalocan) y el mar.

En las excavaciones realizadas en 1978 por Jorge Acosta en el piso de la cueva debajo de la Pirámide del Sol aparecieron evidencias de ritos del primer siglo relacionados con fuego y agua. Se descubrieron ofrendas de conchas, espinas y huesos de peces pequeños asociadas a formas cerámicas distintivas encontradas en esa cantidad, sólo en la cueva. La historia comenzó con una de las muchas cuevas debajo de lo que sería la ciudad, la que se convertiría en la cueva debajo de la pirámide. En ese tiempo acaso las cuevas eran consideradas sagradas. La escoria, de hecho, fue excavada para formar parte

del concreto teotihuacano y la cueva debió ser limpiada para convertirla en el lugar más sagrado (Millon 1993) [104]. Los resultados de nuestros trabajos recientes prueban la excavación intencional de esta cueva, y nos muestran una estrecha relación entre las montañas, los volcanes, las cuevas, Cuicuilco y Teotihuacan.

En 1994, Manzanilla [90] aludió una cita de *Las relaciones geográficas del siglo XVI* que afirma que en San Juan Teotihuacan existían cúes, en el mayor de los cuales se encontraba una escultura de Tonacatecuhtli para demostrar que en el siglo XVI perduraba la idea de una montaña sagrada.

Broda (1982 [23], 1987 [25]) y Matos (1990) [95], entre otros, comentan al respecto que el Templo Mayor de Tenochtitlan constituía una representación del centro del universo, con dos cerros, en uno de los cuales se escenifica la leyenda donde Coyolxauhqui fue arrojada a sus pies. Los herederos de la cultura teotihuacana seguían así teniendo una pirámide que representaba una montaña sagrada. Y es que, de acuerdo con Broda (1982) [23], Matos (1993) [96] y López Luján (1993) [84] el recinto sagrado de México-Tenochtitlan era el centro de centros. El edificio estaba orientado con su fachada principal hacia el poniente, tenía dos escaleras de acceso a su parte superior y arriba se encontraban dos adoratorios: uno dedicado a Tláloc, dios del agua, de la lluvia, de la fertilidad, la producción agrícola, y el otro a Huitzilopochtli, deidad solar que regía el rumbo sur del universo, cuya relación con la guerra permitía –y justificaba– las conquistas militares dirigidas a obtener los tributos indispensables para Tenochtitlan.

Cada uno de estos lados contenía un mito importante y representaba una montaña sagrada. El lado de Tláloc era el Tonacatépetl, el cerro de nuestro sustento, donde Quetzalcóatl había robado los granos de maíz para alimentar a los hombres. El lado del dios de la guerra era el Coatépetl o Cerro de la Serpiente, lugar en que había combatido contra sus hermanos, los cuatrocientos surianos (las estrellas del sur), quienes comandados por Coyolxauhqui, deidad lunar, nocturna, pretendían matar a Coatlicue, su madre que habitaba en aquel cerro. Broda explica:

... hay un conjunto de deidades que pertenecen al culto mexica de los cerros, el agua y la tierra que se encuentran en el Templo Mayor; entre ellos se encuentran el conocido como Huehuetéotl-Xiuhtecuhtli, también interpretado como Tonacatecuhtli y como Tepeyóllotl, cuyas interpretaciones son el Dios Viejo del Fuego y del tiempo, la deidad suprema de los mantenimientos y el corazón del cerro (Broda 1991: 469) [26].

Abundando, Broda (1987: 95) [25] alude a la presencia de las representaciones de un dios sentado encontrado frecuentemente en las ofrendas del Templo Mayor de esta manera:

... estas figuras fueron prematuramente identificadas como Xiuhtecuhtli-Huehuetéotl el dios viejo del fuego y señor del tiempo. Otros autores han ofrecido otras posibilidades de interpretación. Recientemente, Debra Nagao ha argumentado que esas figuras representan a Ometéotl-Tonacatecuhtli, el señor de la dualidad y los mantenimientos quien así habría mantenido una relación específica con las ofrendas. H. B. Nicholson ha identificado estos ídolos con Tepeyóllotl, el dios jaguar relacionado con las montañas, las cuevas y la noche. Eduard Seler, sin embargo propone que esta enigmática deidad vieja pudo haber pertenecido a los dioses de la montaña y del pulque.

Parece ser, considerando los datos expuestos, que la línea divisoria entre los atributos de estas deidades tiende a desaparecer y que se trata de una transformación y fusión paulatina de atributos a lo largo de miles de años.

Los ritos propuestos para el Formativo por Broda, Aranda, Plunket y Uruñuela, parecen continuar en tiempos del Posclásico tardío. La montaña sagrada es uno de los elementos centrales del pensamiento y parece estar estrechamente relacionada con los eventos volcánicos que afectaron el sur de la cuenca en el Formativo. Además, la presencia del Dios Viejo del Fuego desde entonces, su interpretación como Tonacatecuhtli y su permanencia en tiempos mexicas tiene gran relevancia a la luz de las evidencias presentadas. Millon señala:

... que un líder poderoso y carismático conmemoró la importancia de la cueva y su principal deidad con un programa de construcción monumental que inmortalizara la importancia de la cueva y dramatizara el ejercicio de poder de los líderes. La ideología debió haber jugado un rol crítico integrativo. Una poderosa fuerza de integración habrían sido los requerimientos de un estado ritual celebrando el mito de creación de Teotihuacan (Millon 1993: 24) [104].

A fin de cuentas, el éxito del sistema político y militar de Teotihuacan fue la manera como los líderes emplearon la atracción de sus lugares santos y el prestigio de su religión para hacerla tan importante para tanta gente y durante tanto tiempo.

Así, una estructura dedicada a aplacar la ira de alguna divinidad del dios de las montañas puede decaer cuando cesa la actividad volcánica. Esto, desde luego, pudo haber ocurrido, pues al cabo de uno o dos siglos de vigencia, las nuevas generaciones ya no encuentran sentido a este culto. Esto puede asociarse a los cambios que se perciben en la organización política y en las formas de culto que se comienzan a reflejar en la Pirámide de Quetzalcóatl y en el abandono de las plazas de tres templos. Fahmel (1995: 25) [51] concluye que “después de 350-400 dC, los posibles linajes identificados con plumas y tigres en Teotihuacan parecen haber desarrollado el culto a Tláloc, en su forma conocida durante el Posclásico”.

Capítulo 7

Conclusiones

RECONSTRUCCIÓN GEOLÓGICA

Para emprender esta investigación debieron llevarse a cabo una gran cantidad de estudios en el norte de la ciudad prehispánica que incluyeron la observación de imágenes aéreas, los reconocimientos geológicos, los estudios magnéticos y eléctricos y las perforaciones de verificación. La interpretación sinóptica de esta información permitió una reconstrucción geológica detallada. Se concluyó que la actual superficie está formada por un antiguo derrame de lodo caliente y que debajo de esta capa hay escoria volcánica en forma de pequeños montículos formados, a su vez, por la emisión de magma a alta presión a través de grietas y fisuras. El relieve irregular producido por estas pequeñas estructuras volcánicas fue suavizado por el lahar proveniente del Cerro Coronillas (éste fue la lengua de lava mencionada por Mooser (1968: 36) [105] que recubrió toda el área y dejó una superficie plana, de pendiente suave, que permitió la posterior construcción de la ciudad.

Los estudios magnéticos realizados en forma de retículas y líneas distribuidas en el área de estudio mostraron que debajo de la actual superficie existen concentraciones de basalto y de escoria volcánica (tezontle). Parte de ellas fueron explotadas por los teotihuacanos. La remoción del material dejó claras huellas sobre el terreno en forma de depresiones y túneles.

Con la información acumulada, puede asegurarse que no existe ningún proceso de formación natural que pueda explicar la presencia de una cavidad en la base de la Pirámide del Sol y, en cambio, existe una gran semejanza entre ésta y otros túneles de la zona. Generalmente los túneles estudiados fueron excavados en tezontle, pero la cámara tetralobulada intruye la capa de toba, lo que la distingue, tiene techo de tepetate sólo en la mitad norte de la cámara, la parte sur es de escoria volcánica con toba (la figura 1.22, p. 55

muestra la línea de contacto); todas las demás cuevas fueron excavadas en tezontle, ésta no. Lo anterior no resta sacralidad a la cueva, pero le quita el carácter natural. De los resultados de este trabajo se propone que, además de otros factores, el asentamiento de la ciudad estuvo determinado por la presencia de los materiales de construcción.

Evidencia de ello resulta la marcada relación entre las depresiones y las estructuras construidas en sus alrededores. Este lugar es único en el valle por las siguientes características. Es una gran extensión de terreno relativamente plana con una pendiente promedio de dos por ciento. El tezontle, que fue la principal piedra de construcción, se halla debajo del asentamiento y es el único lugar con estas características que tiene al Cerro Gordo al norte. Esto sugiere que en la selección del sitio está implícito un gran proyecto constructivo que ha tomado en cuenta estos factores. A diferencia de otras ciudades, Teotihuacan fue resultado de un trabajo intenso durante un periodo relativamente corto. La organización necesaria para lograrlo implica no sólo un fuerte poder centralizado sino, además, una fuerte motivación de todos los participantes.

USO DE LOS MATERIALES VOLCÁNICOS

Como ya mencionamos, el aprovechamiento del tezontle dejó huellas permanentes en la geomorfología del terreno en forma de depresiones. Utilizando el registro topográfico del mapa de Millon y con la ayuda de programas de computadora pudo cuantificarse su volumen. Este cálculo indica que se removieron alrededor de 670 mil metros cúbicos de piedra, lo que representa sólo el 30 por ciento del volumen de las estructuras mayores. Esto indica que el tezontle pudo utilizarse para el recubrimiento de las estructuras, pero no para formar el núcleo de las pirámides. Como consecuencia del conocimiento de las propiedades de los materiales, los teotihuacanos desarrollaron sus técnicas de extracción y probaron que resultaba más eficiente en términos energéticos abrir pequeños accesos atravesando la capa de toba y extraer el material excavando túneles en las capas de escoria. Las depresiones se formaron cuando ellos mismos decidieron eliminar los pilares de seguridad y permitieron que los techos se desplomaran, lo que les permitió utilizar también la toba volcánica. Adicionalmente se ha encontrado una estrecha relación entre las zonas de explotación de estos materiales y la presencia de las plazas de tres templos y se ha propuesto que representan centros para el control de la extracción en las primeras etapas (Millon 1957: 16) [99]. En las dos depresiones mayores, 9 y 11, las estructuras piramidales en los bordes muestran cambios en la organización posterior. Se propone que en la zona de Oztoyalco se inicia la explotación de este material y más tarde, cuando ya se han reves-

CONCLUSIONES

tido las pirámides y comienza la construcción a gran escala de los conjuntos departamentales en el centro de la ciudad, se intensifica la explotación de las depresiones cercanas a la Pirámide del Sol.

USO DE LA CAL

Para contrastar la hipótesis de que el uso de la cal para el recubrimiento de las superficies construidas en la ciudad de Teotihuacan pudo haber repercutido en el medio ambiente, se realizó el cálculo del volumen total de cal utilizada. Nuevamente se aprovechó la información del mapa de Millon y se midieron los 2 199 rectángulos que representan los conjuntos habitacionales en todos y cada uno de sus cuadros. La superficie total construida resultó de aproximadamente 4.56 millones de metros cuadrados. Considerando la superficie de pisos, techos y muros se alcanza una cifra de 12.3 millones de metros cuadrados de superficie recubierta con aplanados de cal. Cuando se considera el espesor promedio de los aplanados y su pureza, se obtiene como resultado cuando menos 600 mil toneladas de carbonato de calcio en la cal utilizada en la edificación de Teotihuacan. El uso de este material a gran escala parece iniciarse después de 250 dC y duró aproximadamente cuatrocientos años. Recientemente se ha determinado analíticamente que, cuando menos una parte de la cal, proviene de la región de Tula (Barba *et al.* 2009) [16].

USO DE LA MADERA

Se realizó el estudio termodinámico de la reacción de transformación de la roca caliza en cal viva. Esto permitió calcular la energía involucrada en esta transformación. Con los datos anteriores del volumen de aplanados se calculó la energía necesaria para la transformación: 2.31×10^{11} kilocalorías. Considerando que esta energía debió ser proporcionada por la combustión de madera, se ha estimado que se requirieron 2.4 millones de metros cúbicos de madera para quemar la cal. Todo parece indicar que la cal fue transformada fuera del Valle de Teotihuacan y que llegó como cal apagada lista para usarse. Sin embargo, la leña cotidiana resultó ser la cantidad determinante ya que su total asciende a 96 millones de metros cúbicos consumidos durante 750 años, lo que da un promedio de 64 mil toneladas al año. A partir de estos datos se ha concluido que fue tanta la madera requerida, que el valle no pudo ser autosuficiente, lo cual sugiere que la madera fue uno de los bienes que se obtuvieron de regiones fuera del mismo por medio de mecanismos de intercambio. Sin embargo, hay que considerar que otros materiales celulósicos de desecho pudieron contribuir en parte para satisfacer la demanda de combustible doméstico. Los olotes, las cañas de maíz, las pencas de maguey

y los pastos son materiales que requieren un estudio posterior para conocer su grado de participación.

APROVECHAMIENTO DE LOS SEDIMENTOS

Los trabajos consultados sobre las técnicas constructivas de las dos pirámides principales de Teotihuacan informan que sus núcleos están formados por la acumulación de lo que se describe generalmente como sedimentos limo arcillosos y por adobes del mismo material. Se considera que se acumularon alrededor de 2 millones de metros cúbicos de sedimentos para construir las dos pirámides, la banqueta perimetral de la Pirámide del Sol y algunas estructuras menores. Por otro lado, se ha visto que gran parte de las estructuras construidas en el centro de la ciudad desplantan del “tepetate” lo que sugiere que el suelo original fue removido. Se ha estimado que si este suelo hubiera tenido 40 centímetros de espesor se hubieran requerido 5 kilómetros cuadrados de terreno para acumular el volumen mencionado. Esto representa el despilme de una superficie equivalente a veinte cuadros del mapa de Millon, es decir, precisamente la zona nuclear de la ciudad.

Los resultados preliminares del trabajo de McClung y su equipo en el Laboratorio de Paleobotánica y Paleambiente han mostrado que no existen evidencias de erosión en los alrededores de la ciudad. Lo mismo ocurre con los resultados de los estudios de los perfiles en las ladrilleras de la zona de Acolman y Cuanalan realizados por Carlos Córdova. En ninguno de los casos se aprecia una tasa de sedimentación anormal que sugiera un aumento en la erosión durante la época teotihuacana. Esto significa que los procesos de erosión no están asociados a eventos de deforestación en el valle. No se tiene evidencia de que la tala inmoderada hubiera aumentado la erosión y la sedimentación. Aparentemente este aserto es desmentido por la cantidad de madera utilizada para la quema de la roca caliza y la madera usada en la ciudad de Teotihuacan, pero estas evidencias ahora indican que se utilizó madera traída de algún lugar fuera del valle y muy probablemente la cal llegó a la ciudad en forma de cal hidratada en lugar de roca caliza, lo que de ninguna manera se vería reflejado en los cambios en la tasa de sedimentación.

El impacto que una concentración urbana como la estudiada ha dejado en su lugar de asentamiento es muy importante y se manifiesta en varios puntos. Si consideramos la explotación de recursos como la toba volcánica, el tezontle y el suelo o sedimento podemos notar que las huellas dejadas en los alrededores permanecen hasta nuestros días. Las cuevas, las varias depresiones y la ausencia de suelo en el centro de la ciudad son evidencias del impacto que la actividad del hombre ha dejado. Hay que destacar que estas huellas pueden permanecer todavía muchos siglos más antes de desaparecer,

CONCLUSIONES

pues la intensidad de las alteraciones producidas ha sido de tal magnitud que a la naturaleza tomará mucho tiempo borrarlas. En cambio, la explotación y el aprovechamiento de recursos como la cal y la madera no han dejado huella en el valle ya que provienen de lugares alejados. En estos casos, el impacto se ha desplazado a otras regiones de las que hasta el momento se cuenta con poca información, aunque seguramente si se estudiaran con detalle, podrían observarse las huellas dejadas por la explotación de estos recursos durante la vida de la ciudad de Teotihuacan. De la misma manera que las ciudades modernas acopian recursos de regiones vecinas, esta concentración urbana preindustrial afectó áreas que hasta el momento no se habían considerado.

CONSUMO DE MATERIALES EN EL TIEMPO

Los cálculos desarrollados en detalle en los capítulos anteriores pueden resumirse de manera que permitan ver el consumo de los materiales en las diferentes etapas constructivas. Durante la fase Tzacualli (0-150 dC) se canalizó la energía humana a la construcción de las dos pirámides principales, la cual demandó la acumulación de cuando menos 1 700 000 metros cúbicos de suelo obtenidos de los alrededores y acumulados en un lugar predeterminado. Si se considera que este esfuerzo se realizó a lo largo de los ciento cincuenta años que dura la fase, resulta que se acumularon 10 600 metros cúbicos de suelo por año.

En una primera etapa predomina el uso del suelo y la energía se destina a acumularlo para formar una montaña. Es notable que en esta etapa se trata de reproducir la naturaleza tanto en la forma de las estructuras, como en el material empleado. Aun más, se ha discutido anteriormente que la localización de la cueva y la pirámide fueron determinadas por la disponibilidad de los materiales y la presencia del Cerro Gordo mostrando con esto una estrecha relación con su medio ambiente.

En la siguiente fase, la Micaotli (150-250 dC), es posible que, entre otros factores, la energía humana se hubiera destinado a revestir estas dos pirámides con piedra usando 30 300 metros cúbicos de piedra de las depresiones ubicadas en las cercanías de Oztoyahualco, después de lo cual podrían haberse utilizado 35 mil toneladas de aplanados de cal para revestirlas completamente. Hay que considerar que parte de los materiales y de la energía empleada en esta fase también se destinó a la construcción del Templo de Quetzalcóatl.

Al iniciar la fase Tlamimilolpa (250-350 dC) comenzó el proyecto constructivo de los conjuntos habitacionales que duraría hasta el final de la fase Xolalpan (350-650 dC). Durante estos cuatrocientos años se incrementó la demanda de materiales para la construcción y se canalizó gran cantidad de energía de una población que fluctúa entre los 65 mil y los 85 mil habitantes,

utilizando cifras conservadoras. Durante este tiempo se emplearon 1 140 000 metros cúbicos de piedra de distintos tipos, en parte extraída de las depresiones y túneles, pero también traída de otros lugares del valle, especialmente la andesita del sur. También se emplea el suelo y los sedimentos para el relleno de las estructuras menores acumulando 350 mil metros cúbicos. Sin embargo, los materiales que más demanda tuvieron en esta etapa fueron la madera y la cal. La madera calculada incluye la utilizada como morillos en la construcción de los techos, la utilizada como combustible en la transformación de la cal y la leña cotidiana. La cantidad total calculada para los cuatrocientos años es de 34.4 millones de toneladas, o sea 86 mil toneladas por año para este periodo. De la misma forma, en esta etapa la cal utilizada para la construcción y el revestimiento de los conjuntos departamentales fue de 2 millones de toneladas lo que significa una tasa de 5 mil toneladas por año de consumo de este material. Estos dos materiales son especialmente importantes ya que se ha probado que provienen de fuera del valle, lo que implica que incluyen una enorme cantidad de energía de transporte. Aun más, la cantidad de energía implícita en la cal es inusual, pues incluye la etapa extractiva de un mineral en yacimientos alejados cuando menos 60 kilómetros, el proceso de transformación de roca caliza en cal aprovechable –que implica tecnología y energía–, además del transporte del material desde el centro de producción al lugar de uso y, desde luego, su empleo en la forma y el lugar deseado. Las cantidades de este material utilizadas en la construcción de la ciudad y su alto costo energético le confieren un lugar muy especial que hasta ahora ha sido soslayado.

Conjeturamos que, en contraste con lo expuesto para la primer etapa constructiva, en la segunda etapa ya no se trata de imitar a la naturaleza sino, por el contrario, hay una intención de marcar una diferencia y evidenciar la presencia humana. El trazo reticular de la ciudad y de los conjuntos departamentales y el recubrimiento alisado y blanco de todas sus superficies arquitectónicas contrastan con el paisaje y denotan un gran dominio de la energía a través de la tecnología. Aun cuando desde el inicio del asentamiento se abordó una gran empresa constructiva, el grado de dominio de la energía alcanzado entre los años 250 y 650 dC, muestra la evolución de una cultura (White 1949) [149].

Otro aspecto digno de mención es la relación temporal encontrada entre los eventos volcánicos registrados en el sur de la cuenca de México y las etapas de crecimiento de la ciudad de Teotihuacan. Las últimas fechas de radiocarbono permiten sugerir que las personas afectadas por la erupción del Popocatepetl alrededor de 150 aC se desplazan desde sus laderas y áreas aledañas hacia Teotihuacan. Alrededor de 115 dC ocurre la erupción del Chichinautzin produciendo afectación a la zona media de la sierra, en los

CONCLUSIONES

alrededores de Topilejo. Esto debió producir un nuevo desplazamiento de personas complementado por el flujo de desplazados por la erupción del Xitle (actualmente fechado entre 245 y 315 dC). Este último desplazamiento fue, quizá, el más numeroso y parece coincidir con el inicio de la construcción de los conjuntos habitacionales en Teotihuacan.

Bibliografía

- [1] ABRAMS, E. M.
1994 *How the Maya Built their World. Energetics and Ancient Architecture*, University of Texas Press, Austin, 175 pp.
- [2] ACOSTA, JORGE R.
1964 *El palacio de Quetzalpapálotl*, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Memorias núm. 10, México.
- [3] ACUÑA, RENÉ
1986 *Relaciones geográficas del siglo XVI, tomo segundo, núm. 7*, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Serie Antropología 65, México.
- [4] ALMARAZ, RAMÓN
1865 *Apuntes sobre las pirámides de San Juan Teotihuacán*. En Memoria de los trabajos ejecutados por la Comisión Científica de Pachuca. Imprenta Andrade y Escalante, México. p. 349-358.
- [5] ARAMONI BURGUETE, MARÍA ELENA
1998 *Complejos conceptuales indígenas alrededor del espacio sagrado del Tlalocan: un estudio comparado en México*, tesis de doctorado, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.

BIBLIOGRAFÍA

- [6] ARANDA MONROY, RAÚL CARLOS
1994 “El culto a los volcanes en el Sur de la cuenca de México durante el Preclásico. Evidencias Arqueológicas de Xico”, ponencia en el simposio Cosmovisión y meteorología indígenas de Mesoamérica en la Mesa Redonda El culto a la lluvia y a los cerros de la cuenca de México y zonas aledañas, El Colegio Mexiquense A.C., Zinacantepec.
- [7] ARNOLD, J. T. Y LIBBY, W. F.
1951 “Radiocarbon Dates”, *Science*, núm. 113: 111-120.
- [8] ARNOLD, JEANNE E. Y ANABEL FORD
1980 “A statistical examination of settlement patterns at Tikal, Guatemala”, *American Antiquity*, vol. 45, núm. 4, 713-726.
- [9] ARZATE, J., L. FLORES, R. CHÁVEZ, L. BARBA Y L. MANZANILLA
1990 “Magnetic Prospecting for Tunnels and Caves in Teotihuacan, México” en Stanley Ward (ed.), *Geotechnical and Environmental Geophysics*, vol. 3, Geotechnical Investigations in Geophysics, Series núm. 5, Society for Exploration Geophysics, Tulsa: 155-162.
- [10] BARBA DE PIÑA CHAN, BEATRIZ
1980 *Tlapacoya. Los principios de la teocracia en la cuenca de México*, Biblioteca Enciclopedia del Estado de México.
- [11] BARBA, LUIS
1985 “El estudio de sitios arqueológicos enterrados desde la superficie”, *Anales de Antropología* núm. 24, vol. 1:188-193.
- [12] BARBA LUIS, LINDA MANZANILLA, RENÉ CHÁVEZ, J. ARZATE Y L. FLORES
1990 *Caves and Tunnels at Teotihuacan, México; A Geological Phenomenon of Archaeological Interest*, en N. P. Lasca y J. E. Donahue (eds.), *Archaeological Geology of North America*, Geological Society of America, Centennial Special vol. 4, Boulder, Colorado: 431-438.
- [13] BARBA, LUIS
1993 “Estudios geofísicos y elección del área”, Cap. II, Linda Manzanilla (ed.), *Anatomía de un conjunto residencial teotihuacano en Oztoyahualco*, vol. I, Universidad Nacional Autónoma de México, México: 47-74.

BIBLIOGRAFÍA

- [14] BARBA, LUIS
1995 *El impacto humano en la paleogeografía de Teotihuacan*, tesis doctoral, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.
- [15] BARBA, LUIS Y JOSÉ LUIS CÓRDOVA
1999 “Estudios energéticos de la producción de cal en tiempos teotihuacanos y sus implicaciones”, *Latin American Antiquity*, vol. 10, núm. 2, Society for American Archaeology, Washington: 168-179.
- [16] BARBA, LUIS, J. BLANCAS, L. MANZANILLA, A. ORTIZ, D. BARCA, G. M. CRISCI, D. MIRIELLO AND A. PECCI
2009 “Provenance of the limestone used in Teotihuacan (Mexico). A Methodological Approach”, *Archaeometry*, 51, 4: 525-545, University of Oxford.
- [17] BARGALLÓ, MODESTO
1966 “La química inorgánica y el beneficio de los metales en el México prehispánico y colonial”, *La química en México*, vol. 1, 50 aniversario de la Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, México: 45-46.
- [18] BASANTE GUTIÉRREZ, OSCAR
1986 *Ocupación de cuevas en Teotihuacan*, tesis de licenciatura, Escuela Nacional de Antropología e Historia, México.
- [19] BASTIEN, RÉMY
1947 *La Pirámide del Sol en Teotihuacan*, tesis 21, Escuela Nacional de Antropología e Historia, México.
- [20] BATRES, LEOPOLDO
1906 *Teotihuacán*, Imprenta Fidencio Soria, México.
- [21] BERAMENDI OROSCO, LAURA; GALIA GONZÁLEZ HERNÁNDEZ, JAIME URRUTIA FUCUGAUCHI, LINDA R. MANZANILLA, ANA M. SOLER ARECHALDE, AVTO GOGUITCHASHVILI AND NICK JARBOE
2009 High-resolution chronology for the Mesoamerican urban center of Teotihuacan derived from Bayesian statistics of radiocarbon and archeological data, *Quaternary Research* 71, 99-107.
- [22] BINFORD, L.
1989 “Science to Séance, or Processual to ‘Post-processual’ Archaeology”, en *Debating Archaeology*, New York Academic Press: 27-40.

BIBLIOGRAFÍA

- [23] BRODA, JOHANNA
 1982 “El culto mexicana de los cerros y el agua” en *Multidisciplina*, vol. 7, Homenaje al doctor Miguel León Portilla, Universidad Nacional Autónoma de México, Escuela Nacional de Estudios Profesionales-Acatlán, México.
- [24] BRAINER, WEST
 1965 “Transition from Preclassic to Classic in Teotihuacan”, *American Antiquity*, vol. 31, núm. 2-1, Society for American Archaeology, Washington 193 p.
- [25] BRODA, JOHANNA
 1987 “Templo Mayor as a Ritual Space” en Broda J., D. Carrasco y E. Matos, *The Great Temple of Tenochtitlan: Center and Periphery in the Aztec World*, The University of California Press, Berkeley.
- [26] BRODA, JOHANNA
 1991 “Cosmovisión y observación de la naturaleza: el ejemplo del culto de los cerros” en J. Broda, S. Iwaniszewski y L. Maupomé (eds.), en *Arqueoastronomía y etnoastronomía en Mesoamérica*, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Históricas, Serie de Historia de la Ciencia y la Tecnología, núm. 4: 461-500.
- [27] BRUNDAGE C. BURR
 1982 *El quinto sol. Dioses y mundo azteca*, Diana, México.
- [28] BUTZER, KARL W.
 1982 *Archaeology as Human Ecology*, Cambridge University Press.
- [29] CABRERA, RUBÉN, IGNACIO RODRÍGUEZ Y NOÉL MORELOS
 1991 *Teotihuacan 1980-1982. Nuevas interpretaciones*, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Serie Arqueología, México.
- [30] CARPIO REZZIO, EDGAR
 2000 *La relación Kaminaljuyú-Teotihuacan: imposición o intercambio*, en XIII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala 1999, Museo Nacional de Arqueología y Etnología, J. Pedro Laporte, Héctor L. Escobedo, A. Claudia de Suasnavar, Bárbara Arroyo (eds.), Ministerio de Cultura y Deportes, Instituto de Antropología e Historia, Asociación Tikal, Guatemala.

BIBLIOGRAFÍA

- [31] CETENAL
1970 Fotografía aérea del valle de Teotihuacan Z19-B. Escala 1 : 25000.
- [32] CHANDLER, TERTIUS Y GERALD FOX
1974 *3000 Years of Urban Growth*, Academic Press, New York.
- [33] CHÁVEZ RENÉ, LINDA MANZANILLA, LUIS BARBA, JORGE ARZATE Y LETICIA FLORES
1988 “Estudio geofísico de los túneles y cuevas en Teotihuacan”, *Comunicaciones Técnicas del Instituto de Geofísica*, Serie Investigación: 22.
- [34] CHIESA, PIERRE Y JEAN LOUIS HENRIOT
1991 *Volcanes y terremotos*, Larousse-Explorer.
- [35] CHILDE. V. G.
1950 The Urban Revolution, *Town Planning Review* 21: 3-17.
- [36] COOK, S. F.
1947 “The Interrelation of Population, Food Supply, and Building in Pre-Conquest in the Central Mexico”, *American Antiquity*, vol. 1, Society for American Archaeology, Washington: 45-52.
- [37] COOK DE LEONARD, CARMEN
1957 “Excavaciones en la Plaza N. 1 *Tres Palos*, Oxtoyohualco, Teotihuacan, Informe Preliminar 2, *Boletín del Centro de Investigaciones Antropológicas de México*, vol. I, núm. 4, México: 3-5.
- [38] CÓRDOVA, CARLOS, ANA LILLIAN MARTÍN DEL POZZO Y JAVIER LÓPEZ
1994 “Paleolandforms and Volcanic Impact on the Environment of Prehistoric Cuicuilco, Southern Mexico City”, *Journal of Archaeological Science*, vol. XXI.
- [39] CÓRDOVA, CARLOS E.
1995 *Landscape Transformation in Aztec and Spanish Colonial Texcoco, Central Mexico*, tesis doctoral, Universidad de Texas, Departamento de Geografía, Austin.
- [40] COWGILL, GEORGE L.
1992 “Social differentiation at Teotihuacan”, en Chase, D. Z. y A. F. Chase (eds.) *Mesoamerican Elites. An Archeological Assesment*, University of Oklahoma Press, Norman: 206-220.

BIBLIOGRAFÍA

- [41] CRESPO, ANA MARÍA Y A. GUADALUPE MASTACHE
 1976 “La presencia en el área de Tula, Hidalgo, de grupos relacionados con el Barrio de Oaxaca en Teotihuacan”, ponencia presentada en la reunión 41 de la Society for American Archaeology, San Luis Missouri.
- [42] CRESPO, ANA MARÍA Y A. GUADALUPE MASTACHE
 1981 “La presencia en el área de Tula, Hidalgo, de grupos relacionados con el Barrio de Oaxaca en Teotihuacan” en E. C. Rattray, J. Litvak y C. Díaz (comp.), *Interacción cultural en México central*, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Serie Antropológica 41, México.
- [43] CULBERT, T.P.
 1977 *Early Maya Development at Tikal, Guatemala. In the Origins of Maya Civilization*, R. E. W. Adams (ed.), University of Nuevo México Press Albuquerque: 27-43.
- [44] DELGADO, G. H., N. G. CARRASCO, F. J. URRUTIA Y B. M. CASANOVA
 1988 “Analysis of the Eruptive Records of the Popocatépetl Volcano, Mexico”, *Proceedings of the Kagoshima International Conference on Volcanoes*, International Association of Vulcanology and Chemistry of the Earth Interior.
- [45] DÍAZ L. ENRIQUE
 1922 “La población contemporánea”, en Manuel Gamio (ed.), *La población del valle de Teotihuacan*, tomo II, Secretaría de Agricultura y Fomento, Dirección de Antropología, México: 60.
- [46] DÍAZ OYARZÁBAL, CLARA LUZ
 1980 “Chingú. Un sitio Clásico del área de Tula, Hidalgo”, *Arqueología*, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Colección Científica núm. 90, México.
- [47] DÍAZ OYARZÁBAL, CLARA LUZ
 1981 “Chingú y la expansión teotihuacana”, en Evelyn Rattray, Jaime Litvak y Clara Díaz Oyarzábal, *Interacción cultural en México central*, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Serie Antropológica núm. 41, México: 107-112.

BIBLIOGRAFÍA

- [48] DURÁN, FRAY DIEGO
1984 *Historia de las Indias de Nueva España e Islas de la Tierra Firme*, 2 vols., México, Porrúa.
- [49] ERASMUS, C.
1965 Monument Building: Some Field Experiments, *Southwestern Journal of Anthropology* 21:277-301.
- [50] EZCURRA, EXEQUIEL
1990 *De las chinampas a la megalópolis. El medio ambiente en la Cuenca de México*, Secretaría de Educación Pública, Fondo de Cultura Económica, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Colección la Ciencia desde México, núm. 91, México.
- [51] FAHMEL BEYER, BERND
1995 *En el cruce de caminos. Bases de la relación entre Monte Albán y Teotihuacan*, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Antropológicas, México.
- [52] FAHSEN, FEDERICO
2000 "Kaminaljuyu y sus vecinos" en XIII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala 1999. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, J. Pedro Laporte, Héctor L. Escobedo, A. Claudia de Suasnavar, Bárbara Arroyo (eds.), Ministerio de Cultura y Deportes, Instituto de Antropología e Historia, Asociación Tikal, Guatemala.
- [53] FERGUSSON, GORDON Y W. F. LIBBY
1963 "UCLA, Radiocarbon Dates II", *Radiocarbon*, vol. 5: 1-22.
- [54] FERGUSSON, GORDON Y W. F. LIBBY
1964 "UCLA, Radiocarbon Dates III", *Radiocarbon*, vol. 6: 318-339.
- [55] FLANNERY, KENT V.
1976 *The Early Mesoamerican Village*, Academic Press, New York.
- [56] FLANNERY, KENT V. Y JOYCE MARCUS
1983 *The Cloud People. Divergent Evolution of the Zapotec and Mixtec Civilizations*, Academic Press, New York.
- [57] FLANNERY, KENT V. Y JOYCE MARCUS
1990 Borrón y cuenta nueva: setting Oaxaca's archeological record straight. En *Debating Oaxaca Archeology*, Museum of Anthropology, University of Michigan, Mich.: 17-69.

BIBLIOGRAFÍA

- [58] FOSTER, W. J.
1935 “Further Applications of Chemistry to Archaeology”, *Journal of Chemical Education*, vol. 38, Publication núm. 5, New York.
- [59] GAMIO, MANUEL (ED.)
1979 *La población del valle de Teotihuacan, México*, edición facsimilar del Instituto Nacional Indigenista, México, 1922.
- [60] GARCÍA SOLÍS, C. A., QUINTANA, P. Y BAUTISTA-ZÚÑIGA F.
2006 La identificación de materiales arcillosos y pétreos utilizados en la manufactura del friso modelado en estudio de la SubII-c1 de Calakmul a través de análisis de difracción de rayos X. *La ciencia de materiales y su impacto en la arqueología*, M. Mendoza, J. A. Arenas, J. L. Ruvalcaba y V. Rodríguez (eds.), México, D. F.: 237-251.
- [61] GIBSON, CHARLES
1991 *Los aztecas bajo el dominio español 1519-1810*, Siglo XXI, 11a. edición, México.
- [62] GUILHEM, OLIVIER
1998 Tepeyóllotl, “corazón de la montaña” y Señor del Eco: el Dios Jaguar de los antiguos mexicanos en *Estudios de Cultura Náhuatl* núm. 28. Instituto de Investigaciones Históricas, UNAM, México.
- [63] HAMMOND, N. Y GERHARDT, J. C.
1990 Early Maya Architectural Innovations at Cuello, Belize. *World Archeology*, vol. 21, núm. 3: 461-481.
- [64] HANSEN, E., RODRÍGUEZ-NAVARRO, C. Y HANSEN, R. O.
1997 Incipient Maya burnt lime technology: characterization and chronological variations in Preclassic plater, stucco and mortar at Nakbé, Guatemala. *Material Issues in Art and Archeology*, vol. V, Materials Research Society, Boston, Massachusetts: 207-216.
- [65] HARLESTON, HUGH
1974 “A Mathematical Analysis of Teotihuacan”, ponencia presentada en el XLI Congreso Internacional de Americanistas, México D.F.
- [66] HASSIG, ROSS
1985 *Trade, Tribute, and Transportation. The Sixteenth Century Political Economy of the Valley of Mexico*. Norman, University of Oklahoma Press.

BIBLIOGRAFÍA

- [67] HEIZER, ROBERT F., Y J. A. BENNYHOF
 1972 "Archaeological investigations at Cuicuilco México, 1957", National Geographic Soc., Research Reports 1955-1960, Washington D.C.: 93-104.
- [68] HEYDEN, DORIS
 1975 "An Interpretation of the Cave Underneath the Pyramid of the Sun in Teotihuacan, Mexico", *American Antiquity*, vol. 40, núm. 2, Society for American Archaeology, Washington: 131-147.
- [69] HEYDEN, DORIS
 1981 "Caves, Gods, and Myths: World-Views and Planning in Teotihuacan", en Elizabeth P. Benson (ed.), *Mesoamerican Sites and World-Views*, Dumbarton Oaks Research Library and Collections, Washington: 1-39.
- [70] HUMBOLDT, ALEJANDRO DE
 1966 "Los antiguos monumentos de Teotihuacan", *Ensayo Político sobre el Reino de la Nueva España*, [París, 1807-1811] estudio preliminar, notas y apéndices de Juan A. Ortega y Medina, Porrúa, México: 124-126.
- [71] LINARES, ELISEO, LUIS BARBA, GUILLERMO PÉREZ Y ELIZABETH MEJÍA
 1992 Prospección geofísica y química en La Ladrillera, Cuicuilco, México, *Antropología y Técnica*, núm. 5: 45-92.
- [72] LINNÉ, SIGVALD
 1934 *Archaeological Researches at Teotihuacan, Mexico*, The Ethnographical Museum of Sweden, Estocolmo.
- [73] LINNÉ, SIGVALD
 1942 *Mexican Highland Cultures. Archaeological Researches at Teotihuacan, Calpulalpan and Chalchicomula in 1934/1935*, The Ethnographical Museum of Sweden, Estocolmo.
- [74] LITTMAN, EDWIN R.
 1957 "Ancient Mesoamerican Mortars, Plasters and Stuccos: Comalcalco, Part I", *American Antiquity*, vol. 23, núm. 2, Society for American Archaeology, Washington: 135-140.
- [75] LITTMAN, EDWIN R.
 1958 "Ancient Mesoamerican Mortars, Plasters and Stuccos: Comalcalco, Part II", *American Antiquity*, vol. 23, núm. 3, Society for American Archaeology, Washington: 292-296.

BIBLIOGRAFÍA

- [76] LITTMAN, EDWIN R.
1959 "Ancient Mesoamerican Mortars, Plasters and Stuccos: Las Flores, Tampico", *American Antiquity*, vol. 25, núm. 1, Society for American Archaeology, Washington: 117-119.
- [77] LITTMAN, EDWIN R.
1959 "Ancient Mesoamerican Mortars, Plasters and Stuccos: Palenque, Chiapas", *American Antiquity*, vol. 25, núm. 2, Society for American Archaeology, Washington: 264-266.
- [78] LITTMAN, EDWIN R.
1960 "Ancient Mesoamerican Mortars, Plasters and Stuccos: the Puuc Area", *American Antiquity*, vol. 25, núm. 3, Society for American Archaeology, Washington: 407-412.
- [79] LITTMAN, EDWIN R.
1960 "Ancient Mesoamerican Mortars, Plasters and Stuccos: the Use of Bark Extracts in Lime Plasters", *American Antiquity*, vol. 25, núm. 4, Society for American Archaeology, Washington: 593-597.
- [80] LITTMAN, EDWIN R.
1962 "Ancient Mesoamerican Mortars, Plasters and Stuccos: Floor Constructions at Uaxactun", *American Antiquity*, vol. 28, núm. 1, Society for American Archaeology, Washington: 100-103.
- [81] CITADO EN BARBA DE PIÑA CHAN, BEATRIZ
1980 *Tlapacoya. Los principios de la teocracia en la Cuenca de México*, Biblioteca Enciclopedia del Estado de México.
- [82] LÓPEZ AUSTIN, ALFREDO
1989 "Historia de Teotihuacan", Teotihuacan, *El Equilibrista*, Citicorp/Citibank, México: 13-35.
- [83] LÓPEZ CAMACHO, J.
1991 "Estratigrafía de la pirámide de Cuiculco en retrospectiva", *Cuiculco* núm. 27, Escuela Nacional de Antropología e Historia, México: 35-46.
- [84] LÓPEZ LUJÁN, LEONARDO, JAIME TORRES Y AURORA MONTÚFAR
1993 "Las ofrendas del Templo Mayor de Tenochtitlan", *Estudios de Cultura Náhuatl*, vol. 34, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Instituto de Investigaciones Históricas, UNAM, México.

BIBLIOGRAFÍA

- [85] MCGUIRE, R, M. SHIFFER
1983 A Theory or Architectural Design, *Journal of Anthropological Arcaheology* 2: 227-303.
- [86] MCCLUNG DE TAPIA, EMILY, E. IBARRA, J. ZURITA-NOGUERA Y M. MEZA-SÁNCHEZ
1995 “Prehistoric Human Impact in the Teotihuacan Region of Central Mexico”, ponencia presentada en International Union for Anthropological and Ethnological Sciences, Inter-Congress on Biodemography and Human Evolution, Florencia.
- [87] MANZANILLA, LINDA, LUIS BARBA, RENÉ CHÁVEZ, JORGE ARZATE Y LETICIA FLORES
1989 “El Inframundo de Teotihuacan, Geofísica y Arqueología”, *Ciencia y Desarrollo*, vol. XV, núm. 85, marzo-abril, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México: 21-35.
- [88] MANZANILLA, LINDA, LUIS BARBA, SERGIO ABURTO, JAIME URRUTIA Y MANUEL JIMÉNEZ
1993a “Estudio interdisciplinario de arcillas y cerámicas de Teotihuacan y del centro de Veracruz”, Cap. XIX, en Linda Manzanilla (ed.), *Anatomía de un conjunto residencial teotihuacano en Oztoyahualco*, vol. I, Universidad Nacional Autónoma de México, México: 898-933.
- [89] MANZANILLA, LINDA
1993b “Los conjuntos residenciales teotihuacanos”, Cap. I, en Linda Manzanilla (ed.), *Anatomía de un conjunto residencial teotihuacano en Oztoyahualco*, vol. I, Universidad Nacional Autónoma de México, México: 31-46.
- [90] MANZANILLA, LINDA, LUIS BARBA, RENÉ CHÁVEZ, ANDRÉS TEJERO, GERARDO CIFUENTES Y NAYELI PERALTA
1994 “Caves and Geophysics: An Approximation to the Underworld of Teotihuacan, Mexico”, *Archaeometry*, vol. 36, núm. 1: 14-57.
- [91] MANZANILLA, LINDA
1995 “La zona del Altiplano central en el Clásico” en Linda Manzanilla y Leonardo López Luján (coords.), *Historia Antigua de México*, vol. II: *El horizonte Clásico*, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Universidad Nacional Autónoma de México, Porrúa, México.

BIBLIOGRAFÍA

- [92] MARGÁIN, CARLOS R.
1966 “Sobre sistemas y materiales de construcción en Teotihuacan”,
XI Mesa Redonda, Sociedad Mexicana de Antropología, México:
157-211.
- [93] MARQUINA, IGNACIO
1951 *Arquitectura prehispánica*, Instituto Nacional de Antropología e
Historia, México.
- [94] MASTACHE F., ALBA GUADALUPE Y ROBERT H. COBEAN
1985 “Tula” en Jesús Monjarás-Ruiz, Rosa Brambila y Emma Pérez-
Rocha (comps.), *Mesoamérica y el centro de México. Una an-
tología*, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Colec-
ción Biblioteca del Instituto Nacional de Antropología e Historia,
México: 273-308.
- [95] MATOS MOCTEZUMA, EDUARDO
1990 *Teotihuacan. La metrópoli de los dioses, Corpus precolombino*,
sección las civilizaciones mesoamericanas, Lunwerg, Barcelona.
- [96] MATOS MOCTEZUMA, EDUARDO
1993 “Las sociedades tardías de Mesoamérica”, en Lourdes Arizpe
(coord.), *Antropología breve de México*, Universidad Nacional
Autónoma de México, Academia de la Investigación Científica,
Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, México.
- [97] MATOS, EDUARDO
1995 *La Pirámide del Sol, Antología*, INAH, Instituto Cultural Do-
mécq, México.
- [98] MILÁN, MARCOS
1990 “Estudio geológico-geofísico para la detección de cavernas en la
zona arqueológica de Teotihuacan, Estado de México”, Investi-
gaciones Geofísicas de México, informe mecanografiado.
- [99] MILLON, RENÉ
1957 “New data on Teotihuacan I in Teotihuacan”, *Boletín del Centro
de Investigaciones Antropológicas de México*, vol. I, núm. 4: 12-
18.
- [100] MILLON, RENÉ
1961 “The Northwestern Boundary of Teotihuacan: A Mayor Urban
Zone”, *Homenaje a Pablo Martínez del Río*, Instituto Nacional
de Antropología e Historia, México: 311-318.

BIBLIOGRAFÍA

- [101] MILLON, RENÉ, BRUCE DREWITT Y JAMES BENNYHOFF
 1965 The Pyramid of the Sun at Teotihuacan: 1959 Investigations, American Philosophical Society, *Transactions of the American Philosophical Society*, vol. 55, part 6.
- [102] MILLON, RENÉ
 1973 *Urbanization at Teotihuacan, Mexico*, vol. 1: *The Teotihuacan Map. Text*, University of Texas, Press, Austin.
- [103] MILLON, RENÉ
 1981 "Teotihuacan: City, State and Civilization", en Jeremy Sabloff (ed.), *Archaeology. Supplement to the Handbook of the Middle American Indians*, vol. 1, University of Texas Press, Austin.
- [104] MILLON, RENÉ.
 1993. "The Place Where Time Began. An Archaeologist's Interpretation of What Happened in Teotihuacan History", en Kathleen Berrin y Esther Pasztory (eds.), *Teotihuacan. Art from the City of the Gods*, Thames and Hudson, The Fine Arts Museums of San Francisco: 17-43.
- [105] MOOSER, FEDERICO
 1968 "Geología, naturaleza y desarrollo del Valle de Teotihuacan", en José L. Lorenzo (ed.), *Materiales para la arqueología de Teotihuacan*, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Serie Investigaciones XVII, México: 31-39.
- [106] MORRIS, E. H., J. CHARLOT, Y A. A. MORRIS
 1931 *The Temple of the Warriors at Chichén Itzá, Yucatan*, Carnegie Institution of Washington, Publicación 406, Washington.
- [107] MÜLLER, FLORENCIA
 1990 *La cerámica de Cuicuilco B. Un rescate arqueológico*, Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.
- [108] MÚNERA BERMÚDEZ, L. CARLOS
 1985 *Un taller de cerámica ritual en la Ciudadela, Teotihuacan*. Tesis ENAH, México (no publicada).
- [109] NOGUERA, EDUARDO
 1935 *Las cerámicas de Tenayuca y las excavaciones estratigráficas*, Secretaría de Educación Pública, México.

BIBLIOGRAFÍA

- [110] ORTEGA ESCALONA, FERNANDO
 1992 “La madera: un recurso castigado”, *Ciencias*, núm. 28, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, México: 27-30.
- [111] ORTIZ, AGUSTÍN Y LUIS BARBA
 1993 “La química en el estudio de áreas de actividad”, cap. XII, en Linda Manzanilla, (ed.), *Anatomía de un conjunto residencial teotihuacano en Oztoyahualco*, vol. II, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Antropológicas, México: 617-660.
- [112] PALACIOS GONZÁLEZ, EDUARDO
 1992 “Demanda de energía rural” en *Memorias de la primera reunión internacional sobre energía y medio ambiente: sector residencial mexicano*, Universidad Nacional Autónoma de México y la Universidad de California, Diciembre 1991: 113-118.
- [113] PARSONS, JEFFREY R.
 1989 “Arqueología regional en la cuenca de México: una estrategia para la investigación”, *Anales de Antropología*, vol. 26, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Antropológicas, México.
- [114] PAZTORI, ESTHER
 1988 *A Reinterpretation of Teotihuacan and its Mural Painting tradition in Feathered Serpents and Flowering Trees: Reconstructing the Murals of Teotihuacan*, The Fine Arts Museum of San Francisco, San Francisco: 45-77.
- [115] PEÑAFIEL, ANTONIO
 1900 *Teotihuacan. Estudio histórico y arqueológico*, Oficina Tipográfica de la Secretaría de Fomento, México.
- [116] PÉREZ, JOSÉ
 1931 “Exploración del túnel de la Pirámide del Sol”, *El México Antiguo*, vol. 3, 5/8, 1930-1931.
- [117] PIÑA CHAN, ROMÁN
 1977 *Quetzalcóatl serpiente emplumada*, Fondo de Cultura Económica, México.
- [118] PLUNKET, P. Y G. URUÑUELA
 1996 “Las unidades domésticas de Tetimpa”. *XXIV Mesa Redonda de la Sociedad Mexicana de Antropología*, Tepic, Nayarit, México.

BIBLIOGRAFÍA

- [119] PLUNKET, P. Y G. URUÑUELA
 1998 "Preclassic household patterns preserved under volcanic ash at Tetimpa, Puebla, Mexico", *Latin American Antiquity*, vol. 9: 287-309.
- [120] PRICE, B.
 1984 Competition, Productive Intensification, and Ranked Society: Speculation from Evolutionary Theory, en *Warfare, Culture, and Environment*, B. Ferguson (ed.), Academic Press. New York: 209-240.
- [121] RAPPAPORT, R. A.
 1971 "The Flow of Energy in an Agricultural Society", *Scientific American* 224, núm. 3: 116-132.
- [122] RATTRAY, EVELYN C.
 1975 "Some Clarifications on the Early Teotihuacan Ceramic Sequence", *Actas del XLI Congreso Internacional de Americanistas*, México.
- [123] RATTRAY, EVELYN C.
 1991 "Fechamientos por radiocarbono en Teotihuacan", *Arqueología* núm. 6: 3-18.
- [124] RATTRAY, EVELYN C.
 1995 "The Oaxaca Barrio at Teotihuacan", en *Monografías Mesoamericanas*, núm. 1, Universidad de las Américas, Instituto de Estudios Avanzados, Cholula.
- [125] ROBIN, CLAUDE Y CHRISTIAN BOUDAL
 1987 "A Gigantic Bezymianny-Type Event at the Beginning of Modern Volcano Popocatepetl", *Journal of Vulcanology and Geothermal Research*, vol. 31: 115-130.
- [126] RUPPERT, KARL, J. E. S. THOMPSON, Y TATIANA PROSKOURIAKOFF
 1955 *Bonampak, Chiapas, Mexico*, Carnegie Institution of Washington, Publicación 602, Washington.
- [127] SAHAGÚN, FRAY BERNARDINO DE
 1956 "Codex Florentinus or Mediceo Palatino 218-220. (manuscrito original de 1565-77 Biblioteca Medicea Laurenziana)", en Ángel María Garibay (ed.), *Historia general de las cosas de la Nueva España*, Porrúa, México, 4 vols.

BIBLIOGRAFÍA

- [128] SAHAGÚN, FRAY BERNARDINO DE
1985 *Historia general de las cosas de la Nueva España*, Porrúa, México.
- [129] SANDERS, WILLIAM
1965 *The Cultural Ecology of the Teotihuacan Valley. A Preliminary Report of the Results of the Teotihuacan Valley Project*, The Pennsylvania State University.
- [130] SANDERS, WILLIAM T., JEFFREY R. PARSONS Y ROBERT S. SANTLEY
1979 *The Basin of Mexico: Ecological Processes in the Evolution of a Civilization*, Academic Press, New York.
- [131] SANDERS, WILLIAM T.
2000 “Tenochtitlan-Tlatelolco: A Pre-Hispanic Megalopolis”, *Arqueología, historia y antropología*. In memoriam José Luis Lorenzo Bautista, J. Litvak y L. Mirambel (coords.), México, Instituto Nacional de Antropología e Historia: 349-371.
- [132] SCHÁVELZON, DANIEL
1982 “La primera excavación arqueológica de América Latina. Carlos de Sigüenza y Góngora en Teotihuacan (1680)”, ponencia presentada en la Primera Reunión de Historiadores de las Ciencias, Puebla.
- [133] SCHREINER, THOMAS
1998 “Fabricación de la cal en Mesoamérica: implicaciones para el Preclásico Maya”, en *XIII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala*, Ministerio de Cultura y Deportes, Instituto de Antropología e Historia, Guatemala.
- [134] SCHREINER, THOMAS
2002 *Traditional Maya Lime Production: Environmental and Cultural Implications of a Native American Technology*, tesis doctoral, Department of Architecture, University of California, Berkeley.
- [135] SÉJOURNÉ, LAURETTE
1966 *Arquitectura y pintura en Teotihuacan*, Siglo XXI, México.
- [136] SERRA PUCHE, MARI CARMEN
1988 *Los recursos lacustres de la cuenca de México durante el formativo*, Colección Posgrado, Universidad Nacional Autónoma de México.

BIBLIOGRAFÍA

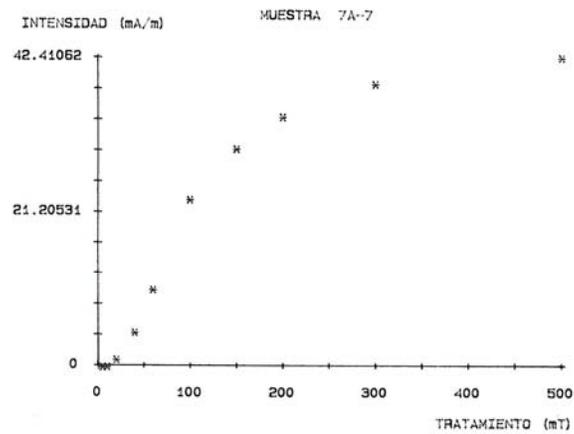
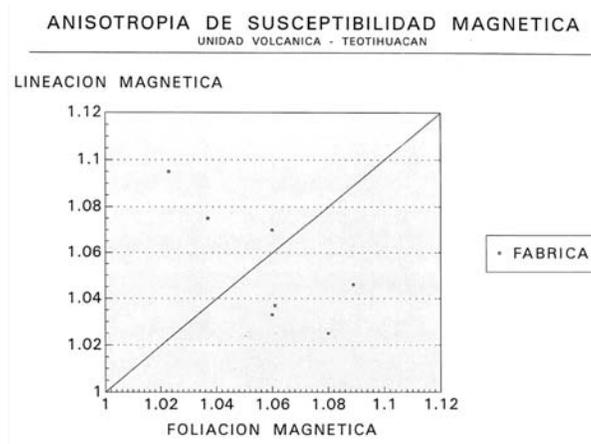
- [137] SERRA PUCHE, MARI CARMEN
1998 *Xochitecatl*, Gobierno del Estado de Tlaxcala, Tlaxcala.
- [138] SHEEHE, JAMES J.
1993 Agave as a Fuel Resource for Ancient Teotihuacan, Department of Anthropology, Pennsylvania State University.
- [139] SIEBE, CLAUS
2000 "Age and archaeological implications of Xitle volcano, southwestern Basin of Mexico-City", *Journal of Vulcanology and geothermal research* 104: 45-64.
- [140] SIEBE, CLAUS, VIRGILIO RODRÍGUEZ LARA, PETER SCHAFF Y MICHAEL ABRAMS
2004 Radiocarbon ages of Holocene Pelado, Guespalapa, and Chichinautzin scoria cones, south of Mexico City: implications for archaeology and future hazards, *Bulletin Vulcanologic* 66: 203-225.
- [141] SOTOMAYOR CASTAÑEDA, ALFREDO
1968 "Estudio petrográfico del área de San Juan Teotihuacan, edo. de México", *Materiales para la arqueología de Teotihuacan XVII*, Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.
- [142] SUGIYAMA, SABURO Y RUBÉN CABRERA CASTRO
2006 *El proyecto pirámide de la Luna 1998-2004: Conclusiones preliminares. Sacrificios de consagración en la pirámide de la Luna*, Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Instituto Nacional de Antropología e Historia: 11-24.
- [143] SULLIVAN, THELMA D.
1974 *Tlaloc: A new etymological interpretation of the God's name and what it reveals of his essence and nature* en 40 CIA (Roma-Génova 1972), vol. 2: 213-219.
- [144] THOMPSON, E. H.
1932 *People of the Serpent*, Houghton Mifflin, New York.
- [145] THOMPSON, J. E. S.
1954 *The Rise and Fall of Maya Civilization*, University of Oklahoma Press, Norman.
- [146] URUÑUELA, GABRIELA Y PATRICIA PLUNKET
1995 Proyecto Tetimpa. Primera temporada 1993-1994, Informe técnico al Consejo de Arqueología, Instituto Nacional de Antropología e Historia-Universidad de las Américas-Puebla, Cholula.

BIBLIOGRAFÍA

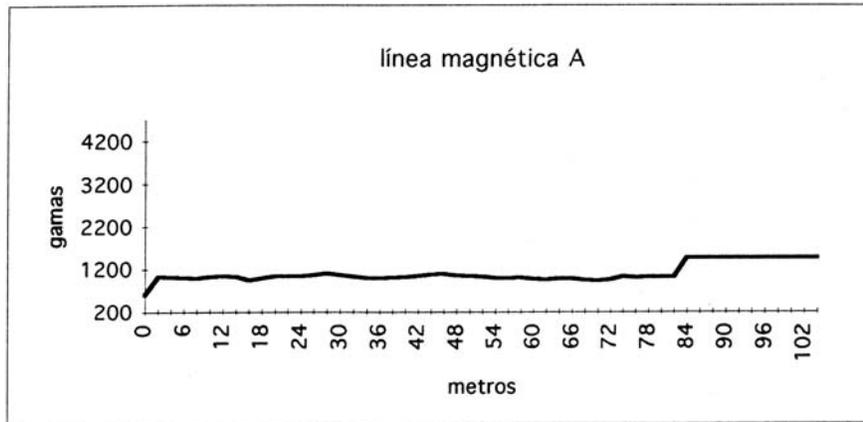
- [147] URRUTIA FUCUGAUCHI, JAIME
1995 “Comentarios sobre la edad del campo volcánico Pedregal de San Angel, cuenca de México - fechamientos por radiocarbono”, *Boletín GEOS*, vol. 15.
- [148] VILLA ROJAS, ALFONSO
1934 The Yaxuná-Cobá Causeway, *Contributions to American Archaeology*, núm. 9, Carnegie Institution of Washington, Publicación 436, Washington: 187-208.
- [149] WHITE, LESLIE A.
1949 “Energy and the Evolution of Culture”, The Bobbs-Merrill Co., Reprint Series in the Social Science A-235, reprinted from *The Science of Culture*, Indianapolis: 363-393.
- [150] WIERCINSKI, ANDRZEJ
1977 *Time and Space in the Sun Pyramid from Teotihuacan*, Polish Contributions in New World Archaeology, Cracovia.
- [151] YARZA DE LA TORRE, ESPERANZA
1992 *Volcanes de México*, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, México.

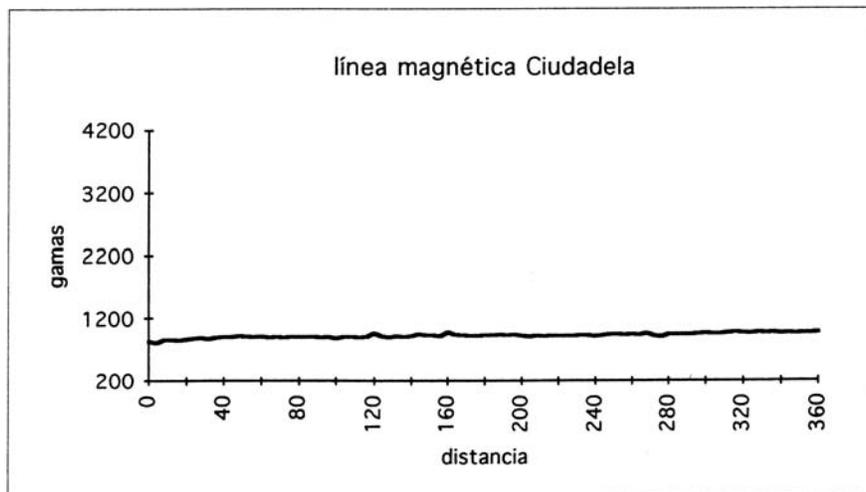
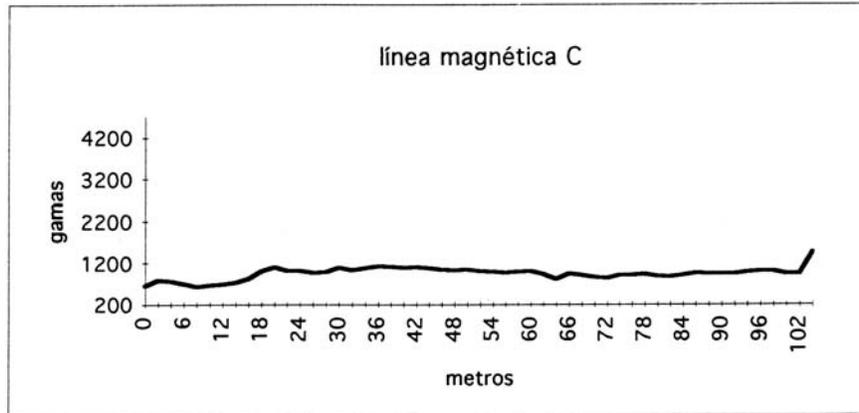
Apéndice A

Gráficas del estudio paleomagnético

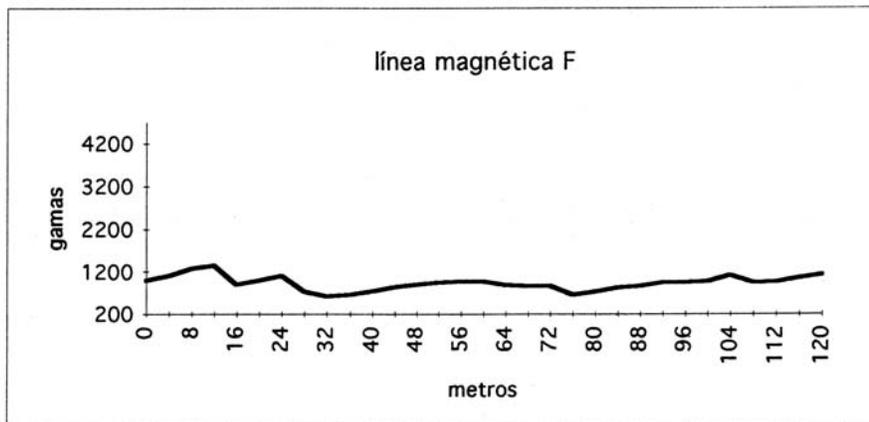
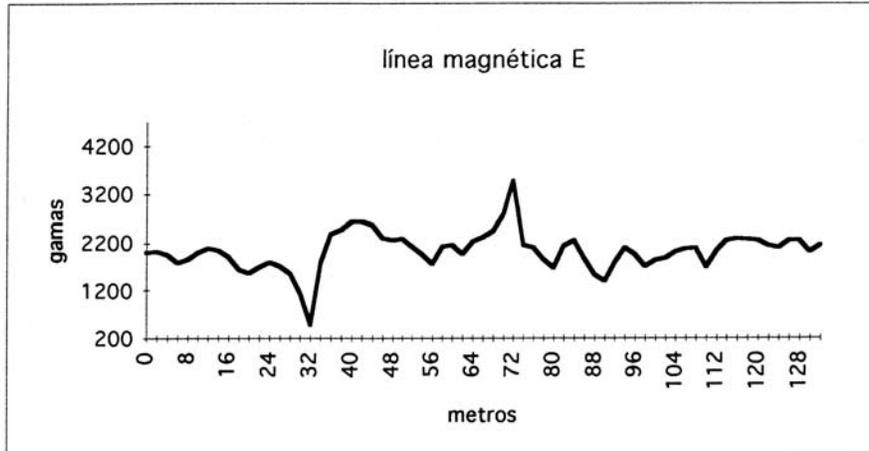


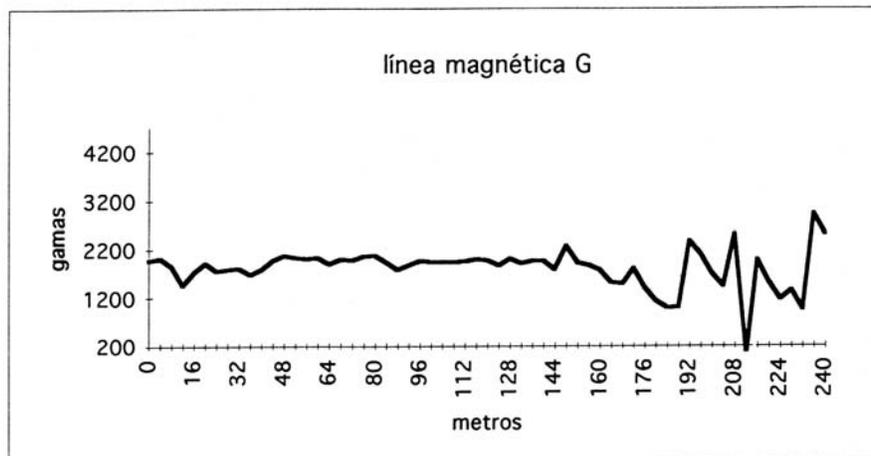
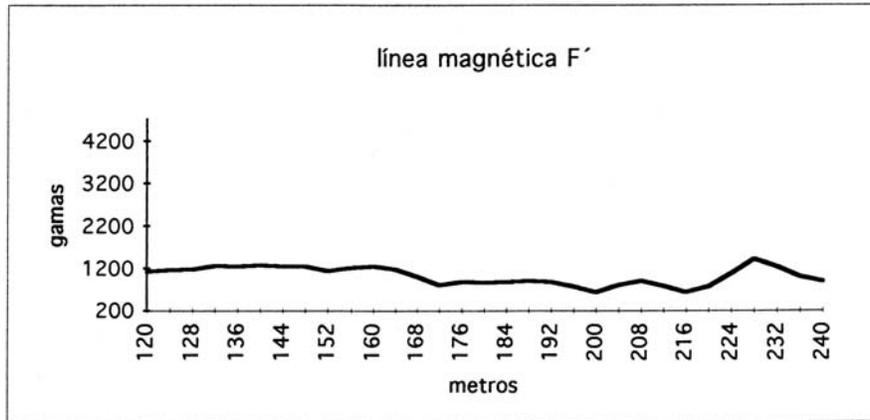
Apéndice B
Gráficas magnéticas



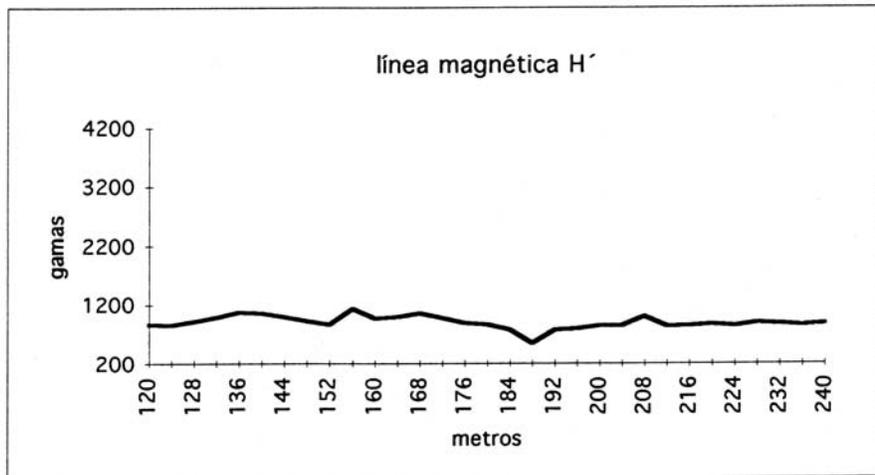
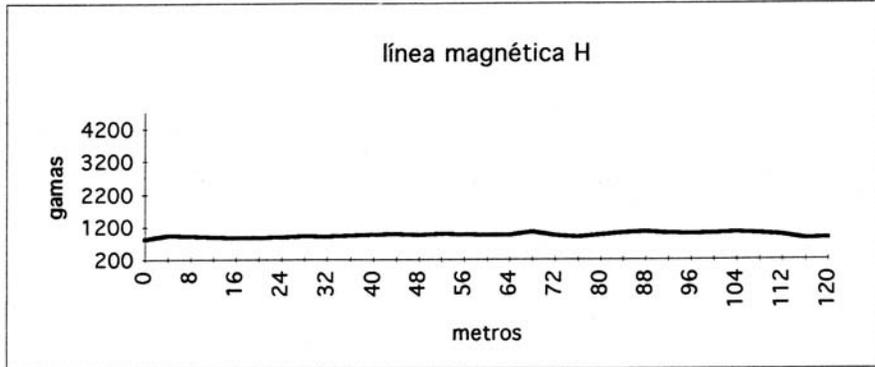


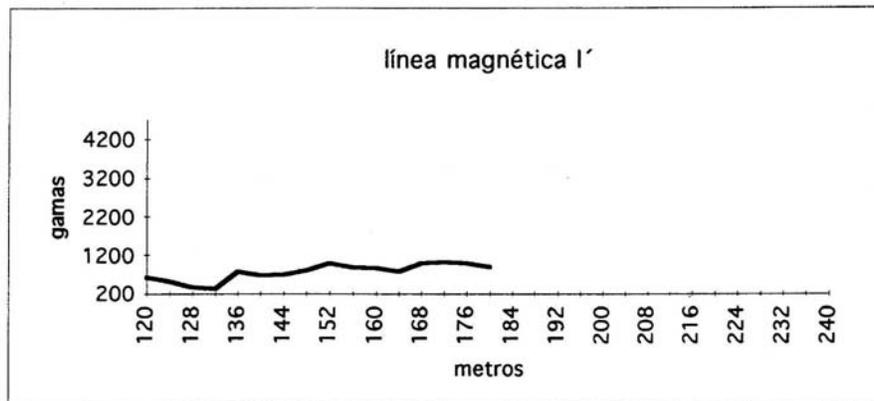
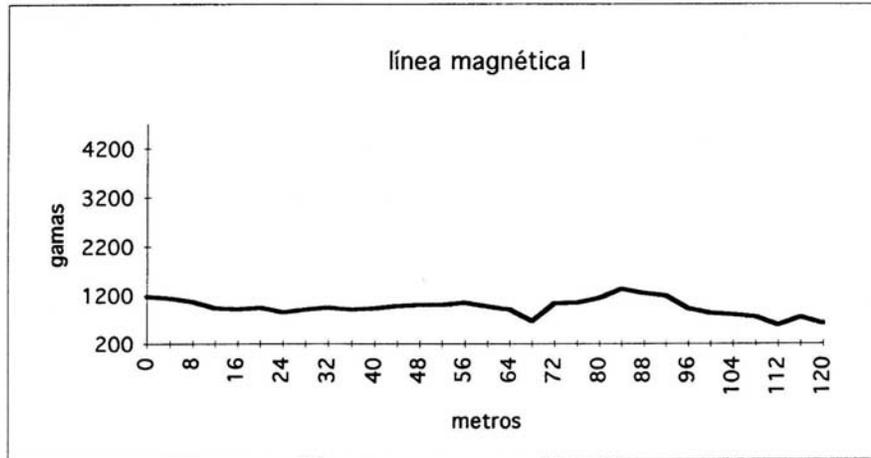
GRÁFICAS MAGNÉTICAS



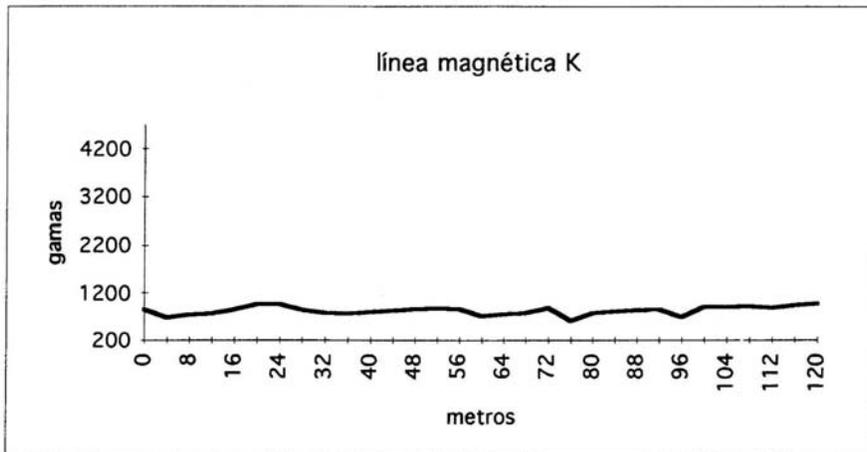
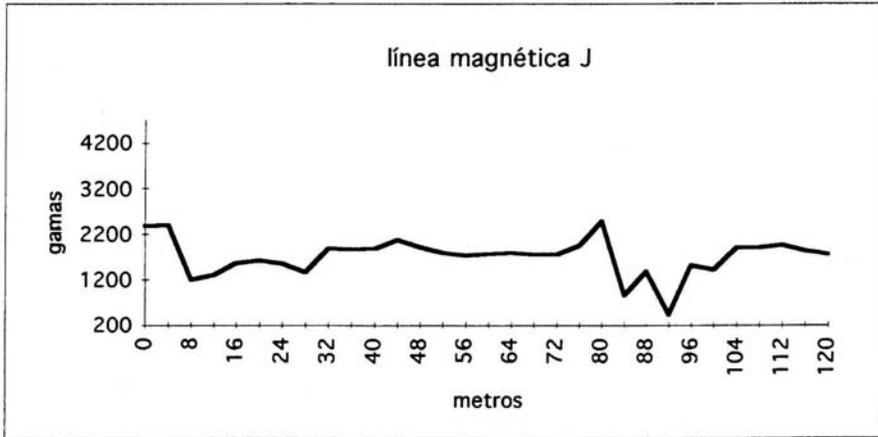


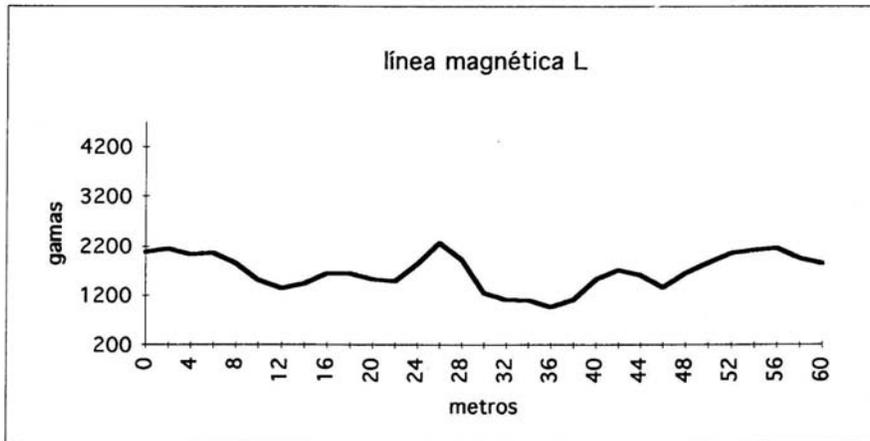
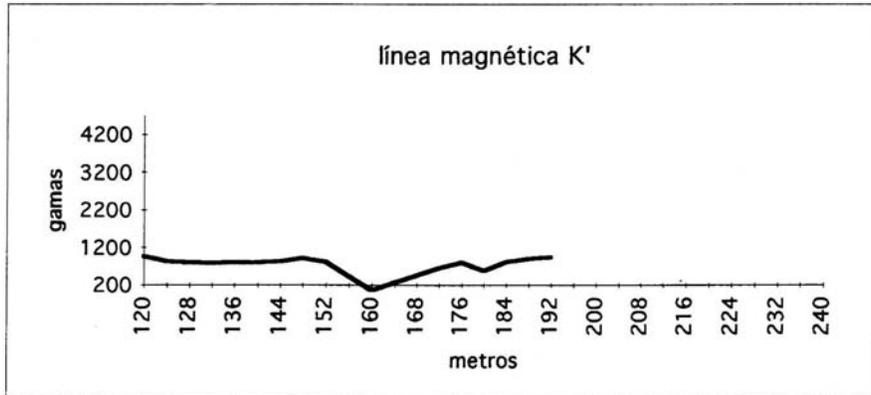
GRÁFICAS MAGNÉTICAS



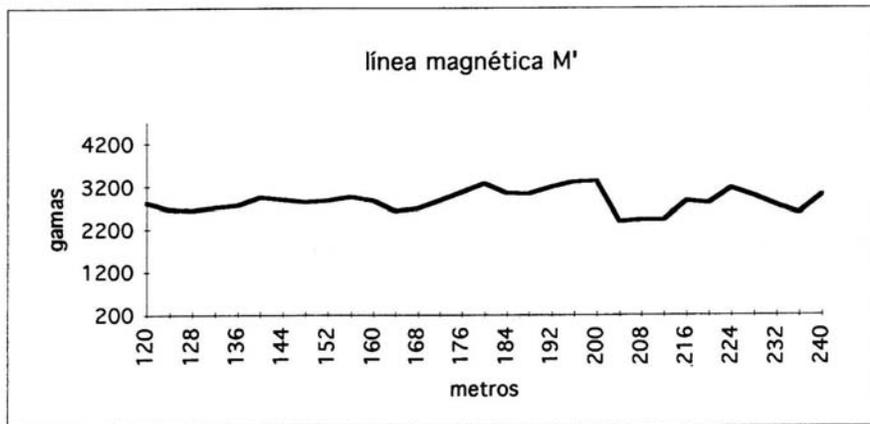
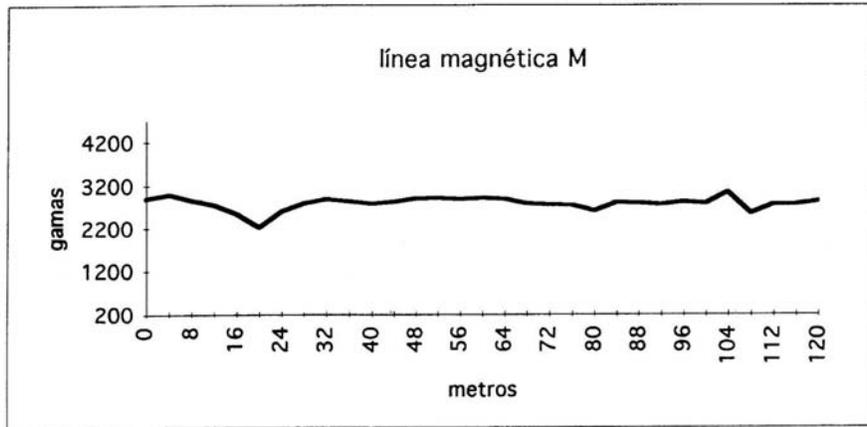


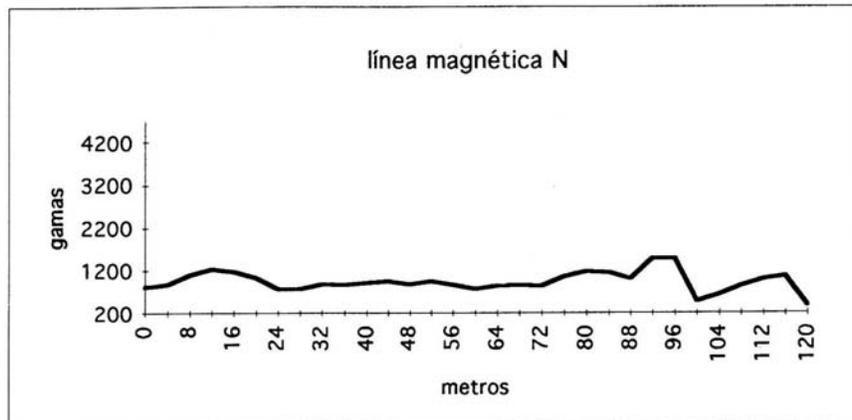
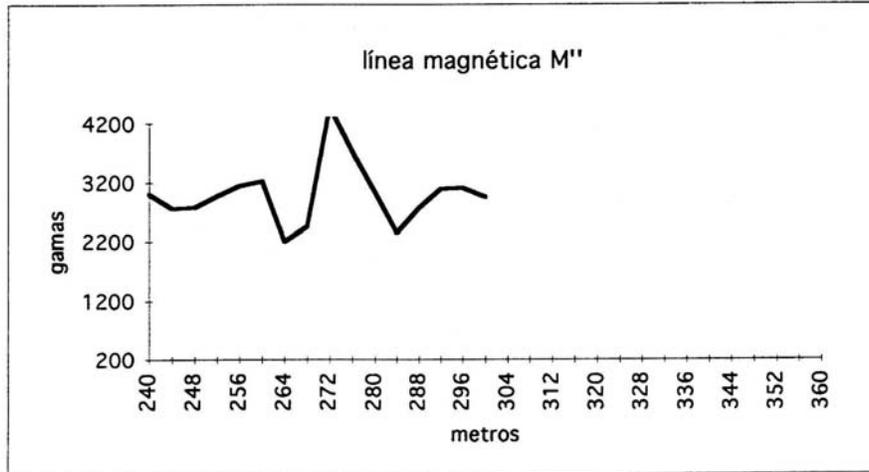
GRÁFICAS MAGNÉTICAS



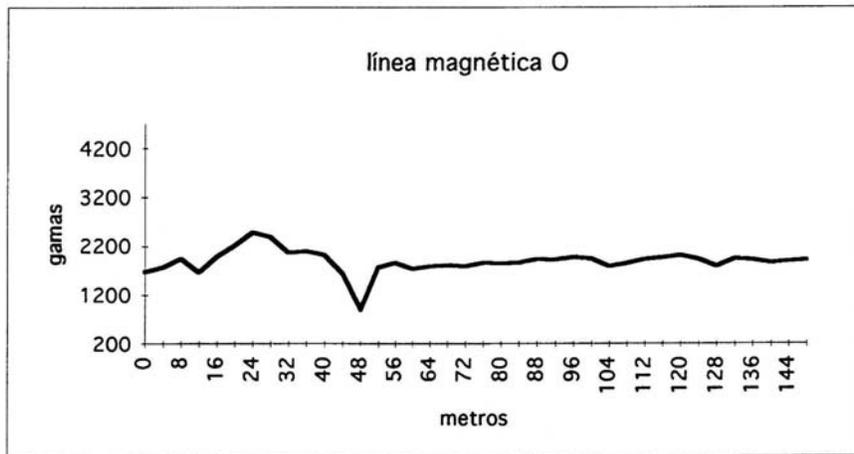
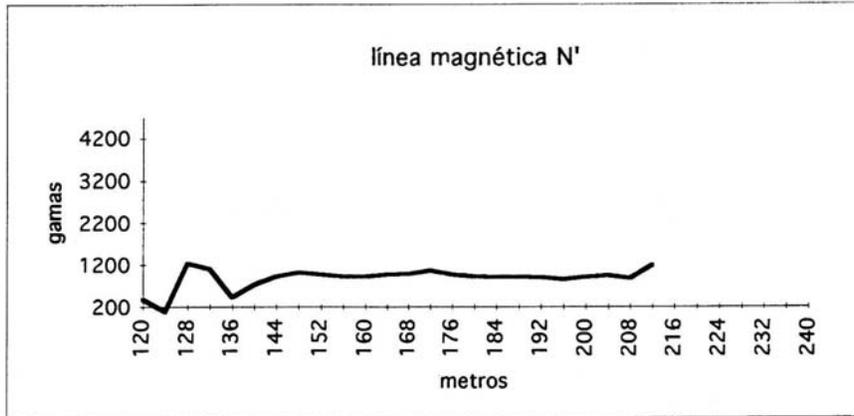


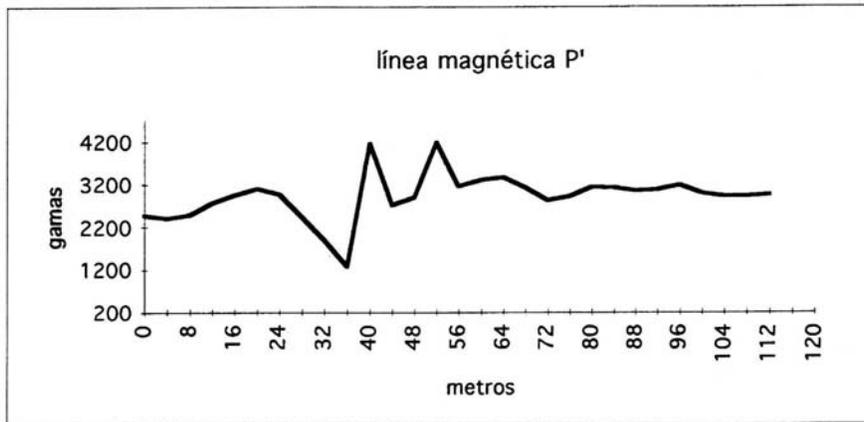
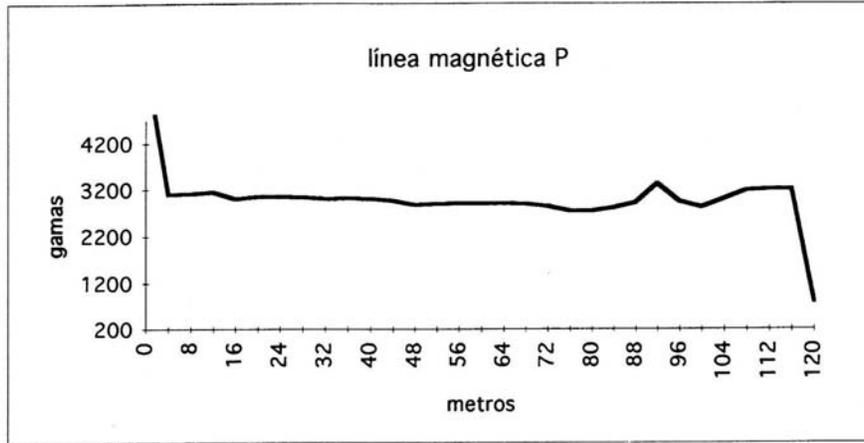
GRÁFICAS MAGNÉTICAS



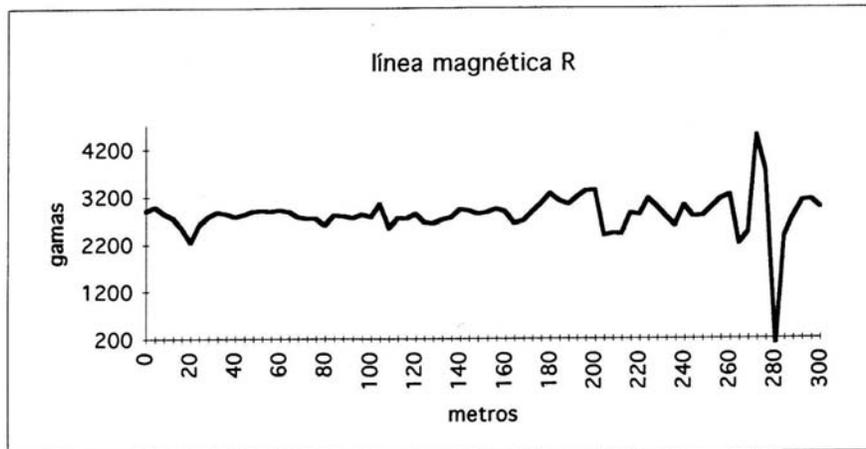
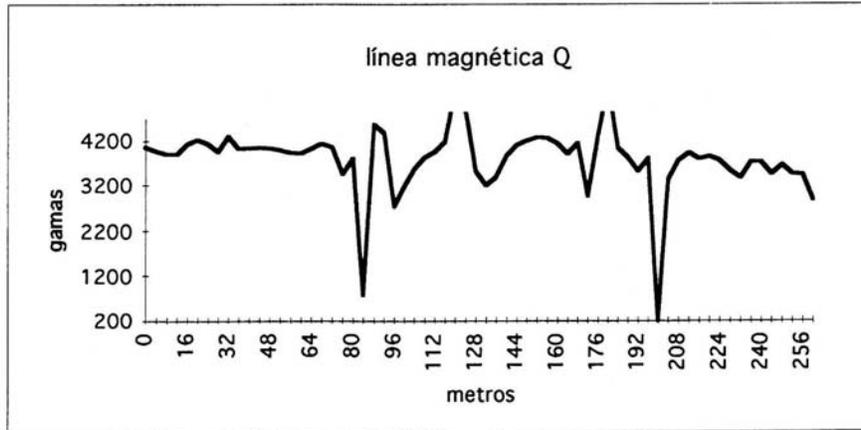


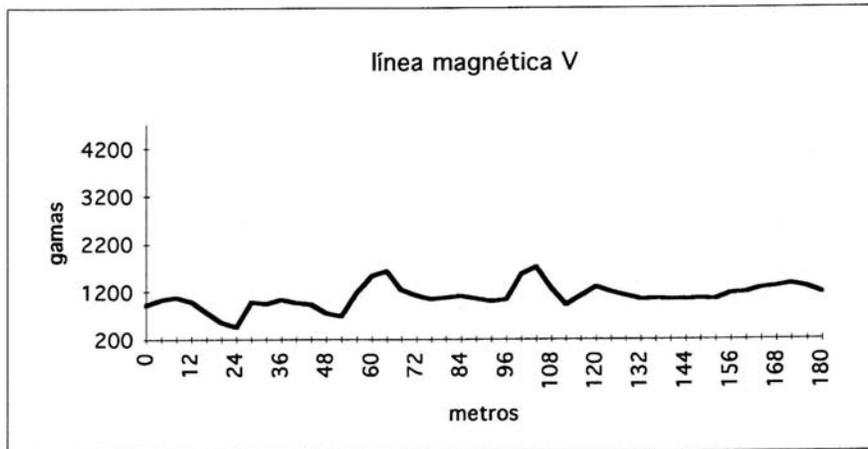
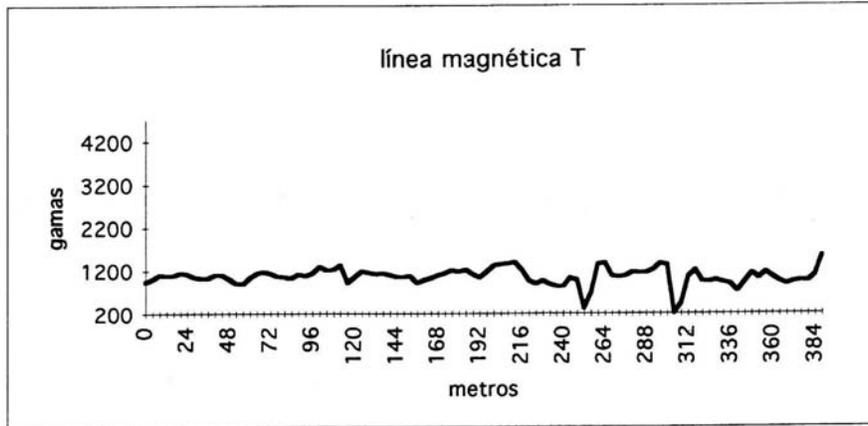
GRÁFICAS MAGNÉTICAS



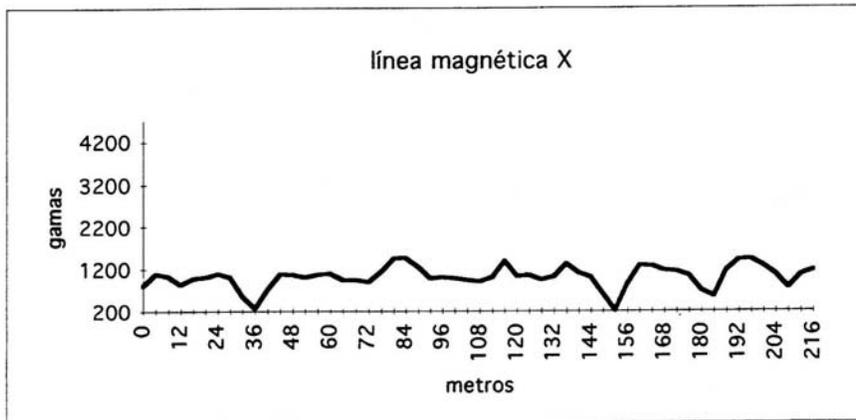
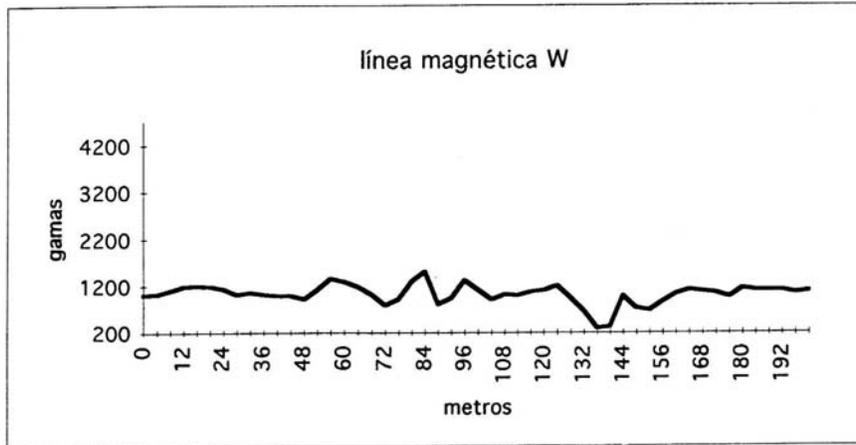


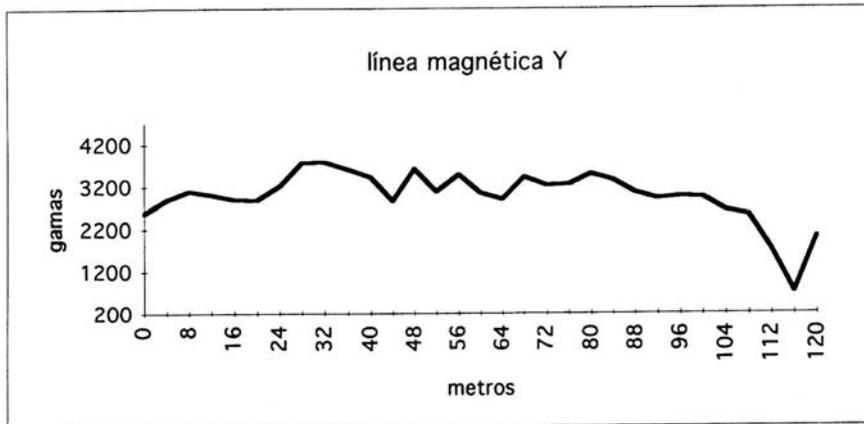
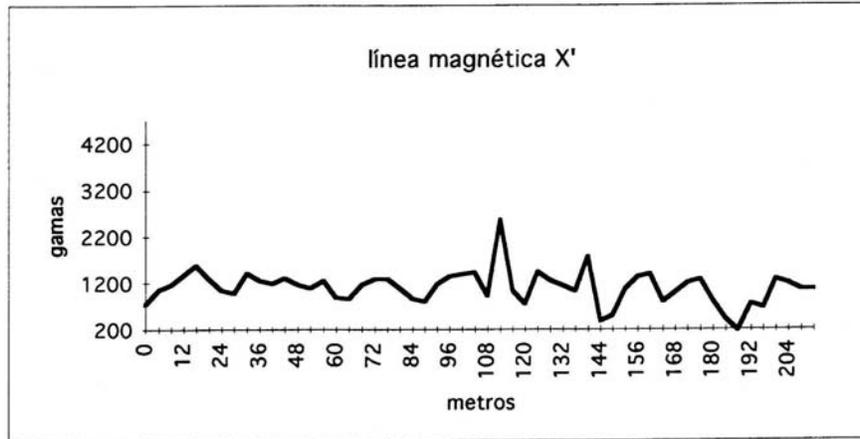
GRÁFICAS MAGNÉTICAS



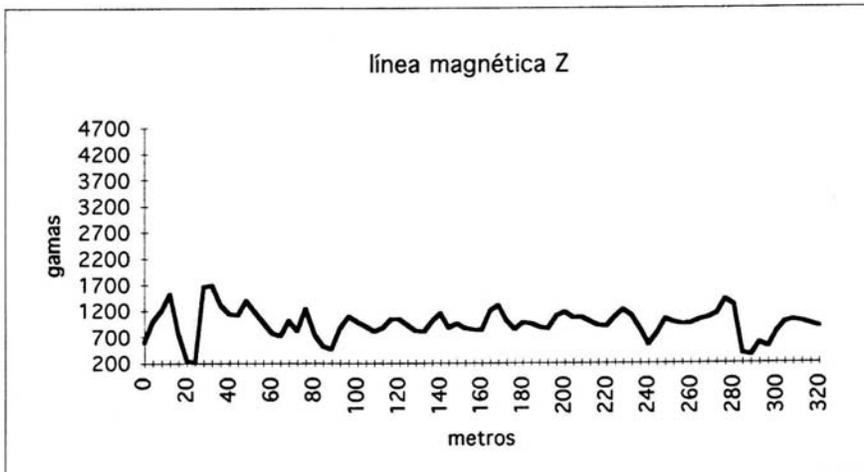
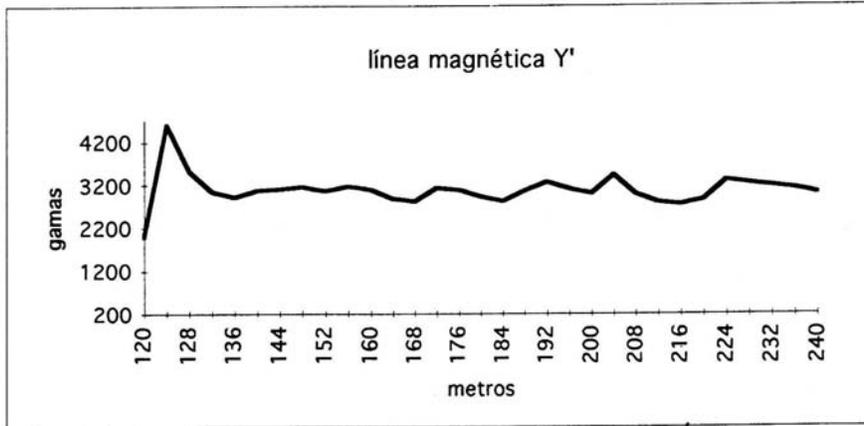


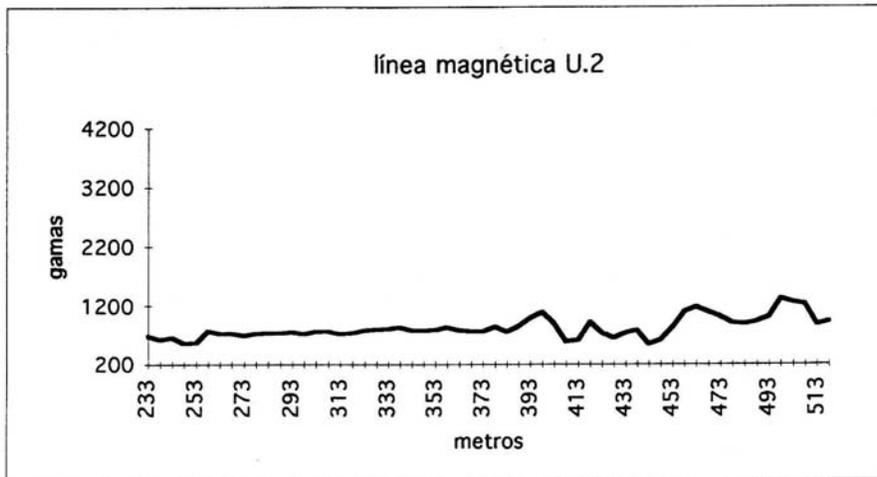
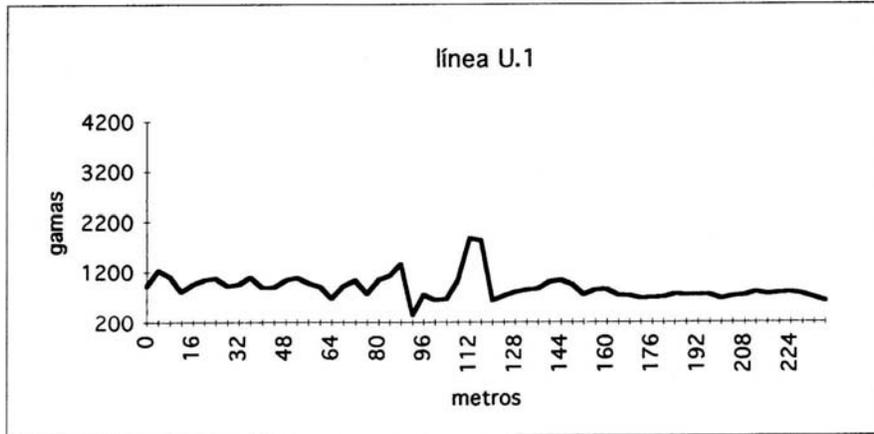
GRÁFICAS MAGNÉTICAS





GRÁFICAS MAGNÉTICAS





Apéndice C

Tabla para el cálculo de coordenadas de estructuras piramidales

Pág.	Cuadro	N	E-W	Estructura	XR	YR	XA	YA	
3	n7w2	350	250	39	-2	6	-750	3350	1
6	n6w4	450	350	1A	-4	5	-1650	2950	2
7	n6w3	300	50	7	-3	5	-1450	2800	3
7	n6w3	125	25	40	-3	5	-1475	2625	4
7	n6w3	425	190	12B	-3	5	-1310	2925	5
7	n6w3	400	150	12A	-3	5	-1350	2900	6
7	n6w3	400	220	12C	-3	5	-1280	2900	7
7	n6w3	300	200	11B	-3	5	-1300	2800	8
7	n6w3	275	150	11A	-3	5	-1350	2775	9
7	n6w3	275	220	11C	-3	5	-1280	2775	10
7	n6w3	280	280	15B	-3	5	-1220	2780	11
8	n6w2	175	400	8	-2	5	-600	2675	12
8	n6w2	20	150	B	-2	5	-850	2520	13
9	n6w1	200	60	1B	-1	5	-440	2700	14
9	n6w1	225	20	1A	-1	5	-480	2725	15
15	n5w4	90	325	10	-4	4	-1675	2090	16
16	n5w3	170	100	38	-3	4	-1400	2170	17
17	n5w2	475	110	1A	-2	4	-890	2475	18
17	n5w2	475	190	1C	-2	4	-810	2475	19
18	n5w1	175	220	5C	-1	4	-280	2175	20
18	n5w1	100	220	5A	-1	4	-280	2100	21
18	n5w1	125	125	5B	-1	4	-375	2125	22
18	n5w1	150	350	6B	-1	4	-150	2150	23

MATERIALES Y ENERGÍA EN LA ARQUITECTURA DE TEOTIHUACAN

Pág.	Cuadro	N	E-W	Estructura	XR	YR	XA	YA	
18	n5wl	170	375	6A	-1	4	-125	2170	24
18	n5wl	60	420	2	-1	4	-80	2060	25
18	n5wl	50	450	1	-1	4	-50	2050	26
18	n5wl	10	420	3	-1	4	-80	2010	27
19	n5e1	50	50	2	0	4	50	2050	28
19	n5e1	75	90	3	0	4	90	2075	29
19	n5e1	10	90	4	0	4	90	2010	30
19	n5e1	10	130	5	0	4	130	2010	31
19	n5e1	180	280	6A	0	4	280	2180	32
19	n5e1	120	280	6C	0	4	280	2120	33
19	n5e1	150	360	6B	0	4	360	2150	34
19	n5e1	30	350	24A	0	4	350	2030	35
20	n5e2	280	380	28	1	4	880	2280	36
28	n4w3	130	250	7	-3	3	-1250	1630	37
29	n4w2	70	0	1A	-2	3	-1000	1570	38
29	n4w2	410	440	70A	-2	3	-560	1910	39
30	n4w1	130	300	25B	-1	3	-200	1630	40
30	n4wl	80	375	25A	-1	3	-125	1580	41
30	n4wl	60	430	25 F	-1	3	-70	1560	42
30	n4wl	190	375	25C	-1	3	-125	1690	43
30	n4wl	200	430	25E	-1	3	-70	1700	44
30	n4wl	460	330	75B	-1	3	-170	1960	45
30	n4wl	460	410	3	-1	3	-90	1960	46
30	n4wl	425	410	2	-1	3	-90	1925	47
30	n4wl	325	400	5C	-1	3	-100	1825	48
30	n4wl	290	430	5B	-1	3	-70	1790	49
30	n4wl	325	475	5A	-1	3	-25	1825	50
31	n4el	475	90	1	0	3	90	1975	51
31	n4el	425	90	2	0	3	90	1925	52
31	n4el	475	175	10	0	3	175	1975	53
31	n4el	430	130	15	0	3	130	1930	54
31	n4el	380	75	3	0	3	75	1880	55
31	n4el	380	40	4	0	3	40	1880	56
31	n4el	130	30	9A	0	3	30	1630	57
31	n4el	130	180	73A	0		180	1630	58
31	n4el	160	140	73B	0	3	140	1660	59
31	n4el	320	400	18A	0	3	400	1820	60
31	n4el	300	370	18B	0	3	370	1800	61
31	n4el	320	330	18C	0	3	330	1820	62
31	n4el	360	370	18D	0	3	370	1860	63

COORDENADAS DE ESTRUCTURAS

Pág.	Cuadro	N	E-W	Estructura	XR	YR	XA	YA	
32	n4e2	325	310	47A	1	3	810	1825	64
38	n3w7	200	480	1	-7	2	-3020	1200	65
39	n3w6	320	410	1	-6	2	-2590	1320	66
43	n3w2	440	200	31B	-2	2	-800	1440	67
43	n3w2	400	180	31A	-2	2	-820	1400	68
43	n3w2	400	230	31C	-2	2	-770	1400	69
44	n3w1	290	320	46A	-1	2	-180	1290	70
44	n3w1	375	325	47	-1	2	-175	1375	71
44	n3w1	460	410	1A	-1	2	-90	1460	72
44	n3w1	50	190	80B	-1	2	-310	1050	73
45	n3el	450	75	16	0	2	75	1450	74
45	n3el	350	75	9	0	2	75	1350	75
45	n3el	310	40	19	0	2	40	1310	76
45	n3el	275	70	4	0	2	70	1275	77
45	n3el	230	30	5A	0	2	30	1230	78
45	n3el	200	200	2B	0	2	200	1200	79
45	n3el	140	180	38	0	2	180	1140	80
45	n3el	80	25	15A	0	2	25	1080	81
45	n3el	10	420	53A	0	2	420	1010	82
45	n3el	350	420	20W	0	2	420	1350	83
47	n3e3	180	30	23A	2	2	1030	1180	84
48	n3e4	240	280	1N	3	2	1780	1240	85
58	n2w1	350	410	40A	-1	1	-90	850	86
59	n2el	350	125	18B	0	1	125	850-	87
59	n2el	380	80	18A	0	1	80	880	88
59	n2el	325	80	18D	0	1	80	825	89
59	n2el	250	125	35B	0	1	125	750	90
59	n2el	290	90	35A	0	1	90	790	91
59	n2el	225	90	35D	0	1	90	725	92
76	nlel	200	300	1A	0	0	300	200	93
82	nle7	350	320	1	6	0	3320	350	94

Apéndice D

Tabla para el cálculo de coordenadas de las depresiones

Página	Cuadro	Depresión	N	E-W	XR	YR	X	Y	No.
6	N6W4	1	480	470	-4	5	-1530	2980	1
6	N6W4	2	220	300	-4	5	-1700	2720	2
7	N6W3	3	170	280	-3	5	-1220	2670	3
17	N5W2	4	450	30	-2	4	-970	2450	4
17	N5W2	5	240	320	-2	4	-680	2240	5
17	N5W2	6	220	450	-2	4	-550	2220	6
29	N4W2	7	500	90	-2	3	-910	2000	7
29	N4W2	8	220	280	-2	3	-720	1720	8
28	N4W3	9	60	500	-3	3	-1000	1560	9
18	N5W1	9.1	130	80	-1	4	-420	2130	10
28	N4W3	10	420	210	-3	3	-1290	1920	11
46	N3E2	11	180	270	1	2	770	1180	12
46	N3E2	11.1	320	150	1	2	650	1320	13
33	N4E3	11.2	30	100	2	3	1100	1530	14

Apéndice E

Tabla para el cálculo de la distancia entre
estructuras piramidales y depresiones

cuadro	estructura	distan. min.	depresión
n7w2	39	826.62	3
n6w4	1 A	123.69	1
n6w3	7	196.98	1
n6w3	40	244.23	2
n6w3	12B	226.77	1
n6w3	12A	196.98	1
n6w3	12C	237.70	3
n6w3	11B	152.64	3
n6w3	11A	167.11	3
n6w3	11C	120.93	3
n6w3	15B	110.00	3
n6w2	8	433.04	4
n6w2	B	138.92	4
n6w1	1B	492.44	6
n6w1	1A	509.83	6
n5w4	10	420.86	9.1
n5w3	38	273.13	9.1
n5w2	1A	83.82	4
n5w2	1C	161.94	4
n5w1	5C	147.05	9.1
n5w1	5A	143.18	9.1
n5w1	5B	45.28	9.1
n5w1	6B	270.74	9.1

MATERIALES Y ENERGÍA EN LA ARQUITECTURA DE TEOTIHUACAN

cuadro	estructura	distan. min.	depresión
n5w1	6A	297.70	9.1
n5w1	2	347.13	9.1
n5w1	1	378.55	9.1
n5w1	3	360.56	9.1
n5e1	2	476.76	9.1
n5ei	3	512.96	9.1
n5el	4	523.93	9.1
n5el	5	562.94	9.1
n5el	6A	701.78	9.1
n5el	6C	700.07	9.1
n5el	6B	780.26	9.1
n5el	24A	770.78	11.1
n5e2	28	987.17	11.1
n4w3	7	180.28	11.2
n4w2	1A	10.00	9
n4w2	70A	248.39	10
n4wl	25B	527.73	10
n4wl	25A	611.25	10
n4w1	25 F	668.88	9.1
n4wl	25C	529.74	9.1
n4wl	25E	554.44	9.1
n4wl	75B	302.32	9.1
n4wl	3	371.21	9.1
n4wl	2	388.49	9.1
n4wl	5C	442.07	9.1
n4wl	5B	487.95	9.1
n4wl	5A	499.05	9.1
n4e1	1	533.03	9.1
n4el	2	549.66	9.1
n4el	10	614.86	9.1
n4el	15	585.24	9.1
n4el	3	554.55	9.1
n4el	4	523.55	9.1
n4el	9A	672.68	9.1
n4el	73A	563.03	11.1
n4el	73B	612.94	11.1
n4el	18A	559.02	11.1
n4el	18B	555.70	11.1
n4el	18C	593.63	11.1
n4el	18D	608.28	11.1

DISTANCIA ESTRUCTURAS-DEPRESIONES

cuadro	estructura	distan. min.	depresión
n4e2	47A	529.74	11.1
n3w7	1	1653.27	11.2
n3w6	1	1208.39	11.2
n3w2	31B	233.24	9
n3w2	31A	240.83	9
n3w2	31C	280.18	9
n3wl	46A	690.29	10
n3wl	47	645.02	10
n3wl	1A	681.54	10
n3wl	80B	785.49	10
n3el	16	589.51	11.1
n3el	9	575.78	11.1
n3el	19	610.08	11.1
n3el	4	581.74	11.1
n3e1	5A	626.50	11.1
n3e1	2B	465.73	11.1
n3el	38	503.29	11.1
n3el	15A	669.50	11.1
n3el	53A	386.01	11.1
n3el	20W	231.95	11.1
n3e3	23A	260.00	11
n3e4	1N	1011.78	11
n2wl	40A	876.64	11.1
n2el	18B	704.65	11.1
n2el	18A	720.07	11.1
n2el	18D	754.93	11.1
n2el	35B	774.94	11.1
n2el	35A	771.04	11.1
n2el	35D	817.08	11.1
nlel	1A	1086.88	11
nle7	1	2681.7	11

523	promedio
354	desviación
2682	máximo
10	mínimo

Apéndice F

Descripción del cálculo de volumen de pirámides

Con los datos tomados de la publicación de Wiercinsky (1977) [150] se realizaron tres diferentes cálculos para determinar el volumen de la pirámide del Sol:

1. La suma de seis cuerpos en forma de pirámides truncadas.
2. Pirámide completa con altura igual a la del cuerpo seis.
3. Pirámide trunca de un sólo cuerpo.

La fórmula para determinar el volumen de una pirámide truncada es:

$$V = \frac{1}{3} \times h \times (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \times A_2})$$

donde:

h = altura entre la base y la tapa

A_1 = área de la base

A_2 = área de la tapa

para el caso de bases cuadradas se reduce a:

$$V = \frac{1}{3} \times h \times (b_1^2 + b_2^2 + b_1 \times b_2)$$

donde:

b_1 = lado de la base

b_2 = lado de la tapa.

El área lateral se determinó con la fórmula:

$$A = b_2^2 + 2(b_1 + b_2) \times \sqrt{h^2 + \left(\frac{b_1}{2} - \frac{b_2}{2}\right)^2}$$

El volumen de estuco en las pirámides mayores se calculó considerando un espesor de 0.10m para las pirámides menores y 0.15m para las dos mayores. Se aplicó la fórmula:

$$V_{\text{estuco}} = A_{\text{lat.}} \times \text{espesor}$$

El cálculo anterior corresponde sólo a los lados de las pirámides truncas, debería sumarse el de la plataforma superior y de los pasillos entre cuerpos, sin embargo, dada la imprecisión de los datos, se omitirá del cálculo.

Para el caso de las pirámides menores se aplicaron las mismas fórmulas. El volumen de estas 94 estructuras piramidales también se calculó la fórmula descrita arriba para pirámides truncadas. El total es de 354 651 m³. También a las pirámides truncadas se les calculó el área lateral obteniendo un total de 118 511 m². Se consideró que el espesor de los aplanados de estuco era de 0.10 m, a juzgar por los restos en las bases de las pirámides. Con esto se tienen 11 851 m³ de aplanado de cal sobre las estructuras.

Se sabe, por otro lado, que la densidad relativa de la calcita es 2.75; en este caso estamos lejos de tener calcita pura, se trata más bien de un aplanado con el 80 a 90 % de material soluble en ácido, por lo que estimaremos una densidad de 2.5 para calcular la masa de estucos aplicados. El total es 23 702 199 kg, esto es, 23 702 toneladas.

Aunque hasta el momento no se ha determinado el porcentaje exacto de carbonato de calcio en el estuco de Teotihuacan, este cálculo ha considerado un porcentaje bajo (80 %) a partir de dos muestras; en los casos reportados por Littman en el área maya se ha determinado un 95 %.

Para calcular el volumen de piedra utilizada para el recubrimiento de las estructuras piramidales se utiliza el dato de la superficie lateral y se considera que la capa de piedra tiene alrededor de 0.20 m de espesor. El resultado para las 94 estructuras es de 23 702 m³ de piedra de tezontle.

Además de los cálculos ya descritos para las 94 estructuras piramidales, se repitió el procedimiento para las dos pirámides mayores, la del Sol y la de la Luna. Los resultados son los siguientes:

La mayor parte de los rellenos que forman el cuerpo de las estructuras es tierra, con un volumen total de 1 953 600 m³.

Si el espesor de los aplanados es 0.15 m en las estructuras mayores y 0.10 m en las menores, el volumen del revestimiento de aplanados da un total de 24 750 m³.

El volumen total de piedra empleada es 49 510 m³.

La masa de carbonato de calcio total es 49 508 toneladas.

Apéndice G

Tabla del cálculo de volumen de pirámides

P.	Cuad.	Est.	b1	b2	h	vol.	área lat.	vol. apl.	masa estu.	masa carb.
3	N7W2	39	26	20	2 1	1064	732	73	182928	146342
6	N6W4	1A	70	30	2 2	5267	4920	492	1229988	983990
7	N6W3	7	36	26	4 3	3877	1470	147	367497	293997
7	N6W3	40	38	26	4 4	4144	1599	160	399755	319804
7	N6W3	12B	32	16	6 5	3584	1216	122	304000	243200
7	N6W3	12A	24	10	3 6	916	618	62	154468	123575
7	N6W3	12C	24	10	4 7	1221	648	65	162058	129647
7	N6W3	i113	32	16	4 8	2389	1115	111	278663	222930
7	N6W3	11A	26	20	3 9	1596	790	79	197581	158065
7	N6W3	11C	24	8	5 10	1387	668	67	166944	133555
7	N6W3	1513	28	18	3 11	1612	860	86	215112	172090
8	N6W2	8	30	10	5 12	2167	994	99	248607	198885
8	N6W2	B	26	12	4 13	1509	757	76	189183	151346
9	N6W1	113	20	12	3 14	784	464	46	116000	92800
9	N6W1	1A	18	6	2 15	312	340	34	84895	67916
15	N5W4	10	24	12	2 16	672	599	60	149842	119874
16	N5W3	38	36	14	2 17	1331	1314	131	328508	262807
17	N5W2	1A	24	10	4 18	1221	648	65	162058	129647
17	N5W2	iC	24	10	4 19	1221	648	65	162058	129647
18	N5W1	5C	36	24	7 20	6384	1682	168	420586	336469
18	N5W1	5A	36	24	6 21	5472	1594	159	398558	318847
18	NSW1	5B	44	26	4 22	5008	2055	205	513710	410968
18	N5W1	6B	32	24	2 23	1579	1077	108	269220	215376
18	N5W1	6A	20	14	1 24	292	411	41	102759	82207
18	N5W1	2	30	18	6 25	3528	1139	114	284647	227717
18	N5W1	1	36	24	7 26	6384	1682	168	420586	336469
18	N5W1	3	26	18	5 27	2447	887	89	221869	177495

MATERIALES Y ENERGÍA EN LA ARQUITECTURA DE TEOTIHUACAN

P.	Cuad.	Est.	b1	b2	h	vol.	área lat.	vol. apl.	masa estu.	masa carb.
19	N5E1	2	40	24	9 28	9408	2117	212	529331	423465
19	N5E1	3	34	20	7 29	5217	1469	147	367286	293829
19	N5E1	4	34	22	6 30	4776	1434	143	358588	286870
19	N5E1	5	28	16	5 31	2480	943	94	235825	188660
19	N5E1	6A	36	16	6 32	4256	1469	147	367209	293768
19	N5E1	6C	38	18	6 33	4904	1630	163	407533	326027
19	N5E1	6B	44	22	9 34	10164	2360	236	590018	472014
19	N5E1	24A	30	20	4 35	2533	1040	104	260078	208062
20	N5E2	28	38	26	4 36	4144	1599	160	399755	319804
28	N4W3	7	26	18	3 37	1468	764	76	191000	152800
29	N4W2	1A	30	20	4 38	2533	1040	104	260078	208062
29	N4W2	70A	44	18	3 39	3052	1978	198	494592	395673
30	N4W1	25B	38	16	7 40	5385	1664	166	416037	332830
30	N4W1	25A	50	16	11 41	13039	2929	293	732199	585759
30	N4W1	25 F	26	16	6 42	2696	912	91	228015	182412
30	N4W1	25C	50	18	13 43	16137	3128	313	781928	625542
30	N4W1	25E	26	14	8 44	3296	996	100.	249000	199200
30	N4W1	75B	24	20	3 45	1456	717	72	179322	143458
30	N4W1	3	40	24	8 46	8363	2024	202	506039	404831
30	N4W1	2	32	16	8 47	4779	1342	134	335529	268423
30	N4W1	5C	26	16	6 48	2696	912	91	228015	182412
30	N4W1	5B	26	16	6 49	2696	912	91	228015	182412
30	N4W1	5A	18	12	5 50	1140	494	49	123464	98771
31	N4E1	1	38	22	7 51	6449	1760	176	439904	351923
31	N4E1	2	32	18	6 52	3848	1246	125	311489	249191
31	N4E1	10	32	12	7 53	3621	1218	122	304544	243635
31	N4E1	15	26	16	5 54	2247	850	85	212492	169994
31	N4E1	3	26	16	8 55	3595	1048	105	262114	209691
31	N4E1	4	30	16	5 56	2727	1047	105	261853	209483
31	N4E1	9A	30	20	8 57	5067	1343	134	335850	268680
31	N4E1	73A	32	16	5 58	2987	1162	116	290416	232332
31	N4E1	73B	24	18	3 59	1332	680	68	170095	136076
31	N4E1	18A	24	10	4 60	1221	648	65	162058	129647
31	N4E1	18B	32	26	3 61	2532	1168	117	292037	233629
31	N4E1	18C	32	18	3 62	1924	1086	109	271394	217115
31	N4E1	18D	26	20	4 63	2128	860	86	215000	172000
32	N4E2	47A	22	12	2 64	595	510	51	127548	102038
38	N3W7	1	28	12	3 65	1264	828	83	206880	165504
39	N3W6	1	22	12	4 66	1189	579	58	144853	115882
43	N3W2	31B	50	14	7 67	7924	2668	267	667023	533618
43	N3W2	31A	24	14	2 68	739	605	61	151318	121055
43	N3W2	31C	24	16	2 69	811	614	61	153443	122754
44	N3W1	46A	50	30	8 70	13067	2949	295	737250	589800
44	N3W1	47	44	40	3 71	5296	2206	221	551433	441147

TABLA DEL CÁLCULO DE VOLUMEN DE PIRÁMIDES

P.	Cuad.	Est.	b1	b2	h	vol.	área lat.	vol. apl.	masa estu.	masa carb.	
44	N3W1	1A	28	16	4	72	1984	891	89	277644	178115
44	N3W1	80B	40	30	5	73	6167	1890	189	472487	377990
45	N3E1	16	22	18	5	74	2007	755	75	188703	150963
45	N3E1	9	22	14	5	75	1647	657	66	164256	131405
45	N3E1	19	24	20	3	76	1456	717	72	179322	143458
45	N3E1	4	28	22	5	77	3140	1067	107	266774	213419
45	N3E1	5A	24	12	5	78	1680	706	71	176584	141268
45	N3E1	2B	30	14	3	79	1516	948	95	236968	189574
45	N3E1	38	34	28	2	80	1928	1231	123	307772	246218
45	N3E1	15A	16	12	3	81	592	346	35	86478	69182
45	N3E1	53A	22	14	2.0	82	659	518	52	129498	103599
45	N3E1	20W	20	22	6.0	83	2648	995	99	248738	198990
47	N3E3	23A	36	10	8.0	84	4683	1504	150	376080	300864
48	N3E4	1N	26	12	4.0	85	1509	757	76	189183	151346
58	N2W1	40A	32	20	5.0	86	3440	1212	121	303066	242453
59	N2E1	18B	40	20	8.0	87	7467	1937	194	484187	387350
59	N2E1	18A	26	16	6.0	88	2696	912	91	228015	182412
59	N2E1	18D	26	16	6.0	89	2696	912	91	228015	182412
59	N2E1	35B	30	20	4.0	90	2533	1040	104	260078	208062
59	N2E1	35A	26	14	4.0	91	1648	773	77	193222	154578
59	N2E1	35D	34	14	9.0	92	5484	1488	149	371887	297510
76	N1E11A	Qtz	66	30	15.0	93	36180	5399	540	1349676	1079741
82	N1E7	1	42	22	6.0	94	6344	1977	198	494181	395345
Subtotal						354651	118511	11851	29627749	23702199	
Sol			229	19	66.7	95	1269611	61995	9299	23248231	18598585
Luna			140	30	40.0	96	329333	24022	3603	9008437	7206750
Totales						1953595	204459	24754	61884417	49507534	

Vol. piedra m ³	
Restantes	23702
Sol, Luna	25805
Total	49508

Apéndice H

Tabla de concentración de resultados analíticos

Muestra	Clasificación	% insol.	% Ca	%Mg	Ca/Mg	Insol. Ca	Insol. Mg	Procedencia
6	agregado cal	70.7	9.8	1.0	5.8	33.1	3.5	Las Flores
10	agregado cal	69.5	10.5	0.6	9.8	34.4	2.1	Las Flores
8	agregado cal	67.3	11.4	0.5	14.2	34;9	1.5	Las Flores
4	agregado cal	66.4	11.3	0.5	13.2			Comalcalco
4	agregado cal	64.1	13.2	0.5	14.9	36.8	1.5	Las Flores
6	agregado cal	58.2	14.0	1.0	8.4			Comalcalco
2	agregado cal	57.9	15.3	0.5	18.4	36.3	1.2	Las Flores
1	agregado cal	42.0	19.0	0.6	15.1			Comalcalco
14c	agregado cal	26.3	18.7	4.9	2.3	25.4	6.7	Palenque
12	agregado cal(mortero)	40.8	19.1	3.1	3.7	32.3	5.2	Palenque
16	agregado cal(mortero)	24.2	24.6	3.5	4.2	32.4	4.6	Palenque
A-6	mortero	9.9	24.5	10.3	1.4	27.2	11.4	Palenque
10	mortero	3.6	33.5	3.0	6.6	34.7	3.1	Palenque
A-10	mortero	2.9	32.9	4.4	4.5	33.9	4.5	Palenque
A-9	mortero	2.8	35.7	2.5	8.5	36.7	2.6	Palenque
3	mortero	1.1	22.9	11.5	1.2	23.1	11.7	Palenque
10	aplanado	28.2	26.2	0.8	20.6			Comalcalco
2	aplanado	17.3	30.7	0.5	36.2			Comalcalco
7	aplanado	14.1	32.2	0.5	37.0			Comalcalco
5	aplanado	10.0	33.8	0.4	53.5			Comalcalco
15	aplanado	9.0	27.5	6.5	2.5	30.2	7.1	Palenque
11	aplanado	7.9	35.5	0.4	46.4	37.5	0.5	Las Flores
A-8	aplanado	3.8	31.0	5.6	3.3	32.2	5.8	Palenque
A-7	aplanado	3.5	36.3	1.3	16.7	37.6	1.3	Palenque
A-5	aplanado	3.2		8.8	1.8	26.9	9.1	Palenque
9	aplanado	2.1	22.9	11.1	1.2	23.4	11.3	Palenque
2b	aplanado	1.7	22.8	11.3	1.2	23.3	11.5	Palenque

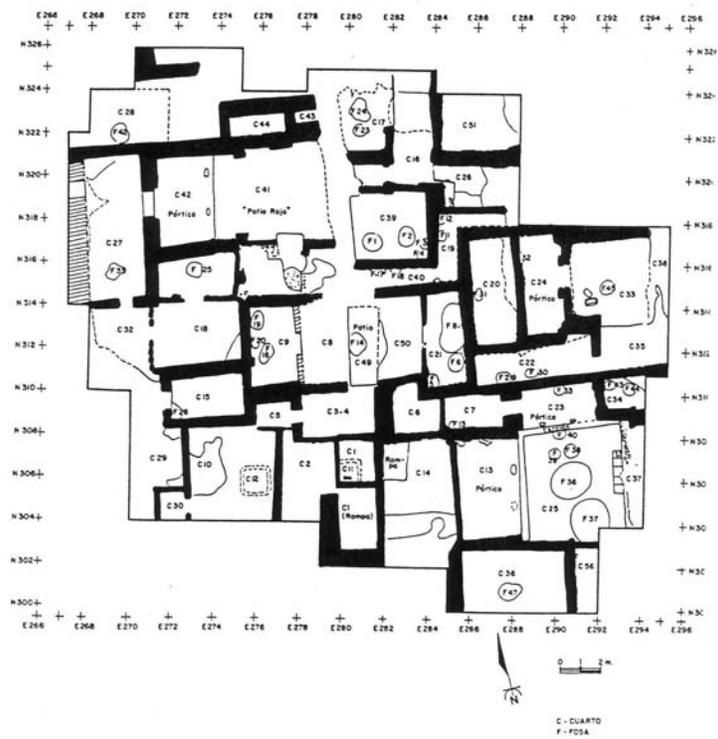
MATERIALES Y ENERGÍA EN LA ARQUITECTURA DE TEOTIHUACAN

Muestra	Clasificación	% insol.	% Ca	%Mg	Ca/Mg	Insol. Ca	Insol. Mg	Procedencia
7	aplanado	1.3	24.8	10.5	1.4	25.1	10.6	Palenque
4	aplanado	0.7	19.7	13.5	0.9	19.8	13.5	Palenque
6b	aplanado	1.2	18.8	14.5	0.8	19.0	14.7	Palenque
14b	aplanado(lechada)	16.0	34.6	14.9	1.5	41.2	17.7	Palenque
14	aplanado(lechada)	5.7	20.2	12.5	1.0	21.4	13.2	Palenque
1	aplanado(lechada)	0.8	19.4	14.3	0.8	19.5	14.4	Palenque
1	aplanado,piso	11.8	34.3	0.9	24.9	38.4	1.0	Las Flores
9	aplanado,piso	9.9	34.8	0.5	44.3	38.7	0.5	Las Flores
12	aplanado,piso	9.5	34.5	0.6	34.5	38.6	0.7	Las Flores
3	aplanado,piso	9.1	34.1	1.0	21.9	37.9	1.0	Las Flores
7	aplanado,piso	6.3	36.1	0.4	50.0	38.6	0.5	Las Flores
5	aplanado,piso	5.2	36.1	0.5	48.2	38.1	0.5	Las Flores
5	estuco	2.1	35.0	3.9	5.4	35.7	4.0	Palenque
8	estuco	2.0	34.9	3.3	6.7	35.6	3.4	Palenque
11	estuco	0.9	28.7	7.8	2.2	28.9	7.9	Palenque
13	estuco	0.4	16.2	16.0	0.6	16.3	16.1	Palenque
9	lechada	19.6	29.8	0.9	19.8			Comalcalco
8	lechada	19.1	30.0	0.4	47.5			Comalcalco

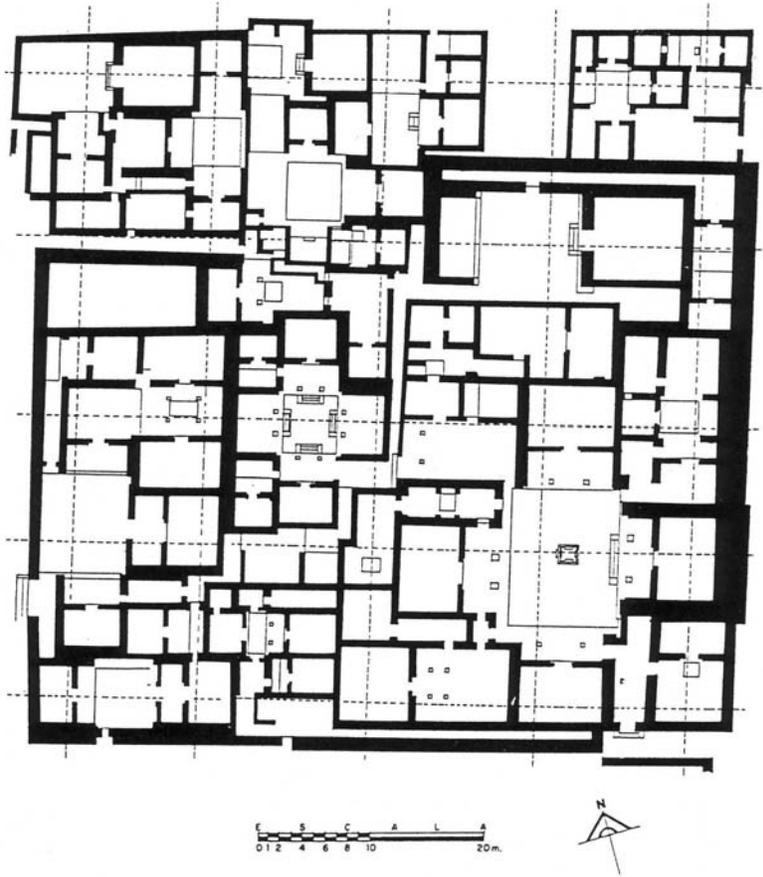
	% insol.	% Ca	% Mg	Mg/Ca
promedio	17.5	25.5	5.2	14.1
máximo	70.7	36.3	16.3	53.5
mínimo	0.4	9.8	0.4	0.6
desviación estándar	21.9	8.4	5.5	16.2
número datos	49	48.0	49.0	49.0
prom. agre. cal	53.4			
prom. morteros	4.1			
prom. estucos	1.4			
prom. lechadas Comal.	17.4			
prom. lechadas Palenque	4.1			

Apéndice I

Planos de conjuntos habitacionales

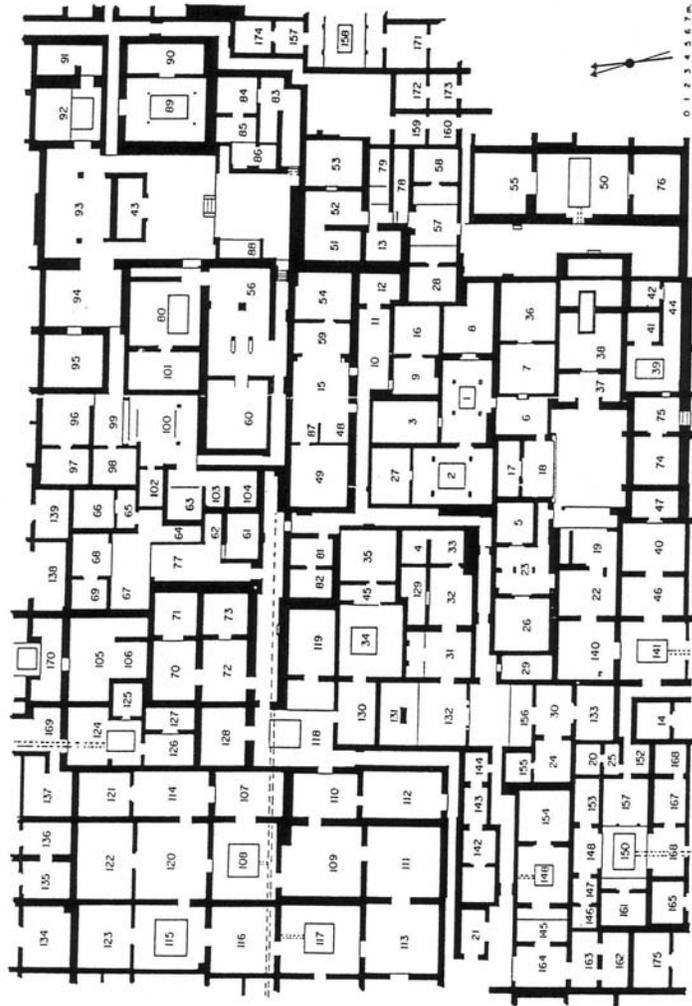


Plano de Otoyahualco. Conjunto excavado por Manzanilla.
Dibujo tomado de Manzanilla (1993: 40).



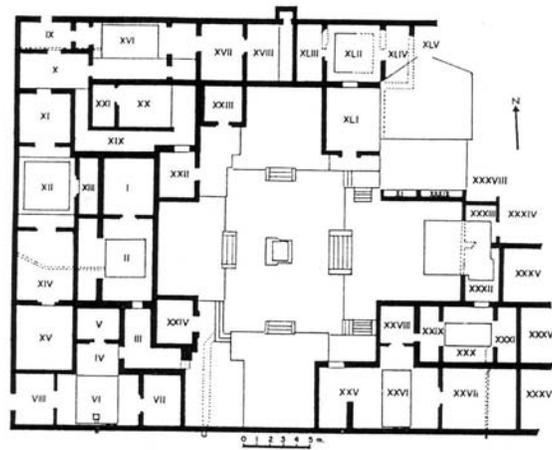
Plano de Tetitla. Conjunto excavado por Séjourné (1966).
Dibujo tomado de Manzanilla (1993: 37).

PLANOS DE CONJUNTOS HABITACIONALES

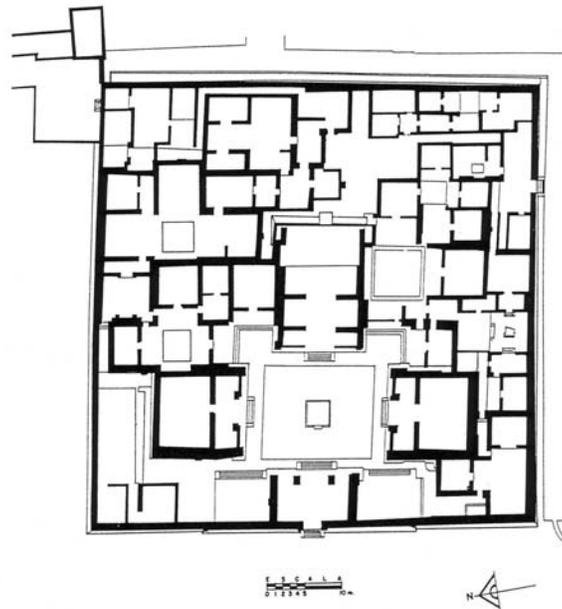


Plano de Tlaximilolpa. Conjunto excavado por Linné (1942).
Dibujo tomado de Manzanilla (1993: 34).

MATERIALES Y ENERGÍA EN LA ARQUITECTURA DE TEOTIHUACAN

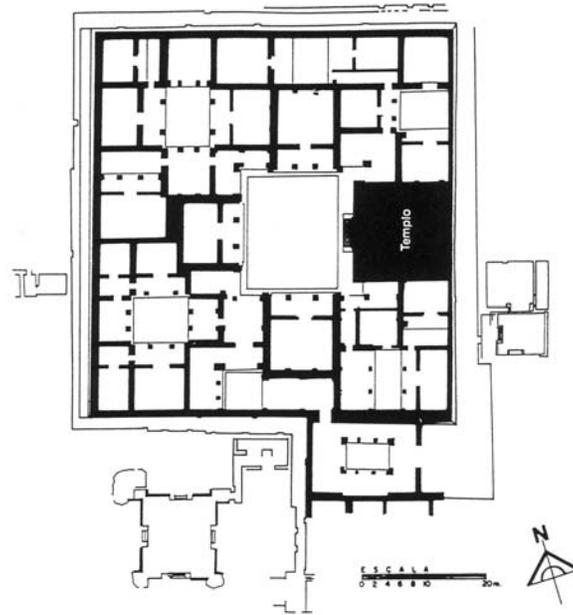


Plano de Xolalpan. Conjunto excavado por Linné (1934).
Dibujo tomado de Manzanilla (1993: 32 y 38).



Plano de Yayahuala. Conjunto excavado por Séjourné (1966).
Dibujo tomado de Manzanilla (1993: 35).

PLANOS DE CONJUNTOS HABITACIONALES



Plano de Zacuala. Conjunto excavado por Séjourné (1966).
Dibujo tomado de Manzanilla (1993: 36)

Apéndice J

Tabla de mediciones en muros

Oztoyahualco 550 m ² tramo longitud	24 6 25 1 26 11.8 27 1.6 28 1.8 29 2.4 30 2 31 3.8 32 4.2 33 0.8 34 4.4 35 3.4 36 1.8 37 1.2 38 4.4 39 3.8 40 1.2 41 1.2 42 2 43 2 44 7 45 5 46 3 47 2.6 48 4.4 49 6	50 2.8 51 2.8 52 5.4 suma 180.6 <hr style="width: 100%;"/> Tetitla 60 × 60 = 3600 m ² tramo longitud
1 11.8 2 0.8 3 4.4 4 0.8 5 2 6 1.8 7 3.4 8 1.4 9 1.4 10 5 11 1.2 12 1.2 13 4 14 4 15 3.6 16 3 17 4 18 1.4 19 8.4 20 4.8 21 5 22 3.4 23 4	1 20.1 2 5.4 3 10 4 4.2 5 15.5. 6 6.7 7 4.6 8 1.7 9 1.7 10 5 11 1.2 12 1.2 13 0.8 14 4.6 15 2.1 16 5 17 4.2 18 3.8	

MATERIALES Y ENERGÍA EN LA ARQUITECTURA DE TEOTIHUACAN

19	1.2	60	1.2	101	1.2
20	7.3	61	1.2	102	1.2
21	0.8	62	1.2	103	10
22	1.7	63	5.9	104	18.5
23	9.6	64	3.3	105	1.7
24	10.9	65	6.3	106	15.9
25	1.2	66	8	107	2.5
26	2.9	67	4.2	108	2.9
27	2.9	68	6.3	109	4.2
28	0.8	69	1.7	110	2.5
29	1.2	70	10.5	111	0.8
30	0.8	71	4.6	112	0.8
31	0.8	72	4.6	113	1.7
32	8.4	73	5	114	13
33	5	74	2.1	115	1.7
34	0.8	75	16.8	116	1.7
35	4.2	76	1.7	117	2.1
36	0.8	77	1.7	118	15.1
37	4.2	78	2.1	119	2.9
38	3.8	79	1.7	120	1.7
39	3.8	80	3.3	121	3.3
40	1.2	81	3.8	122	11.3
41	27.3	82	1.2	123	2.5
42	48.8	83	11.7	124	2.9
43	3.3	84	2.9	125	3.3
44	0.8	85	6.7	126	2.1
45	0.8	86	0.8	127	1.2
46	3.3	87	1.2	128	2.5
47	5	88	1.2	129	1.2
48	1.2	89	0.8	130	1.2
49	6.7	90	2.9	131	1.2
50	1.7	91	9.6	132	1.7
51	1.7	92	2.9	133	2.1
52	5.4	93	11.3	134	8
53	2.9	94	13.4	135	2.9
54	4.2	95	2.9	136	2.9
55	1.2	96	2.5	137	10.5
56	1.2	97	8.4	138	2.5
57	5	98	13	139	2.1
58	17.6	99	0.8	140	2.5
59	1.2	100	1.2	141	2.5

TABLA DE MEDICIONES EN MUROS

142	2.1	183	1.7	225	2.1
143	2.1	184	2.1	226	2.1
144	5.4	185	15.1	227	8.4
145	4.2	186	2.1	228	28.1
146	9.2	187	2.1	229	5.4
147	2.5	188	1.7	230	1.2
148	4.6	189	1.7	231	1.2
149	6.3	190	1.7	332	2.9
150	26.9	191	1.7	233	2.5
151	25.2	192	4.6	234	2.5
152	2.5	193	2.6	235	1.2
153	2.5	194	13	236	2.9
154	2.1	195	7.1	237	0.8
155	2.1	196	1.7	238	3.3
156	8.8	198	1.2	239	0.8
157	2.5	199	1.7	240	4.2
158	16.8	200	6.7	241	14.7
159	15.5	201	5	242	2.9
160	6.7	202	4.6	243	0.8
161	2.5	203	2.5	244	1.2
162	9.6	204	1.7	245	7.1
163	5	205	1.2	246	1.7
164	2.9	206	1.2	247	1.7
165	1.2	207	8	248	1.2
166	1.7	208	1.7	249	5
167	1.7	209	8.4	250	6.3
168	2.1	210	1.2	251	1.2
169	9.2	211	2.1	252	18.9
170	0.8	212	2.1	253	16.8
171	4.2	213	21.4	254	5
172	4.2	214	4.2	255	2.1
173	15.9	215	4.6	256	1.7
174	2.9	216	2.9	suma	1237.6
175	2.5	217	1.7		
176	6.3	218	1.7	Yayahuala	
177	6.3	219	2.9	$60 \times 60 = 3600 \text{ m}^2$	
178	1.2	220	0.8	tramo longitud	
179	1.2	221	0.8	1	29
180	1.2	222	2.1	2	5
181	1.2	223	7.1	3	2.5
182	6.3	224	6.7	4	4

MATERIALES Y ENERGÍA EN LA ARQUITECTURA DE TEOTIHUACAN

5	0.5	46	2	87	5.5
6	5	47	2.5	88	2
7	6.5	48	17.5	89	2.5
8	6.5	49	2.5	90	7
9	29	50	2.5	91	3
10	3.5	51	9	92	1
11	1.5	52	2	93	17
12	5	53	2	94	3
13	5	54	6.5	95	3
14	13	55	1	96	3
15	2	56	6	97	3.5
16	1.5	57	5	98	3
17	1.5	58	5	99	3
18	6	59	1	100	16
19	5	60	1	101	2
20	2	61	2	102	14.5
21	2	62	8	103	3.5
22	4	63	5	104	4
23	47	64	12.5	105	2
24	1.5	65	2	106	2.5
25	6	66	5	107	5
26	1	67	12	108	5
27	1.5	68	2	109	4
28	10.5	69	1	110	1
29	3.5	70	15	111	1.5
30	4	71	1	112	5
31	4	72	1	113	4.5
32	3	73	1	114	1.5
33	2.5	74	1	115	5.5
34	7	75	7	116	13
35	3	76	1	117	3.5
36	4	77	1	118	2
37	1.5	78	4	119	1.5
38	3	79	1	120	120
39	1	80	63.5	121	1.5
40	8.5	81	4.5	122	2
41	2	82	5	123	2.5
42	2	83	5.5	124	11.5
43	3.5	84	5	125	1.5
44	2	85	2	126	2
45	2	86	5	127	1.5

TABLA DE MEDICIONES EN MUROS

128	2	169	7.5	17	1.4
129	13	170	6	18	1.4
130	6	171	17	19	4.6
131	1.5	172	8	20	5.2
132	18	173	4	21	7
133	5	174	2.5	22	1.4
134	2.5	175	1.5	23	1.4
135	2.5	176	6	24	4.6
136	5.5	177	3.5	25	1.1
137	2	178	1	26	6
138	5.5	179	11	27	5.2
139	2	180	3.5	28	7.7
140	3	181	3.5	29	0.7
141	1	182	8	30	0.7
142	7.5	183	5	31	0.7
143	2	184	3.5	32	0.7
144	2.5	185	6	33	12.6
145	12	186	3	34	1.4
146	2.5	187	7.5	35	1.4
147	3.5	188	18	36	0.7
148	2	suma	1197.5	37	0.7
149	2			38	4.6
150	2	Tlamimilolpa		39	1.8
151	2	$523 \times 70 = 3640 \text{m}^2$		40	5.6
152	2	tramo longitud		41	1.1
153	5	1	9.4	42	0.7
154	7	2	0.7	43	0.7
155	7	3	16.4	44	14.3
156	13	4	0.4	45	2.1
157	2	5	0.7	46	0.7
158	3.5	6	0.4	47	0.7
159	3.5	7	1.4	48	0.7
160	14	8	6.6	49	0.7
161	12.5	9	1.4	50	6
162	5	10	1.4	51	6.6
163	3.5	11	1.4	52	7.3
164	64	12	7.7	53	2.4
165	5	13	7	54	4.2
166	2	14	5.6	55	2.1
167	1.5	15	17.5	56	7
168	10	16	5.2	57	7.7

MATERIALES Y ENERGÍA EN LA ARQUITECTURA DE TEOTIHUACAN

58	1.4	99	6	140	4.6
59	1.1	100	5.2	141	2.1
60	1.1	101	4.2	142	1.8
61	3.2	102	2.4	143	1.8
62	5.2	103	7.3	144	1.8
63	0.7	104	1.4	145	2.8
64	1.8	105	0.7	146	2.8
65	32.2	106	2.1	147	1.4
66	1.1	107	7	148	2.8
67	4.6	108	1.4	149	4.6
68	1.8	109	2.1	150	3.2
69	1.8	110	7.3	151	1.4
70	3.2	111	2.1	152	1.4
71	3.2	112	3.5	153	5.2
72	4.9	113	1.8	154	10.8
73	2.8	114	1.8	155	1.4
74	1.8	115	4.2	156	1.4
75	0.7	116	5.6	157	2.1
76	0.7	117	2.8	158	12.2
77	8.8	118	7.7	159	2.4
78	1.8	119	6	160	1.4
79	3.8	120	1.1	161	6
80	3.2	121	2.8	162	9.4
81	0.7	122	4.9	163	9.1
82	8.4	123	9.1	164	3.2
83	17.8	124	1.4	165	1.1
84	3.8	125	1.4	166	2.4
85	3.8	126	7	167	0.7
86	1.8	127	8.8	168	3.5
87	1.8	128	1.4	169	9.8
88	9.8	129	1.4	170	15.8
89	4.9	130	7.7	171	1.4
90	3.5	131	18.2	172	2.4
91	2.1	132	8.4	173	1.4
92	4.9	133	1.4	174	1.8
93	12.2	134	1.4	175	1.4
94	1.8	135	1.8	176	1.8
95	5.2	136	1.8	177	1.4
96	5.2	137	1.8	178	1.8
97	1.8	138	1.8	179	2.1
98	1.4	139	1.4	180	4.2

TABLA DE MEDICIONES EN MUROS

181	3.5	223	1.1	263	5.6
182	1.1	224	6	265	11.2
183	4.6	225	4.2	266	2.1
184	7.7	226	15.8	267	1.4
185	0.7	227	2.1	268	2.1
186	1.4	228	2.1	269	1.4
187	1.4	229	13	270	13.3
188	7	230	2.1	271	7
189	1.1	231	2.1	272	2.8
190	2.8	232	9.1	273	4.2
191	2.4	233	4.9	274	1.4
192	3.8	234	2.4	275	1.4
193	1.8	235	2.4	276	2.4
194	1.4	236	2.4	277	3.8
195	1.1	237	15.1	278	2.8
196	8.4	238	2.4	279	3.8
198	1.4	239	1.4	280	1.4
199	4.2	240	2.1	281	2.1
200	1.1	241	4.2	282	4.9
201	0.7	242	3.2	283	1.8
202	15.4	243	7.7	284	5.6
203	2.1	244	3.8	285	2.8
204	5.2	245	1.4	286	1.1
205	3.5	246	0.7	287	1.4
206	3.5	247	1.8	288	7.7
207	2.1	248	8.8	289	7.7
208	5.6	249	1.4	290	18.5
209	1.4	250	12.2	291	3.2
210	17.8	251	1.4	292	2.1
211	1.4	252	4.6	293	4.9
212	1.4	253	1.1	294	1.1
213	1.4	254	11.2	295	4.2
214	5.2	255	3.5	296	3.5
215	12.2	256	3.5	297	10.8
216	1.4	257	5.2	298	0.7
217	1.4	258	1.4	299	8.4
218	1.4	259	1.1	300	8
219	3.5	260	6	301	6.3
220	2.4	261	2.4	302	1.1
221	2.4	262	1.4	303	1.1
222	0.7	263	5.6	304	1.1

MATERIALES Y ENERGÍA EN LA ARQUITECTURA DE TEOTIHUACAN

305	7	346	2.2	36	8
306	1.1	suma	1423.8	37	4
307	1.1			38'	4
308	8.8	Zacuala		39	3
309	4.6	$58 \times 62 = 3596 \text{ m}^2$		40	3
310	1.8	tramo longitud		41	6
311	18.9	1	54	42	9
312	6	2	57	43	3
313	1.1	3	2.5	44	3
314	0.7	4	2	45	6
315	12.1	5	6	46	4.5
316	2.1	6	6	47	2.5
317	2.8	7	3	48	1.5
318	2.1	8	2.5	49	1
319	1.8	9	1.5	50	2
320	6.3	10	1.5	51	3.5
321	2.1	11	10	52	5
322	2.8	12	6.5	53	5
323	2.8	13	21	54	13
324	0.7	14	10	55	4
325	0.7	15	5	56	3
326	0.7	16	3.5	57	17
327	0.4	17	3	58	9
328	1.4	18	3	59	6
329	1.4	19	3	60	6
330	5.6	20	8	61	3.5
331	11.9	21	8	62	3
332	2.8	22	8	63	1.5
333	1.1	23	5.5	64	5
334	2.1	24	2	65	5
335	15.8	25	1.5	66	3
336	12.2	26	5	67	3.5
337	2.4	27	4.5	68	3
338	1.4	28	1.5	69	18
339	1.8	29	1.5	70	5
340	2.8	30	3	71	1.5
341	2.8	31	7	72	1
342	22.4	32	3	73	7
343	2.1	33	3.5	74	2.5
344	3.2	34	3	75	2
345	2.1	35	3	76	10

TABLA DE MEDICIONES EN MUROS

77	7	28	2.1	70	1.3
78	2	29	1.3	71	3.4
79	32	30	1.8	72	3.9
80	12	31	1.8	73	1.6
81	2.5	32	4.2	74	5.7
82	1.5	33	3.6	75	1.8
83	21	34	4.4	76	1.3
84	4	35	6.8	77	1.3
85	1.5	36	1.3	78	1.3
86	2	37	3.4	79	45.5
suma	561	38	1.6	80	1.3
<hr/>					
Xolalpan					
$38 \times 32 = 1216 \text{ m}^2$					
tramo longitud					
1	2.1	39	5.5	81	4.9
2	17.5	40	1.3	82	5.7
3	0.8	41	1.8	83	2.3
4	1.9	42	1.3	84	2.7
5	0.9	43	1.3	85	2.2
6	12.2	44	7.8	86	7
7	32	45	1.3	87	2.3
8	0.5	46	1.8	88	1.3
9	1	47	1.8	89	2.3
10	1.3	48	4.9	90	1
11	4.7	49	4.9	91	1.8
12	2.1	50	1.3	92	1.8
13	2.1	51	1.8	93	4.2
14	4.7	52	1.6	94	1
15	2.3	53	3.4	95	2.1
16	2.7	54	1.3	96	2.3
17	1	55	1.3	97	5.2
18	1	56	1.6	98	2.6
19	2.3	57	7	99	1.6
20	2.6	58	1.8	100	1.3
21	2.1	59	1.6	101	4.7
22	1.8	60	2.1	102	5.2
23	1.3	61	4.7	103	4.4
24	1.6	62	5.2	104	3.4
25	9.1	63	1.3	105	4.4
26	3.4	64	1.3	106	2.3
27	3.9	65	3.1	107	3.1
		66	1.3	108	1.6
		67	2.3	109	7
		68	2.7	suma	399.5
		69	7.8		

Materiales y energía en la arquitectura de Teotihuacan

Editado por el Instituto de Investigaciones Antropológicas de la UNAM, se terminó de imprimir en agosto de 2010, en los talleres de Navegantes de la Comunicación Gráfica, S. A. de C. V., Pascual Ortiz Rubio, no. 40, Col. San Simón Ticumac, C. P. 03660, México, D. F.; José Luis Córdova Frunz realizó la composición en tipo Computer Modern Roman 9/11, 11/13 y 10/12 puntos; la corrección estuvo a cargo de Adriana Incháustegui López. La edición consta de 300 ejemplares en papel bond de 90 g y estuvo al cuidado de Ada Ligia Torres y José Luis Córdova Frunz.

El objetivo principal de este libro es evaluar la energía involucrada en los procesos de transformación que el asentamiento urbano de Teotihuacan ocasionó en el valle homónimo. En forma análoga a una ciudad moderna, donde el impacto de la actividad humana deja huellas en el entorno inmediato, en la ciudad de Teotihuacan, la explotación y uso de toba volcánica, tezontle, sedimentos, etc. se manifiestan en las cuevas y depresiones visibles actualmente en la zona. Otros materiales, presentes aún en gran cantidad, provenían de lugares alejados por lo que los efectos de su explotación no se perciben en el valle y no han merecido suficiente atención en su lugar de origen.

Lo anterior ha llevado a investigar los recursos disponibles para los antiguos pobladores, los conocimientos tecnológicos necesarios para aprovecharlos, los materiales que obtenían por intercambio, cuáles eran las fuentes energéticas disponibles y el consumo promedio para construir y mantener a la ciudad. Justifica lo anterior el que, sin duda, muchos de sus ritos y creencias debían estar relacionados con los elementos materiales y con los insumos energéticos indispensables así como con la localización y orientación de las construcciones.

La extraordinaria inversión de energía y trabajo humano involucrados en la construcción de Teotihuacan puede explicarse, según los autores, por la urgente necesidad de controlar la amenazante actividad eruptiva de los volcanes vecinos.

