



## Degradación ambiental en el valle Teotihuacan: evidencias geológicas y paleopedológicas

Ma. Yazmín Rivera-Uria<sup>1</sup>, Sergey Sedov<sup>2</sup>, Elizabeth Solleiro-Rebolledo<sup>2,\*</sup>,  
Julia Pérez-Pérez<sup>3</sup>, Emily McClung<sup>4</sup>, Alfredo González<sup>1</sup> y Jorge Gama-Castro<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México,  
Ciudad Universitaria, 04510, México, D.F.

<sup>2</sup> Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México,  
Ciudad Universitaria, 04510, México, D.F.

<sup>3</sup> Posgrado en Antropología, Instituto de Investigaciones Antropológicas, FFyL, Universidad Nacional Autónoma de México,  
Ciudad Universitaria, 04510, México, D.F.

<sup>4</sup> Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México,  
Ciudad Universitaria, 04510, México, D.F.

\*solleiro@geologia.unam.mx

### Resumen

Se presenta el resultado de la investigación geoarqueológica conducida en el valle de Teotihuacan, con el objeto de establecer la distribución de asentamientos en diferentes periodos (Formativo, Clásico y Post-clásico) y su dinámica en la degradación ambiental. Para ello, se tomaron dos clases de registros: perfiles ubicados en las secuencias edafo-aluviales en el fondo del valle (Río San Pablo y el Tular); perfiles de suelos y edafo-sedimentos asociados con ocupaciones prehispánicas (superficies de ocupación Azteca en Cerro San Lucas y rellenos de la pirámide de la Luna). Se hicieron mapas con la distribución de los asentamientos en los diferentes periodos de ocupación referidos. En cada material se realizaron análisis selectos de las propiedades que constituyen la memoria del suelo; se obtuvieron fechamientos por radiocarbono y AMS de ciertos horizontes para determinar el marco cronológico; se hicieron comparaciones con los valores de isótopos estables de carbono y de fósforo disponible. Los resultados mostraron el deterioro ambiental causado por los antiguos habitantes del valle, que provocaron erosión debido a la presión por el espacio y los recursos. En los perfiles ubicados en el fondo del valle, los paleosuelos más antiguos, que corresponden con el inicio del poblamiento en la región señalan un ambiente más estable, dado su buen desarrollo y estado de conservación. Por el contrario los suelos que le sobreyacen están mal desarrollados y muestran signos de mayores tasas de erosión. Con lo que respecta a los materiales de los sitios arqueológicos, se encontró que dentro de la Pirámide de la Luna se usó parte del suelo de las áreas circundantes. En la casa Azteca, se observó que las áreas con distintas actividades mostraban diferentes grados de perturbación, además se utilizó suelo traído de otras áreas para nivelar el tepetate que ya se encontraba aflorando, en el piso de la casa. Se ha concluido que la aplicación de técnicas paleopedológicas asociadas con estudios geológicos contribuye al entendimiento de la degradación ambiental en los geosistemas naturales como consecuencia de las actividades humanas.

Palabras clave: Paleosuelos, Teotihuacan, degradación ambiental, edafo-sedimentos.

### Abstract

*The results of geoarchaeological research undertaken in the Teotihuacan Valley in order to establish the relationship between the distribution of settlements during different periods (Formative, Classic and Postclassic) and the dynamics of environmental degradation are presented. Two types of records were considered: profiles located in the alluvial soil sequences in the central part of the valley (Rio San Pablo and El Tular) and soil and soil-sedimentary profiles associated with prehispanic occupations (Aztec occupation on Cerro San Lucas and Classic period fill from the Moon Pyramid). Settlement distributions during the periods under consideration*

were mapped and selected analyses of properties related to "soil memory" as well as radiocarbon dating of selected horizons were carried out. In addition, the results of stable carbon isotopes ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and available phosphorous (P) were compared. The results suggest that environmental deterioration was the result of erosion provoked by the ancient inhabitants of the city as a result of pressure on available space and resources. In the profiles located in the central part of the valley, the earliest paleosols corresponding to the initial settlement of the region are well-developed and well conserved, indicating a stable environment. The overlying soils are poorly developed and show evidence for increased rates of erosion. With respect to the archaeological evidence, the fill within the Moon Pyramid was partly comprised of soil from surrounding areas. In the case of the Aztec house, different activity areas showed varying degrees of alteration, in addition to evidence suggesting that soil was brought in from other areas to level the exposed tepetate in the house floor. We conclude that the application of palaopedological techniques contributes to the understanding of environmental degradation in natural geosystems as a consequence of human activity.

*Key words: Paleosols, Teotihuacan, environmental degradation, soil sediments.*

## 1. Introducción

En la actualidad existe un creciente interés para evaluar el impacto que causa el hombre en los geosistemas. Palabras como cambio o calentamiento global se usan frecuentemente, marcando claramente la responsabilidad del hombre en el deterioro ambiental, dado que los procesos antropogénicos generan cambios ecológicos con mayor rapidez (Varallyay *et al.*, 1990; Bryant y Galbraith, 2003). Consecuentemente, existe la necesidad de estudiar las interacciones entre naturaleza y sociedad que permitan tener planes y medidas de mitigación congruentes (Arnold *et al.*, 1990). Sin embargo, su evaluación requiere una visión hacia el pasado, que ayude a determinar su dinámica en el tiempo.

Los sistemas urbanos representan el caso de impacto humano más intenso y profundo a nivel local e inclusive regional, debido básicamente a dos hechos: (1) La alta densidad de población con fuerte necesidad de recursos, generando flujos de alimentos y materiales, de tal suerte que no sólo explota los recursos del eco(geo)sistema circundante sino los de lugares más lejanos. (2) Que el impacto en el geosistema involucra cambios en el entorno geológico por modificación de las geoformas existentes y en la intensidad de los procesos geológicos superficiales tales como erosión-sedimentación, procesos fluviales y movimientos de masa, entre otros. Todo lo anterior producto de la edificación, creación de obras de ingeniería, entre los que destacan canales para el manejo de recursos hídricos, extracción de minerales, bancos de materiales, etc.

El impacto ambiental de los sistemas urbanos en la actualidad se ha estudiado ampliamente, no así el generado por civilizaciones urbanas del pasado. Sin embargo, estos estudios tienen mucho interés, tanto para la investigación arqueológica como la modelación de los procesos actuales, ya que permiten observar los resultados y consecuencias de los procesos antrópicos lentos, que ocurren en lapsos de 100 a 1000 años. Asimismo, esta información se puede aplicar para entender los periodos de resiliencia de los geosistemas una vez que el impacto humano ha terminado y el paisaje se empieza a recuperar.

A pesar de que existen antecedentes de estudios de

impacto antropogénico antiguo, sobre todo en el Altiplano central y la Cuenca de México, tales investigaciones no están exentas de contradicciones. Heine (2003), al documentar la influencia de los asentamientos prehispánicos correspondientes a las culturas Cholultecas, Toltecas, Chichimecas y Tlaxcaltecas, las cuales habitaron en estas zonas, desde 1600 años a.C. hasta la actualidad, en la región de Tlaxcala y Puebla, encuentra que la erosión acelerada se correlaciona directamente con las etapas de mayor ocupación humana, mientras que en la época de abandono (inclusive durante el inicio de la Colonia) hay coincidencia con una disminución de la misma. Por el contrario, Aliphath y Werner (comunicación personal) proponen un modelo más complejo. En ciertas fases de despoblamiento, ocurre una aceleración de la erosión, por descuido de los sistemas de terrazas y cambio del uso de suelo (en particular en la época colonial por la introducción de la ganadería y el arado). Estas ideas están parcialmente comprobadas por Córdova y Parsons (1997) quienes documentan dos fases de erosión en un piedemonte de la Sierra Nevada en Texcoco. La primera se sitúa antes de la ocupación azteca, entre los años 500 y 1000 d. C., con asentamientos que fueron abandonados y donde el suelo agrícola, que cubría el 79% de la superficie, quedó expuesto a agentes que produjeron erosión intensa. Durante el periodo de ocupación azteca, se construyeron metepantlis (terrazas) y diques reduciendo la erosión. La segunda fase de erosión comienza en el inicio de la Colonia, por el abandono de las terrazas en los piedemontes y por el cambio de uso de suelo en la zona. Se calcula que con esta última etapa de erosión se perdieron cerca de 5 ha de cobertura de suelo (Córdova y Parsons, 1997). Fisher *et al.* (2003) señalan, en un estudio llevado a cabo en el Lago de Pátzcuaro que fueron los centros poblacionales y no la agricultura los que iniciaron la degradación del suelo.

El Valle de Teotihuacan es otro de los sitios en donde se puede estudiar el impacto humano antiguo, debido a que esta zona ha sido habitada por más de 3000 años, presentando un registro geológico y edáfico que proporciona información de la dinámica erosiva, el cambio de uso de suelo y de paisaje, natural e inducido.

Esta zona se encuentra en el centro de México, en la porción nororiental de la Cuenca de México (Figura 1), con

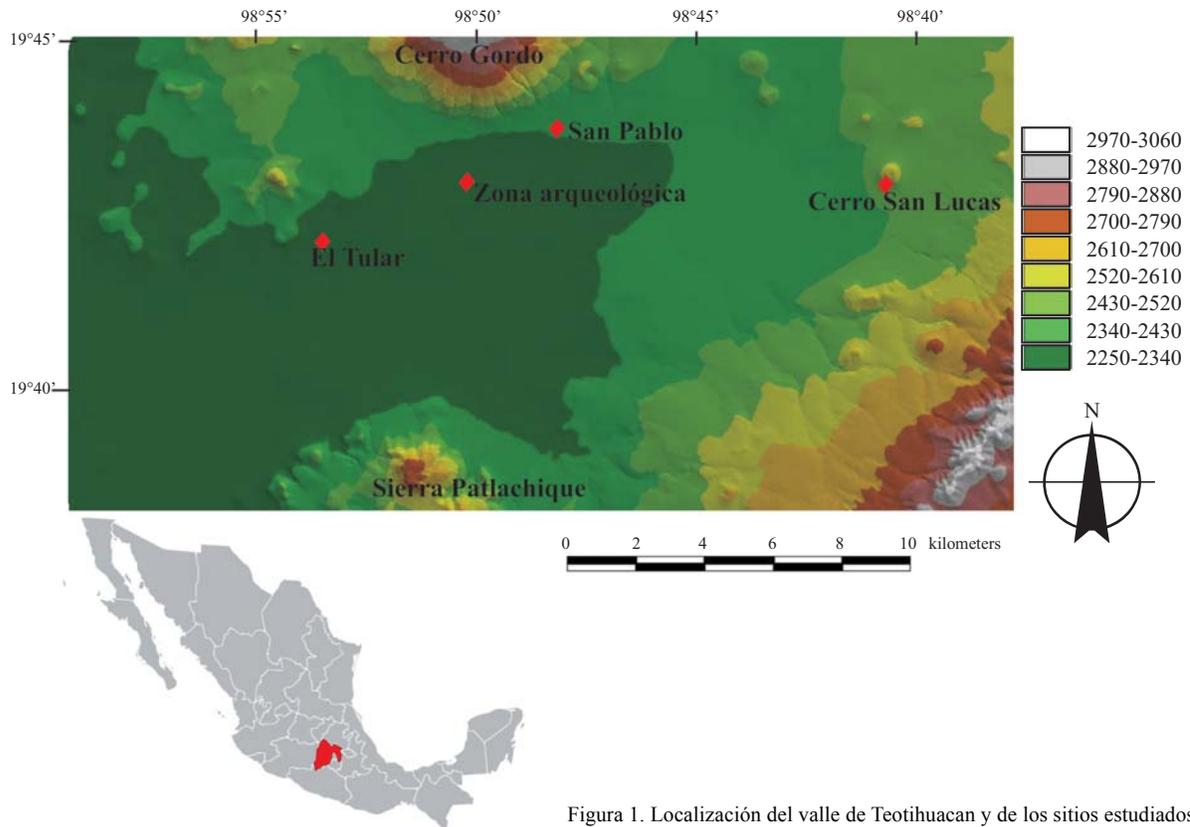


Figura 1. Localización del valle de Teotihuacan y de los sitios estudiados.

una altitud que varía entre 2205 y 3050 m. Está conformado por una planicie aluvial constituida principalmente por materiales aluviales y laháricos, con una pendiente de 0-4° (Tapia-Valera y López-Blanco, 2001). Rodeando a esta planicie se encuentran sierras volcánicas, en las que destaca el Cerro Gordo, Chiconautla, la Sierra Patlachique y pequeños conos volcánicos como el Cerro San Lucas.

Dadas las diferencias altitudinales, el clima del valle (García, 1968, 1974) muestra variaciones, pasando de 500-600 mm de precipitación en las zonas bajas (2800 a 2200 msnm) a 700-800 mm en los cerros de mayor altitud (>2800 m), ambas con un promedio anual de temperatura de 12 a 18° C. En consecuencia, la vegetación actual, aunque es secundaria (Rzedowski *et al.*, 1964, Castilla y Tejero, 1987), también cambia de acuerdo con la altitud. Predomina el matorral xerófilo (hasta 2750msnm), el matorral de encino (2800-3000 msnm) y pastizales (2400-3050 msnm). En las partes más altas de los cerros, en las vertientes opuestas al valle, se encuentra el bosque de encinos, que en el resto de las laderas ha sido reemplazado por cultivos de nopal. Los principales grupos de suelos de la región son los Phaeozems, Vertisoles, Cambisoles y Leptosoles (McClung *et al.*, 2003).

Los antiguos pobladores en esta área subsistían basados en la explotación de los recursos de la zona, como plantas silvestres, cactus, semillas comestibles y frutas, recursos del bosque, etc. McClung (1987) ha documentado que la

ocupación del valle, en especial en la zona baja aluvial, se debió a un crecimiento importante en las actividades agrícolas, lo que permitió un aumento de la población, la cual alcanzó 125,000 habitantes en el periodo 350-550 d.C. (Millon *et al.*, 1973). Este crecimiento tuvo repercusiones negativas por la presión de los recursos de los alrededores y, como consecuencia el paisaje sufrió modificaciones.

Particularmente, en el caso del abastecimiento de agua para consumo y agricultura, se desarrollaron sistemas de irrigación que se extendieron en todo el valle, encontrándose hasta 4 m por debajo de la superficie; también se construyeron complejos hidráulicos que se basaban en represas, canales y campos con terrazas (Cabrera, 2005). La causa de que estos sistemas se encuentren a tal profundidad se debe, por un lado, a la construcción, en 1630, de una presa colonial en Acolman (Palerm, 1972), lo que produjo severas inundaciones (Córdova, 1997; Cabrera, 2005).

Barba (1995) menciona que para la construcción de la Ciudadela se utilizó suelo, cubriéndose parcialmente el interior de la pirámide del Sol. De acuerdo a sus cálculos, 1,400,000 m<sup>3</sup> de suelo limo arcilloso, de color oscuro se empleó para este fin, extraído de áreas cercanas a la ciudadela donde se han encontrado varias depresiones no naturales (Barba, 2005).

Es claro que los antiguos pobladores produjeron cambios en el ecosistema, como deforestación y erosión (McClung *et al.*, 2005), sin embargo, aún hay incertidumbre

sobre cómo las actividades humanas impactaron al valle y cuál de ellas afectó de manera considerable. Por esta razón, se plantea como objetivo central de este trabajo, documentar el efecto antrópico sobre el sistema edáfico en el valle, particularmente durante la ocupación teotihuacana y azteca, utilizando registros geológicos y paleopedológicos.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Patrón de los asentamientos prehispánicos en el Valle de Teotihuacan.

Para establecer la interrelación entre los límites de la población antigua, la dinámica de los geosistemas y su cubierta edáfica se realizó un análisis espacial de la cantidad y distribución de los asentamientos correspondientes a las distintas etapas de ocupación prehispánica y su asociación con los principales geoformas del valle. Con el Sistema de Información Geográfica ILWIS versión 3.3 se construyó un mapa de polígonos de las unidades geomorfológicas del Valle de Teotihuacan (Pérez, 2003), al cual se sobrepusieron las tablas de puntos elaborados por McClung y Tapia-Recillas (1996, 1997) a partir de las coordenadas UTM de los sitios registrados por Sanders (1965) y Sanders *et al.* (1979) para los tres periodos de ocupación prehispánica: Formativo (1100 a.C. - 200 d.C.), Clásico (200 - 700 d.C.) y Postclásico (900-1500 d.C.). Se obtuvieron tres vistas del mapa geomorfológico del Valle de Teotihuacan donde se observa por periodo de ocupación, la distribución de los asentamientos.

### 2.2. Trabajo en campo

En la siguiente etapa se hizo la búsqueda, selección e investigación de los suelos y sedimentos recientes (del Holoceno tardío) que contienen información sobre el impacto antrópico, la cubierta edáfica y procesos geomorfológicos, estudiándose dos tipos de objetos:

1) Perfiles de las secuencias edafo-aluviales en el fondo del valle. Este tipo de secuencias se usa ampliamente para extraer registros integrales (a nivel de cuenca hidrológica), de la dinámica geomorfológica y paleoambiental, tanto natural, como antropogénica en diferentes regiones del mundo (Brown, 1997; Alexandrovskiy *et al.*, 2004). Para este estudio se eligieron 2 sitios (Figura 1):

a. Río San Pablo (19° 42' 30.9'' N y 98° 49' 15.2'' W, 2317 msnm), que se encuentra en la parte central del valle, sólo 6 km al este de la Ciudadela. Este sitio se encuentra muy cerca de la zona urbana clásica y se supone que evidencia los procesos geomorfológicos y ambientales, naturales y afectados por el desarrollo de Teotihuacan.

b. El Tular (19° 40' 17'' N y 98° 53' 31'' W, 2278 msnm), localizado en la parte periférica del valle, está afectado por sedimentación local proveniente del Cerro Colorado

(Figura 1). La ventaja de este sitio es su alta tasa de sedimentación aluvial, que generó una secuencia más potente, permitiendo contar con un registro paleoambiental más detallado.

2) Perfiles de suelos y edafo-sedimentos asociados con asentamientos humanos del pasado. En ellos se investigaron los efectos directos, en un nivel local, de las actividades humanas antiguas sobre los cuerpos edáficos, localizados justamente en el área de estas actividades. Dentro de este grupo de perfiles, se tomaron en cuenta dos localidades:

a. Pirámide de la Luna, ubicada al norte de la Calzada de los Muertos, en la ciudad arqueológica de Teotihuacan, donde se considera que el impacto humano fue de gran escala.

b. Cerro San Lucas, al este del Valle de Teotihuacan, donde se asentó una aldea rural del Postclásico tardío (1350-1521) mediante la construcción de terrazas agrícolas-habitacionales en las laderas del cerro. En este sitio se evaluó el impacto humano dentro de la construcción y comparándolo con un sitio con mínima perturbación.

### 2.3. Análisis de laboratorio

Se determinaron los colores con la Carta de Colores de Munsell (1975). La cantidad de carbono orgánico total se evaluó por medio de un analizador CHNS/O, Perkin Elmer 2400, serie II. La separación de las fracciones de arena limo y arcilla se hizo eliminando previamente materia orgánica con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 15 %, y óxidos de hierro siguiendo la técnica de Merha y Jackson (1960). La fracción arena se separó por tamizado y el limo y arcilla por sedimentación y centrifugación. Se hicieron láminas delgadas con muestras inalteradas, impregnadas con resina Cristal MC- 40, para el análisis micromorfológico, bajo el microscopio petrográfico. La identificación de los rasgos edafogénicos se hizo de acuerdo con el manual de Bullock *et al.* (1985). En el caso de los perfiles de excavación de la casa azteca, San Pablo y la Pirámide de la Luna se tomaron los valores del fósforo disponible, medidos por la técnica de Miehlich II, realizados por González (2007). Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de los horizontes A se tomaron de Lounejeva *et al.* (2006, 2007).

Además, los fechamientos por <sup>14</sup>C (AMS) de dos horizontes del río San Pablo y el Tular se hicieron en los laboratorios Beta Analytic de Miami, Florida.

## 3. Resultados

### 3.1. Distribución de los asentamientos

Asentamientos prehispánicos en el Valle de Teotihuacan. Durante el periodo Formativo (1100 a. C. - 200 d.C.), la ocupación humana en el valle de Teotihuacan se concentró predominantemente hacia la parte sur (Figura 2). Los

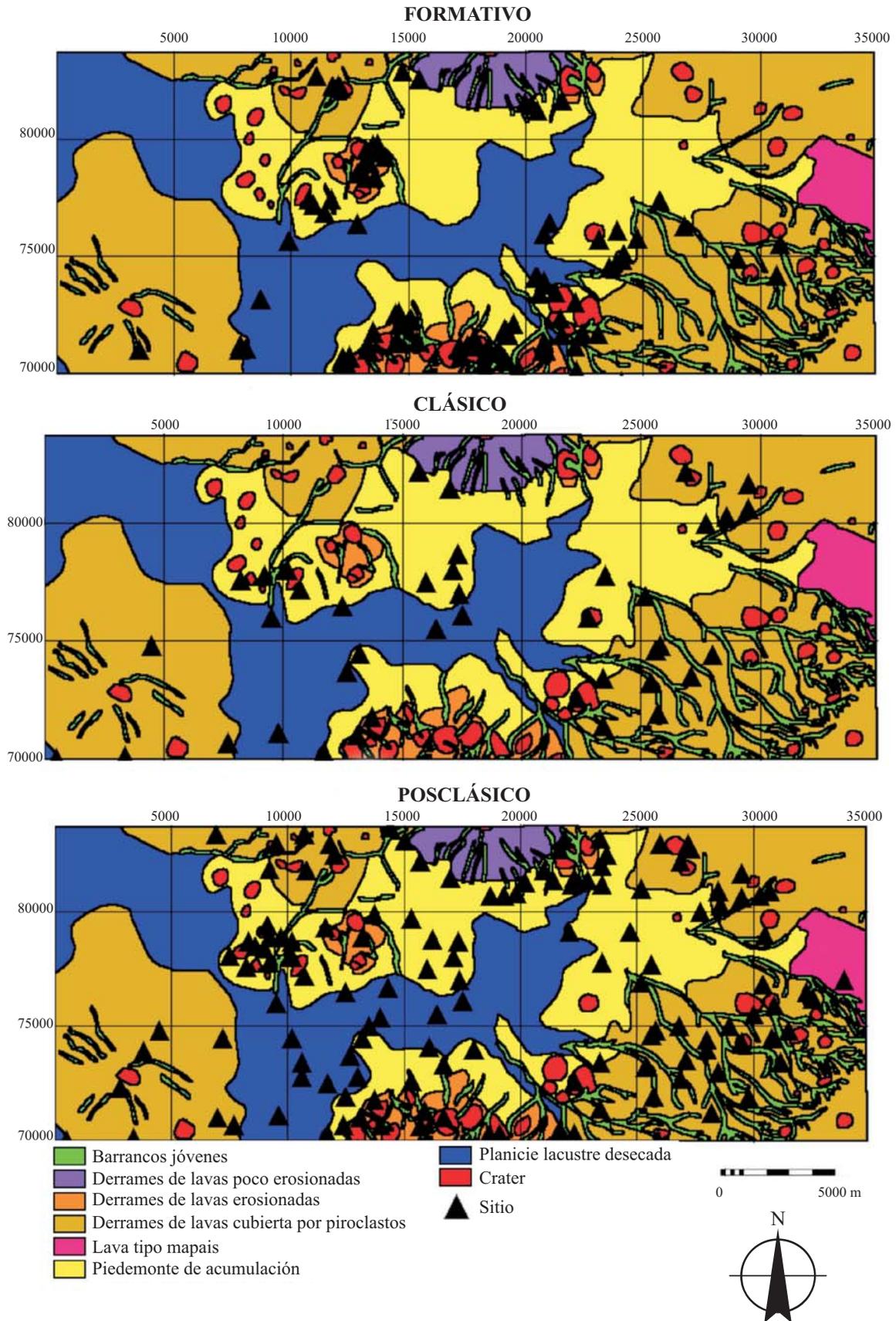


Figura 2. Distribución de los asentamientos humanos (rombos en negro) en diferentes geoformas del valle de Teotihuacan, durante los periodos: a. Formativo; b. Clásico; c. Postclásico.

asentamientos, en su mayoría, se encuentran principalmente sobre el piedemonte de los complejos volcánicos de la Sierra Patlachique y planicie aluvial, aunque también existen algunos en conos volcánicos y cerca de las barrancas (Figura 2a).

La figura 2b muestra la distribución en el periodo Clásico (200 d.C. – 700 d.C.) tal que los asentamientos se extienden tanto en el piedemonte como en la planicie aluvial del valle. El sector oriental ya empieza a habitarse con una mayor densidad de asentamientos hacia el fondo del valle.

Durante el Postclásico (900 – 1500 d.C.), correspondiente al periodo de ocupación tolteca, y posteriormente azteca, todas las áreas están pobladas, sin que exista un arreglo preferencial de ocupación. Tanto las laderas de los cerros y sierras como el fondo del valle, muestran una alta densidad de asentamientos (Figura 2c).

### 3.2. Perfiles de las secuencias edafo-aluviales en el fondo del valle

#### 3.2.1. Río San Pablo

La base de la secuencia estudiada en la planicie aluvial, particularmente en el río San Pablo, consiste en un paleosuelo arcilloso de alto grado de desarrollo, reconociéndose los horizontes E-Btg-C, que muestran propiedades reducto-mórficas, asociadas con periodos de saturación de agua en el suelo. Sobre estos rasgos se tienen carbonatos y el desarrollo de facetas de tensión, los cuales evidencian climas de mayor sequía, estacional. Hacia arriba de la secuencia aparecen dos paleosuelos más de menor desarrollo que también muestran segregaciones de carbonatos de calcio. Sobre yaciendo a los paleosuelos se presenta un depósito



Figura 3. Perfil Río San Pablo, en donde se encuentran los diferentes paleosuelos estudiados.

aluvial que corresponde a un relleno de paleocanal con orientación N38°W, procedente del Cerro Gordo. En este sedimento dominan las gravas, con diámetros que varían de 2 a 3 cm, sobre el cual se presenta un paquete de material volcánico-clástico, que constituye un depósito de lahar, de 2.7 m de espesor. La parte superior de esta secuencia está conformada por cuatro paleosuelos y el suelo moderno, donde se observa poco desarrollo edáfico, formando un perfil constituido, de la cima a la base, por horizontes Ap-C-2A-2AC-2C-3A-3C-4A-4AC-5A (Figura 3).

Tanto el suelo actual (Ap-C) como los paleosuelos 2 y 3 (2A-2AC-2C-3A-3C) tienen muy poco desarrollo, presentando una pobre estructura, de tipo granular, con el material muy suelto y con porcentajes altos de arena (alrededor del 30%), aunque ya en 3A se tiene un suelo más arcilloso. En ambos casos, el horizonte C es un sedimento laminado que evidencia la naturaleza aluvial del depósito.

El paleosuelo 4 (4A-4AC) presenta un mejor desarrollo y una alta porosidad, con biocanales, estructura en bloques subangulares y cierto grado de compactación. El horizonte 4A es de color pardo grisáceo oscuro con mayores contenidos de arcilla (30-35%).

Del último paleosuelo, sólo se reconoció el horizonte 5A de color gris oscuro (Figura 3), su estructura es subangular con una textura más arcillosa, alcanzando casi 60% de arcilla.

Los contenidos de carbono orgánico total (COT) son bajos en los horizontes 2A, 2AC, y 3A, con porcentajes menores que 1% (5- 6.3 g/kg), aumentando notoriamente en 4A, 4AC y 5A, alcanzando hasta 16 g/kg (Tabla 1). Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  oscilan entre -18 a -22‰ en los paleosuelos más jóvenes, mientras que en los más antiguos (4 y 5), van de -14.6 a -17.8‰ (Lounejeva *et al.*, 2006). Los resultados proporcionados por Beta Analytic difieren un poco de los obtenidos por Lounejeva *et al.* (2006), pues son mayores para 2A (-17.7‰), -22‰ para 3A y -16.7 para 4A. Esto puede deberse a la heterogeneidad de las muestras y a que, en especial en 3A, se tomó material carbonizado para el fechamiento, que seguramente procede de árboles.

En cuanto al contenido de fósforo disponible, González (2007) encontró que los valores más altos se localizan en el horizonte 4AC (106.8 mg/kg) y en 5A (97.2 mg/kg).

Los fechamientos que se obtuvieron para estos suelos en materia orgánica total son variados y contradictorios, ya que 2A arrojó una edad convencional (no calibrada) de  $2,920 \pm 40$  años A.P. (Beta 219961) mientras que en 4A se obtuvo  $2,140 \pm 60$  años A.P. (Beta 210760), restos de material quemado dentro del horizonte 3A edades no calibradas de  $490 \pm 40$  años A.P. (Beta 219962) (tabla 1).

#### 3.2.2. El Tular

Este perfil contiene una secuencia de un suelo actual y dos paleosuelos (2 y 3) con poco grado de desarrollo, en donde se reconocieron los siguientes horizontes: Ap-Ah1-Ah2-C-2Ah-2AC-3Ah1-3Ah2-3AC.

Los horizontes superficiales del suelo actual (Ap-Ah1-Ah2) muestran colores pardos oscuros y grises (10YR 3/3, 10YR 5/2, Tabla 1), con fuerte bioturbación que se observa en forma de pellets fecales y biocanales. La estructura es en bloques subangulares, fina, con una textura arenosa. El horizonte C es más arenoso, laminado, con sedimentos retrabajados por la acción fluvial, apareciendo capas de arcilla y materia orgánica. El primer paleosuelo (2Ah-2AC) de color pardo grisáceo (10YR 5/2), presenta una estructura granular, friable, poroso con raíces. Su textura es más arcillosa que en el caso anterior. El segundo paleosuelo (3Ah1-3Ah2-3AC) de color gris pardo claro (10YR 6/2), muestra una estructura granular, es poroso y tiene una textura arcillosa, aunque en 3Ah2 y 3AC se nota una mayor compactación.

Los valores de COT en los horizontes superficiales del suelo moderno son más altos (12.5 a 14.9 g/kg), mientras que en los dos paleosuelos los contenidos son similares (alrededor de 5 g/kg). Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  son semejantes en estos paleosuelos variando de -17.75 hasta -18.5‰, que coinciden con los arrojados durante el fechamiento (tabla 1). En el suelo moderno éstos disminuyen hasta -21.31 ‰ (Lounejeva *et al.*, 2007).

En cuanto a las edades por  $^{14}\text{C}$  no calibradas, en este

perfil, se obtuvieron  $2730 \pm 40$  (Beta 210758) y  $2710 \pm 40$  años A.P. (Beta 210759), en Ah2 y 2Ah respectivamente (tabla 1), lo que evidencia que la materia orgánica del suelo moderno contiene restos del paleosuelo 2. El paleosuelo 3 arrojó una edad no calibrada de  $3210 \pm 60$  (Beta 198687).

### 3.3. Perfiles de suelos y edafo-sedimentos asociados con los sitios arqueológicos

#### 3.3.1. Cerro San Lucas (casa azteca).

La identificación de una anomalía dentro de una terraza localizada en el sector noreste del cerro y su consecuente excavación, dejó al descubierto una unidad habitacional de planta rectangular de 13 x 7 m en promedio (Pérez *et al.* 2006), constituida por tres cuartos: cocina, un área de almacenamiento y estancia (Figura 4). Se tomaron muestras de suelo en tres partes de la unidad habitacional, en el área de desechos (W4-S5, basurero), en el patio (E5- S3 este) y en la base sobre la que se desplantaron los muros de la casa (W2-N2-N3).

En otra terraza localizada en 19°42'42" latitud norte y 98°42'06" longitud oeste se tomaron muestras de un suelo

Tabla 1. Propiedades físicas, químicas, isótopos estables de carbono y edad de los suelos en los perfiles San Pablo y el Tular.

Perfil/ horizonte	Profundidad (cm)	Color Munsell en seco	Granulometría (%)			COT (g/kg)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Edad $^{14}\text{C}$ no calibrada años A.P.
			Arena	Limo	Arcilla			
<b>San Pablo</b>								
Ap	0-20	---	---	---	---	---	---	---
C	20-27	---	---	---	---	---	---	---
2A	27-40	10YR5/3	29.9	41.0	29.1	6.3	-22.2 -17.7*	2920 ± 40 Beta 219961
2AC	40-62	10YR5/3	33.4	42.9	23.7	5.0	-18.84	---
2C	62-90	---	--	--	--	---	---	---
3A	90-105	10YR5/3	18.3	43.2	38.5	5.8	-18.39 -22.0*	490 ± 40 Beta 219962
3C	105-125	10YR6/3	15.0	48.4	36.7	---	---	---
4A	125-175	10YR4/2	21.6	47.5	30.9	10.7	-17.3 -16.7*	2140 ± 60 Beta 210760
4AC	175-205	10YR5/1	3.7	60.7	35.6	15.6	-14.65	---
5A	205->220	10YR4/1	1.5	41.3	57.1	16.0	-14.87	---
<b>El Tular</b>								
Ap	0-20	10YR 3/3	12.0	34.0	54.0	12.5	-21.31	---
Ah <sub>1</sub>	20-70	10YR5/2	30.0	34.0	36.0	14.9	-18.39	---
Ah <sub>2</sub>	70-115	10YR5/3	28.0	40.0	32.0	3.1	-18.10 -17.8*	2730 ± 40 Beta 210758
C	115-190	10YR5/2	60.0	28.0	22.0	1.2	-19.07	---
2Ah	190-210	10YR5/2	10.0	34.0	56.0	5.0	-18.11 -18.6*	2710 ± 40 Beta 210759
2AC	210-236	10YR5/2	20.0	42.0	38.0	4.8	-18.58	---
3Ah <sub>1</sub>	236-254	10YR6/2	16.0	40.0	44.0	4.9	-17.75 -17.2	3210 ± 60 Beta - 198687
3Ah <sub>2</sub>	254-272	10YR6/1	20.0	30.0	50.0	4.7	-18.07	---
3AC	272-285	10YR6/2	20.0	38.0	42.0	5.0	-17.81	---

\* Valores obtenidos por el laboratorio Beta Analytic y proporcionados junto con los fechamientos

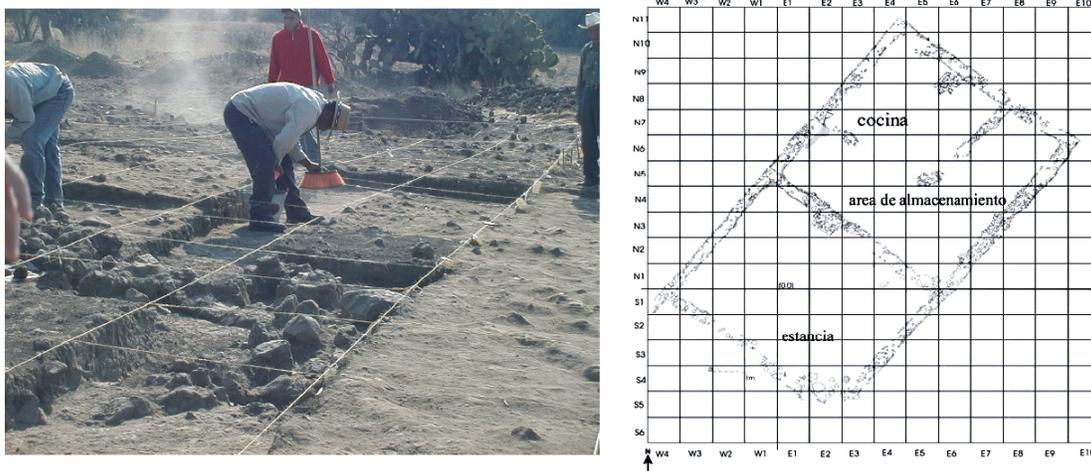


Figura 4. Excavación arqueológica y croquis de la casa Azteca en Cerro San Lucas, destacándose las diferentes áreas reconocidas.

(perfil 1), con la intención de comparar grados de alteración en las terrazas del cerro, en el que se reconocieron los horizontes: A-AB-BC-C<sub>1</sub>-C<sub>2</sub>. Este perfil representa a un suelo poco desarrollado, formado a partir de ceniza volcánica, producto de la actividad del volcán San Lucas (Figura 5). Los horizontes superficiales A y AB son poco densos, muy porosos, de color pardo claro (10YR 6/2), con estructura subangular que rompe a granular y textura areno-limosa. Los siguientes horizontes BC y C, de color pardo claro, son más arenosos, con una débil estructura en bloques angulares grandes y mayor contenido de gravas de hasta 3 cm de diámetro. El horizonte C, además muestra laminaciones, con una estructura más suelta y colores más claros que los anteriores. El contenido más elevado de COT se encontró en el horizonte A (Tabla 2), con valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-21\text{‰}$  (Lounejeva et al., 2007).

En el área del basurero (W4-S5), el perfil con horizontes Ap-A1-A2 muestra restos de ceniza, carbón, huesos y una alta densidad de material cerámico fragmentado. Posee un color pardo grisáceo (10YR 5/2), con estructura subangular, agregados pequeños, muy sueltos y poco estables; es muy poroso, con raíces abundantes. La textura varía, pues en Ap es más arenosa, mientras que en A1 hay mayor contenido de arcilla (casi 30%) y en A2 más limo. El contenido de COT es muy similar en los tres horizontes (13 a 15 g/kg), no así los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , los cuales variaron de  $-20.40\text{‰}$  en Ap hasta  $-16.7$  en A2.

En el área del patio (E5-S3 este) se muestreó un perfil con horizontes Ap-A-AB-Tepetate. El horizonte Ap contiene carbonatos, evaluados por su reacción al HCl. Su color en seco es pardo (10YR 5/3), tiene una textura areno-limosa y una estructura subangular con apariencia masiva. Los horizontes A y AB tienen el mismo color y textura que el anterior, pero difieren en su estructura subangular que rompe a granular, con pseudomicelios carbonáticos. El tepetate muestra diferente color (10YR 5/3) y su textura es más arcillosa (Tabla 2).

El contenido de carbono orgánico varía de 7.5 a 12.2 g/kg (A-Ap-AB), con valores similares de  $\delta^{13}\text{C}$  (Tabla 2).

La muestra tomada del cuadro W2-N2-N3 de lo que se ha denominado base de preparación (nivelación) sobre la que se desplantan los muros de la casa (Figura 6) tiene un color pardo (10YR 5/3), estructura subangular con agregados muy firmes y valores de COT de 5.5 g/kg y de  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-15.45\text{‰}$ .

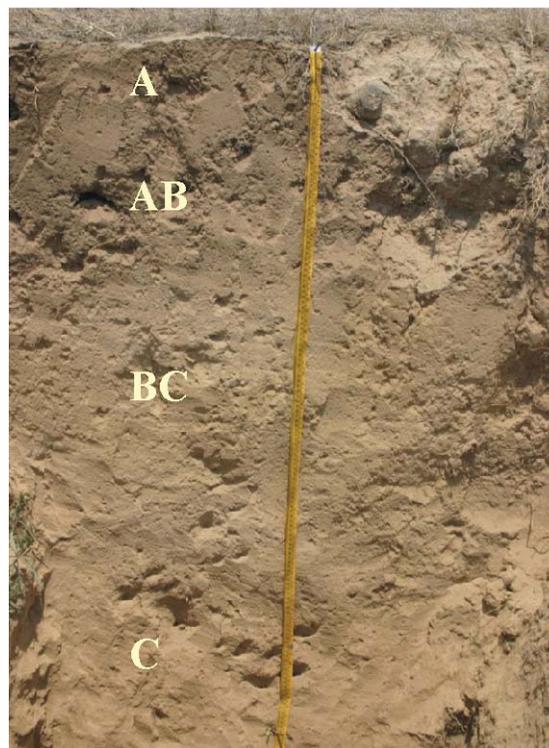


Figura 5. Perfil 1 en Cerro San Lucas, fuera de la excavación arqueológica.

Tabla 2. Propiedades físicas, químicas e isótopos estables de carbono de los materiales relacionados a sitios arqueológicos

Perfil/ Horizonte	Profundidad (cm)	Color en seco	Granulometría (%)			COT (g/kg)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
			Arena	Limo	Arcilla		
<b>Pirámide de la Luna</b>							
Relleno-1	----	10YR 4/1	36	20	44	2.15	-14.14
Relleno-2	----	10 YR2/1	30	30	40	11.3	-14.83
Relleno-3	----	10 YR2/1	44	26	30	15	-13.79
Relleno 4	----	10YR 4/1	30	30	40	9.8	-15.33
<b>Perfil 1 Cerro San Lucas</b>							
A	0 – 5	10 YR6/3	55.3	39.2	5.5	9.9	-20.98
AB	5 – 21	10 YR6/2	51.0	44.4	4.6	7	-20.5
BC	21 – 42	10 YR6/3	65.3	26.0	8.7	---	---
C <sub>1</sub>	42 – 90	10 YR7/3	67.2	28.8	4.1	---	---
C <sub>2</sub>	90 – 150	10YR 6/3	68.8	31.2	0.0	---	---
Excavación E5- S3 este							
Ap	0 – 15	10 YR5/3	54.4	23.5	22.1	12.2	-17.47
A	15 – 37	10 YR5/3	48.7	41.3	10.0	9.8	-15.36
AB	37 – 42/62	10 YR5/3	42.4	40.5	17.1	7.5	-16.79
Tepetate	> 62	10 YR6/3	41.3	43.3	15.4	---	---
Excavación W4/S5 sur							
Ap	0 – 5/12	10 YR 5/2	58.2	26.6	15.2	14.2	-20.46
A <sub>1</sub>	5/12 – 31	10 YR 5/2	49.9	20.3	29.9	13.1	-18.9
A <sub>2</sub>	31 – 47	10 YR 5/2	37.8	46.1	16.1	15.4	-16.74
W2-N2-N3							
Bt	Sepultado por muro	10YR 5/3	27.3	34.4	38.3	5.5	-15.45

Con el fin de comparar los sitios con perturbación antrópica con aquellos no alterados, se utilizó la evaluación de fósforo disponible, dando resultados más altos (30 a 60 mg/kg) en las muestras localizadas dentro de la excavación que en el perfil 1, “no alterado”, el cual arrojó resultados de 18 a 38 mg/kg (Figura 7). En la casa, el mayor contenido de P se ubicó en el área del basurero, en donde alcanzó hasta 106 g/mg (González, 2007).

Por otro lado, los estudios micromofológicos de suelos en el sitio San Lucas permitieron identificar varios rasgos informativos de los procesos edáficos tanto recientes como antiguos.

El horizonte A del perfil correspondiente al patio, dentro de la excavación (E5-S3 este) tiene una estructura granular, moderadamente desarrollada, con evidencias de compactación, ya que los gránulos están interconectados (pegados), formando unidades estructurales más grandes. En el material grueso además de los minerales volcanogénicos frescos, se encuentran fragmentos de roca con una costra de intemperismo delgada (Figura 8a), similares a los observados en el tepetate. En consecuencia, se ha interpretado que estos fragmentos provienen del mismo tepetate, que quedó expuesto en superficie debido a la erosión previa a la construcción de la casa. Posteriormente, este material sufrió procesos pedogenéticos que le llevaron a la formación de un horizonte A incipiente.

En el tepetate subyacente (horizonte BC) la composición de las fracciones gruesas es muy parecida a la del horizonte A, inclusive se observan fragmentos de roca con

la zona periférica intemperizada. El material es compacto y el espacio poroso está constituido principalmente por fracturas, con unos cuantos canales biogénicos. Algunos de estos canales se encuentran rellenos de calcita secundaria que a veces conservan la forma de los tejidos vegetales (Figura 8b). Este rasgo es indicativo de la precipitación reciente de carbonatos que están sustituyendo a los residuos orgánicos en los bioporos. En el mismo horizonte se observaron películas de arcilla iluviada, finas y escasas.

En las muestras de suelo que aparece por debajo del muro, que por sus características físicas había sido designado como A, bajo el microscopio se reconocieron rasgos que lo discriminan como un horizonte Bt, dado que su sistema poroso contiene una gran cantidad de arcilla iluviada en forma de cutanes y rellenos con alta birrefringencia (Figura 8c, d), que no se han encontrado en ningún otro cuerpo edáfico del sitio.

### 3.3.2 Pirámide de la Luna

Desde 1998, las excavaciones realizadas en la Pirámide de la Luna, a través de una serie de túneles dejaron al descubierto los materiales que fueron utilizados como relleno en cada uno de los edificios que se encuentran en el interior de la pirámide (Sugiyama y Cabrera, 2003; Sugiyama, 2004). Uno de los materiales encontrados como parte del relleno es un suelo o sedimento limo arcilloso, suelto o formando adobes (Murakami, 2007). Esos sedimentos encontrados al interior de la estructura son reconocidos como el ho-



Figura 6. Suelo debajo de uno de los muros de la casa Azteca en Cerro San Lucas.

rizonte cultivado o Ap que fuera removido de las áreas circunvecinas a la ciudad por los antiguos constructores para formar parte del monumento sagrado en sus distintas etapas constructivas. Barba (1995) plantea su extracción en grandes extensiones cercanas a la ciudad, las cuales carecen de horizonte superficial, presentándose sólo un tepetate en la superficie. Sin embargo, este solo hecho no es prueba de que hubo extracción, pues la presencia del tepetate puede estar relacionada con erosión por otras actividades.

Dentro de la pirámide de la Luna se tomaron muestras que corresponden al túnel 3 del edificio 1, denominadas “rellenos” 1, 2, 3, 4, 5 (Figura 9). El relleno 1 es arcilloso con color en seco gris oscuro (10YR 4/1), con bajos contenidos de COT con 2.15 g/kg (Tabla 2). El relleno 2, de color negro (10YR 2/1), tiene porcentajes altos de arcilla (40%) y valores de COT de 9.8 g/kg. El relleno 3 tiene el mismo color que el anterior pero con una textura más arenosa y el mayor con tenido de COT (15 g/kg). El relleno 4 tiene un color gris oscuro (10YR 4/1), una textura más arcillosa y contenidos de COT cercanos a 10 g/kg.

Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de todas las muestras extraídas de la Pirámide muestran valores similares, oscilando de -15.33 0‰, que corresponde al relleno 4, hasta -13.79 0‰ en el relleno 3 (Tabla 2).

En estos materiales, los valores de fósforo disponible fueron los más elevados de todas las muestras analizadas, alcanzando concentraciones de hasta 200 g/mg (Figura 7).

Las observaciones microscópicas en el material edáfico proveniente de este edificio muestran varios rasgos típicos

para los horizontes superficiales órgano-minerales (Ah). La matriz está pigmentada con humus disperso de color oscuro; en algunas áreas se conserva la estructura biogénica, aunque en general el material está compactado. Asimismo, estos rellenos presentan ciertas características micromorfológicas típicas para suelos afectados por actividad humana. Son comunes fragmentos de carbón (material vegetal quemado que se identifica por su opacidad y color negro, conservando claramente su estructura celular (Figura 10a). En algunos poros se encuentran películas de iluviación, heterogéneas, ya que además de la arcilla, contienen limo y humus, que les brinda un color oscuro (Figura 10b). Estos rasgos se conocen como agrocutanes y se forman en suelos cultivados (tanto en el pasado como actualmente) (Usai, 2001).

#### 4. Discusión

##### 4.1. Dinámica del patrón de asentamiento de la población prehispánica en el valle de Teotihuacan.

De acuerdo con los mapas obtenidos para las diferentes etapas de ocupación en el valle, se observa que para el periodo Formativo (1000 a.C. al 200 d.C.), los asentamientos humanos se concentran, predominantemente, en las laderas y piedemonte, sobre todo en la porción occidental y central del valle, presentando una mayor densidad en la Sierra Patlachique (Figura 2a). Es claro que en el fondo del valle así como en la parte oriental no hay asentamientos, como consecuencia ya sea de la baja densidad de población o

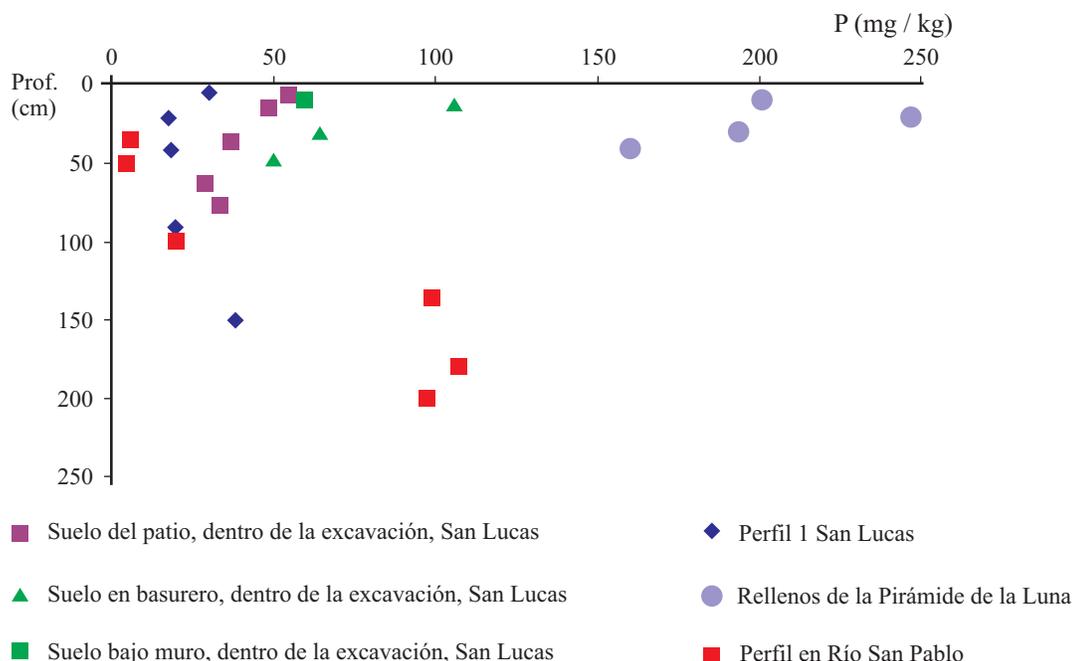


Figura 7. Concentración de fósforo disponible en los materiales estudiados.

bien porque al estar cubiertos por sedimentos, no han sido registrados. Ya durante el Clásico (200 d.C. a 700 d. C.) crece el número de habitantes, de modo que los asentamientos ocupan mayores espacios, invadiendo, inclusive, posiciones en el fondo del valle y el oriente (Figura 2b). De hecho, se ha estimado que la población alcanzó alrededor de 125,000 habitantes entre los años 350-550 d.C. (Millon *et al.*, 1973).

En el periodo Posclásico (900 d. C. al 1500 d. C.) en lo que corresponde al florecimiento de la cultura Azteca (a partir de 1300 d.C.), hay un cambio en la ubicación y orientación de los asentamientos con respecto a los dos periodos anteriores, pues tienen una gran expansión en todo el valle, ocupando todas las geoformas, inclusive en las laderas de los cerros localizados al norte. Esto puede deberse a que al aumentar el número de habitantes la presión por el espacio y, en consecuencia, los recursos es mayor, obligando a los grupos a buscar alternativas de poblamiento. Sin embargo, Sanders *et al.* (1979) plantean que la cantidad de habitantes no tuvo cambios importantes, pero su distribución (organización social) es diferente, de tal manera que modificaron su patrón de comportamiento.

#### 4.2. Evaluación del impacto antrópico local por medio de materiales de sitios arqueológicos

##### 4.2.1 Sitio San Lucas.

Este lugar, cuya ocupación se registra para el Postclásico tardío (1350-1520), muestra una alteración profunda de los suelos relacionada con las actividades económicas del medio rural. La alta densidad de asentamientos registrada

por Evans (1990) en el cerro San Lucas presupone un fuerte impacto a la cubierta edáfica y es evidenciada por los siguientes rasgos:

- El suelo dentro de la construcción tiene una profundidad pequeña, mucho menor a la que presenta el suelo fuera del asentamiento (Figura 5 y 6), y su contacto con el tepetate (horizonte cementado) es abrupto, mismo que no se aprecia en el perfil 1, no antropizado. Además, la composición granulométrica está dominada por las fracciones gruesas (limo y arena). Estos rasgos nos indican una erosión fuerte que afectó a los suelos en la zona de asentamiento.

- Bajo el microscopio, las observaciones micromorfológicas nos proporcionan algunos detalles importantes del escenario de cambio de los suelos en el sitio. Debajo del muro antiguo se encuentra un material procedente de un horizonte Bt, el cual es típico para suelos bien desarrollados, tipo Luvisol. Actualmente, en los alrededores de la casa, este tipo de material no aparece en ninguno de los perfiles, por lo que su presencia es muy local; además, posee un límite abrupto con el tepetate subyacente, y se encuentra mezclado con restos de materiales arqueológicos, lo que indica su probable transporte desde sitios más lejanos, con el objeto de nivelar la superficie del tepetate y rellenar las cavidades.

Por otro lado, el tepetate tiene un contenido de arcilla elevado y algunos rasgos, aunque escasos y débiles, de intemperismo e iluviación de arcilla. Sin embargo, el suelo actual no posee tales rasgos, inclusive se trata de un suelo primitivo, por lo que se interpreta que el tepetate corresponde a un horizonte BC que se encontraba en la base de un suelo más desarrollado, tipo Luvisol, que fue erosionado y solo quedó la "raíz" del mismo. Otro aspecto que llama la

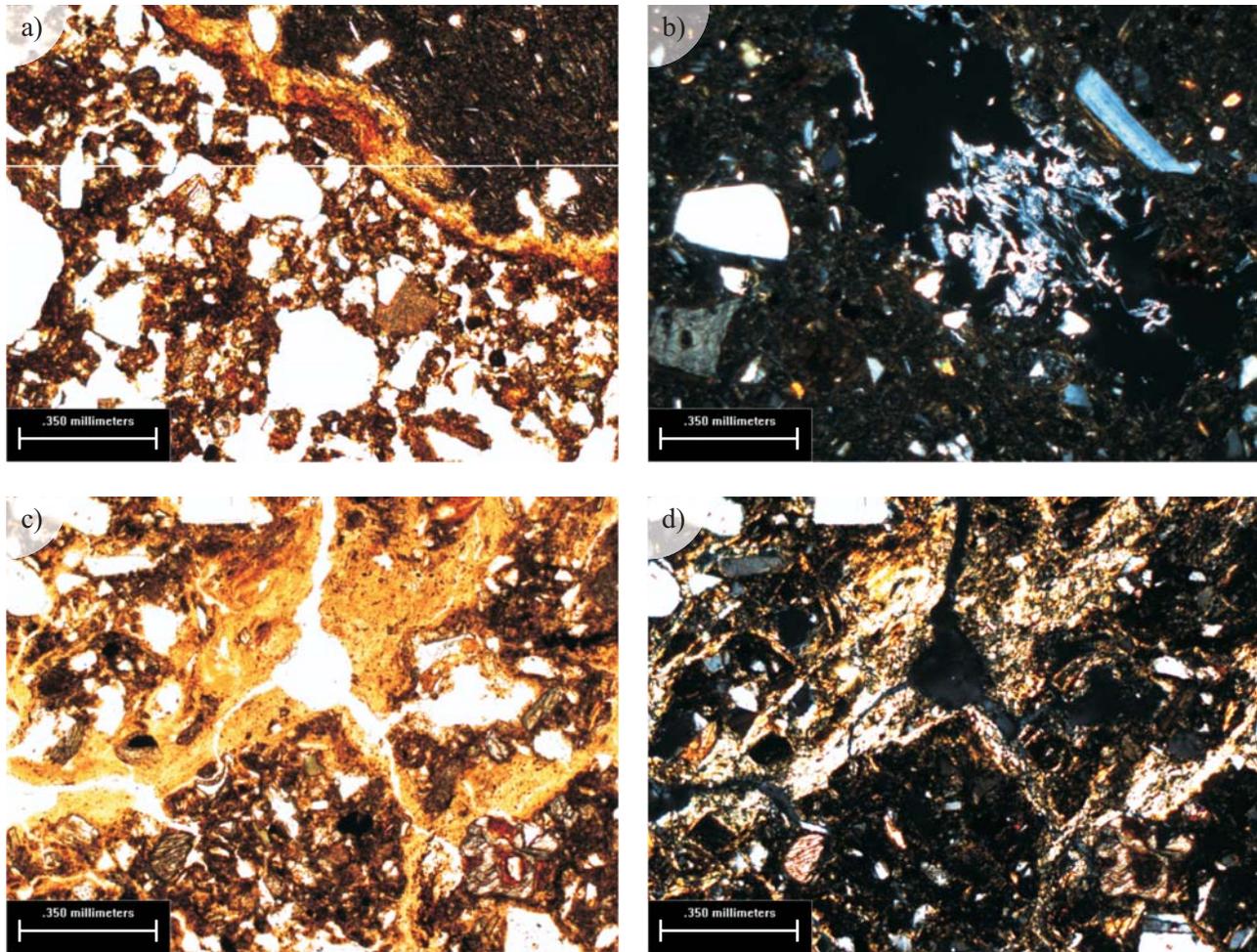


Figura 8. Micromorfología de los suelos en Cerro San Lucas. a) Horizonte A del perfil correspondiente al patio dentro de la excavación donde se muestra abundancia de minerales volcánicos frescos y fragmentos de roca con una costra de intemperismo delgada (luz natural). b) Horizonte BC del perfil del patio dentro de la excavación, mostrando rellenos de calcita secundaria, siguiendo la forma de tejidos vegetales (luz polarizada). c) Suelo debajo del muro dentro de la excavación, con cutanes y rellenos de arcilla de alta birrefringencia (luz natural); d) misma que la anterior, con luz polarizada.

atención es que dentro del tepetate se ha observado la precipitación de carbonatos secundarios (Figura 8b), proceso que no es compatible con la iluviación en el marco de una pedogénesis monofase. Por lo anterior, la combinación de estos rasgos implica poligénesis, es decir, la iluviación de arcilla es un proceso previo que se desarrolló bajo condiciones más húmedas, mientras que la segregación de carbonatos se produce bajo condiciones semiáridas, similares a las que actualmente se tienen en el valle.

A partir de estas observaciones se interpreta que la cubierta edáfica natural del Cerro San Lucas (antes de que fuera ocupado por los humanos) incluía Luvisoles – suelos relictos, formados en el pasado bajo un clima más húmedo que el actual. Estos paleosuelos (suelos relictos) tipo Luvisol, con abundantes rasgos de iluviación, se han encontrado en parches en algunas partes del Valle de Teotihuacan (Solleiro *et al.*, 2006); se supone que estos suelos son correlacionables con los restos del Luvisol, que se identificaron en San Lucas. Su formación se atribuye

al final del Pleistoceno– principios del Holoceno, antes de la llegada de la población sedentaria agrícola (periodo Formativo). Como consecuencia de la actividad humana asociada con los asentamientos antiguos, los horizontes superiores e intermedios de este perfil (A y Bt) fueron erosionados y el horizonte BC (tepetate) afloró. Este proceso de erosión se desarrolló antes de la construcción de la casa, ya que no había material del horizonte Bt en el lugar y, para aplanar la superficie erosionada del tepetate, se tuvo que traer este material de afuera, donde todavía existían suelos menos degradados.

Además de las actividades de deforestación, agricultura y construcción, se tienen otras alteraciones de la cubierta edáfica asociadas a tareas domésticas. Dentro de la casa el impacto es evidente por las altas concentraciones de fósforo, sobre todo en el área que estaba destinada a los desechos (Figura 7). Herz *et al.* (1998) documentan que estas altas concentraciones de fósforo en suelos en los contextos arqueológicos, se deriva de la excreta de huma-

nos, animales, huesos, cuerpos muertos y restos orgánicos que se depositan en un área específica. Precisamente, la zona denominada como basurero (con apoyo del material arqueológico encontrado) es la que arroja los valores más altos (González, 2007).

#### 4.2.2 Pirámide de la Luna.

Los estudios de los materiales edáficos en la pirámide de la Luna proporcionan evidencias del impacto en la cubierta edáfica, que se produjo como consecuencia de la construcción de la ciudad. Este impacto no se limita solamente al área ocupada por los edificios, en donde se tuvo que modificar el terreno y el uso del suelo en la zona, sino que implicó el movimiento de grandes cantidades de materiales de otros sitios. Particularmente, se observó que los materiales edáficos, que provienen de los horizontes superficiales e intermedios de los suelos de los alrededores, fueron usados como relleno en el interior de las construcciones. Los datos micromorfológicos (agrocutanes) y químicos (contenido alto de P) indican que grandes cantidades de suelos cultivados y fertilizados se destruyeron para construir las pirámides. De hecho, Barba (2005) documenta que se usaron 1,400,000 m<sup>3</sup> de suelo para rellenar la Pirámide del Sol. Sin embargo en la Pirámide de la Luna se utilizaron materiales diversos, no sólo se empleó suelo, sino tepetate y adobe (Sugiyama y López, 2006). Esto indica que la zona urbana se construyó a costa de una destrucción extensa de suelos y paisajes del valle, que de acuerdo a las estimaciones de Barba (2005) alcanzan los 2,000,000 m<sup>3</sup>.

#### 4.3. Secuencias edafo-sedimentarias aluviales como registros integrales de la dinámica geomorfológica en el valle.

En la base de la secuencia de Río San Pablo, tanto el horizonte 4A como el 5A están bien desarrollados.

Su edad, de acuerdo al fechamiento <sup>14</sup>C, no calibrado, del 4A, corresponde al Formativo. Esto nos indica que cuando se asentaron los primeros grupos de pobladores, las condiciones ambientales en el valle de Teotihuacan eran lo suficientemente estables para permitir el desarrollo de suelos, con acumulación de materia orgánica y buena estructura. En consecuencia, la intensidad de los procesos de erosión en las laderas y sedimentación en el fondo del valle era reducida.

Este suelo está sepultado bajo casi 2 m de depósitos fluviales, intercalados con suelos de menor desarrollo, evidenciando un aumento de los procesos de erosión/sedimentación en el valle. Otras evidencias de estos procesos son:

- Inversión de los fechamientos <sup>14</sup>C de la materia orgánica, teniéndose fechas más antiguas en los horizontes superiores que en los inferiores (McClung *et al.*, 2005). Esto se debe a que en el fechamiento se están sumando la edad del humus más antiguo, que fue erosionado y redepositado con el humus más joven, producto de la edafogénesis in situ.

- De hecho estos fechamientos coinciden con los resultados de  $\delta^{13}\text{C}$ , ya que los valores más bajos corresponden con los horizontes superiores, pero no concuerdan con la vegetación del fondo del valle (dominada por plantas CAM, con valores de  $\delta^{13}\text{C}$  altos). Esto sugiere que la materia orgánica ha incorporado la firma de plantas C3 que se encuentran en las partes más altas del valle (Cerro Gordo) en donde aún ahora hay restos de vegetación de pino-encino.

Se piensa, entonces, que existe una relación directa entre este cambio y la dinámica de poblamiento en el valle; es decir, el aumento en la sedimentación coincide con el incremento en el número de asentamientos durante los periodos Clásico y Postclásico y su mayor distribución en el valle, sobre todo hacia la porción oriental, en donde inician los ríos principales (Figura 2). Como se ha mencionado anteriormente, la actividad humana en los asentamientos causó una erosión profunda de los suelos preexistentes y es

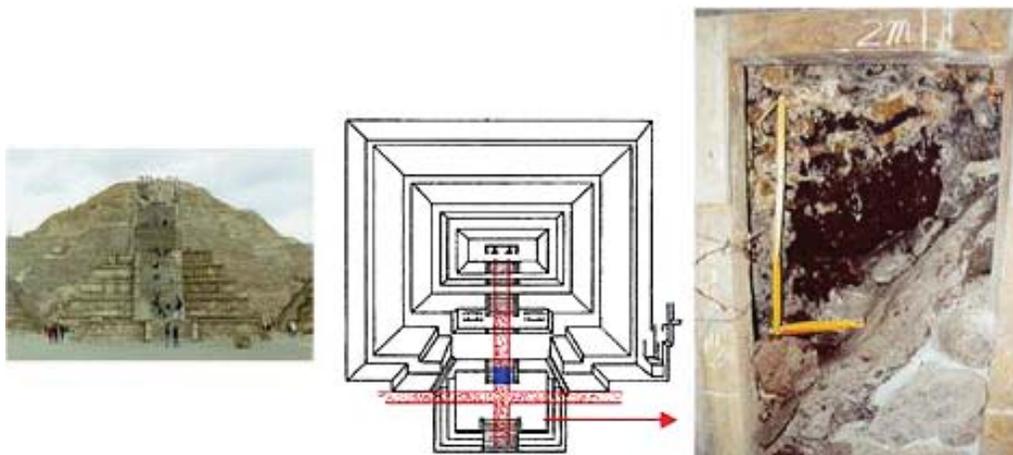


Figura 9. Esquema de los edificios de la Pirámide de la Luna (Sugiyama y Cabrera, 2003) con fotografía de un relleno del interior.

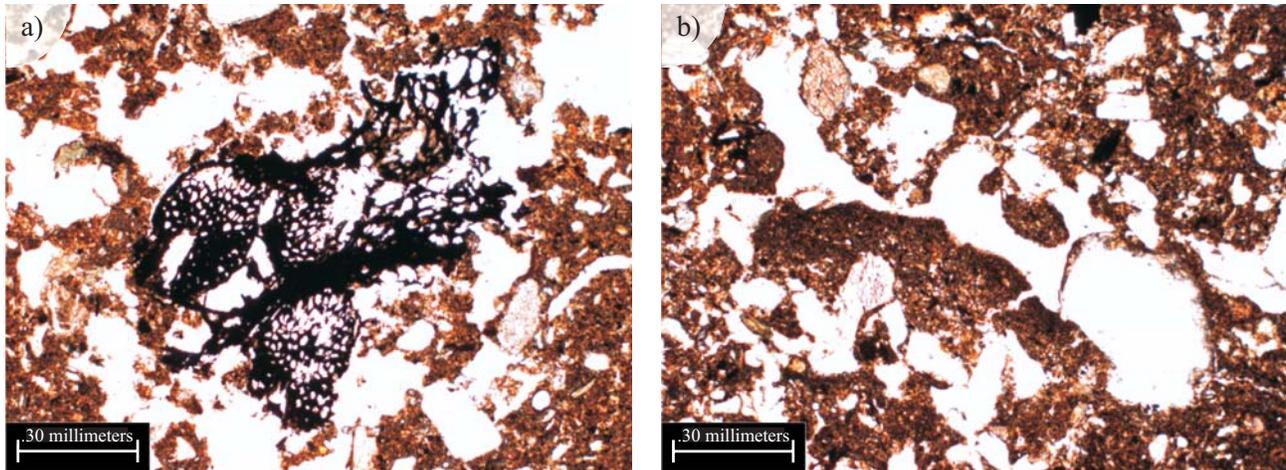


Figura 10. Micromorfología de los rellenos de la Pirámide de la Luna. a. Material vegetal quemado opaco y de color negro, conservando claramente su estructura celular. b. Agrocutanes: Películas de iluviación, heterogéneas dentro de los poros, con arcilla, limo y humus.

de suponer que una gran parte de este material erosionado se depositó en la planicie aluvial.

En El Tular, se observa un proceso de sedimentación aún más intenso, probablemente por su localización en una zona de ocupación más antigua (desde el Formativo), en la parte occidental del valle, y en consecuencia con impacto antrópico más prolongado. El perfil muestra suelos de escaso desarrollo intercalados con sedimentos laminados que prácticamente no muestran intemperismo. Aún con datos contradictorios, O'hara *et al.* (1993), Córdoba y Parsons (1997), Heine (2003) en el centro de México y Fisher *et al.* (2003) y Metcalfe *et al.* (2007) en el Lago de Pátzcuaro han evidenciado que la erosión está relacionada con actividad humana. Heine (2003) la relaciona con la presencia del hombre en los sitios, mientras que Córdoba y Parsons (1997), Fisher *et al.* (2003) mencionan que la erosión se incrementa con el abandono, debido a que el suelo se deja de cultivar, los espacios se liberan y los materiales quedan sin una vegetación que los proteja. En el caso del valle de Teotihuacan, las fases de erosión-sedimentación se correlacionan con un mayor número de asentamientos durante el periodo Clásico y el Post-clásico, causadas por deforestación y actividad agrícola intensa, datos que corroboran lo mencionado por McClung *et al.* (2005). En la época actual, también se nota una erosión acelerada con depósitos aluviales y coluviales en el fondo del valle.

Finalmente, a pesar de dicha sedimentación acelerada, que indica inundaciones y actividad aluvial intensa, que a su vez representa un riesgo para la población, varios asentamientos se encuentran en esta posición geomorfológica tanto en el periodo Clásico (inclusive una gran parte de la zona urbana), como en el Azteca. Es probable que esta "preferencia" de asentarse en sitios de alto riesgo geológico se deba a una fuerte limitación del espacio natural, aunque también estos lugares son atractivos por la aptitud agrícola de los suelos y la disponibilidad de agua.

## Agradecimientos

Este trabajo se ha financiado con recursos de los proyectos Conacyt 43746 de S. Sedov. Se agradece la colaboración de E. Vallejo, E. Ibarra, E. Lounejeva, quienes apoyaron la realización de los análisis de laboratorio.

## Referencias bibliográficas

- Alexandrovskiy, A. L., Glasko, M.P., Krenke, N.A., Chichagova, O.A., 2004, Buried paleosols of floodplains and paleoenvironmental changes in the Holocene. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 21/1: 9-17.
- Arnold, R.W., Szabolcs, I., Targulian, V.O., 1990, *Global Soil Change*. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxemburg, Austria. 110 pp.
- Barba, L., 1995, El impacto en la paleogeografía de Teotihuacan. Tesis Doctoral. Facultad de Filosofía y Letras. División de Estudios de Posgrado. UNAM. 92 pp.
- Barba, L., 2005, Materiales, técnicas y energía en la construcción. En: Ruiz-Gallut, M.E., Torres-Peralta, J. (Eds.), *Arquitectura y urbanismo: pasado y presente de los espacios en Teotihuacan*, Memoria de la Tercera Mesa Redonda, Instituto Nacional de Antropología e Historia, pp. 211-230.
- Brown, A.G., 1997, *Alluvial geoarchaeology: floodplain archaeology and environmental change*. Cambridge University Press, Cambridge – New York – Melbourne, 377 pp.
- Bryant, R.B., Galbraith, J.M., 2003, Incorporating anthropogenic processes in soil classification. In: Eswaran, *et al.* (Ed.), *Soil Classification. A Global Desk Reference*. CRC Press, Boca Raton, FL-USA, pp. 57-66.
- Bullock, P., Fedoroff, N., Jongerius, A., Stoops, G., Tursina, T. and Babel U., 1985. *Handbook for soil thin section description*. Waine Research Publications, Wolverhampton, U.K.
- Cabrera, R., 2005, Nuevas evidencias arqueológicas del manejo del agua en Teotihuacan. El campo y la ciudad. En: M.E. Ruiz-Gallut, J. Torres-Peralta (Eds.), *Arquitectura y urbanismo: pasado y presente de los espacios en Teotihuacan*, Memoria de la Tercera Mesa Redonda, Instituto Nacional de Antropología e Historia. pp. 121-162.
- Castilla, M., Tejero, D., 1987, Flora y vegetación del Cerro Gordo (San Juan Teotihuacan) y regiones aledañas, Valle de México, México, *Biotica*. 12(4):231-255.

- Córdova E. C. 1997, Landscape transformation in Aztec and Spanish Colonial Texcoco, Mexico. Tesis doctoral, Universidad de Texas, Austin, USA, 636 pp.
- Córdova, E. C., Parsons, R. J., 1997, Geoarcheology of an Aztec dispersed Village on the Texcoco Piedmont of central Mexico. *Geoarcheology: An International Journal*. 12 (3): 177-210.
- Evans, T. S., 1990, The productivity of maguey terrace agriculture in central Mexico during the Aztec period. *Latin American Antiquity*. 1 (2): 117-132.
- Fisher, C.T., Pollard, H.P., Israde-Alcántara, I., Garduño-Monroy, V.H., and Banerjee S.K., 2003, A reexamination of human-induced environmental change within the Lake Pátzcuaro Basin, Michoacán, Mexico. *PNAS* 100:4957-4962.
- García, E., 1968, Clima Actual de Teotihuacan. J. L. Lorenzo (ed), Instituto Nacional de antropología e Historia. 11-28.
- García, E., 1974, Situaciones climáticas durante el auge y la caída de la cultura teotihuacana. *Boletín del instituto de Geografía, UNAM*. 5. 35-69.
- González, A., 2007, Determinación de fósforo en paleosuelos de un sitio arqueológico del valle de Teotihuacan como indicador de actividad antrópica. Facultad de Estudios Profesionales de Zaragoza, UNAM. Tesis profesional
- Heine, K., 2003, Paleopedological evidence of human-induced environmental change in the Puebla-Tlaxcala are (Mexico) during the last 3,500 years. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 20, 235-244.
- Herz, N., Garrison, G., Ervan. 1998, *Geological methods for archaeology*. Oxford University Press, Inc. 343 pp.
- Lounejeva, E., Morales-Puente, P., Cabadas-Báez, H., Cienfuegos-Alvarado, E., Sedov, S., Vallejo-Gómez, E., Solleiro-Rebolledo, E., 2006, Late Pleistocene to Holocene environmental changes from  $\delta^{13}C$  determinations in soils at Teotihuacan, Mexico. *Geofísica Internacional* 45:85-98.
- Lounejeva, E., Morales-Puente, P., Cienfuegos-Alvarado, E., Sedov, S., and Solleiro-Rebolledo, E. 2007, Late Quaternary environment in Teotihuacan valley, México, inferred from delta13C in soils. *The Society of Archaeological Sciences Bulletin*. 30(1):6-11.
- McClung, E., 1987, Agriculture and the formation of the Teotihuacan state. Universidad Nacional Autónoma de México, *Investigaciones Antropológicas* pp 19
- McClung, E., Tapia-Recillas, H., 1996, Un estudio y patrón de asentamiento prehispánico en la región de Teotihuacan, México. *Boletín de investigaciones Geográficas*. Num. Especial 4. 13-37.
- McClung, E., Tapia-Recillas, H., 1997, Statistical analysis using GIS: Application to the study of prehispanic settlement location in the Teotihuacan Region, Mexico, *Archaeological Applications of GIS Proceedings of Colloquium II. UISPP XIIIth Congress, Forli, Italia* (I. Johnson y N. North, eds.), Sydney University Archaeological Methods Series 5, Australia.
- McClung, E., Solleiro-Rebolledo, E., Gama Castro, J., Villalpando, J.L., Sedov, S., 2003, Paleosols in the Teotihuacan valley, Mexico: evidence for paleoenvironment and human impact. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 20: 270-282.
- McClung, E., Domínguez, I., Gama, J., Solleiro-Rebolledo, E., Sedov, S., 2005, Radiocarbon dates from soil profiles in the Teotihuacan valley, Mexico: geomorphological processes and vegetation change. *Radiocarbon* 47:159-175.
- Merha, O.P., Jackson, M. L., 1960, Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite- citrate system with sodium bicarbonate buffer. *Clays and Clay Minerals* 7, 317-327.
- Metcalfe a, S.E, Davies, S.J., Braisby, J.D., Leng, M.J. Newton, A.J., Terrett, N.L., O'Hara, S.L. 2007, Long and short-term change in the Pátzcuaro Basin, central Mexico. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 247:272-295.
- Millon R., Drewitt B, Cowgill G., 1973, Urbanization at Teotihuacan. V. I. The Teotihuacan Map. Part 2, University of Texas Press, Austin.
- Munsell, 1975, Munsell, Soil Color Charts Macbeth Division of Koll Morgen Corporation Baltimore, Mary land.
- Murakami, T., 2007, Inter-valley Relations in the Formative to Classic Transition: A Preliminary Analysis of Architectural Technology at Teotihuacan. 72nd Annual Meeting of the Society for American Archaeology, Austin, Texas.
- O'Hara, S., Street-Perrot, F.A., and Buró, T.P., 1993, Accelerated soil erosion around a Mexican highland lake caused by prehispanic agriculture, *Nature*, 362:48-51.
- Palerm, M., 1972, *Agricultura y Civilización Mesoamericana*, México, SEP/Setentas, 32.
- Pérez, J., 2003, La agricultura en Teotihuacan. Una forma de modificación al paisaje. Facultad de Filosofía y Letras, Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM. Tesis de maestría.
- Pérez, J., McClung E., Gama-Castro, J. Solleiro-Rebolledo, E., Sedov, S., Peralta-Higuera, A. y Rivera, Y., 2006, Terrazas agrícolas prehispánicas en suelos de origen volcánico, cerro San Lucas, valle de Teotihuacan. *Simposio Internacional sobre suelos volcánicos, ISVO 06*. Publicado en memoria, pp. 7.
- Rzedowski, J.G., Guzmán, A., Hernández y C. Muñiz. 1964, cartografía de la vegetación de la parte norte del valle de Mexico. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias biológicas*. 13. 31-57.
- Sanders, W.T., 1965. *Cultural Ecology of the Teotihuacan Valley*, Department of Sociological and Anthropology, The Pennsylvania State University, University Park.
- Sanders, W.T., J.R. Parsons y R.S. Santley, 1979, *The Basin of Mexico: Ecological Processes in the Evolution of a Civilization*, Academic Press, N.Y.
- Solleiro-Rebolledo, E., Sedov, S., McClung E., Cabadas H., Gama-Castro J., Vallejo-Gómez E. 2006, Spatial variability of environment change in the Teotihuacan valley during late Quaternary: paleopedological inferences. *Quaternary Internacional* 156-157:13-31.
- Sugiyama, S. 2004, Governance and Policy at Classic Teotihuacan. In *Mesoamerican Archaeology: Theory and Practice*, edited by Julia A. Hendon and Rosemary A. Joyce, pp. 97-123. Blackwell Publishing, Oxford.
- Sugiyama, S., Cabrera R., 2003, Viaje al centro de la pirámide de la Luna: descubrimientos recientes en Teotihuacan. En *Viaje al centro de la Pirámide de la Luna. Recientes descubrimientos en Teotihuacan*, Coedición CONACULTA-INAH, Universidad Estatal de Arizona, pp 8-10.
- Sugiyama, S., López L., 2006, Sacrificios de consagración en la Pirámide de la Luna. CONACULTA-INAH, Museo del Templo Mayor, Universidad Estatal de Arizona.
- Tapia- Varela, G., López-Blanco, J., 2001, Mapeo geomorfológico analítico de la porción central de la cuenca de Mexico: unidades morfo genéticas a escala 1:100,000. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 19: 50-65.
- Usai, M.-R. 2001. Textural pedofeatures and pre-Hadrian's Wall ploughed paleosols at Stanwix, Carlisle, Cumbria, UK. *Journal of Archaeological Science* 28, 541-553
- Varallay, G., Scharpenseel, Targulian. V.O., 1990, Types of soil processes and changes. In Arnold R.W., Szabolcs I., Targulian V.O., (Eds.). *Global Soil Change*. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxemburg, Austria. pp. 41-62.

Manuscrito recibido: Febrero 29, 2008

Manuscrito corregido recibido: Mayo 26, 2008

Manuscrito aceptado: Junio 6, 2008