



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES
PEDOSSEDIMENTARIOS ASOCIADOS AL
TEMPLO MAYOR Y A LA ESTELA DE
CUICUILCO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

P R E S E N T A :

ELENA LUCIANO SUASTEGUI

DIRECTOR DE TESIS:

M. EN C. JAIME DÍAZ ORTEGA

2017

CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX



FACULTAD DE CIENCIAS UNAM



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

1. Datos del alumno

Luciano

Suastegui

Elena

50167687

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Ciencias de la Tierra

411076160

2. Datos del Tutor

M. en C.

Díaz

Ortega

Jaime

3. Datos del sinodal 1

Dra.

Solleiro

Rebolledo

Elizabeth

4. Datos del sinodal 2

Dr.

Sánchez

Pérez

Serafín

5. Datos del sinodal 3

Dr.

Ortiz

Butrón

Agustín

6. Datos del sinodal 4

M. en C.

Rivera

Uria

María Yazmin

7. Datos del trabajo escrito

Caracterización de materiales pedosedimentarios asociados al Templo Mayor y a la Estela de Cuicuilco

101 p.

2017

Agradecimientos

Agradezco al proyecto PAPIIT IN106616 Paleoecología, transformación biótica y desarrollo cultural durante el Pleistoceno tardío e inicio del Holoceno: Un enfoque paleopedológico.

Al proyecto Arqueológico Cuicuilco: al arqueólogo Felipe Ramírez, a la arqueóloga Denia María Sandoval González y a la arqueóloga Mónica Guadalupe Moguel Bernal por su apoyo y permisos para acceder a los materiales estudiados en Cuicuilco.

Al Proyecto Templo Mayor 8 Operación 29: Al Dr. Leonardo López Luján, a la Dra. Julia Pérez Pérez y al P. A. Rodolfo Aguilar Tapia por el apoyo, acceso al área de estudio y la información brindada.

Al laboratorio de Geoquímica Ambiental: Al Dr. Francisco Martín Romero, a Q. F. B. Fabiola Vega y al M. en C. Daniel Ramos Pérez por el apoyo brindado para la realización de las pruebas realizadas en este trabajo.

Al laboratorio de Química de Paleosuelos y al Taller de laminación de suelos y materiales no consolidados.

A mi tutor, Jaime, por todo el apoyo y paciencia que me brindó para realizar esta tesis.

A mis sinodales, por tomarse el tiempo de leer este texto y guiarme a través de su realización.

A la Dra. Elizabeth Solleiro, por ser una gran profesora y guía y me inculcó el gusto por los paleosuelos; gracias por permitirme conocer tan de cerca el mundo de la investigación y comprender mejor mi vocación.

Al Dr. Sergey Sedov por las nutritivas charlas que alumbraron el desarrollo de este proyecto.

Al grupo de paleosuelos, por la compañía, el afecto y los saberes compartidos. Es un honor trabajar con ustedes.

A los grandiosos amigos que me dio la facultad: Luis, Raúl y Diego. Es un sueño tenerlos de amigos, gracias por tanta magia :-)

A la UNAM, por permitirme entrar al oasis de CU con profesores e investigadores tan brillantes, por los amigos que me acompañaron a lo largo de la licenciatura.

A Belinda, por estar siempre presente.

A mi familia, por nutrirme en todos los sentidos, los amo.

Dedicada a Ramón, a Imelda y a Ernestina

Índice

Resumen	7
1. Introducción	12
1.1 <i>Justificación</i>	13
1.2 <i>Hipótesis</i>	13
1.3 <i>Objetivo general</i>	13
1.4 <i>Objetivos particulares</i>	13
2. Marco Teórico	15
2.1 <i>Suelos en la Cuenca de México</i>	15
2.1.1 Andosoles	15
2.1.2 Luvisoles	16
2.1.3 Vertisoles	17
2.1.4 Gleysoles	17
2.2 <i>Influencia antropogénica en los suelos de la Cuenca de México</i>	17
2.2.1 Tecnosoles	17
2.2.2 Antrosoles	18
2.2.3 Chinampas y tlateles	18
2.3 <i>Materia orgánica en suelo</i>	18
3. Antecedentes	20
3.1 <i>Estela de Cuicuilco</i>	21
3.2 <i>Templo Mayor</i>	23
4. Área de estudio	25
4.1 <i>Localización</i>	25
4.2 <i>Marco Geológico</i>	27
4.3 <i>Hidrografía y clima</i>	28
5. Metodología	30
5.1 <i>Trabajo de Campo</i>	30
5.1.1 Estela de Cuicuilco	30
5.1.2 Templo Mayor	31
5.2 <i>Análisis de Laboratorio</i>	32
5.2.1 Preparación de muestras	32
5.2.2 Medición de pH	32
5.2.3 Medición de conductividad eléctrica	32

5.3.4 Medición de carbono total mediante el método de pérdida por calcinación	32
5.3.5 Fluorescencia de Rayos X	34
5.2.6 Preparación de láminas delgadas	35
6. Resultados	37
6.1 <i>Descripción en campo</i>	37
6.1.1 Estela de Cuiculco	37
6.1.2 Templo Mayor	41
6.2 <i>Determinación de pH</i>	44
6.2.1 Estela de Cuiculco	44
6.2.2 Templo Mayor	45
6.3 <i>Determinación de conductividad eléctrica</i>	47
6.3.1 Estela de Cuiculco	47
6.3.2 Templo Mayor	49
6.4 <i>Medición de carbono total por pérdida por calcinación</i>	50
6.4.1 Perfil Estela de Cuiculco	50
6.4.2 Perfil Templo Mayor	52
6.5 <i>Fluorescencia de Rayos X</i>	54
6.5.1 Perfil Estela de Cuiculco	54
6.5.2 Perfil Templo Mayor	57
6.6 <i>Micromorfología</i>	60
6.6.1 Perfil Estela de Cuiculco	60
6.6.2 Perfil Templo Mayor	77
7. Discusión	87
7.1 <i>Rasgos de antropización identificados en la micromorfología</i>	87
7.1.1 Perfil Estela de Cuiculco	87
7.4.2 Perfil Templo Mayor	92
8. Consideraciones finales	95
9. Bibliografía	96

Lista de figuras

Número de Figura	Descripción	Página
1	Diagrama de las fases constructivas de la pirámide de Cuicuilco. (Modificado de Ramírez, 2012).	21
2	Mapa de la Cuenca de México cerca de 1519.	25
3	Fotografía satelital de la Zona Arqueológica de Cuicuilco.	26
4	Fotografía satelital de la Zona Arqueológica del Templo Mayor.	27
5	Fotografía de planta de la Estela de Cuicuilco.	30
6	Muestreo del núcleo de prospección.	30
7	Fotografía de campo del perfil Templo Mayor, propiedad del PTM-8.	31
8	Fotografía del perfil Estela de Cuicuilco.	37
9	Diagrama del perfil Estela de Cuicuilco.	37
10	Muestreo con el núcleo de prospección en Estela de Cuicuilco.	38
11	Perfil Templo Mayor, propiedad del PTM-8.	41
12	Perfil Templo Mayor, propiedad del PTM-8.	41
13	Gráfica de pH de la Estela de Cuicuilco.	44
14	Gráfica de pH del perfil Templo Mayor.	45
15	Gráfica de conductividad eléctrica de la Estela de Cuicuilco.	47
16	Gráfica de conductividad eléctrica del perfil Templo Mayor.	48
17	Gráfica de carbono por pérdida por calcinación, Estela de Cuicuilco.	50
18	Gráfica de carbono por pérdida por calcinación, Templo Mayor.	52
19	Gráfica de fluorescencia de rayos X, Estela de Cuicuilco.	54
20	Relación Zr/Ti, Estela de Cuicuilco.	56
21	Gráfica de fluorescencia de rayos X, Templo Mayor.	57
22	Relación Zr/Ti, Templo Mayor.	59
23	Microfotografías de la capa E1, Estela de Cuicuilco.	60
24	Microfotografías de la capa E2, Estela de Cuicuilco.	61
25	Microfotografías de la capa E3, Estela de Cuicuilco.	62
26	Microfotografías de la capa E4, Estela de Cuicuilco.	63

27	Microfotografías de la capa E5, Estela de Cuiculco.	64
28	Microfotografías de la capa E6, Estela de Cuiculco.	65
29	Microfotografías de la capa E7, Estela de Cuiculco.	66
30	Microfotografías de la capa E8, Estela de Cuiculco.	67
31	Microfotografías de la capa E9, Estela de Cuiculco.	68
32	Microfotografías de la capa E10, Estela de Cuiculco.	69
33	Microfotografías de la capa E12, Estela de Cuiculco.	70
34	Microfotografías de la capa E13, Estela de Cuiculco.	71
35	Microfotografías de la capa E14, Estela de Cuiculco.	72
36	Microfotografías de la capa E16, Estela de Cuiculco.	73
37	Microfotografías de la capa E17, Estela de Cuiculco.	74
38	Microfotografías de la capa E18, Estela de Cuiculco.	75
39	Microfotografías de la capa E19, Estela de Cuiculco.	76
40	Microfotografías de la capa TMR1, Templo Mayor.	77
41	Microfotografías de la capa TMR2f2, Templo Mayor.	78
42	Microfotografías de la capa TMR3, Templo Mayor.	79
43	Microfotografías de la capa TMR4, Templo Mayor.	80
44	Microfotografías de la capa TMR5, Templo Mayor.	81
45	Microfotografías de la capa TMR6, Templo Mayor.	82
46	Microfotografías de la capa TMR7 superior con mancha parda, Templo Mayor.	83
47	Microfotografías de la capa TMR7 inferior, Templo Mayor.	84
48	Microfotografías de la capa TMR8f, Templo Mayor.	85
49	Microfotografías de la capa TMR8, Templo Mayor.	86
50	Abundancia de características de antropización, Estela de Cuiculco.	89
51	Abundancia de características de formación de suelo natural, Estela de Cucuilco.	90
52	Abundancia de rasgos micromorfológicos en el perfil Templo Mayor.	93

Lista de tablas

Número de tabla	Descripción	Página
1	Exactitud de fluorescencia de rayos X.	35
2	Descripción de campo de la Estela de Cuiculco.	39
3	Descripción de campo del perfil Templo Mayor.	43
4	Valores asignados para análisis semicuantitativo de micromorfología.	88

Resumen

Este trabajo se realizó en dos perfiles de suelo asociados a asentamientos humanos dentro de la cuenca de México correspondientes a dos periodos culturales en Mesoamérica: (a) del periodo Formativo, sitio arqueológico de Cuiculco, ocupado por los Cuiculcas y (b) del periodo Posclásico representado por la última expansión de Templo Mayor, ocupado por los mexicas. En particular, se busca reconocer rasgos morfológicos o características fisicoquímicas que den información sobre antropización o pedogénesis natural.

Para el primer suelo, asociado a la Estela de Cuiculco durante el periodo Formativo, se encontró un perfil de 14 capas con distintos grados de antropización, caracterizadas en conjunto por i. La presencia de carbón, ii. Compactación, iii. Heterogeneidad en el grado de intemperismo, iv. Límites abruptos observados en campo, v. Límites abruptos a micro, meso y macro escala de suelos distintos, v. Presencia de rasgos micromorfológicos anórticos, v. Patrones irregulares en la distribución de elementos, carbón, pH y conductividad eléctrica.

Algunas de características por sí mismas pueden asociarse a procesos no necesariamente antropogénicos, como es el transporte sedimentario (en el caso del material revuelto, de la presencia de materiales anórticos y de grados distintos de intemperismo de las rocas y/o sus minerales), incendios (en el caso de la presencia de carbón), o sepultamiento (en el caso de la compactación); por mencionar algunos ejemplos. Sin embargo, el conjunto de estas características en mayor proporción en algunas capas permite atribuir estas características a la acción humana en el suelo. Se encontró a partir de estas características que en las primeras catorce capas existe un grado irregular de influencia antropogénica, presente en mayor medida en las capas E1, E2, E3, E7, E10 y E11; se encontró un menor grado de influencia antropogénica en las capas E8, E9, E12, E13 y E14; y un grado aún menor en las capas E4, E5 y E14, donde se encontraron rasgos casi naturales con características similares a horizontes naturales. Por otro lado, en las capas inferiores del muestreo del núcleo de prospección, se encontraron en las capas E17, E18 y E19 mediante análisis micromorfológico; rasgos característicos de un suelo completamente natural. Ello se infiere a partir de la presencia de cutanes de arcilla, rasgos reductomórficos órticos similares a los reportados por Ibarra-Arzave (2015) y Solleiro-Rebolledo, *et al.*, (2016) como Luvisoles en los suelos aledaños.

Para el perfil de suelo estudiado para la última expansión del Templo Mayor, se encontraron 8 capas de material friable intercalado con tres membranas culturales denominadas pisos y otras 4 membranas también culturales denominadas firmes, descritos como superficies de apisonamiento.

En general, se encontró gran heterogeneidad en micro meso y macro escala entre las composiciones y disposición del material de matriz enriquecida en carbono, con presencia de fragmentos de conchas lacustres y diatomeas con alto contenido de estuco. En particular, se encontró en la parte inferior, la presencia de oolitos y fragmentos de oolitos que no se encontraron en la parte superior del perfil. A su vez, en la capa superior –Relleno 1– se encontraron rasgos vérticos incipientes como formación de poros en ángulos cercanos a los 45% y presencia de slickensides –también incipientes– que no se encontraron en capas inferiores. Los análisis de carbono inorgánico, que presentaron porcentajes máximos en la región superior y en la región inferior, coinciden con los máximos de estuco (parte superior), y los máximos de oolitos (parte inferior). Los resultados anteriores sugieren una gradual transformación del material transportado de un lecho lacustre a la formación de rasgos vérticos debido a la desecación del mismo material.

1. Introducción

El suelo o la epidermis de la Tierra (Sokolov, 1997; Nachtergaele, 2005) se forma a partir de cinco factores que son el clima, el material parental, el relieve, los organismos y el tiempo. Conforme los humanos comenzaron a poblar la Tierra, su influencia sobre el suelo ha aumentado con el paso del tiempo hasta convertirse en un factor más que puede alterar o determinar sus propiedades. Entre los suelos cuyas propiedades y pedogénesis están dominadas por actividades humanas –entre otras, por actividades constructivas– se encuentran los Tecnosoles, suelos urbanos, cuyo nombre proviene del griego *technikos* que significa hábilmente hecho (IUSS Working Group, 2014).

Los estudios de los suelos urbanos aparecieron por primera vez en la academia para reconocer la influencia de los residuos de la actividad minera en la fertilidad de los suelos, en el año de 1847 (Lehmann & Stahr, 2007). En las últimas décadas, los suelos antiguos con asociados a ocupaciones prehispánicas han sido estudiados para comprender el efecto de las actividades humanas sobre este y para comprender cómo ha cambiado el ambiente durante –o debido a– su ocupación (Friesem, 2016; Pastor, *et al.*, 2016; Rivera-Uria, *et al.*, 2007; Sedov, *et al.*, 2010; Solleiro-Rebolledo, *et al.*, 2016). Gracias a la capacidad de los suelos para almacenar fenómenos o condiciones ambientales del momento en que se encuentran en superficie (Targulian & Goryachkin, 2004), podemos recurrir a ellos para reconocer procesos y eventos del pasado.

La historia de la Cuenca de México, región donde se encuentran los sitios de estudio para esta tesis, se caracteriza por la confluencia de eventos tectónicos, volcánicos, y climáticos que influenciaron y determinaron la ocupación y desarrollo de las culturas antiguas en ella (Sedov, *et al.*, 2010). Además de la complejidad inherente al desarrollo regional de los suelos debido a las condiciones naturales del ambiente de la cuenca, se ha documentado que el suelo sobre el cual se asentaron las culturas antiguas del centro de México, se ha utilizado para funciones constructivas en grandes edificaciones como el Templo Mayor (López Luján, *et al.*, 2003) y como material para cubiertas “rituales” para desplantar nuevas fases constructivas en el caso de la construcción de la pirámide principal de Cuicuilco (Ramírez, 2012). Sin embargo, existe aún poco detalle de las características de estos materiales pedosedimentarios para fines constructivos desde la perspectiva del estudio del suelo.

En esta tesis, se busca hacer una distinción entre los factores naturales que conforman el suelo (clima, relieve, organismos, tiempo y material parental) y la influencia humana que altere o contribuya a los factores mencionados para dar cualidades características a los suelos estudiados.

1.1 Justificación

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 transformaciones ocasionadas por un asentamiento urbano prehispánico pueden ser detectadas, cuantificadas y evaluadas en el contexto que les dio origen y esta información puede, más adelante, utilizarse con la finalidad de analizar problemas similares en la actualidad (Barba Pingarrón & Córdova Frunz, 2010). Reconocer de la influencia antropogénica en la memoria del suelo permite conocer parte del registro del antiguo manejo del suelo y la relación de éste con el las culturas mesoamericanas asociadas.

1.2 Hipótesis

En las construcciones prehispánicas se usaron materiales de origen pedosedimentario, cuyas propiedades pueden ser relacionadas con aquellas del entorno. De esta manera, podemos identificar su procedencia.

1.3 Objetivo general

Evaluar las características químicas y micromorfológicas de los materiales asociados a la Estela de Cuicuilco y Templo mayor de la Cuenca de México, para identificar el origen, uso y manejo de los suelos por los Cuicuilcas y Mexicas.

1.4 Objetivos particulares

- Describir dos perfiles de suelo asociados a ocupación temprana en la Cuenca de México: el circundante a la Estela de Cuicuilco y el correspondiente a las últimas dos expansiones del Templo Mayor.

- Realizar un estudio micromorfológico para reconocer rasgos de antropización y procedencia de los materiales.
- Realizar la caracterización fisicoquímica de los materiales.

2. Marco Teórico

Los paleosuelos permiten reconstruir el pasado de ecosistemas y ambientes terrestres. Ellos permiten dar conocimientos particulares sobre ciertas características independientes del registro fósil o sedimentario (Retallack, 2001).

El registro sedimentario se forma en unidades litológicas ordenadas en secuencias verticales, las cuales reflejan cambios temporales en cuanto a su ambiente y origen. Por ello, este tipo de registro tiene una resolución temporal de alta precisión. También en el registro sedimentario, podemos encontrar rastros de procesos que implican transporte, lo cual nos da información no solo de un sitio en particular, sino de la dinámica ambiental de toda la geoforma en la que ésta se encuentra; es por ello, que se considera que la resolución espacial del registro sedimentario es baja y poco específica de un espacio particular. En contraste con el registro sedimentario, la memoria del suelo, es un registro *in situ* de factores pedogenéticos y ambientales de variaciones en el microclima, microrelieve, material parental, etcétera. Por ello, se considera que la memoria del suelo tiene mayor resolución espacial que el registro sedimentario. En cuanto a la temporalidad, los procesos pedogenéticos –a lo largo del tiempo en que el suelo se encuentra expuesto– penetrando a lo largo de todo el perfil. Este constante proceso hace que no exista un registro secuencial en la temporalidad de los procesos, haciendo que la resolución temporal de los paleosuelos sea más baja que la del registro sedimentario (Targulian & Goryachkin, 2004).

2.1 Suelos en la Cuenca de México

Para poder distinguir las fuentes del suelo encontrado en los sitios de estudio, este capítulo describe los principales suelos naturales presentes dentro de la Cuenca de México. A su vez, describe también las características de los suelos cuya influencia antropogénica modifica las características naturales de los mismos para dar un calificador específico.

2.1.1 Andosoles

Los Andosoles integran los suelos que se desarrollan en eyecciones volcánicas ricas en vidrio (principalmente cenizas, pero también toba, piedra pómez, escoria y otros) bajo casi cualquier clima (excepto bajo condiciones climáticas hiperáridas) o cualquier otro material rico en silicato

bajo meteorización ácida en climas húmedo y perhúmedo. Se encuentran en ambientes desde el Ártico hasta las regiones tropicales húmedas, en su mayoría con una amplia gama de tipos de vegetación. La meteorización rápida de vidrio volcánico resulta en la acumulación de complejos órgano-minerales estables o minerales de bajo grado de ordenamiento tales como alofano e imogolita, además se forma ferrihidrita. La meteorización ácida de otros materiales ricos en silicato en climas húmedo y perhúmedo también conduce a la formación de complejos órgano-minerales estables (IUSS Working Group, 2014).

Estos suelos son abundantes a lo largo de la Franja Volcánica Trans-Mexicana donde se encuentran depósitos de ceniza volcánica con otros materiales piroclásticos (Krasilnikov, 2013).

2.1.2 Luvisoles

Los Luvisoles son suelos cuya característica principal es la diferenciación pedogenética de arcilla (especialmente migración de arcilla) entre una capa superior con un menor contenido y una capa subsuperficial con un mayor contenido de arcilla, arcillas de alta actividad y alta saturación de bases en alguna profundidad. Los materiales parentales que pueden conformarlo comprenden una amplia variedad de materiales no consolidados incluyendo till glacial y depósitos eólicos, aluviales y coluviales. Los ambientes en los que se encuentran más frecuente, son en terrenos llanos o ligeramente inclinados en regiones templadas frías y en regiones cálidas (por ejemplo, mediterráneas) con marcadas estaciones secas y húmedas. La pérdida de óxidos de hierro, junto con minerales de arcilla, puede conducir a un horizonte de eluviación blanquecino entre el horizonte superficial y el horizonte *árgico* subsuperficial (IUSS Working Group, 2014).

En la cuenca de México los Luvisoles pueden encontrarse en regiones de depresiones locales o Valles como una fase evolutiva de Andosoles, pues sus procesos de formación toman varias decenas de años (Sedov, *et al.*, 2003)

2.1.3 Vertisoles

Los Vertisoles son suelos de composición arcillosa, en los cuales, una alta proporción son arcillas expandibles. El nombre Vertisoles se refiere a los constantes movimientos internos del material del suelo. Los materiales parentales que lo conforman son sedimentos que contienen una alta proporción de arcillas expandibles o arcillas expandibles producidas por neoformación a causa de la meteorización de rocas. Se desarrollan en ambientes con depresiones y áreas planas a onduladas, principalmente en climas tropicales y subtropicales, semiárido a subhúmedo y húmedo con alternancia de marcadas estaciones secas y húmedas. La vegetación dominante es de sabana, praderas naturales y/o bosques. El perfil se caracteriza por la expansión y retracción alternada de arcillas expandibles dan lugar a grietas profundas en la temporada seca y la formación de slickensides (IUSS Working Group, 2014).

2.1.4 Gleysoles

Los Gleysoles son suelos que se caracterizan por estar saturados con agua subterránea durante periodos suficientemente largos para desarrollar condiciones reductoras que resultan en propiedades gléycas. Dado el requerimiento de grandes cantidades de agua durante periodos largos, los suelos glycos suelen encontrarse en áreas deprimidas con nivel freático elevado, como son las zonas de marea, lagos de baja profundidad y costas marinas (IUSS Working Group, 2014).

2.2 Influencia antropogénica en los suelos de la Cuenca de México

Cuando los humanos interactúan con un suelo natural lo suficiente para modificar sus características diagnósticas, dichos suelos cambian de nombre de acuerdo al fin con que se utiliza o al proceso de perturbación.

2.2.1 Tecnosoles

Los Tecnosoles comprenden suelos cuyas propiedades y pedogénesis están dominadas por su origen técnico. Contienen una cantidad significativa de artefactos (algo en el suelo reconociblemente hecho o fuertemente alterado por el hombre o extraído de profundidades mayores), o están sellados por material duro técnico (material duro creado por los seres humanos que tiene propiedades diferentes de la roca natural) o contienen una geomembrana.

Incluyen suelos de desechos (vertederos, lodos, escorias, desechos o escombros de minas y cenizas), pavimentos con sus materiales subyacentes no consolidados, suelos con geomembrana y suelos contruidos artificialmente. (IUSS Working Group, 2014)

2.2.2 Antrosoles

Los Antrosoles, junto a los Tecnoles, son parte del grupo de suelos cuyas características principales son altamente influenciadas por actividades humanas. Los Antrosoles se caracterizan por la adición de materia orgánica o mineral, carbón vegetal o residuos domésticos; asociadas a actividades relacionadas a la agricultura. Este tipo de suelo no tiene un material parental característico, ya que su desarrollo depende del manejo para actividades agrícolas durante periodos de tiempo prolongados (IUSS Working Group, 2014).

2.2.3 Chinampas y tlateles

Las chinampas son agrosistemas de origen prehispánico, contruidos artificialmente en zonas del lago de Xochimilco-Chalco, principalmente (Quiñones Amézquita, 2005). Desde comienzos de la ocupación humana en el lago de Texcoco, la población construyó tlateles –plataformas rectangulares para habitaciones– y chinampas –para fines agrícolas– contruidos con material excavado del fondo de los lagos (García-Calderón, *et. al.*, 2007). Las chinampas son productos únicos de la combinación de depósitos lacustres con una fuerte influencia de materiales piroclásticos, construcción artificial de suelo y manejo agrícola intensivo a largo plazo (Krasilnikov, *et al.*, 2013).

Es importante señalar que las chinampas son suelos antropogénicos realizados para optimizar la captura de agua, entre otras características, para hacer más eficientes los procesos agrícolas. Es por ello, que se consideran dentro del grupo de los Antrosoles, suelos modificados por los humanos para fines agrícolas. Por otro lado, aunque la formación de tlateles consiste también el extraer material del fondo del lago a superficie, por ser de uso habitacional, no pueden considerarse dentro del grupo de los Antrosoles, sino de los Tecnoles.

2.3 Materia orgánica en suelo

La materia orgánica se encuentra en todos los suelos y su forma y distribución depende de múltiples procesos. Gran parte de estos procesos se encuentran relacionados a la

descomposición inicial de residuos de plantas por parte de la fauna del suelo para la posterior descomposición, transporte y acumulación de sus subproductos (Stolt & Lindbo, 2010). La composición promedio del suelo consiste en 25% de aire, 25% de agua, 45% de fragmentos de roca y/o minerales y 5% de materia orgánica (Porta, *et. al.*, 2003; Buckman & Brady, 1970).

Diez gramos de suelo fértil pueden tener una población de bacterias mucho mayor a la población humana en el mundo, en la que la diversidad de sus organismos excede al millón. Un kilogramo de suelo no contaminado puede funcionar como hábitat de billones de bacterias, de actinomicetos y mil millones de hongos y una gran diversidad y abundancia de microfauna. Los organismos mencionados juegan papeles esenciales en los procesos de humificación, es decir, de la transformación de plantas, microorganismos y sus deshechos en humus. El humus en suelo y sedimentos son los mayores almacenes de carbono en el planeta (cuatro veces mayor al encontrado en la atmósfera) (Sposito, 2008).

Dado que la materia orgánica en el suelo es resultado de procesos de organismos y sus subproductos, los horizontes superficiales del suelo son aquellos que contienen mayor porcentaje de materia orgánica, comparada con los horizontes inferiores (Núñez-Solís, 2000). Siendo mayor la proporción de materia orgánica en el suelo en horizontes superiores, los aumentos de materia orgánica en horizontes no superficiales, puede atribuirse a antiguos horizontes superficiales sepultados por procesos sedimentarios, pedogenéticos o culturales.

3. Antecedentes

Los suelos estudiados en este trabajo, están asociados a ocupaciones prehispánicas en la Cuenca de México durante el periodo Formativo y Posclásico. Para ambos, la influencia antropogénica resulta un factor fundamental para comprender los rasgos del suelo (Friesem, 2016).

La interacción entre los humanos y su ambiente, dan como resultado la alteración continua a recursos naturales particulares y sus instituciones establecen parámetros para el uso y manejo de los recursos, entre ellos: el suelo. Los antiguos habitantes de la Cuenca de México confrontaron tres conflictos principales para el desarrollo de sus ciudades: (1) acceso a suficiente suelo apto para agricultura; (2) acceso al agua para agricultura; y (3) periodicidad en la producción, resultado de los efectos de la variabilidad climática, la actividad volcánica y tectónica y las fluctuaciones culturales o históricas en las redes de intercambio (McClung de Tapia, 2012; Carballo, 2015).

La presencia humana en la Cuenca de México se ha registrado desde hace 11,000 años con hallazgos en Tlapacoya y El Peñón (González et al., 2003). Cuando la agricultura comenzó a desarrollarse en la cuenca, los grupos humanos en el área se hicieron sedentarios y empezaron a organizarse en pequeños poblados, ocupando las partes bajas del valle (Lorenzo, 1981; Niederberger, 1979). En los últimos 3000 años, la ocupación humana ha sido intensa, modificando el paisaje natural por medio de una transformación del medio a la agricultura y al desarrollo urbano.

En el valle de Teotihuacán se han realizado estudios que muestran el uso y perturbación de los suelos por el impacto antrópico (Rivera-Uria, *et. al.*, 2007). La construcción del centro ceremonial de Teotihuacán implicó la utilización de grandes volúmenes de materiales, como árboles, rocas, sedimentos y suelos agrícolas (Barba, 2005; Rivera-Uria *et. al.*, 2007).

3.1 Estela de Cuiculco

El sitio Cuiculco fue descubierto alrededor de 1922 por el Dr. Manuel Gamio y Byron Cummings entre las lavas de El Pedregal (Cummings, 1926). La ocupación Cuiculca durante el periodo Formativo contó con la fuerza económica y política suficiente para erigir un complejo de edificios públicos en torno a un templo con basamento en forma de cono truncado que llegó a medir 110 m de diámetro y 25 m de altura. Dicho recinto llegó a ser ocupado por entre 5 000 y 10 000 habitantes (Ibarra-Arzave, 2015).

La Estela de Cuiculco fue descubierta en 1997 por el arqueólogo Mario Pérez Campa y se asocia a la fase inicial del desarrollo de los Cuiculcas durante el Preclásico tardío y terminal (400 a. C. -200 d. C.) (Pérez Campa, 2012). Esta Estela se describe como el primer posible testigo de una primera etapa constructiva, que posteriormente daría paso a la Pirámide Principal (Ramírez, 2012). Esta se encuentra hacia el flanco sur de la Pirámide Principal como se muestra en el diagrama de la Figura 1.

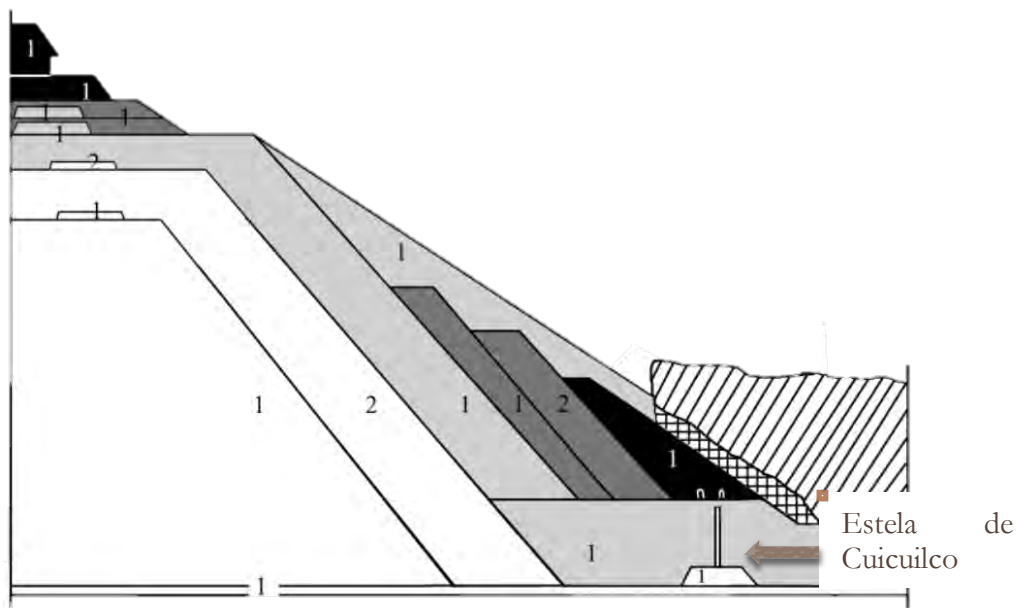


Figura 1. Diagrama de las fases constructivas de la Pirámide principal "A" de Cuiculco. Modificado de Ramírez (2012)

En cuanto a estudios de materiales edáficos en esta región, se han estudiado perfiles de suelo asociados a etapas del periodo Formativo (1500 a. C. - 200 d. C.) en la ENAH, Cuiculco y Copilco. Estos han sido enfocados a comprender el cambio ambiental de la región y la

afectación de la quema de la lava del Xitle sobre estos materiales (Ibarra Arzave, 2015; Solleiro-Rebolledo, *et al.*, 2016).

3.2 Templo Mayor

El Templo Mayor fue uno de los templos principales de la ciudad de Tenochtitlán durante el periodo Posclásico en Mesoamérica. Su construcción comenzó poco después de 1325 y se le realizaron seis expansiones superpuestas a lo largo del tiempo de ocupación Mexica.

Para el caso de la última expansión del Templo Mayor, se conoce que fueron requeridos enormes volúmenes de “tierra” mezclada con piedra para sepultar la etapa recién clausurada y construir sobre ella el nuevo agrandamiento (López Luján, 2003). Este material se encuentra documentado como “tierra” extraída de lechos lacustres o de las zonas pantanosas que se distribuían a las orillas de los lagos debido a la presencia de semillas de plantas de hábitos palustres y lacustres (Montúfar, 1995); así como escamas de pescado y caracoles de agua dulce. Se encuentran también documentadas las composiciones minerales de las arcillas (Baños, 1996; Robles, 1995) y las descripciones macroscópicas del material que hace evidente la gran dominancia de la composición arcillosa (López Luján, 2003).

Los materiales de la cubierta del cuaternario en el centro de la ciudad de México cercanos al Templo Mayor, se han descrito principalmente para reconocer sus propiedades geotécnicas (Díaz-Rodríguez J. A., 2006; López-Dinorín & Tentle-Jiménez, 2011). En dichas descripciones se clasifica a la como sedimentos heterogéneos, volcánicos, lacustres, con una proporción y variedad de microfósiles (ostrácodos y diatomeas) que adicionan compuestos solubles generados por la alteración de sus exoesqueletos y que forman parte de la microestructura del suelo (Díaz-Rodríguez, et. al., 1998). La cubierta superior con espesor variable entre 1 y 7 m, se encuentra también clasificada como suelos húmicos del Holoceno asociados a un clima semi seco (Minor García, 2014).

Díaz-Rodríguez (1998), clasifica a los materiales de acuerdo a su origen en tres grupos, como se cita textualmente a continuación:

i) Componente alóctona: consiste de minerales detríticos, tales como la plagioclasa, hornblenda, hiperstena, cristobalita, vidrio volcánico, minerales de arcilla, ceniza volcánica y materia orgánica. Todos estos componentes son resultado de la erosión de la cuenca.

ii) Componente autóctona: incluye precipitado de calcita bioquímica (valvas de ostrácodos y conchas de gastrópodos), sílice biogénica (frústulas de diatomeas), olitos, y materia orgánica.

iii) Componente diagenética: incluye componentes que se formaron de la alteración de vidrio volcánico o de la inestabilidad de otros componentes primarios después de su depositación (sílice, ópalo y minerales ferromagnesianos). Se identifican ópalo-CT, cristobalita, goetita, calcita y pirita.

Cabe la duda si de acuerdo a esta clasificación, la última componente es realmente diagenética o pedogenética, debido a que menciona alteración de los minerales después de su depositación, procesos posiblemente pedogenéticos.

4. Área de estudio

4.1 Localización



Figura 2. Mapa de la Cuenca de México cerca de 1519. Se muestra la localización de los lagos de la misma. En el centro, con una estrella amarilla, se señala la localización del Templo Mayor de la Gran Tenochtitlán, en un islote en medio del Lago de Texcoco. Con una estrella naranja, se señala la localización de la Estela de Cuicuilco. El mapa fue modificado de <http://barriodetultenco.blogspot.mx/2011/01/el-embujo-del-lago.html>

Para fines de esta tesis, se analizaron bajo pruebas analíticas y micromorfológicas, dos perfiles pertenecientes a dos ocupaciones distintas en temporalidad y localización dentro de la Cuenca de México. Estos dos perfiles se localizan en el primer centro urbano de la cuenca: Cuicuilco y el último gran centro urbano: Templo Mayor, de la época prehispánica. El primer perfil, correspondiente al periodo Formativo; la Estela de Cuicuilco con coordenadas $19^{\circ} 18' 6'' \text{ N}$, $99^{\circ} 10' 54'' \text{ W}$ o 19.301667° , -99.181667° (Figura 3). El segundo perfil, correspondiente al periodo Posclásico con coordenadas Templo Mayor: $19^{\circ} 26' 6'' \text{ N}$, $99^{\circ} 7' 53'' \text{ W}$ o 19.435° , -99.131389° .

La Cuenca de México es una altiplanicie rodeada de montañas volcánicas de edad Plio-Cuaternaria que se localiza entre los $98^{\circ} 15' - 98^{\circ}30'$ y los paralelos $19^{\circ}00' - 20^{\circ}15'$. Su altitud varía de 2 240 msnm en el sur, a 2 390 msnm al norte; la longitud máxima es de 110 km, de norte a sur y la mínima de 80 km, de este a oeste; su área aproximada es de 9 600 km² integrando a su territorio parte de la Ciudad de México, Estado de México, Hidalgo, Tlaxcala y Puebla (Figura 2) (Gutierrez de MacGregor, *et. al.*, 2005).



Figura 3. Fotografía Satelital de la Zona Arqueológica de Cuicuilco. Se observa el anillo periférico y Avenida Insurgentes rodeando la zona. En el centro, se observa el gran basamento y a su derecha –hacia el sur– se señala con una flecha amarilla la localización de la Estela de Cuicuilco debajo de una lona verde. Imagen tomada y modificada de Google Maps.



Figura 4. Fotografía Satelital de la Zona Arqueológica de Templo Mayor. Para referencia, se observa el museo del Templo Mayor. Con una flecha roja, se señala la localización del perfil de muestreo, debajo de la lona blanca señalada; del lado Poniente del Templo Mayor. Imagen tomada y modificada de Google Maps.

4.2 Marco Geológico

En el Mioceno inferior, cuando aún no se formaban las grandes sierras que hoy rodean la cuenca, la zona estaba abierta y el agua tenía salidas al sur y al noreste. Durante el Mioceno superior, la sierra de Pachuca cerró salida al noreste, lo que originó que el sur se convirtiera en el único desagüe. Hace apenas 700 000 años, durante el cuaternario superior, al formarse la sierra del Chichinautzin –en el límite hacia el sur–, la zona fue transformada en una unidad hidrográfica cerrada (Imaz, 1989).

Debido a la intensa actividad volcánica de rocas andesítico-basálticas de la sierra del Chichinautzin, se interrumpió el drenaje existente hacia el sur debido a la acumulación de lavas y productos volcanoclásticos; depósitos que al alcanzar una altura considerable, formaron una represa natural. Estas nuevas condiciones favorecieron la existencia de lagos y el azolvamiento paulatino de todo el territorio (Gutierrez de MacGregor, *et. al.*, 2005).

4.3 Hidrografía y clima

A pesar de que la cuenca de México se caracteriza de manera natural como una unidad endorreica, presenta numerosas infiltraciones y escurrimientos. En la Sierra del Chichinautzin, en la porción sur, se presenta la mayor cantidad de infiltraciones y escurrimientos. En la cuenca se recoge los escurrimientos que se generan en las sierras de Las Cruces y Nevada (Imaz, 1989).

La temperatura promedio anual es de 15 grados centígrados. La mayor parte de los 700 milímetros de agua de lluvia que caen anualmente en la región se concentra en unas cuantas tormentas intensas, las cuales se presentan por lo regular de junio a septiembre; durante el resto del año las precipitaciones pluviales suelen ser escasas o nulas. (National Research Council, *et. al.*, 1995)

En la cuenca se presentan varios subtipos climáticos a causa de la influencia que la altitud y el relieve ejercen sobre la temperatura, la precipitación y la circulación atmosférica. Encontramos dos sistemas generales de vientos: de mayo a septiembre dominan los vientos alisios del oeste (westerlies) típicos de las latitudes medias que propician la sequía característica de esta época del año. Debido a las montañas que rodean la cuenca, la velocidad de los vientos suele ser lenta (10 km/h), sin embargo, en los meses de febrero y marzo aumenta la turbulencia del aire hasta 72 km/h, provocando las tolveneras típicas de esta parte del año (Imaz, 1989).

El lago de Texcoco por su ubicación en la parte más baja del Valle y ausencia absoluta de drenaje natural ha constituido el sitio de mayor concentración de sales solubles, cuyo exceso se ha ido impregnando en el suelo y en el subsuelo, llegando probablemente a considerables profundidades (Rzedowski, *et al.*, 2005). Sin embargo, durante la ocupación Mexica, el albarradón de Nezahualcóyotl separó la porción de agua salada de la porción de agua dulce

4.4 Relieve

En el Valle de México, de acuerdo a (Borja Osorno, 1948), 5/8 de su superficie se encuentra en la región plana mientras que los 3/8 restantes se encuentran en la franja montañosa.

En la región plana, correspondiente a la parte más baja de la cuenca, coincide la presencia de la región lacustre ubicada entre 2230 y 2250 m de altitud. En estas llanuras se encuentra el lago de Texcoco (figura 2), donde se asentó la cultura Mexica, responsable de la construcción del Templo Mayor.

5. Metodología

5.1 Trabajo de Campo

5.1.2 Estela de Cuiculco

Para Cuiculco, se realizó una visita preliminar al área de la Estela, la cual fue excavada sin modificar su posición y sin llegar a su apuntalamiento (Figuras 5 y 6). Circundante a la Estela, se encontraba ya descubierta el área de muestreo. Posterior a esta visita preliminar, se realizó el muestreo en el que se descubrió un perfil en el que se reconocieron 14 capas distintas de acuerdo al cambio de friabilidad, estructura, textura al tacto y coloración. (Siebe, *et. al.*, 2006)

Además de estas capas reconocidas, se realizó una perforación en el piso de la cava con un núcleo de prospección de un diámetro de aproximadamente dos centímetros y un metro de

profundidad; con la finalidad de obtener una muestra de una región más profunda no-expuesta. En este muestreo, se reconocieron 5 capas más cuya descripción y reconocimiento de las diferencias entre capas se realizaron en laboratorio (Figura 10).

Tanto para el muestreo de la pared circundante a la Estela como para el núcleo de prospección, se tomaron muestras de



Figura 5. Fotografía de planta de la Estela de Cuiculco. A la derecha de la misma, se observa la pared de suelo de donde fue muestreado el material pedosedimentario de esta tesis.



Figura 6. Muestreo del núcleo de prospección al fondo de la cava realizada para desenterrar la Estela.

material suelto –para análisis de laboratorio– y

de bloques inalterados –para lámina delgada–. Las muestras tomadas para láminas delgadas, se tomaron bloques moldeados en forma de paralelepípedo con una espátula, para después ser envueltos en papel aluminio con la finalidad de mantener la estructura original.

5.1.2 Templo Mayor

El muestreo para el Templo Mayor forma parte de la Operación 29 del proyecto Templo Mayor 8 (PTM-8) a cargo de Leonardo López Luján y Julia Pérez Pérez. En éste, se realizaron muestreos de las capas previamente identificadas en el proyecto arqueológico mencionado. El corte de terreno y la discriminación de las capas constituyentes del perfil se encontraban ya hechas, por lo que el trabajo de muestreo se redujo a la descripción del perfil de acuerdo a la textura al tacto, color, morfología, friabilidad. (Siebe, *et al.*, 2006)

Para este caso, se describieron rellenos culturales de material suelto; así como membranas culturales denominadas pisos y firmes que se describen como niveles de apisonamiento o de piso conformante de las últimas expansiones del Templo Mayor (IUSS Working Group, 2014).

También para este perfil se muestreó material suelto para análisis de laboratorio (únicamente para rellenos) y bloques (tanto para los rellenos como para los pisos y sus fronteras con los rellenos).



Figura 7. Fotografía de campo del perfil del PTM-8 propiedad de Julia Pérez Pérez y Leonardo López Luján. Fotografía del perfil posterior al muestreo con las marcas de las regiones de donde fue tomado el material para la realización de esta tesis. En la parte inferior de la fotografía se observa una laja de piso con un petrograbado del rostro de Tlaloc, el cual, se correlaciona con el piso 4 de acuerdo a la clasificación de las capas realizadas en campo.

La nomenclatura de las capas diferenciadas en los resultados se tomaron a partir de la asignada por el Informe de la Operación 29 del Proyecto Templo Mayor (Aguilar-Tapia, 2016), de acuerdo a las observaciones realizadas durante toda la excavación de dicho proyecto.

5.2 Análisis de Laboratorio

5.2.1 Preparación de muestras

Para las pruebas de laboratorio, se dispuso el material muestreado en campo sobre charolas limpias para dejarse secar a temperatura ambiente en un espacio cerrado y aislado para evitar su contaminación. Posterior al secado, las muestras se tamizaron a un tamaño de malla de 2mm, para permitir el análisis de la fracción activa del suelo.

5.2.2 Medición de pH

La medición de pH se realizó en el Laboratorio de Geoquímica Ambiental del Instituto de Geología de la UNAM a cargo del Dr. Francisco Romero y Fabiola Vega.

Se dispuso el suelo previamente secado y tamizado en una solución de 1g de suelo en 5mL de agua destilada en frascos Nalgene cerrados. Se agitaron las soluciones durante tres horas en la mesa agitadora marca Thermo Scientific modelo MaxQ 2000.

Posterior a la agitación, se realizaron las mediciones con dos repeticiones por cada perfil de suelo y la calibración con tres estándares de pH 4, 7 y 10 respectivamente. La medición se realizó con el equipo Denver Instrument UB-10 ph/mv Meter Ultra BASIC.

5.2.3 Medición de conductividad eléctrica

Se realizó esta prueba en el mismo laboratorio que en el que se realizó la medición de pH con la misma solución de 1g de suelo en 5mL de agua destilada utilizada en la prueba anterior. La medición se realizó con el dispositivo Oakton CON700 Conductivity/°C/°F meter.

5.3.4 Medición de carbono total mediante el método de pérdida por calcinación

Se realizó la medición de carbono total mediante pérdida por calcinación e acuerdo a los parámetros de (Jackson, 1958). Se realizaron las pruebas en crisoles de porcelana, cuyos pesos sin muestra se registran después de calentarse a 100 °C (peso sin humedad), a 450 °C (temperatura a la que se pierde el carbono orgánico) y a 900 °C (temperatura a la que se pierde

el carbono inorgánico). Posterior al último registro del peso después de calentarse a 900 °C, se colocó alrededor de 3 g de muestra en cada uno de los crisoles y se registró el peso obtenido. Después, se calentaron los crisoles a 100 °C durante 24 h en un horno, cuyo peso se registró también para tener el peso inicial de la muestra sin humedad. Habiendo removido la humedad de las muestras con el correspondiente registro de sus pesos, se colocaron las muestras en la mufla a 450 °C durante 5 horas, para perder el carbono orgánico. Este peso se registró y se procedió a calentar de nuevo las muestras en la mufla durante 5 horas a 900 °C para eliminar el carbono inorgánico restante. El cálculo del carbono se realizó a partir de las diferencias de peso posterior a cada calentamiento de las muestras a 450 °C (Ecuación 1) y 900 °C (Ecuación 2). Para realizar los gráficos y el cálculo del carbono en porcentaje, se realizaron los cálculos de acuerdo a las ecuaciones 3 (para carbono orgánico) y 4 (para carbono inorgánico).

$$\text{Carbono orgánico} = \text{peso a } 100\text{ }^{\circ}\text{C} - \text{peso a } 450\text{ }^{\circ}\text{C} - \text{peso del crisol}$$

Ecuación 1. Cálculo del peso en gramos de la cantidad de carbono orgánico.

$$\text{Carbono inorgánico} = \text{peso a } 450\text{ }^{\circ}\text{C} - \text{peso a } 900\text{ }^{\circ}\text{C} - \text{peso del crisol}$$

Ecuación 2. Cálculo del peso en gramos de la cantidad de carbono inorgánico.

$$\text{Porcentaje en peso de carbono orgánico} = \frac{\text{Ecuación 1}}{\text{peso de la muestra a } 100\text{ }^{\circ}\text{C}} * 100\%$$

Ecuación 3. Cálculo del porcentaje en peso de carbono orgánico.

$$\text{Porcentaje en peso de carbono inorgánico} = \frac{\text{Ecuación 2}}{\text{peso de la muestra a } 100\text{ }^{\circ}\text{C}} * 100\%$$

Ecuación 4. Cálculo del porcentaje en peso de carbono inorgánico.

5.3.5 Fluorescencia de Rayos X

La prueba de fluorescencia de Rayos X se realizó también en el Laboratorio de Geoquímica Ambiental del Instituto de Geología de la UNAM a cargo del Dr. Francisco Romero y Fabiola Vega.

Para la realización de esta prueba, se trituro la muestra previamente secada y tamizada en un mortero de ágata hasta llegar al tamaño de malla 60. El material triturado se dispuso en bolsas de plástico transparente y se realizó la medición en el dispositivo Thermo Scientific Niton XL3t XRF Analyzer.

Se realizó la medición de estándares entre cada 10 mediciones, así como al comienzo y al final de la medición. Se calculó la exactitud de las mediciones de acuerdo a las ecuaciones 5 y 6. A partir de ellos, se calculó la exactitud en la tabla 1, elementos cuya exactitud es mayor al 80% y son los que se reportaron en esta tesis.

$$\% \text{ de error} = \left(\frac{\text{certificado} - \text{promedio de las tres mediciones}}{\text{certificado}} \right) 100\%$$

Ecuación 5. Cálculo del porcentaje de error tomando en cuenta los estándares medidos (Blanco, Till4 y Montana) de acuerdo a los reportados en tablas versus las mediciones realizadas.

$$\text{Exactitud} = 100 - \% \text{ de error}$$

Ecuación 6. Cálculo de la exactitud a partir de los resultados obtenidos en la fórmula anterior; reportando en porcentaje.

Tabla 1. Exactitud calculada de acuerdo a las Ecuaciones 5 y 6 para los elementos reportados en los resultados de fluorescencia de Rayos X.

Elemento	Exactitud
As	91.3%
Ca	87.6%
Cr	73.8%
Cu	94.2%
Fe	92.3%
K	92.6%
Mn	97.6%
Mo	91.7%
Pb	99.9%
Rb	97.9%
Sr	99.8%
Ti	98.3%
W	95.7%
Zr	81.3%

5.2.6 Preparación de láminas delgadas

La preparación de láminas delgadas se realizó en el Taller de laminación de suelos y materiales no consolidados a cargo del M. en C. Jaime Díaz Ortega.

En campo, se tomaron los bloques inalterados cubiertos en papel aluminio o en cajas Kubiena para laminación. Primero, se secaron los bloques a temperatura ambiente, a la sombra y en un ambiente cerrado, descubriendo un área superficial pequeña de la parte superior de los mismos y sacándolos de las bolsas de plástico que los contenían. A las muestras tomadas en las cajas Kubiena, se les quitó la tapa de una de sus caras y se dispusieron horizontalmente para su secado. Este proceso tomó alrededor de cuatro semanas, en particular a las muestras de Templo Mayor cuya humedad era muy alta y su fragilidad también.

Posterior al secado, se colocaron en bolsas de plástico pequeñas con un etiquetado en lápiz para después cubrirse de resina 2cm arriba de la muestra. La resina utilizada se preparó con 70% en volumen de Resina poliéster marca Poliformas, 30% en volumen de monómero de estireno, 7 gotas de promotor NVC y 40 gotas de catalizador K2000. Estas muestras se colocaron en una cámara de vacío durante 30 minutos para después, secarse siete días a la sombra. Posterior a estos siete días, se sacaron al sol para continuar el proceso de secado.

Una vez secas, se cortaron por la mitad con un disco de diamante y se cortaron en bloques del tamaño de un cristal para disponer la muestra. Se pulió la cara cortada mediante lijas de grano 80, 120, 240, y 360 en ese orden. Una vez obtenida una cara pulida, lisa y sin protuberancias, se cubrió ésta con una capa delgada de resina UV y sobre ella un cristal pulido evitando la formación de burbujas. Habiendo posicionado correctamente el cristal, se sacó cuatro segundos al sol para terminar la adhesión del cristal a la muestra.

El bloque con el cristal fueron rebajados mediante PetroThin Thin Sectioning System marca Buehler a un grosor milimétrico. Para terminar el pulimiento hasta los 30 μm necesarios, se pulieron las láminas mediante abrasivos en polvo de tetracarburo de silicio de 240, 360, 600 y 1000 granos en ese orden. Una vez obtenido el grosor ideal, se limpió la lámina, se rotuló con un lápiz de diamante y se cubrió con tres cubreobjetos alineados con la resina UV utilizada con anterioridad.

Las láminas delgadas se analizaron en un microscopio petrográfico Olympus BX51 mediante el software Image-Pro Plus.

6. Resultados

6.1 Descripción en campo

6.1.1 Estela de Cuicuilco

En el perfil de la pared, de 259 cm de profundidad, se reconocieron 14 capas de suelo (Figuras 8 y 9) que en campo, a macro-escala, se pueden reconocer por el cambio de coloración, textura, límites abruptos y friabilidad. En un segundo muestreo, realizado mediante un núcleo de prospección (Figura 10), se reconocieron cinco capas de acuerdo al mismo parámetro anterior. Las descripciones de campo se encuentran en la tabla 2.



Figura 8. Fotografía del perfil de la Estela de Cuicuilco. La fotografía fue tomada dentro de la cava donde se observan a macroescala los cambios de coloración entre pardas y parda amarillenta. Resaltan en la parte superior los límites irregulares y en el centro, los límites abruptos entre los contactos de la capa E7. A partir de los 11dm, se observan las coloraciones más amarillentas seguidos de límites más irregulares.

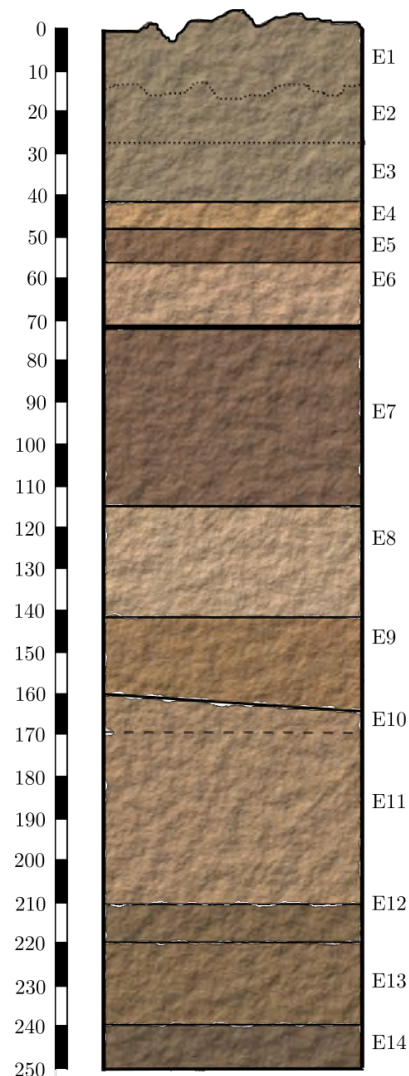


Figura 9. Diagrama del suelo Estela de Cuicuilco



Figura 10. Fotografía de laboratorio con la parte superior del núcleo de prospección con las capas E15, E16 y E17. Se observan cambios más graduales de coloración con tonalidades más oscuras en la parte superior (E15) y más amarillentas en la parte inferior (E16 y E17).

El perfil denominado Estela, en su fase descubierta en la pared circundante a la misma, se encuentra en el flanco sur de la pirámide principal de Cuicuilco. En su superficie, a diferencia de los perfiles cercanos encontrados por (Ibarra-Arzave, 2015), no se encuentra capa alguna de ceniza o rasgos asociados a la quema del suelo por parte de la actividad del Xitle.

En los primeros 48 cm de suelo se encontraron materiales pardos, ricos en materia orgánica, dispuestos en capas delgadas y caracterizados por los contactos irregulares y difusos, con cambios de coloración a tonos más amarillentos. En este bloque se caracterizaron las capas E1 a E4.

Para las capas E5, E6 y E7, se encontró en campo un cambio abrupto –respecto a la serie de capas superiores– en los límites entre capas, encontrándose ahora planos, mucho más claros y con horizontes de mayor profundidad. Resalta entre estos, la capa E6, que presenta

una coloración parda más oscura que sus capas inferior y posterior.

Debajo de la capa E6, los límites, coloraciones presentan coloraciones pardas más amarillentas, espesores menores y límites mucho menos abruptos que las capas E5, E6 y E7. Sin embargo, destaca la capa E9 cuyo límite inferior se registró como plano el inclinado con coloración parda más oscura. Los colores del material presentan también coloraciones pardas y pardo amarillentas respectivamente, de acuerdo a la tabla 2.

En cuanto a las muestras del núcleo de prospección, se encontraron en la parte inferior, capas cuyas características principales son completamente distintas a las capas superiores. Tal es el caso de las capas E18 y E19, que presentaron estructuras más parecidas al suelo natural reportado por (Ibarra-Arzave 2015) Luvisoles. En particular, la capa E19 presentó abundantes

cutanes de arcilla formados *in situ*, con estructura en bloques angulares, muy compacto y de tonalidades pardas más amarillentas.

Tabla 2. Descripción de campo del perfil de la Estela de Cuicuilco. Las capas E15 a E19 fueron descritas en laboratorio a partir de la observación a macroescala del material extraído mediante el núcleo de prospección.

Clave	Profundidad [cm]	Descripción	Límite inferior
E1	0-14	Color pardo oscuro, textura limo-arcillosa, con fragmentos de ceniza, estructura en bloques subangulares y granulares.	Irregular y difuso.
E2	14-27	Color pardo oscuro, con presencia de carbón, estructura en bloques subangulares, textura limosa. Presenta pequeñas motas de ceniza	Horizontal y difuso.
E3	27-43	Color pardo oscuro, estructura en bloques subangulares, textura limosa. Presencia de gravillas, pequeñas rocas y partículas pequeñas de carbón.	Claro y horizontal.
E4	43-48	Color pardo oscuro, estructura en bloques subangular a granular. Textura limosa. Presencia de gravillas pequeñas y motas de ceniza. Muestra una lenticula de material pardo claro en estructura de bloques subangulares más compacta.	Claro y horizontal.
E5	48-57	Color pardo oscuro, estructura granular, textura limosa con menos arcilla que la capa inferior. Presencia de pequeñas gravillas, pequeños fragmentos de carbón y ceniza. Presenta poca compactación.	Claro y horizontal.
E6	57-71	Color pardo, estructura en bloques subangulares. Textura limosa, con poca arcilla, con pequeñas de ceniza y muy pequeños fragmentos de carbón.	Abrupto, horizontal y claro.
E7	71-115	Color pardo muy oscuro. Estructura en bloques subangulares frágiles de tamaño mediano. Textura limosa con pequeños moteados más pálidos. Presencia de gravillas redondeadas de 1cm y más pequeños.	Claro y horizontal.
E8	115-143	Color pardo amarillento. Inclusiones oscuras de materiales oscuras, materiales oscuros de material limoso: ceniza volcánica. Fragmentos de pómez y presencia de krotovinas.	Claro y horizontal.
E9	143-160	Pardo amarillento de estructura en bloques angulares. Textura limosa, gravillas redondeadas hechas de arcilla con presencia de carbón y con tendencia a cierta laminación.	Abrupto e inclinado.
E10	160-170	Color pardo oscuro. Estructura granular, textura arcillo-arenosa. Abundante carbón, con fragmentos de pómez. Acuñaado hacia el norte. Presencia de moteados más claros. Guarda humedad.	Claro y horizontal.

E11	170-210	Color pardo amarillento. Moteado de color más oscuro pardo amarillento. Estructura en bloques angulares. Frágil. Textura limo-arcillosa. Fragmentos de pómez intemperizado. Fragmentos de grava. Presencia de rellenos de color pardo, parecidos a krotovinas.	Irregular.
E12	210-220	Color pardo con estructura de bloques angulares a subangulares de tamaño mediano firme. Textura limosa, inclusiones de material más oscuro de tamaño arcilla. Presencia de fragmentos de basalto.	Claro y horizontal.
E13	220-240	Color pardo oscuro, estructura subangular a granular. Textura limo-arcillosa, con pómez intemperizada. Fragmentos de roca y de carbón. Presencia de ceniza y de cutanes de arcilla.	Gradual.
E14	240-250	Color pardo amarillento. Estructura de granular a subangular, bloques friables. Textura limo-arcillosa con fragmentos de pómez con cierto grado de intemperismo.	Piso de la excavación.
E15	250-259	Capa de material que ha caído desde que se realizó la excavación.	Difuso e irregular.
E16	259-271.5	Estructura en bloques subangulares. Muy arcilloso, pardo negruzco, ligeramente compacto	Plano, claro y abrupto.
E17	271.5-302	Estructura friable de bloque subangulares pequeños. Pardo oscuro con motas amarillentas (más claro que el superior, más oscuro que el inferior. Textura areno-limosa.	Difuso, poco claro e irregular.
E18	302-322.5	Estructura en bloques subangulares. Color pardo con motas amarillentas y rojizas en forma de venas (rasgos reductomórficos). Textura al tacto areno-limosa.	Difuso e irregular.
E19	322.5-335	Horizonte Bt diagnosticado en campo. Estructura en bloques angulares, muy compacto. Textura arcillosa. Presencia de cutanes de arcilla. Guarda mucha humedad. Color pardo amarillento.	No visible.

6.1.2 Templo Mayor

El perfil pedosedimentario del Templo Mayor PTM-8 (figuras 11 y 12) presenta en su generalidad, una coloración pardo grisácea oscura con capas intermitentes de restos de estuco denominados pisos o firmes de ocupación. En este perfil, se reconocieron dos pisos donde se encontraron lajas de estuco del piso de cada expansión y cuatro firmes, caracterizados por los encargados del PTM-8, los cuales, representan capas muy delgadas de aplanamiento del material de relleno para conformar superficies de ocupación. Se reconocieron también ocho capas de rellenos culturales de material pedosedimentario, las cuales se diferenciaron de acuerdo al reconocimiento de pisos o firmes o bien, por cambios de coloración, estructura o textura.



Figuras 11 y 12. Fotografías de campo, propiedad del PTM-8 a cargo de Leonardo López Luján y Julia Pérez Pérez. Perfil Templo Mayor en el que se observan las capas de material pardo oscuro muy grisáceo con moteados pardo grisáceo.

En campo, se observó mayor presencia de estuco en las capas superiores, particularmente en los denominados Relleno 1, Relleno 2 y Firme 1. En capas inferiores se encontraron también presencia de estos estucos pero en menor proporción.

Las capas denominadas Relleno 2, Relleno 4 y Relleno 6 se caracterizaron por ser las capas delgadas de colores más oscuros con mayor presencia de materia orgánica y de textura más arcillosa.

En general, se encontró poca estructura de suelo en las capas de relleno, al caracterizarse como material muy compacto, con alto contenido de humedad, alto contenido de arcilla y manchones irregulares de material más grisáceo.

En el relleno tres, se encontraron manchas de coloración más grisácea, así como raíces frescas y moteados de material pardo grisáceo. Las descripciones se encuentran a mayor detalle en la tabla 3 a continuación.

Tabla 3. Descripción de campo del perfil PTM-8.

Clave	Profundidad [cm]	Descripción	Límite inferior
Piso 1	0-15	Estuco blanquecino, duro. Andesita de Lamprobolita, asociada a la etapa VI-2 del gobierno de Ahuizotl por el PTM-8	Abrupto e irregular
Firme 1	15-24	Material pardo oscuro con aparente presencia de carbonatos (tipo estuco) en la base de las lajas de andesita.	Horizontal y difuso.
Relleno 1	24-43	Material pardo oscuro, de textura arenosa, sin estructura, muy deleznable.	Claro y horizontal.
Piso 2	43-44	Andesita de lamprobolita, asociada a la etapa VI-1 del gobierno de Ahuizotl por el PTM-8	Claro y horizontal.
Relleno 2	44-60	Material pardo oscuro, arcilloso; aparentemente rico en materia orgánica.	Claro y horizontal.
Firme 2	60-70	Material pardo oscuro, sin estructura, con presencia aparente de carbonatos tipo estuco.	Abrupto, horizontal y claro.
Relleno 3	70-104	Material pardo, de textura arcillo-limosa. Presenta raíces frescas y gruesas con “aureolas” o “anillos de intemperismo”.	Claro y horizontal.
Relleno 4	104-125	Material pardo muy oscuro, de textura arcillosa. Aparentemente rico en materia orgánica, sin estructura.	Claro y horizontal.
Firme 4	125-132	Petrograbado Tlaloc en la superficie, con aparente presencia de carbonatos tipo estuco.	Abrupto e inclinado.
Relleno 5	132-158	Material pardo oscuro, de textura arcillosa	Claro y horizontal.
Relleno 6	158-175	Capa irregular de material pardo muy oscuro, de textura arcillosa.	Irregular.
Relleno 7	175-200	Material pardo oscuro, textura arcillosa. Alto contenido de humedad.	Claro y horizontal.
Firme 4	200-205	Capa con aparente presencia de estuco en capa de material pardo oscuro.	No visible.
Relleno 8	205-¿?	Material pardo oscuro, de textura arcillosa, compacto. Alto contenido de humedad.	Piso de la excavación.

6.2 Determinación de pH

6.2.1 Estela de Cuicuilco

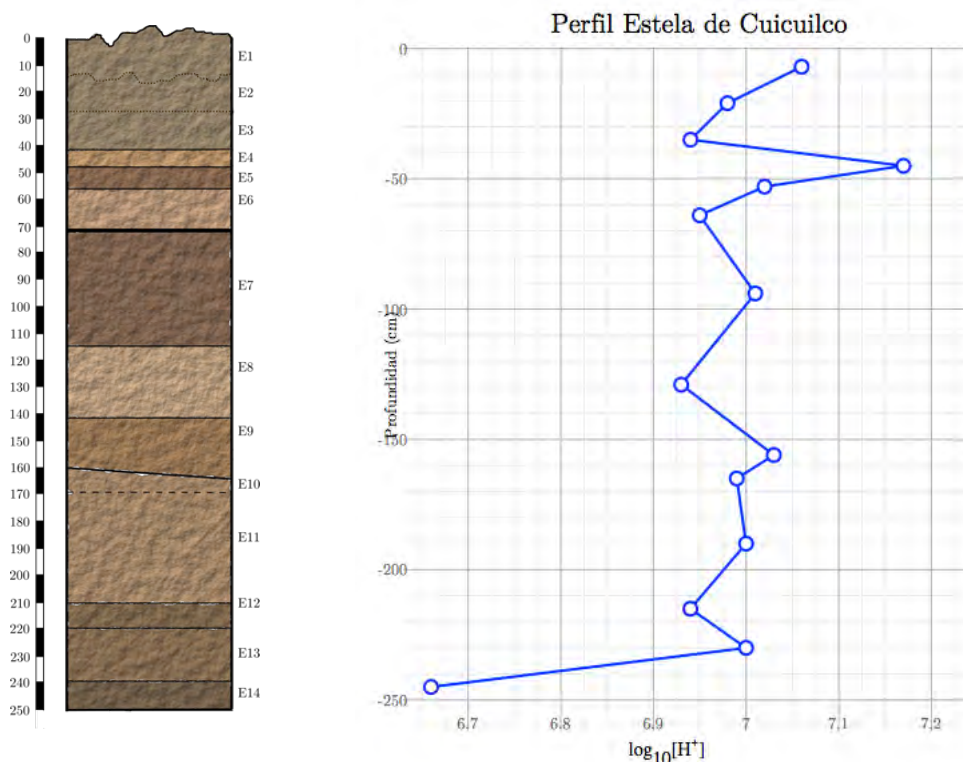


Figura 13. Gráfica de pH registrada para el perfil de la Estela de Cuicuilco.

El pH de la Estela de Cuicuilco en la figura 13, se registró en un rango de 6.9 a 7.1, con dos puntos fuera de esta tendencia, uno en la capa más inferior en la capa E14, ligeramente más ácido de 6.68 y en la capa E4, ligeramente más básico, con un pH de 7.18.

De acuerdo a la USDA (1993), los resultados arrojados para la medición de pH se encuentran dentro del rango de un pH neutro, donde el rango reportado para la USDA se encuentra entre 6.6 y 7.3 y el registrado para el perfil Estela se encuentra entre 6.68 y 7.18. Dada la diferencia de pH entre el mayor y menor resultado menor a una unidad, se puede considerar que el pH encontrado se caracteriza por cierta homogeneidad a lo largo del perfil.

6.2.2 Templo Mayor

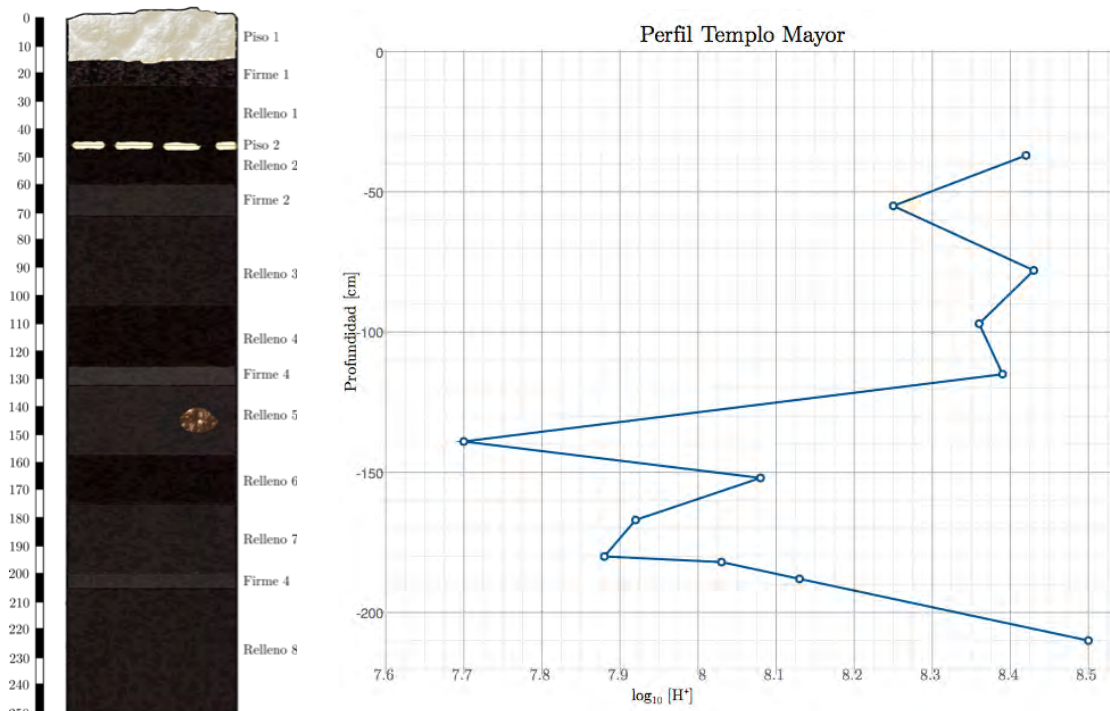


Figura 14. Gráfica de pH registrada para el perfil Templo Mayor.

La medición de pH para el perfil del Templo Mayor, mostrada en la figura 14, presentó valores entre 7.7 y 8.5; con una variación de 0.8 entre la menor y la mayor medición. El valor más alto de pH se registró en el Relleno 8, la capa más inferior de todas, mientras que el menor pH se registró para la capa Relleno 5. Las capas superiores muestran valores más básicos en tanto que las inferiores son ligeramente más neutras.

La desviación estándar calculada para el pH medido para el Templo Mayor fue de 0.256 y el valor promedio de 8.17.

A diferencia del perfil de la Estela, el rango de pH resultó más amplio de 0.8 unidades. El rango registrado de 7.7 a 8.5, se encuentra, de acuerdo a la USDA, dentro del rango de los suelos moderadamente alcalinos (7.9 – 8.4). El último punto, correspondiente al Relleno 8, es el que presenta la mayor alcalinidad, con el valor de 8.5, que a la vez, coincide con el Relleno

que al momento del muestreo, se encontraba saturado en agua, pues se tuvo que retirar agua de la cava para poder muestrear.

El relleno 8 además de tener el valor más alto de pH, también registró el mayor contenido de carbono inorgánico y de calcio total de acuerdo a la fluorescencia de rayos X. Esto podría sugerir aporte de iones de calcio en solución por parte de carbonatos presentes en esta capa.

6.3 Determinación de conductividad eléctrica

6.3.1 Estela de Cuiculco

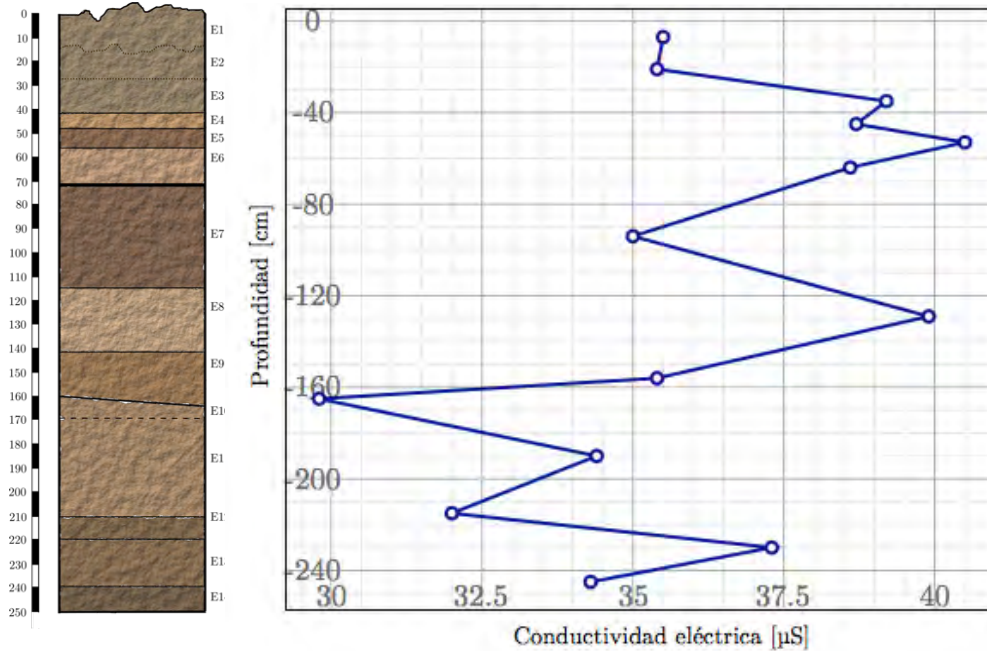


Figura 15. Resultados de la medición de conductividad eléctrica para el perfil de la Estela de Cuiculco.

La conductividad eléctrica en la Estela (figura 15), se encontró en un rango entre los 29.8 y 40.5 μS , que de acuerdo a los parámetros de la USDA, se encuentra en el rango de los 0–2 dS, correspondiente a los suelos no salinos. A pesar de que la conductividad eléctrica registra una desviación estándar mayor al pH, al reportar las unidades dentro de los μS , la variación entre los valores reportados resulta ser poca.

En los resultados de la conductividad eléctrica, se registraron familias de puntos en las que, para los rellenos 7, 6 y 5 se registraron los valores máximos entre 640 y 800 μS . A pesar de que los valores máximos de conductividad eléctrica para el Templo Mayor fueron mayores que para la Estela de Cuiculco, la conductividad eléctrica se encuentra también dentro del rango de los 0-2 dS catalogado por la USDA como suelos no salinos. Al igual que para el pH, la desviación estándar de la conductividad eléctrica fue mayor a la de la Estela de Cuiculco, indicando más variación entre los valores medidos a lo largo del perfil.

El valor promedio de conductividad eléctrica de este perfil es de $36.14 \mu\text{S}$ y su desviación estándar de 3.07

6.3.2 Templo Mayor

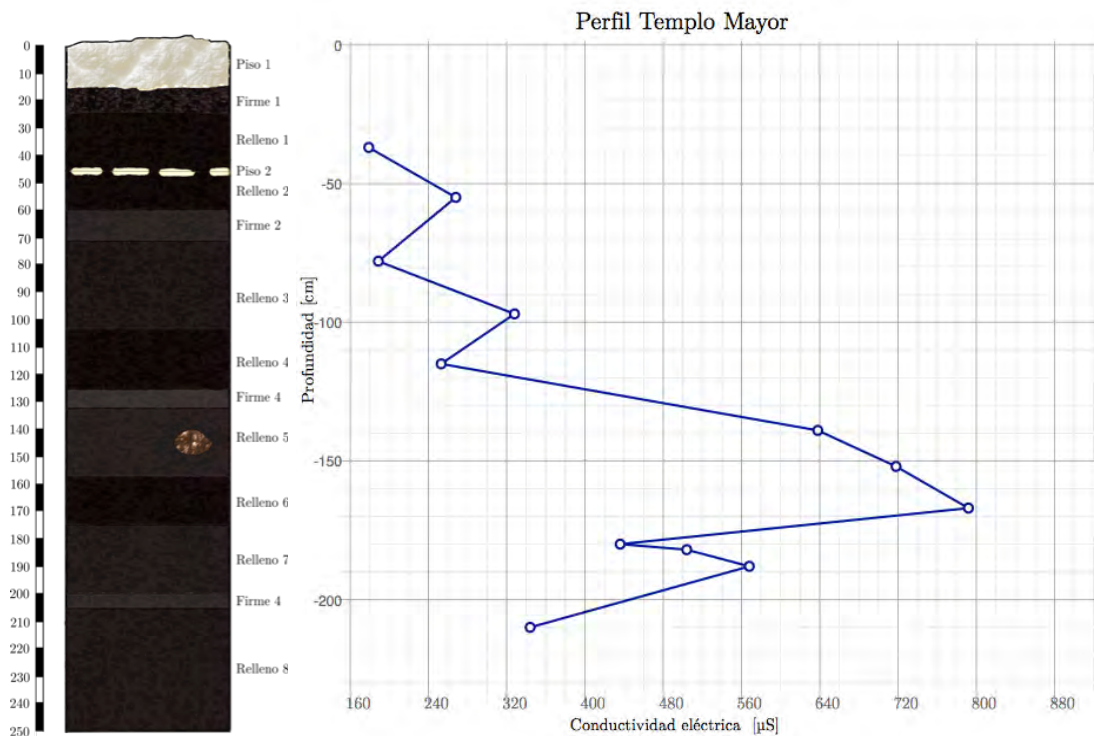


Figura 16. Resultados de la medición de conductividad eléctrica para el perfil del Templo Mayor.

Los valores de conductividad eléctrica para el perfil del Templo Mayor (figura 16), se encuentran en un rango entre los 188.8 y los 792 μS , dando un rango de 603.2 μS entre el máximo y el mínimo valor. El menor valor de conductividad se encuentra en la parte superior del perfil, en el Relleno 1 con un valor de 179 μS y el mayor valor, se encuentra en el Relleno 6, con un valor de 792 μS .

No se observan patrones graduales de cambio entre los valores. Sin embargo, se observan valores cercanos entre sí entre las tres mediciones del Relleno 7 inferior, superior y la mancha café; así como entre los resultados del Relleno 5 superior, Relleno 5 inferior y Relleno 6; y entre Relleno 1, Relleno 2, Relleno 3 superior y Relleno 3 inferior.

El valor promedio de la conductividad eléctrica para el perfil del Templo Mayor es de 434.73 μS y su desviación estándar de 208.47.

6.4 Medición de carbono total por pérdida por calcinación

6.4.1 Perfil Estela de Cuicuilco

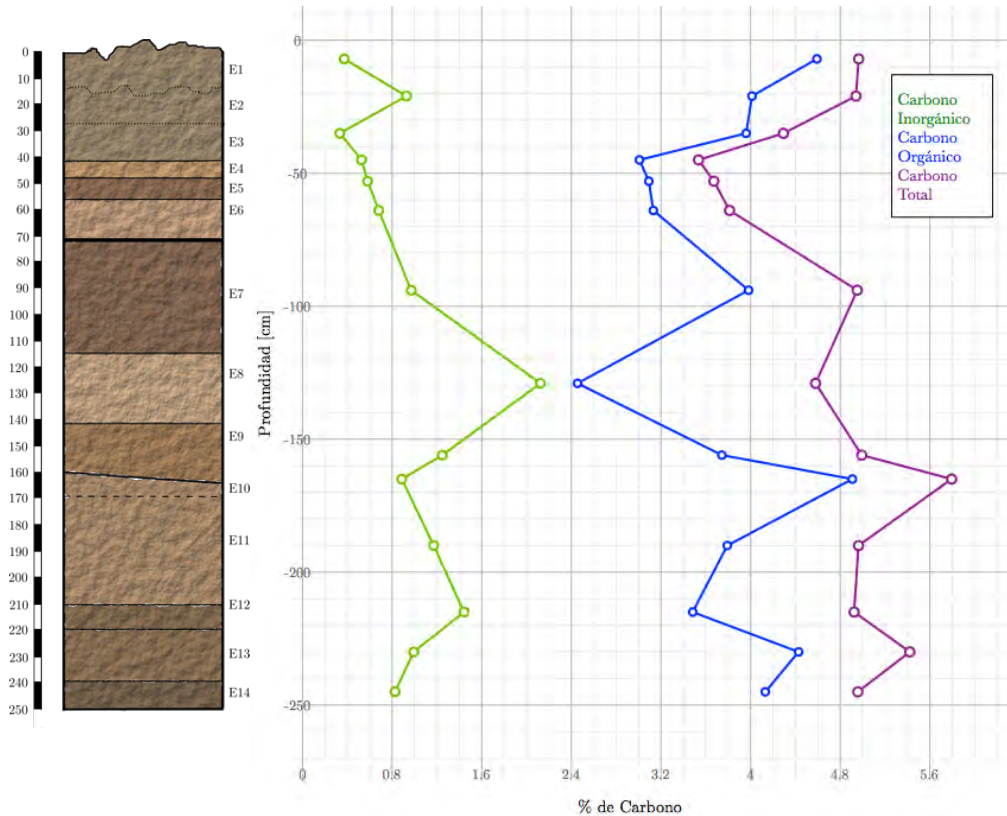


Figura 17. Resultados de la medición de carbono total mediante pérdida por calcinación para la Estela de Cuicuilco.

En la figura 17, se observan los porcentajes en masa de carbono orgánico (en azul), carbono inorgánico (en verde) y la suma de ambos (violeta) obtenidos a partir de la prueba de pérdida por calcinación. Se observa una presencia mayor de carbono orgánico –en rangos entre 2.4 y 4.8%– que de carbono inorgánico –en rangos entre 0.2 y 2.2%– a lo largo del perfil. Se observa una relación entre las capas más oscuras con los máximos de carbono orgánico en E1, E2, E3, E7, E10 y E14. A su vez, se observa que el máximo punto de carbono inorgánico en E8 coincide con el mínimo de carbono inorgánico. Los puntos máximos de carbono total se encuentran en las capas más inferiores, en particular en E10 y E13, cuyo aporte es principalmente por carbono inorgánico.

Los valores para carbono orgánico total, con un rango entre los 2.4 y 4.8% se encuentra en rangos similares a los reportados por (Solleiro-Rebolledo, et al., 2016), donde para el suelo del

perfil ENAH –con la menor influencia de cambio de sus características por la quema de la lava–, registra valores en un rango entre 3.06 y 4.91%. Ambas pruebas fueron realizadas por el mismo método de pérdida por calcinación.

Los valores de carbono orgánico total para este perfil coinciden con los horizontes que presentan mayor coloración oscura en campo, relacionados a la mayor presencia de materia orgánica.

Los valores de carbono inorgánico se encuentran en menor proporción, donde la capa E8 presenta mayor porcentaje, que a su vez, es el horizonte con coloración menos oscura y con menor presencia de materia orgánica, característica que se discute a mayor detalle en la micromorfología.

El promedio de carbono inorgánico medido fue de 0.95% y de carbono orgánico de 3.75%. La desviación estándar de carbono inorgánico es de 0.43 y la desviación estándar del carbono orgánico es de 0.61

6.4.2 Perfil Templo Mayor

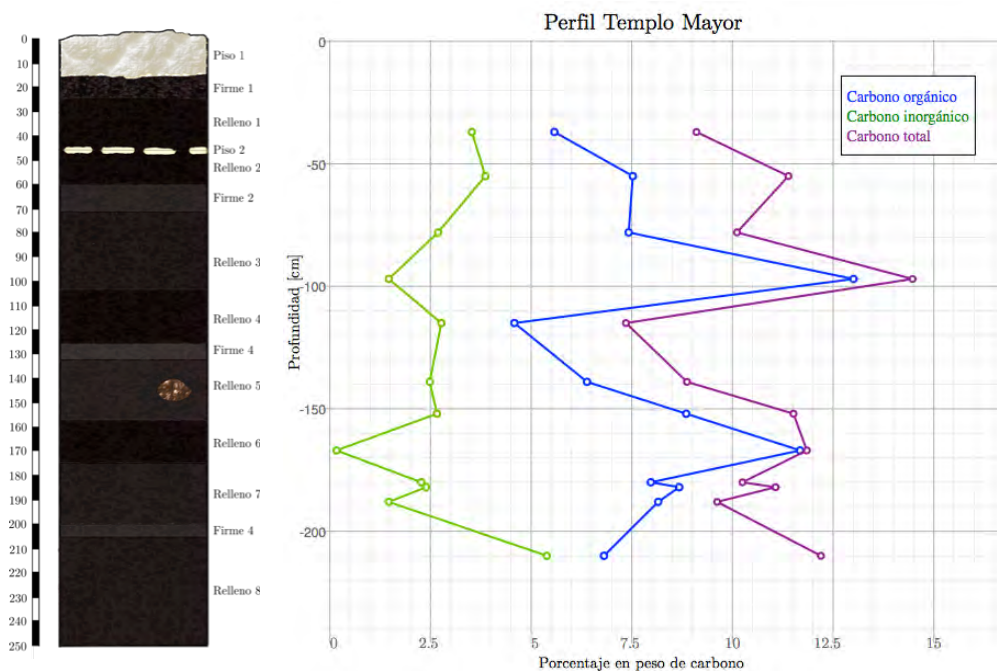


Figura 18. Resultados de la medición de carbono total mediante pérdida por calcinación para el perfil de Templo Mayor.

Se observan en la gráfica de la figura 18 los porcentajes en masa de carbono orgánico (en azul), carbono inorgánico (en verde) y la suma de ambos (violeta) obtenidos a partir de la prueba de pérdida por calcinación. Para esta gráfica se observa una mayor presencia de carbono inorgánico con rangos entre 4.8% y 12% y menor de carbono inorgánico con rangos entre los 0.1% y 5.2%. Se observan patrones con cambios más abruptos que los observados para el perfil de la Estela de Cicuilco.

Se observa que para el Relleno 6, descritos en campo como horizonte más oscuro, hay una mayor presencia de carbono orgánico que supera el 10%, así como para el relleno 3 inferior. Se encuentra un mínimo de carbono orgánico en el relleno 4, con el único valor inferior al 5% y para el relleno 1, con 5.5% de carbono orgánico. Para el carbono inorgánico se observan tendencias ligeramente menos abruptas con un máximo en la capa más inferior que es el Relleno 8 con un porcentaje de 5.4%.

El promedio de carbono orgánico para las mediciones de este perfil fue de 7.99% mientras que para el carbono inorgánico, fue de 2.72%. La desviación estándar de las mediciones de carbono inorgánico fue de 1.33 y para el carbono orgánico de 2.28.

Para el perfil del Templo Mayor, como se observa en los valores de desviación estándar (1.33 para carbono inorgánico y 2.28 para carbono orgánico), muestran mayor variación a lo largo del perfil, comparado con el perfil de la Estela de Cuicuilco. A diferencia del perfil de la Estela de Cuicuilco, la presencia de carbono en este perfil proviene de distintas fuentes tanto culturales (como los fragmentos de estuco) como naturales (materia orgánica en la matriz para el carbono orgánico, presencia de conchas y oolitos para el carbono inorgánico). Asociado a esta heterogeneidad, encontramos una mayor presencia de carbono inorgánico en la parte superior del perfil, donde se encuentran las geomembranas de los pisos constructivos, estuco y material de enlucido cuya composición incluye carbonatos los cuales se pueden observar en las fotografías de la micromorfología del capítulo 6.6.2. Se encuentra otro máximo de carbono inorgánico en la última capa: Relleno 8, en la que, también en la micromorfología se observa la presencia de conchas y de oolitos de carbonatos que precipitan alrededor de plagioclasas, estos últimos únicamente presentes en la parte más baja del perfil.

En general, los valores de carbono orgánico rebasan los valores promedio de carbono orgánico en suelo, donde la capa Relleno 3 presenta un porcentaje de 13% de materia orgánica y el Relleno 6, 11%. Estos niveles tan altos de materia orgánica, generalmente se asocian ambientes de pantano como los histosoles, que pueden tener hasta 80% de materia orgánica (IUSS Working Group, 2014).

Resulta importante considerar que los valores de carbono estimados por esta técnica pueden estar sobreestimados debido a la presencia de agua higroscópica y a propiedades térmicas de ciertos minerales (Qingren, Yucong, & Y., 2011).

6.5 Fluorescencia de Rayos X

6.5.1 Perfil Estela de Cuicuilco

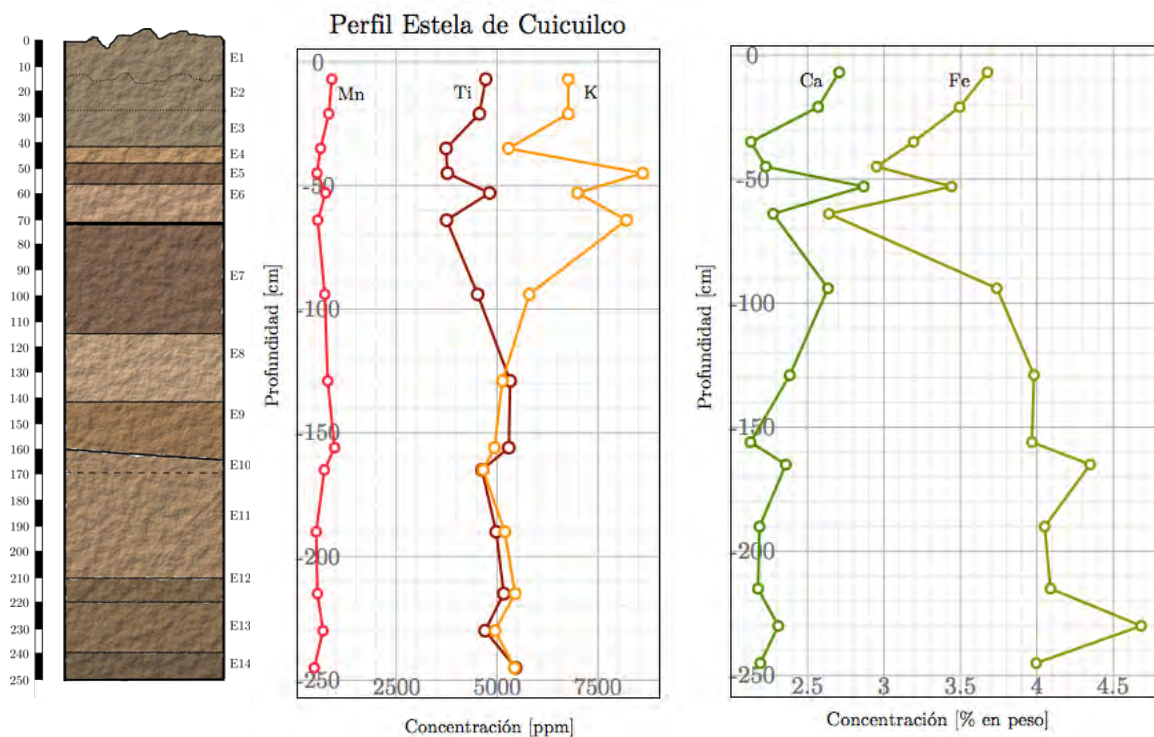


Figura 19. Cinco elementos más abundantes de los detectados mediante fluorescencia de Rayos X (Mn, Ti, K, Ca y Fe).

En la gráfica de la figura 19, se observan los resultados obtenidos para la fluorescencia de rayos X donde se muestran los cinco elementos más abundantes. En mayor concentración se encuentra el hierro, seguido de el calcio y en menor proporción, se encuentran el potasio, titanio y manganeso, en orden de mayor concentración. Para el caso del hierro, se reportó un promedio de 3.73%. Para este elemento se observa que la mayor concentración se encuentra en la capa E13 con un valor de 4.68%. Seguido del hierro, se encuentra el calcio en cuanto a proporción, con un máximo valor en la capa E5 con 2.8% y en la capa E1, con 2.7%. Ambos puntos máximos coinciden con aumentos en hierro relativo a los puntos vecinos, aunque en la parte inferior del perfil, los valores de calcio se encuentran en un rango entre 2.2% y 2.6%. En mucha menor proporción, se encuentran el Mn, Ti y K, con menos del 1% de concentración.

En los resultados de fluorescencia de rayos X, se encuentra en mayor abundancia el hierro, elemento abundante en minerales ferromagnesianos característicos del volcanismo del sur de la

cuenca, así como el calcio, presente en la composición de los minerales de las rocas volcánicas de composición intermedia (Siebe, 2000).

Para el caso del titanio y el potasio, resulta interesante evaluar los patrones de cambio, al ser, por contraste, elementos que reaccionan de distinta manera al intemperismo de acuerdo a las fases de intemperismo de Jackson-Sherman. Por un lado, el titanio es un elemento que se mantiene estable en su fase mineral. Por otro lado, el potasio puede ser fácilmente intemperizado en fases iniciales de intemperismo (Sposito, 2008). Para estos dos elementos, se han realizado índices en los cuales, las proporciones de elementos fácilmente intemperizables vs elementos fácilmente intemperizables, dan un estimado del grado de desarrollo de un suelo. El índice de Parker (1970) y de Nesbit & Young (1988) incluyen al potasio pero no al Titanio, sin embargo, para fines cualitativos, la presencia de óxidos de titanio, hierro y aluminio (este último incluido en los índices mencionados) se encuentran documentados como elementos con comportamientos similares (Sposito, 2008). Partiendo de lo anterior, se observa que los patrones de abundancia del titanio y potasio, en la gráfica de fluorescencia de rayos X de la Estela, tiene crecimientos y empobrecimientos en proporciones similares a excepción de las capas E4, E5 y E6. En E4, se observa una concentración muy similar de titanio a la capa superficial, mientras que, el potasio presenta un aumento abrupto en su concentración. Por otro lado, en la capa inferior, E5, encontramos un patrón opuesto, en el que disminuye el potasio y aumenta el titanio y para la capa E6, hay de nuevo un aumento como en E4 de potasio y disminución de titanio. La presencia de estos patrones de distribución particulares en estas capas sugieren que en particular, en esta región, pudo haber procesos de intemperismo que no actuaron sobre las capas superiores e inferiores.

Sin embargo, es importante señalar que estos índices de intemperismo no son recomendables para materiales de origen volcánico de diferentes fuentes; debido a que las concentraciones iniciales de elementos pueden cambiar si hay una composición heterogénea de material parental o distintos pulsos eruptivos depósitos volcánicos (Retallack, 2001). En este caso, la concentración de elementos puede estar influenciada no solo por el intemperismo sino por la composición original del material parental.

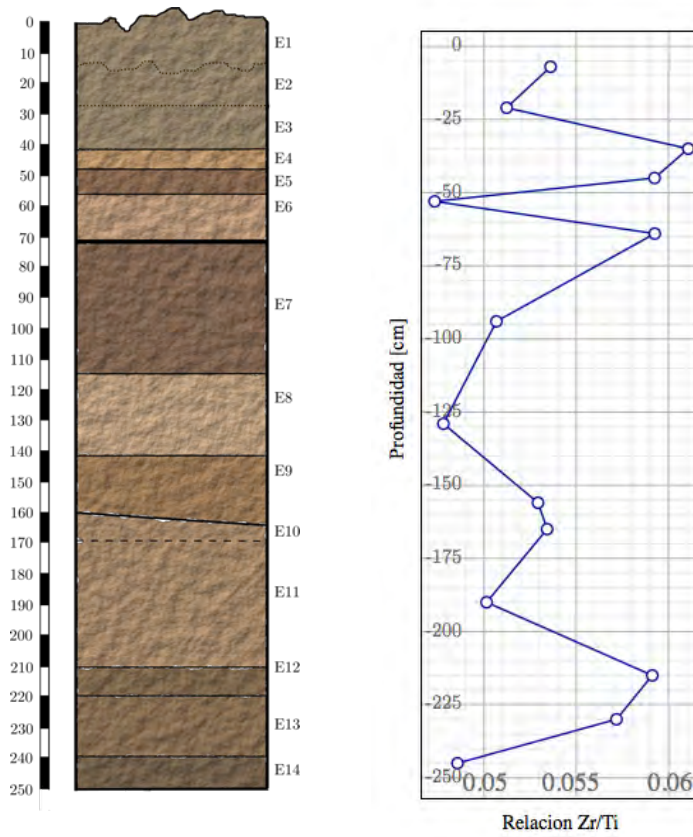


Figura 20. Relación Zr/Ti realizada con los resultados de composición por fluorescencia de rayos X.

En la gráfica de la figura 20, se encuentra registrada la relación Zr/Ti del perfil de la Estela de Cuicuilco. En general, se observa una gran irregularidad en los patrones de distribución de los puntos y con ello, irregularidad en las fuentes del material parental que dio origen a dichos suelos.

6.5.2 Perfil Templo Mayor

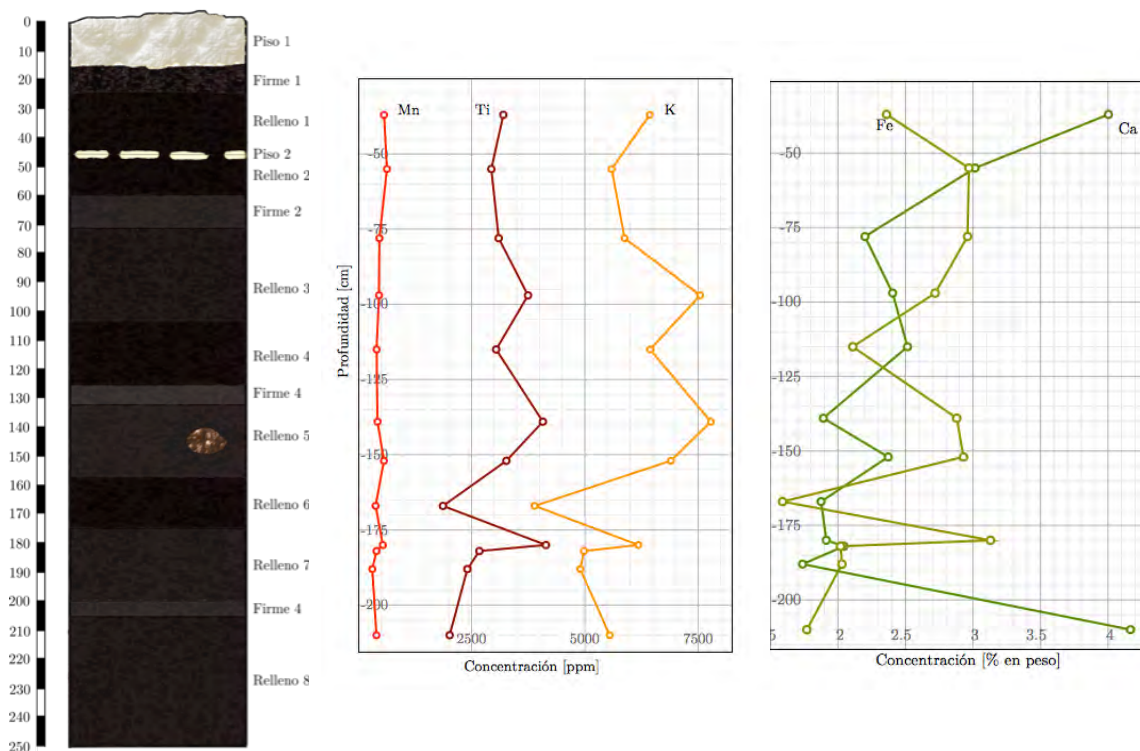


Figura 21. Cuatro elementos en mayor concentración (Ti, K, Fe y Ca) registrados mediante la prueba de fluorescencia de rayos X para el perfil de Templo Mayor.

En la figura 21, se observan los elementos que se encontraron en mayor proporción mediante la fluorescencia de rayos X. En los dos elementos en mayor proporción, Fe y Ca, se observan patrones erráticos sin tendencias graduales. Por un lado, el calcio presenta los puntos de mayor concentración en el Relleno 1 y Relleno 8, con más de 4%. Para las demás regiones del perfil, la concentración de Calcio se encuentran entre 1.7% y 3%. En cuanto al hierro, se registró un máximo en la capa Relleno 7, con un valor de 3%. El menor valor de hierro se encontró en la capa Relleno 6, con 1.6%.

A diferencia del calcio y hierro, el titanio y potasio presentan comportamientos menos abruptos; con máximos que coinciden en el Relleno 5 y 3 y mínimos que también coinciden en el Relleno 6. El potasio se encuentra en un rango entre las 4000 y 8000 ppm, mientras que el Titanio se encuentra en un rango entre las 2000 y 4000 ppm.

Para el perfil del Templo Mayor, encontramos mucha mayor heterogeneidad en la concentración de los elementos más abundantes, que son el hierro y el calcio. El calcio muestra máximas concentraciones en dos capas más superficiales y en la última. Como se observa en la micromorfología, la mayor abundancia de calcio en las capas superficiales coincide con las capas donde se encuentra la mayor presencia de estucos, que son materiales tecnogénicos que contienen carbonato de calcio. Por otro lado, el máximo de calcio de la capa más inferior coincide con la capa de mayor presencia de fragmentos de oolitos, las cuales, son plagioclasas con precipitaciones concéntricas de carbonato de calcio formado en ambientes transicionales lacustres.

A pesar de ser uno de los elementos más abundantes, los patrones de concentración de hierro resultan muy erráticos a lo largo de todo el perfil. Este se encuentra presente tanto en los minerales volcánicos presentes a lo largo de todo el perfil, así como en los moteados gleicos (Macphail, Allen, Crowther, Cruise, & Whittaker, 2010) que se observan en las láminas delgadas; predominantes en la parte media e inferior del perfil.

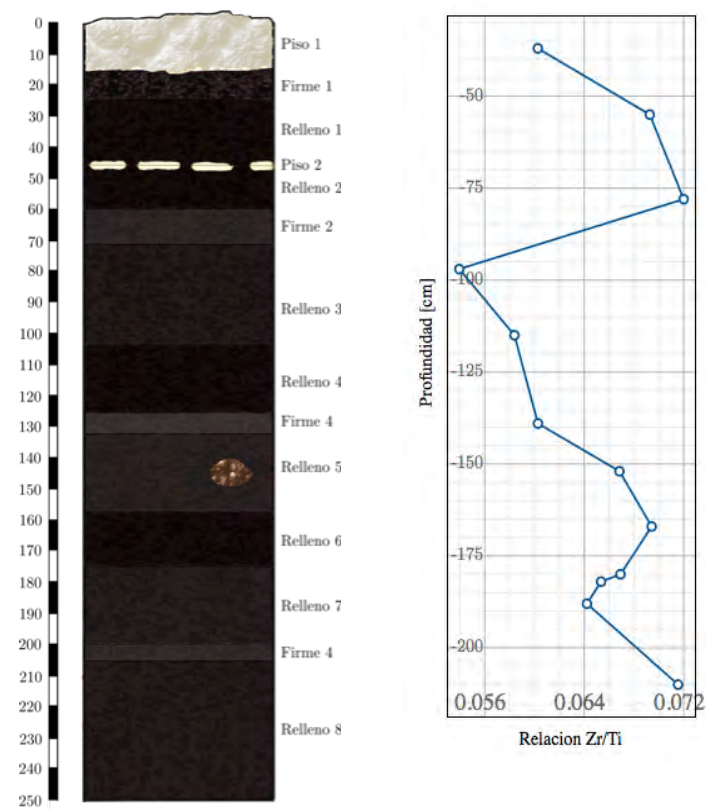


Figura 22. Relación Zr/Ti calculado con los datos obtenidos mediante la fluorescencia de rayos X.

En la figura 22 se observa la gráfica de la relación Zr/Ti donde se muestra gran variabilidad de las fuentes del material pedosedimentario que conforma los rellenos del Templo Mayor.

6.6 Micromorfología

6.6.1 Perfil Estela de Cuicuilco

E1

Se observa, en general, una microestructura granular de muy alta porosidad (Figura 23a). Los tamaños de las partículas van desde arenas finas (de vidrios volcánicos, fragmentos de roca y restos de materia orgánica y carbón) a arcilla (en recubrimientos y poros rellenos). Minerales abundantes; principalmente plagioclasas de poco a muy intemperizadas, así como fragmentos de minerales ferromagnesianos altamente intemperizados (Figura 23b). Es también abundante la presencia de vidrio volcánico con signos de intemperismo; así como restos vegetales de carbón (Figura 23c). La fracción mineral, en grados de bajo y alto intemperismo, es muy abundante. La materia orgánica es también abundante, en una proporción similar a la de los minerales. Se encuentran también óxidos de hierro y manganeso en menores cantidades. En menor cantidad, se encuentran pápulas de arcilla (Figura 23d). No se encuentran rasgos sedimentarios, como orientación u ordenamiento de las partículas. Tampoco se encuentran restos vegetales frescos.

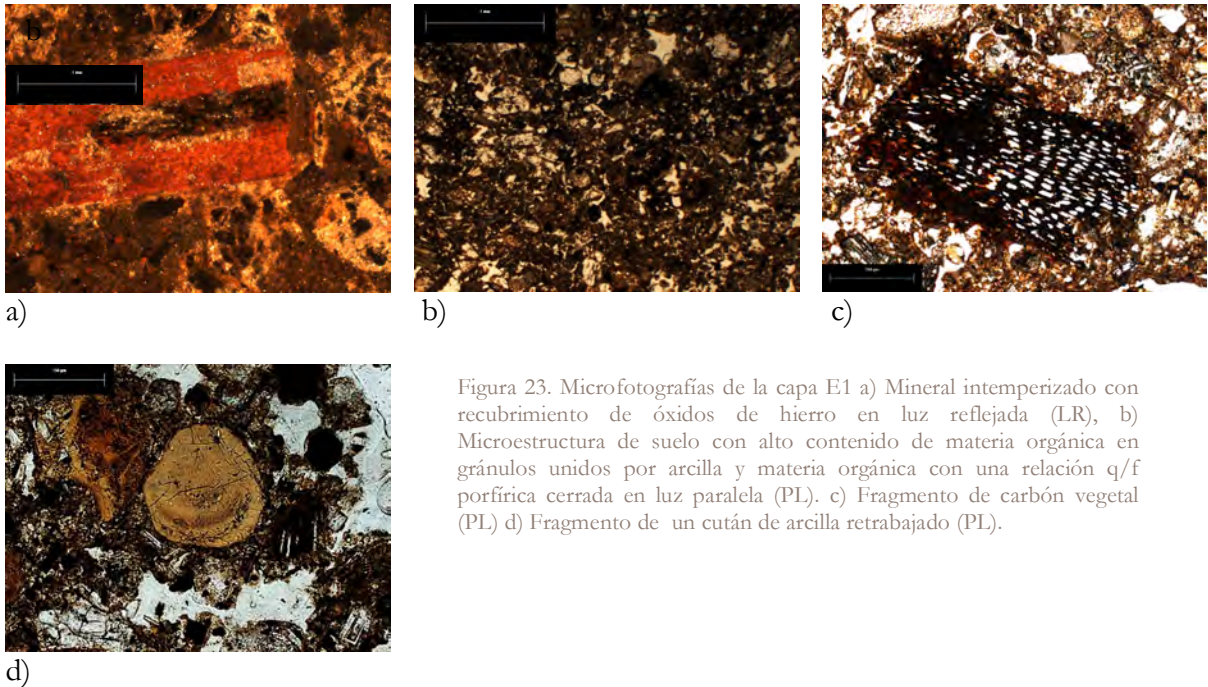
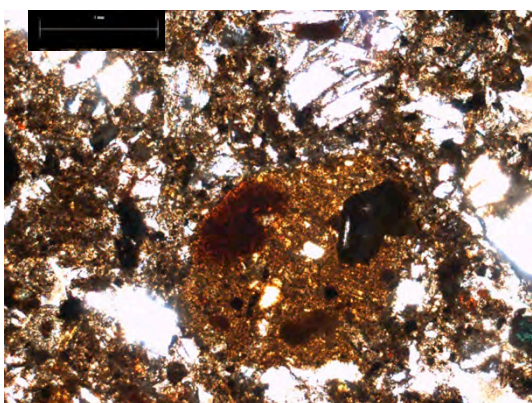


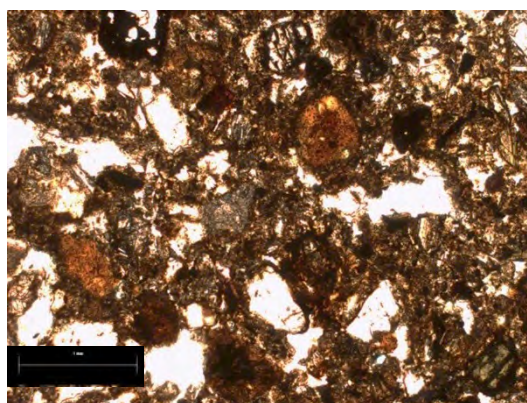
Figura 23. Microfotografías de la capa E1 a) Mineral intemperizado con recubrimiento de óxidos de hierro en luz reflejada (LR), b) Microestructura de suelo con alto contenido de materia orgánica en gránulos unidos por arcilla y materia orgánica con una relación q/f porfírica cerrada en luz paralela (PL). c) Fragmento de carbón vegetal (PL) d) Fragmento de un cután de arcilla re TRABAJADO (PL).

E2

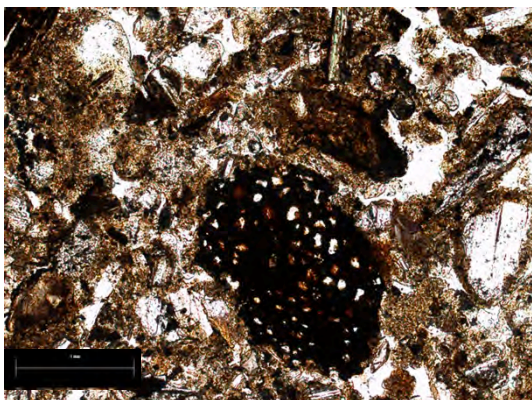
Presenta también una microestructura subangular con mayor compactación que la capa anterior y alta porosidad (Figuras 24a y 24b). Presenta algunas zonas de estructura granular compactada (Figura 24b). Abundante también en materia orgánica, fragmentos de rocas andesíticas y vidrio volcánico muy intemperizado y poco intemperizado. Los tejidos vegetales, en esta capa, tienen una clara carbonización (Figuras 24c y 24d). Se encuentran en menor cantidad las arcillas, ya sea recubriendo minerales o en poros redondeados. También se encuentran óxidos de hierro.



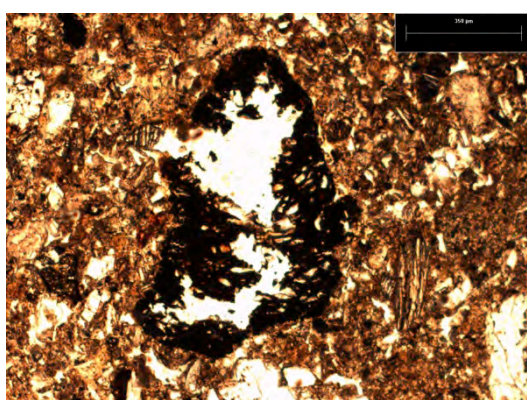
a)



b)



c)

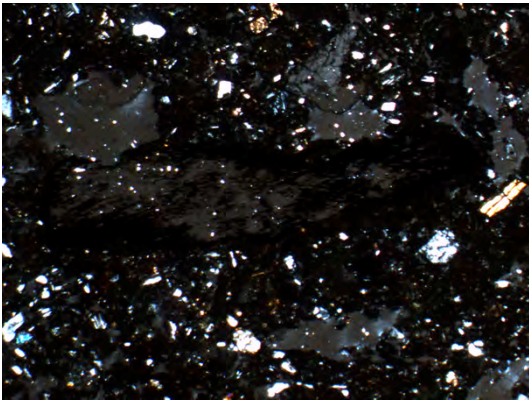


d)

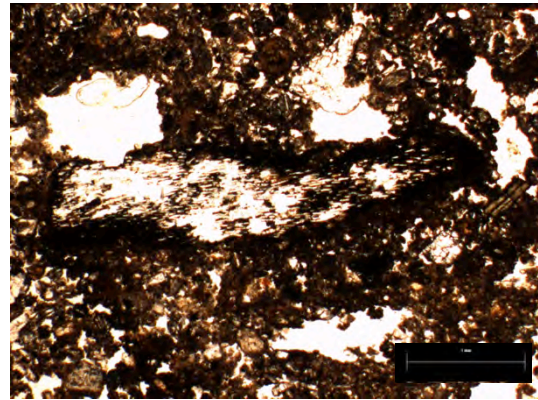
Figura 24. Microfotografías de la capa E2 a) y b) Suelo con estructura subangular y presencia de óxidos re TRABAJADOS (PL). c) y d), presencia de fragmentos de carbón (PL).

E3

Estructura ligeramente más compacta que la capa superior, de estructura más subangular que la anterior. Se encuentran coprolitos en los poros. Se encuentran también minerales y fragmentos de roca con un intemperismo mucho menor que la capa anterior; aunque también hay minerales con mayor alteración. La matriz presenta también tonos rojizos que brillan con luz reflejada, asociado a la presencia de óxidos de hierro. Se tiene material vegetal en diversos grados de descomposición, que están parcialmente carbonizados (Figuras 25a y 25b).



a)

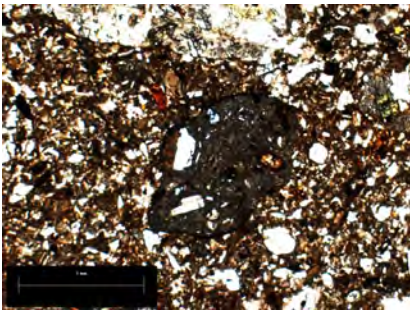


b)

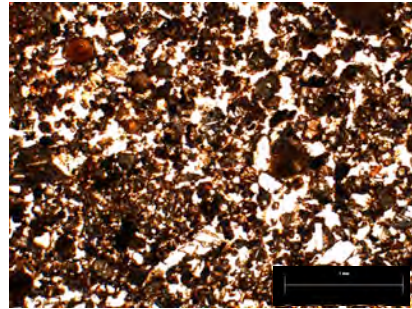
Figura 25. Microfotografías de la capa E3. Carbón vegetal luz en matriz subangular con gránulos de materia orgánica y óxidos de hierro a) bajo luz polarizada cruzada (NX) y b) Misma fotografía (PL)

E4

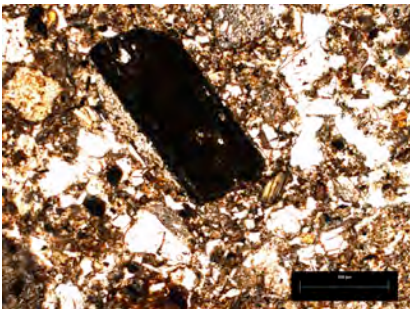
Microestructura subangular con tendencia masiva (Figuras 26a y 26b). Presenta fragmentos líticos frescos (Figura 26a) y fragmentos de pómez con bordes de ligero intemperismo. Se encuentran abundantes plagioclasas, tanto intemperizadas (figura 26c) como frescas. La lámina presenta un límite irregular visible sin microscopio, entre una región de abundantes óxidos de hierro (Figura 26d) y otra de menor proporción de los mismos; esta área representa el contacto entre las capas E4 y E5. El área cubierta por minerales es mucho mayor a la de materia orgánica y óxidos. Se encontró carbón en baja proporción. Poca materia orgánica, poca arcilla. Se encontraron recubrimientos limosos de sílice alrededor de minerales, así como fitolitos.



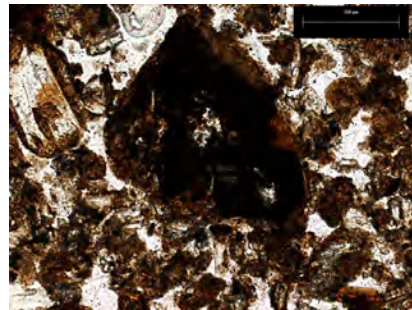
a)



b)



c)

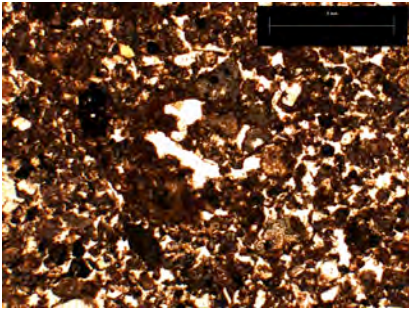


d)

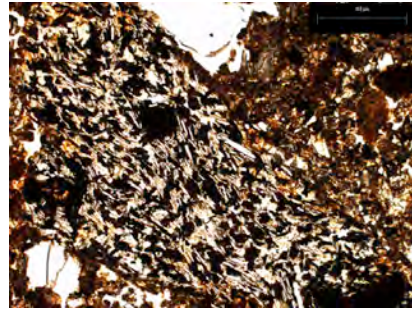
Figura 26. Microfotografías de la capa E4 a) Microestructura de suelo de baja porosidad con presencia de materia orgánica y presencia de un fragmento lítico fresco (PL). b) Estructura granular de alta porosidad con arcilla, óxidos de hierro y materia orgánica en coalescencia (PL). y c) Fragmentos líticos muy intemperizados (PL). d) Fragmento lítico muy intemperizado (PL).

E5

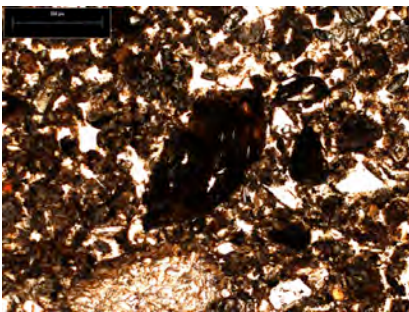
Microestructura esponjosa, de varios gránulos interconectados por arcilla (Figura 27a). Horizonte de alta porosidad (Figura 27a). Se encontraron escasos fragmentos de carbón, con celdas entre los tejidos menos huecas que en horizontes superiores. Se encontraron pápulas de arcilla. También fueron encontrados fitolitos y basaltos tanto frescos (Figura 27b) como intemperizados (Figuras 27c y 27d). A diferencia de los horizontes superiores, no parece haber rasgos notorios de compactación.



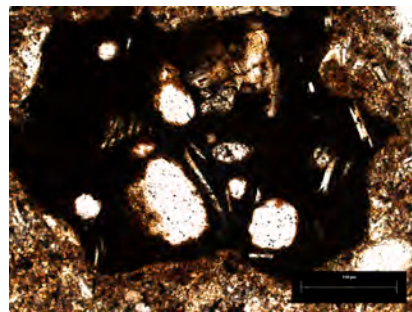
a)



b)



c)

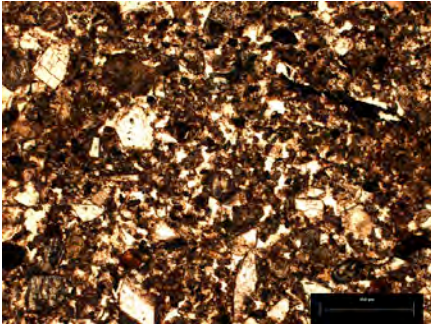


d)

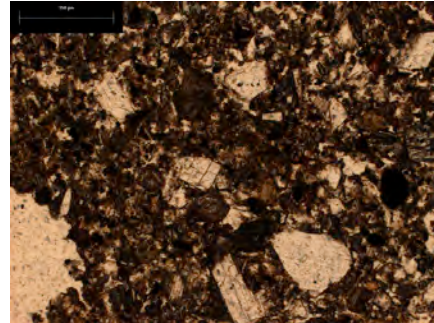
Figura 27. Microfotografías de la capa E5. a) Estructura granular con acumulación de óxidos y arcilla (PL). b) Fragmento lítico fresco (PL). c) Estructura granular con materia orgánica, fragmento de pómez con aureola de intemperismo y óxido al centro (PL). d) Fragmento lítico muy intemperizado (PL).

E6

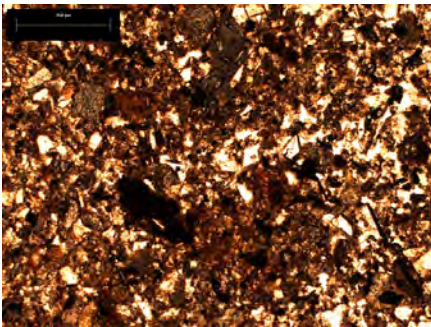
Estructura aparentemente “esponjosa” pero, a diferencia de estructuras “esponjosas” en horizontes superiores, ésta se encuentra mucho más compacta; con cierta tendencia a granular (Figuras 28a, 28b y 28c) . No se encuentran poros tubulares o elongados. Abundantes óxidos y material arcilloso en gránulos. Fragmentos de vidrio volcánico intemperizado (Figura 28d) y fresco. Se encontraron minerales volcánicos con distintos grados de intemperismo.



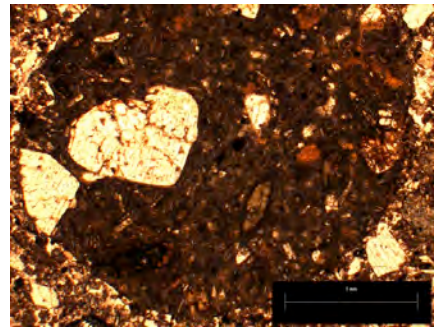
a)



b)



c)

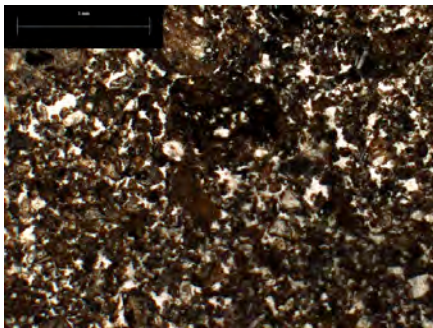


d)

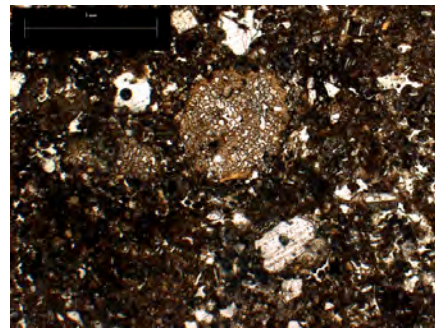
Figura 28. Microfotografías de la capa E6. a), b) y c) Estructura granular con tendencia esponjosa; con acumulaciones de óxidos y arcilla entre los poros con fragmentos de pómez y plagioclasas (PL). d) Fragmento lítico fresco con fracturas rellenas de óxidos (PL).

E7

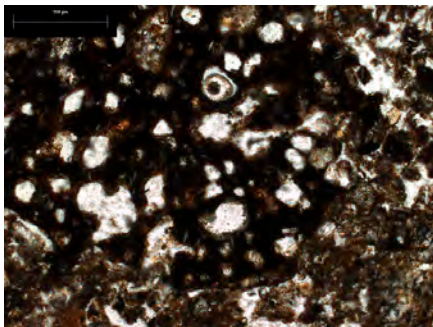
Se encuentra abundante materia orgánica en gránulos (Figura 29a) y en bordes rodeando o dentro de minerales intemperizados, generalmente en formas redondeadas o manchones. Estructura muy irregular a meso y micro escala, en manchones de diferentes rasgos, algunos con fragmentos de roca poco intemperizados (Figura 29b) y otros manchones con fragmentos de rocas o minerales muy intemperizados (Figura 29c); donde el material muy intemperizado es el dominante. Presenta óxidos de hierro (Figura 29d y 29e) en una escasa matriz arcillosa. Porosidad irregular, principalmente compacta. En general, la presencia de materia orgánica en forma granular dispersa por la matriz es muy abundante.



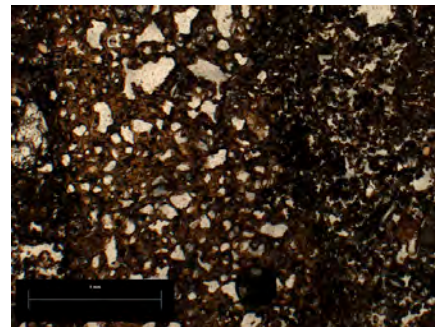
a)



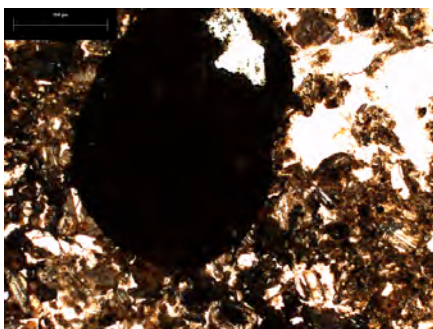
b)



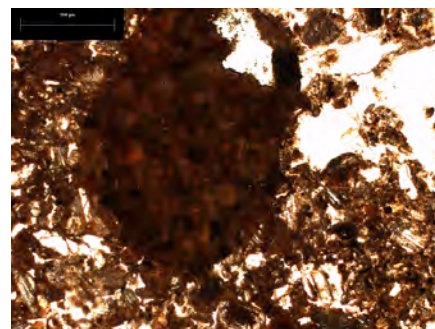
c)



d)



d)

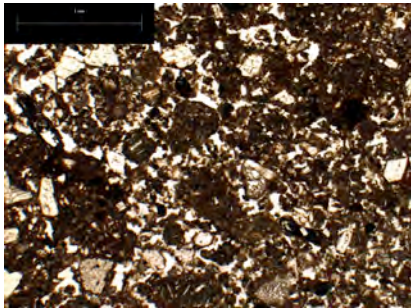


e)

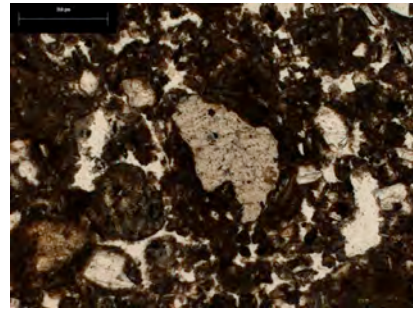
Figura 29. Microfotografías de la capa E7. a) Microestructura granular muy rica en materia orgánica (PL). b) Fragmento de pómez, fragmentos de plagioclasas (PL). c) Fragmento lítico muy alterado (PL). d) Pómez con mayor grado de alteración que figura b) (PL). Óxido en (PL) (d) y en (LR) (e).

E8

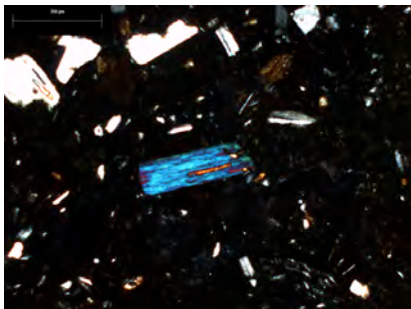
Estructura granular, con presencia de puentes de arcilla y con un grado ligero de compactación (Figura 30a). Presenta una alta porosidad (Figura 30a). La materia orgánica es muy abundante. Se encuentran plagioclasas frescas y también muy intemperizadas (Figura 30e); así como minerales de alta interferencia (ferromagnesianos) con bajo intemperismo (Figura 30c). Se encuentran también acumulaciones de óxidos de hierro y manganeso en motas. En general, esta lámina presenta ciertos rasgos de intemperismo fuerte pero también hay presencia de minerales frescos y rasgos reductomórficos. Se encontró un fragmento de carbonato (Figuras 30b y 30d) y esta la única capa en la que se encontró.



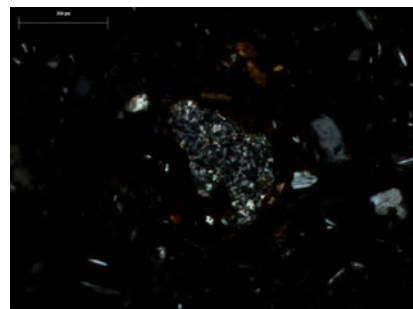
a)



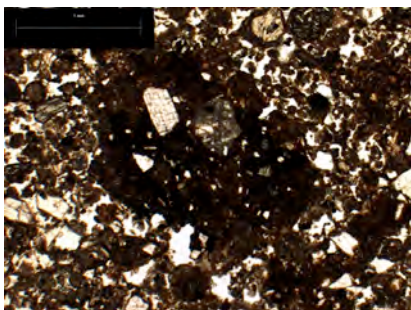
b)



c)



d)

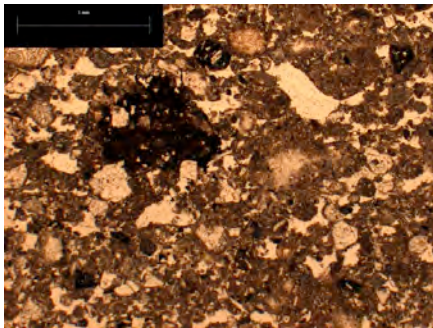


e)

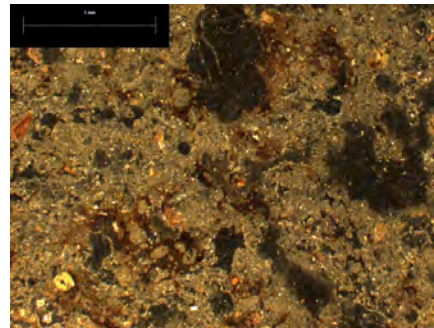
Figura 30. Microfotografías de la capa E8 a) Microestructura granular de alta porosidad, rica en materia orgánica (PL). c) Mineral ferromagnesiano fresco (NX). e) Fragmento lítico intemperizado (PL). b) y d) fragmento de carbonato en (PL) (b) y en (NX) (d)

E9

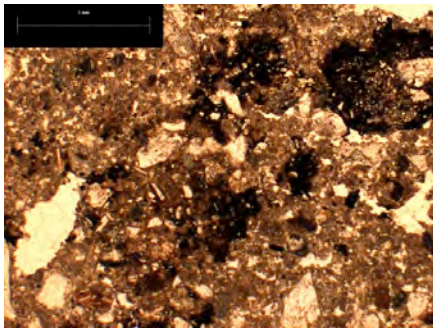
Estructura subangular a granular de mayor pedalidad que capas superiores (Figura 31a). Los poros son ligeramente más elongados y hay agrietamiento. Cuenta con poca materia orgánica. Hay abundantes minerales intemperizados. Se observan moteados de óxidos de hierro y manganeso, que forman islas sobre varios puntos de la lámina delgada (Figuras 31 b y 31c). Los reductomorfos, además de ser más abundantes en este horizonte comparado a horizontes superiores, no presentan rasgos de transporte o retrabajamiento. Se encontraron cutanes de arcilla de baja interferencia en formas tubulares –dentro de poros– característico de procesos *in situ* (Figura 31d).



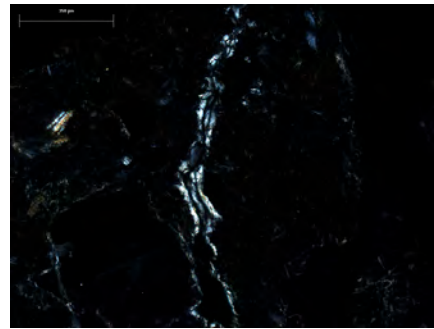
a)



b)



c)



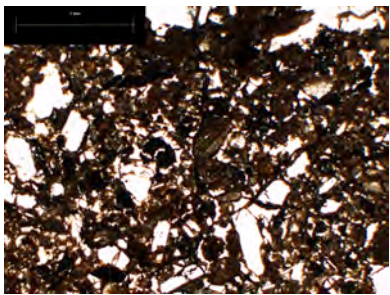
d)

Figura 10. Microfotografías de la capa E9. a) Estructura subangular con presencia de óxidos de hierro y manganeso de alta pedalidad (PL). b) Rasgos reductomórficos *in situ* bajo luz reflejada. c) Presencia de óxidos *in situ* bajo luz polarizada plana, se observa también la microestructura subangular con mayor grado de pedalidad que capas superiores. d) Cután de arcilla incipiente *in situ* (NX).

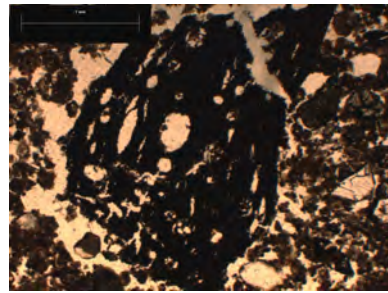
E10

Microestructura compacta, poros poco conectados y más fracturas (Figura 32a). La característica más importante de esta lámina es la gran abundancia de carbón de varios tamaños; este es el horizonte con mayor cantidad de carbón (Figuras 32b y 32c). Hay presencia de minerales de alta interferencia (poco abundantes) (Figura 32d) y también de minerales muy intemperizados (Figura 32e). Se encuentran fragmentos de basalto con cierto grado de intemperismo en los bordes. Se encuentra también vidrio volcánico de tamaño muy fino con cierto grado de intemperismo.

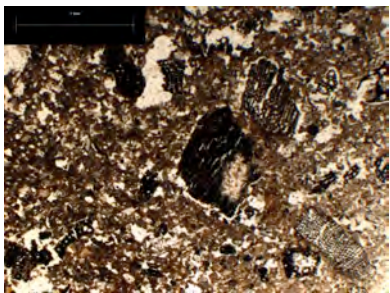
La estructura en algunas zonas –en la mayoría– es muy compacta y en menor proporción, hay regiones de textura más granular a subangular. Se encuentran regiones con alta cantidad de óxidos de hierro y manganeso.



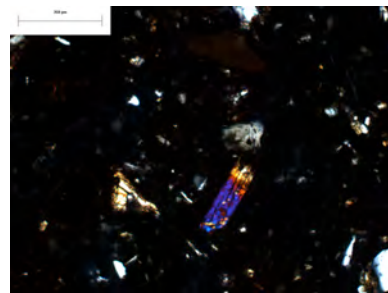
a)



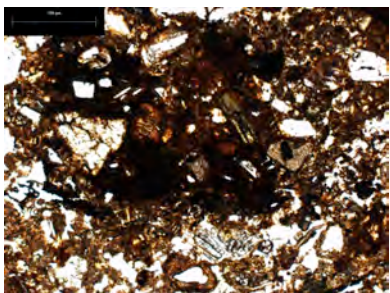
b)



c)



d)



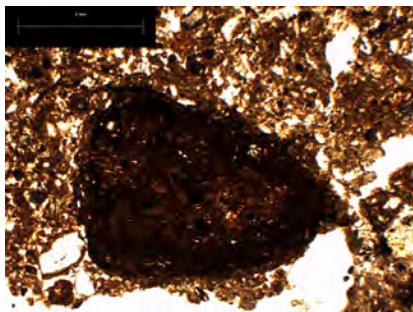
e)

Figura 11. Microfotografías de la capa E10. a) Microestructura granular muy rica en materia orgánica (PL). b) Fragmento de carbón vegetal de 2mm de diámetro (PL). c) Varios fragmentos de carbón vegetal (PL). d) Mineral ferromagnesiano poco intemperizado (NX). e) Fragmento lítico con alto grado de intemperismo (PL).

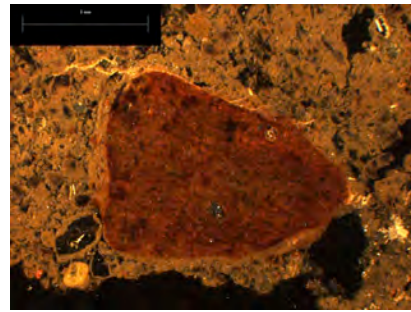
E12

Estructura subangular. Ligeramente compacta, de subangular a granular con poros tubulares rellenados con partículas más pequeñas con gradación; poros gruesos. Se encuentran también, en menor medida, regiones de estructura granular con puentes de arcilla. Estructura friable.

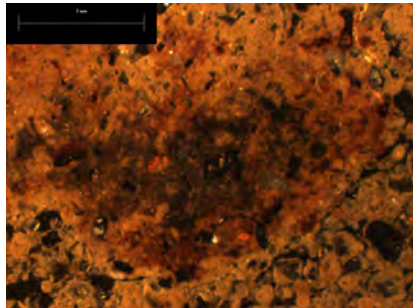
Hay presencia de óxidos retrabajados (Figuras 33a y 33b) e *in situ*. Las partículas de pómez y fragmentos líticos se ven tanto frescas (Figura 33c) como intemperizadas (Figura 33d). No se encontró carbón.



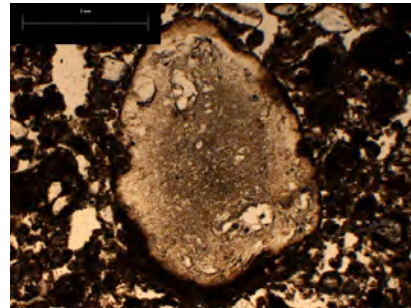
a)



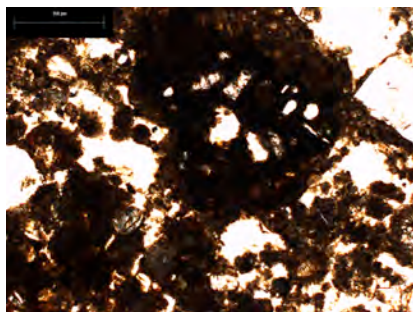
b)



c)



d)

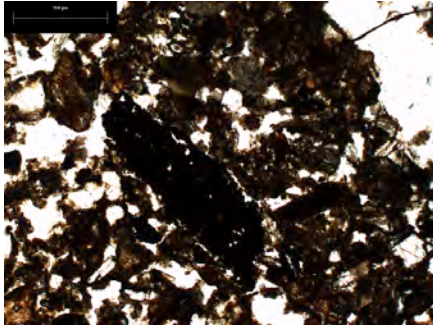


e)

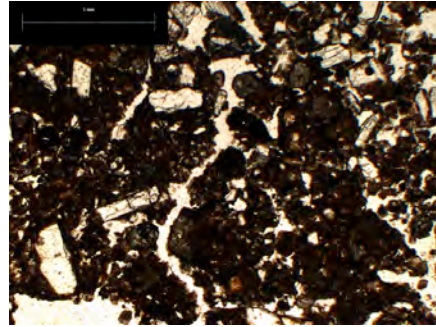
Figura 12. Microfotografías de la capa E12. a) Óxido anórtico con bordes abruptos respecto a la matriz (PL). b) Mismo óxido anórtico que en fig. 33) bajo (LR). c) Óxido órtico con límites difusos e irregulares respecto a su matriz (LR). d) Fragmento de pómez con anillo de intemperismo (PL). e) Fragmento lítico muy intemperizado (PL).

E13

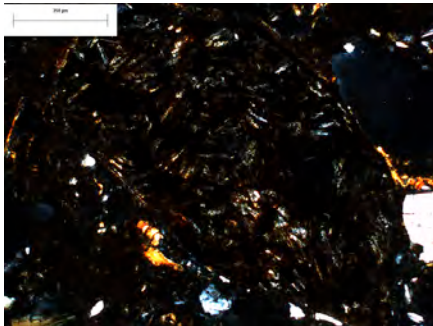
Estructura subangular, con abundante presencia de poros (Figura 34a) y grietas (Figura 34b), compacta. Matriz arcillosa. Abundante carbón (Figuras 34a y 34e). Presenta acumulación de arcilla en poros que rodean minerales y fragmentos de roca (Figura 34c). Se encuentra vidrio abundante poco intemperizado (Figura 34d). Se encontraron rasgos reductomórficos en acumulaciones pequeñas.



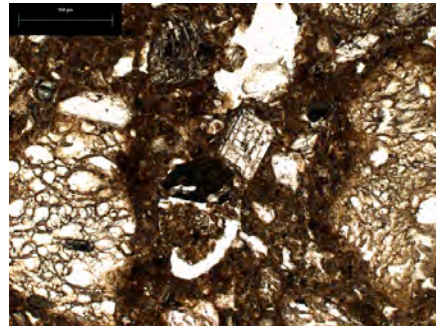
a)



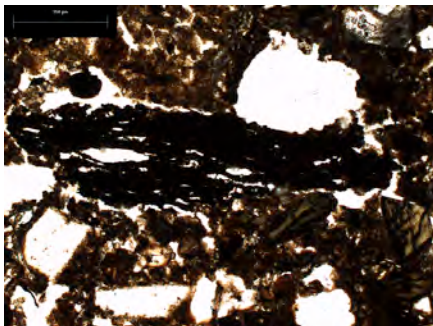
b)



c)



d)

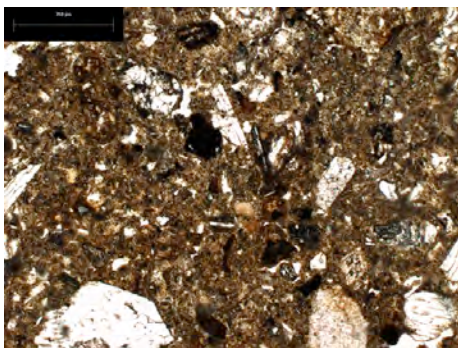


e)

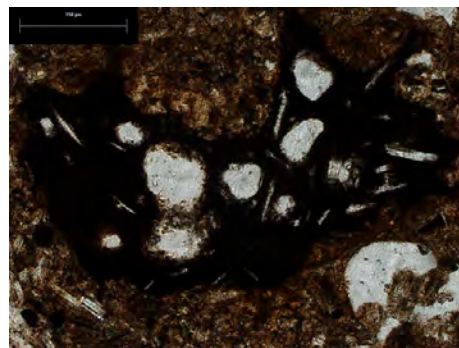
Figura 13. Microfotografías de la capa E13. a) Microestructura subangular a granular con fragmento de carbón. b) Microestructura y fragmentos de plagioclasas. c) Presencia de arcillas en mineral intemperizado bajo luz polarizada cruzada. d) Dos fragmentos de vidrio volcánico con anillos de intemperismo. e) Fragmento de carbón.

E14

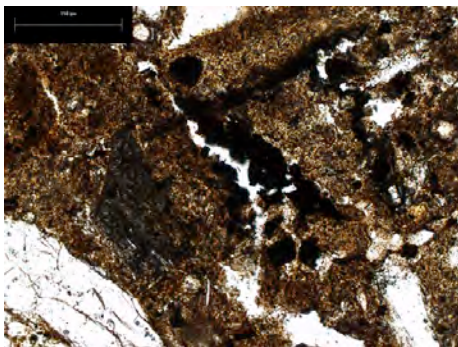
Estructura de subangular a angular de baja porosidad (Figura 35a). Mayor presencia de grietas que de poros. Matriz arcillosa. Se encuentran minerales con alto (Figura 35b) y moderado grado de intemperismo, aunque las diferencias no son muy drásticas. Los minerales, en esta lámina, son más grandes que en horizontes superiores. Presencia de rocas andesíticas o basálticas y vidrio volcánico intemperizado por los bordes. Se encuentran abundantes rasgos reductomórficos *in situ* (Figura 35c). Se encuentran zonas en los bordes de la lámina con una estructura fragmentada (Figura 36d).



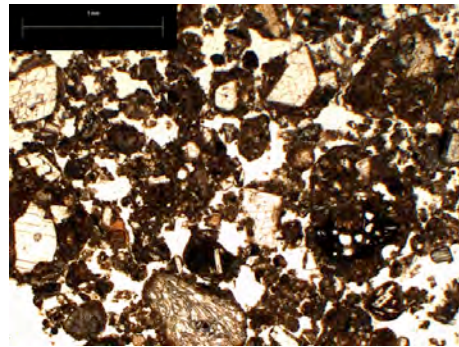
a)



b)



c)

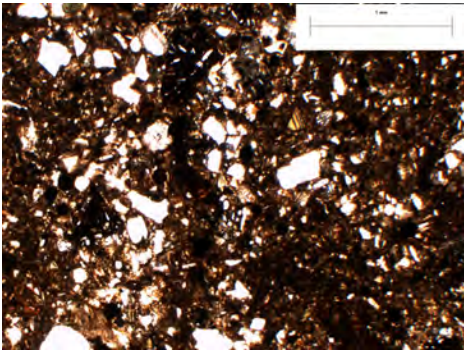


d)

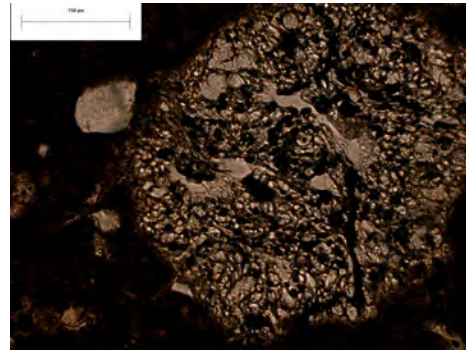
Figura 14. Microfotografías de la capa E14. a) Microestructura de baja porosidad (PI) b) Fragmento lítico muy intemperizado. c) Rasgos reductomórficos *in situ*. d) Microestructura de los bordes de la lámina delgada, de baja porosidad con fragmentos de pómez.

E16

Microestructura de granular a bloques subangulares, de color pardo (Figura 36a). Con fragmentos de pómez con anillos de intemperismo (Figura 36b). Presenta otros fragmentos líticos frescos y materia orgánica y arcilla en coalescencia. Similar a E14, posiblemente misma capa cortada por la cava.



a)

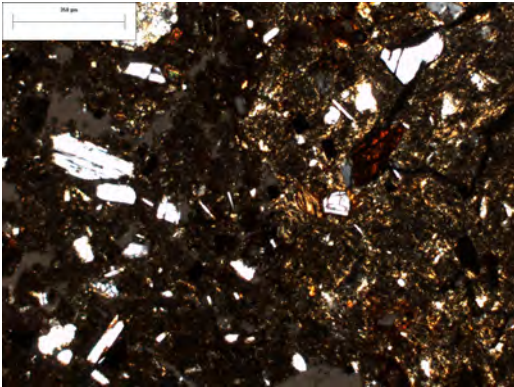


b)

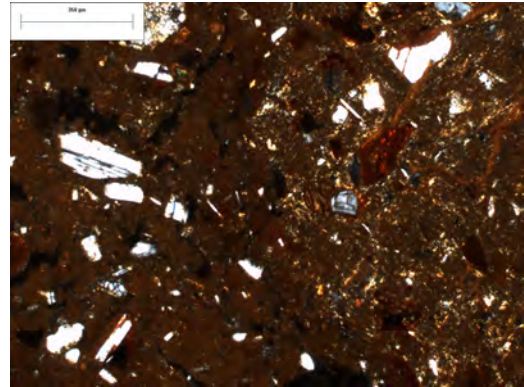
Figura 36. Microfotografías de la capa E16. a) Materia orgánica en matriz con estructura en bloque subangulares, con presencia de plagioclasas poco intemperizadas (PL). b) Fragmento de pómez con anillo de intemperismo (PL).

E17

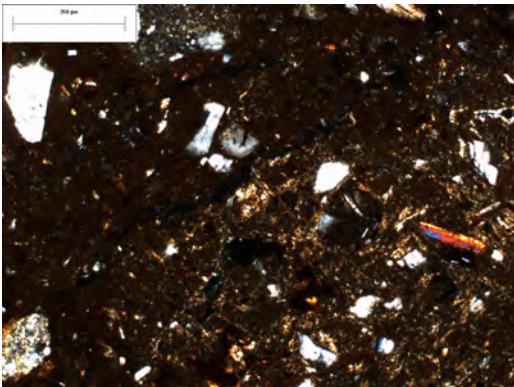
Microestructura en bloques subangulares (Figura 37a). Presenta alto contenido de minerales frescos y presenta acumulaciones de arcilla entre los poros. La matriz brilla homogéneamente en un tono rojizo ante la luz reflejada (Figura 37c); es rica en óxidos de hierro y manganeso (Figuras 37b y 37c). No se encuentran rasgos de material transportado.



a)



b)

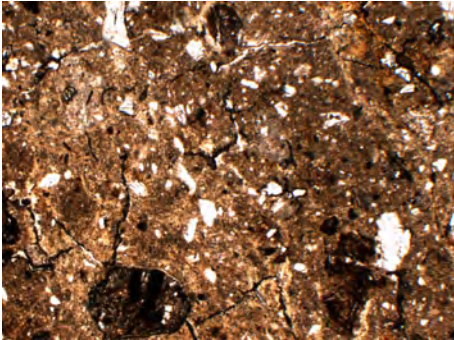


c)

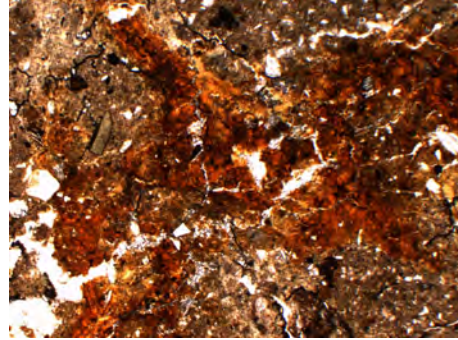
Figura 37. Microfotografías de la capa E17. a) Microestructura de suelo en bloques subangulares con alta pedalidad y acumulación de arcillas en los poros (PL). b) Misma fotografía que a) bajo (PL) + (LR) donde se observa la presencia de óxidos de hierro en la matriz. c) Microestructura similar con presencia de minerales ferromagnesianos poco intemperizados (PL) + (LR).

E18

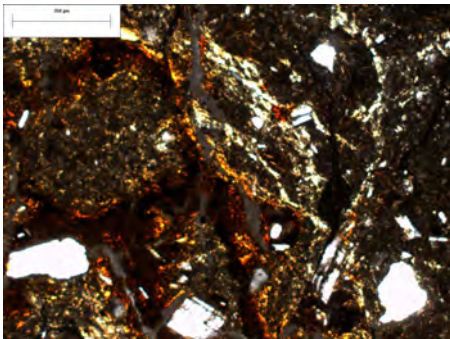
Horizonte con estructura en bloques subangulares de muy baja porosidad (Figura 38a). La matriz tiene tonos amarillos que brillan en luz reflejada. El rasgo más importante es la abundante acumulación de arcilla iluviada de alta interferencia en los poros; *in situ* (Figuras 38b, 38c, 38d y 38e). Se encuentran abundantes rasgos reductomórficos en concreciones (Figuras 38^a y 38d).



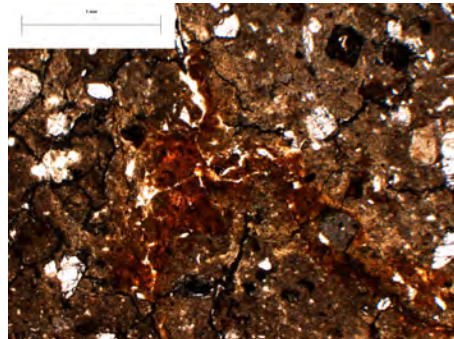
a)



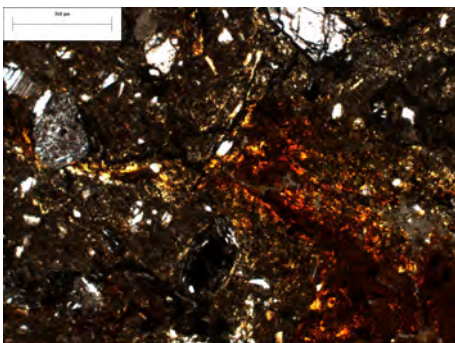
b)



c)



d)

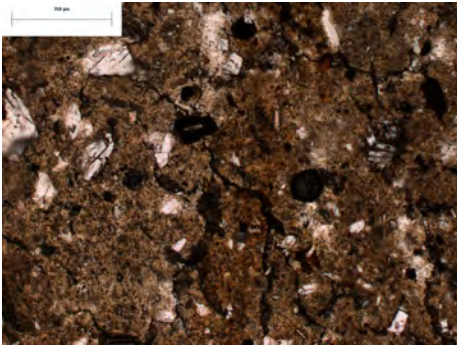


e)

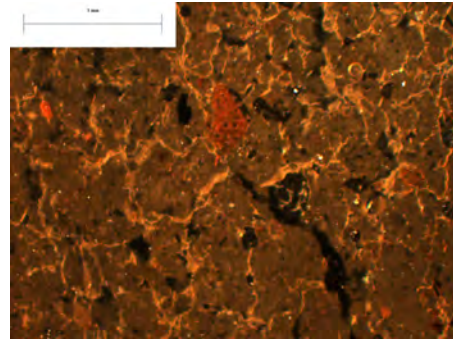
Figura 38. Microfotografías de la capa E18. a) Microestructura en bloques con acumulación de óxidos en los poros y nódulos de Mn (PL). b), c), d) y e) Acumulación de óxidos y arcillas in situ en poros (PL)

E19

Horizonte de estructura en bloques angulares (Figura 39a). Color pardo amarillento con alto contenido de arcillas y óxidos de hierro y manganeso en la matriz (Figura 39b) y estos últimos en forma de concreciones. Presenta fragmentos líticos intemperizados. Horizonte de muy baja porosidad (Figuras 39a y 39b). La estructura es la misma en toda la lámina delgada. No se encuentra materia orgánica.



a)



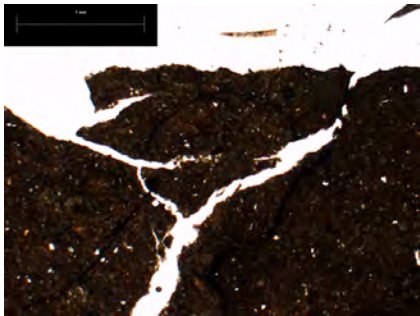
b)

Figura 39. Microfotografías de la capa E19. a) Microestructura de suelo de baja porosidad con matriz de grano fino y con concreciones de Mn (PL). b) Matriz con alto contenido de óxidos de Fe (LR).

6.6.2 Perfil Templo Mayor

TMR1

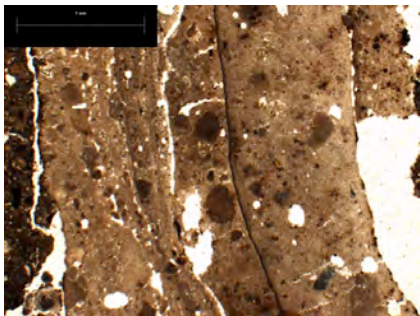
A meso y macro escala, se encuentran fragmentos de diversas composiciones: principalmente suelos (Figura 40a) y estucos (Figuras 40b y 40c). Esta muestra presenta una microestructura compuesta de estructura en bloques subangulares mezclados con bloques angulares, donde domina la estructura subangular. Domina la textura arcillosa en una matriz de poca porosidad. Presenta poros tubulares de abundantes grietas que rompen en ángulos cercanos a los 45° (Figura 40a). La matriz es de color negruzca por su abundante materia orgánica (Figura 40e). Resulta abundante presencia de fragmentos de conchas, oolitos y estuco. Se encuentran rasgos de expansión y contracción en grietas elongadas: slickensides, alusivos a procesos vérticos (Figura 40d). No se observan rasgos sedimentarios.



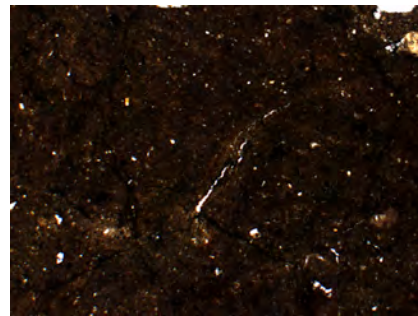
a)



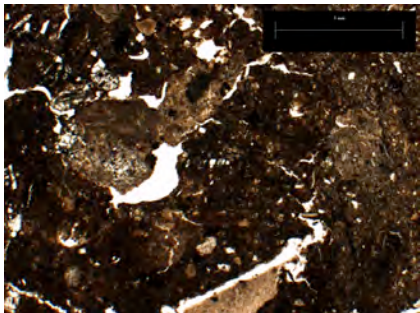
b)



c)



d)



e)

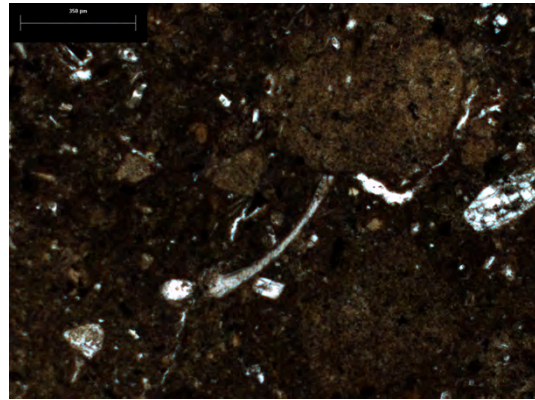
Figura 40. Microfotografías de la capa TMR1. a) Poros de suelo en ángulos cercanos a los 45° (PL). b) Presencia de carbonato (NX). c) Fragmento de estuco (PL). d) Slickenside incipiente en matriz parda muy oscura enriquecida en materia orgánica (PL). e) Matriz compuesta; distintos materiales en contacto por límites abruptos (PL).

TMR2F2

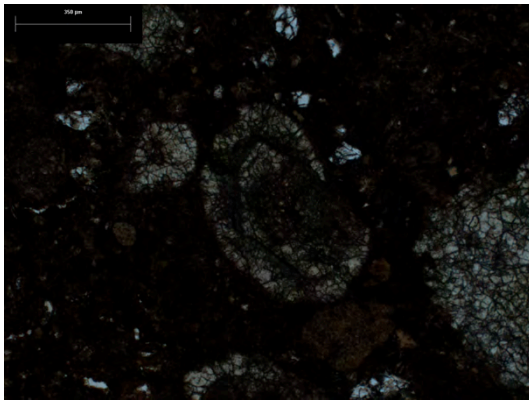
Esta muestra presenta una estructura en bloques angulares color pardo oscuro con presencia de fragmentos de pómez. Se encuentran en algunas grietas (Figura 41a). Se observa también estructura en bloques angulares en algunos sectores de la lámina la cual genera ángulos de 45° (Figura 41a). Se observan fragmentos redondeados de carbonato de calcio dispersos en toda la matriz del suelo al igual que fragmentos de conchas (Figura 41b) y escasos fragmentos de oolitos (Figura 41c). Presenta dos niveles de apisonado del mismo material.



a)



b)

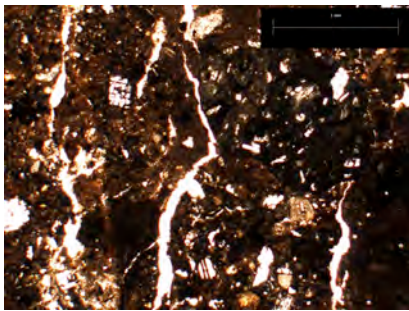


c)

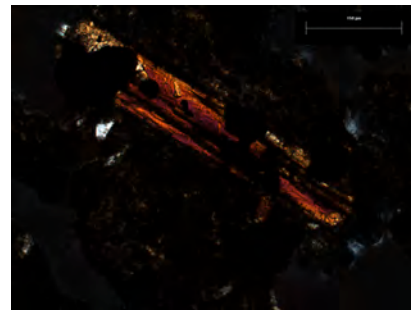
Figura 41. Microfotografías de la capa TMR2F2 a) Agrietamiento (PL). b) Matriz negra rica en materia orgánica con fragmento de concha (PL). c) Fragmento de oolito (PL).

TMR3

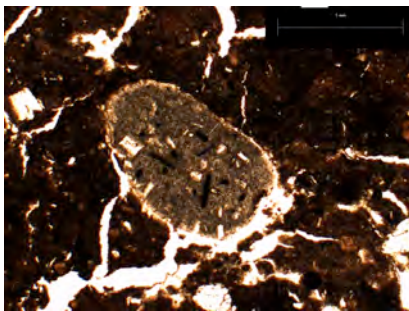
Estructura compacta, matriz “black inked” con apariencia arcillosa, abundante agrietamiento, fracturas (Figura 42a). Dominancia de textura arcillosa. Se encontró presencia de rocas volcánicas con abundante contenido de plagioclasas intemperizadas. Minerales máficos (piroxeno) cubiertos por materia orgánica (Figura 42a). Presencia de vidrio volcánico ligeramente intemperizado. No parece haber contacto gradual entre matriz y minerales frescos que sugieran intemperismo, sino que los minerales forman “islas” en la matriz (Figuras 42 c y 42e). Se encontraron fragmentos de conchas y restos de otros microorganismos esféricos en los poros (Figura 42e).



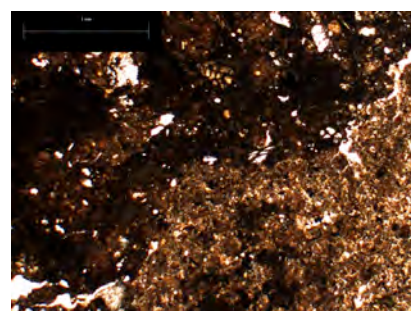
a)



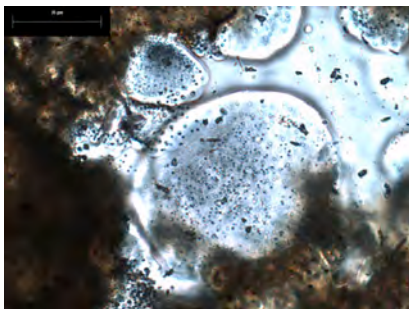
b)



c)



d)

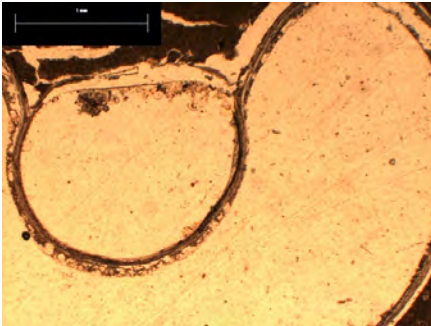


e)

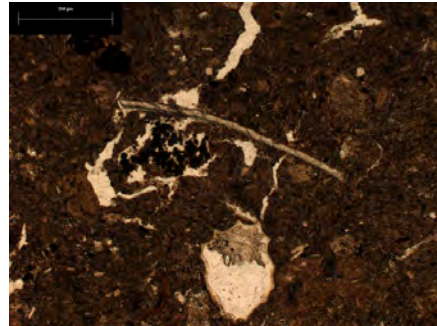
Figura 42. Microfotografías de la capa TMR3 a) Agrietamiento paralelo (PL). b) Mineral volcánico rodeado de materia orgánica (NX). c) Fragmento de roca volcánica redondeado sin intemperismo visible por pedogénesis (PL). d) Microestructura compuesta de dos materiales de distinta estructura y coloración (PL). e) Resto orgánico (PL)

TMR4

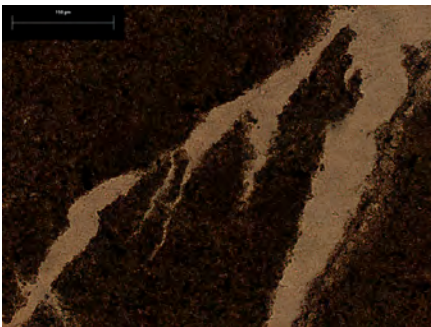
Sin estructura de suelo, con abundante presencia de fragmentos de conchas (Figuras 43a y 43b). Matriz de textura predominantemente arcillosa, oscura, compacta, sin poros; con agrietamientos (Figuras 43c y 43d). Presencia de rocas andesítico o basálticas poco intemperizadas, con contactos abruptos con la matriz; en general se encuentra una microestructura compuesta (Figura 43e).



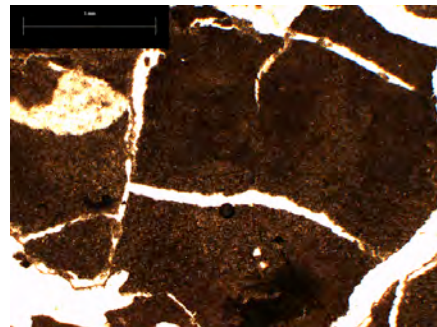
a)



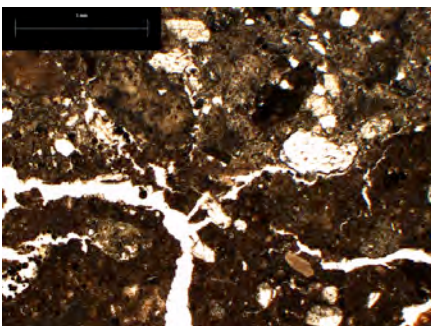
b)



c)



d)

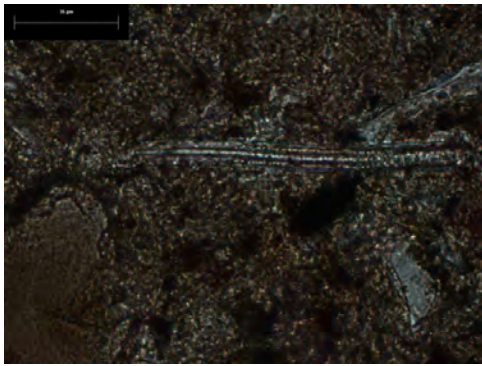


e)

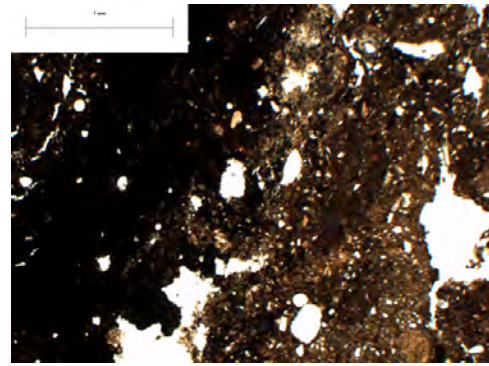
Figura 43. Microfotografías de la capa TMR4. a) Fragmento de concha con enrollamiento trocospiral, vista dorsal (PL). b) Fragmento de concha vista dorsal en una matriz arcillosa (PL). c) y d) Agrietamiento sin estructura de suelo (PL). e) Microestructura compuesta (PL).

TMR5

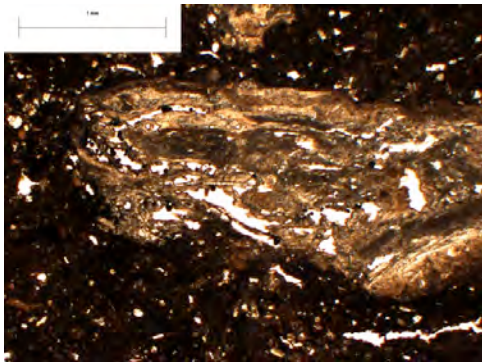
Matriz arcillosa, color pardo oscuro, “black inked”. Domina la textura arcillosa. Pocos poros y dominantes grietas. Se encuentran en contacto, a meso y micro escala, materiales de distinta estructura sin contactos graduales entre sí. Abundante presencia de carbonatos biogénicos como conchas, diatomeas (Figura 44a) y oolitos, tanto completos como fragmentados. Se encontraron también carbonatos tecnogénicos fragmentados (Figuras 44b y 44c). Presencia de una raíz gruesa poco descompuesta (Figura 44d).



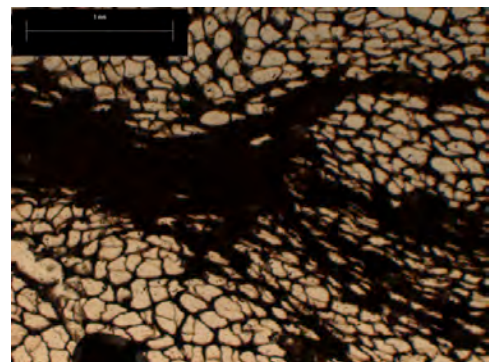
a)



b)



c)

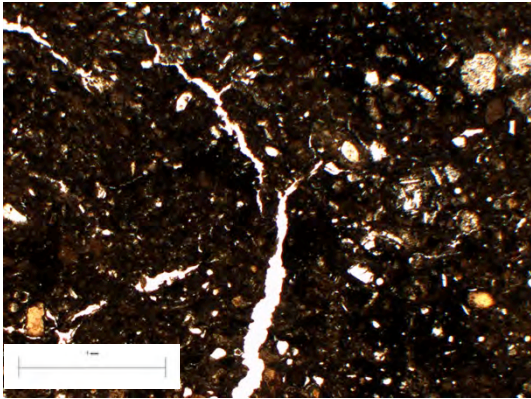


d)

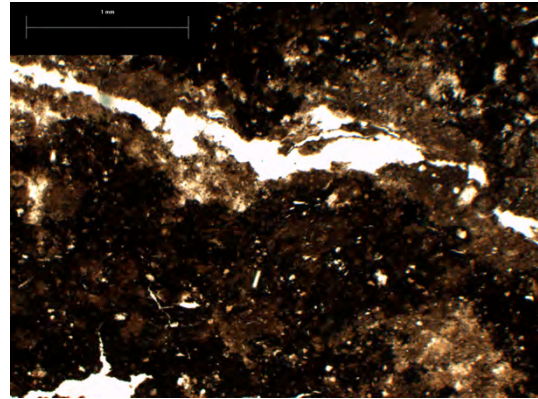
Figura 44. Microfotografías de la capa TMR4. a) Diatomea (PL). b) y d) Fragmentos de estuco (PL). d) Microestructura compuesta (PL).

TMR6

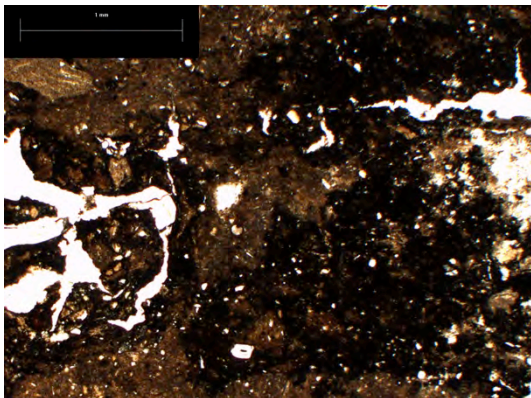
Estructura compacta, muy oscura, predominantemente arcillosa con agrietamiento (Figura 45a). Presencia abundante de rasgos gleicos en poros (Figuras 45b y 45c). Presencia muy abundante de materia orgánica en la matriz arcillosa (Figuras 45a, 45b y 45c). Se encuentran también fragmentos de carbonatos tanto tecnogénicos como biogénicos de conchas lacustres.



a)



b)

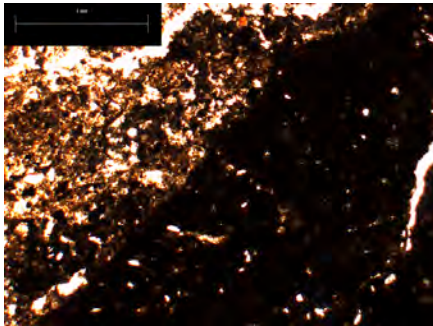


c)

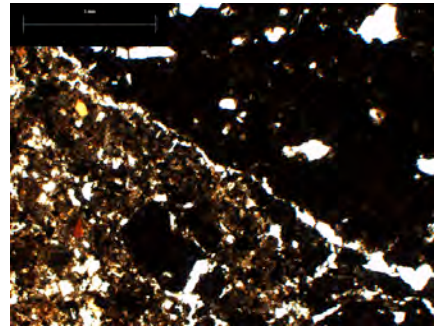
Figura 45. Microfotografías de la capa TMR6. a, b y c) Matriz negra, rica en materia orgánica con rasgos gleicos en las grietas (PL).

TMR7 superior en contacto con mancha parda

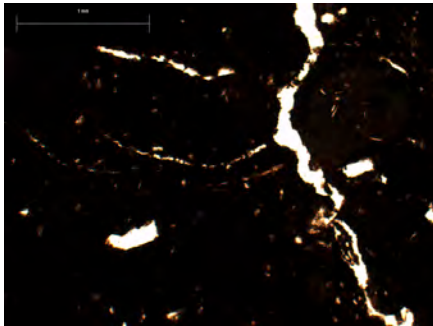
Hay una estructura compuesta de tres bloques de diferente composición, estructura y características generales; las tres en contacto abrupto (Figuras 46a y 46b). Todas tienen alta compactación y varía la abundancia de matriz negra (Figura 46c). Los manchones más claros tienen mayor contenido de minerales, poros, arcilla (Figuras 46d y 46e). Los manchones negros tienen poca porosidad, hay mayor presencia de grietas (Figura 46c).



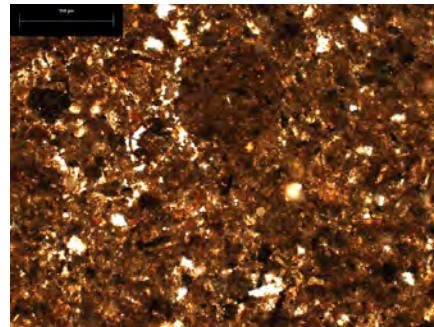
a)



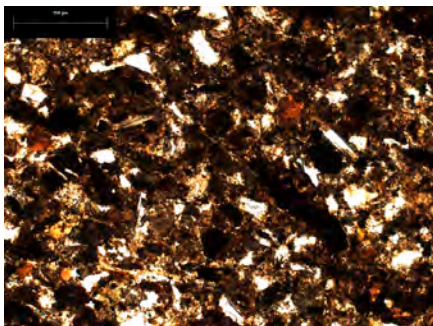
b)



c)



d)

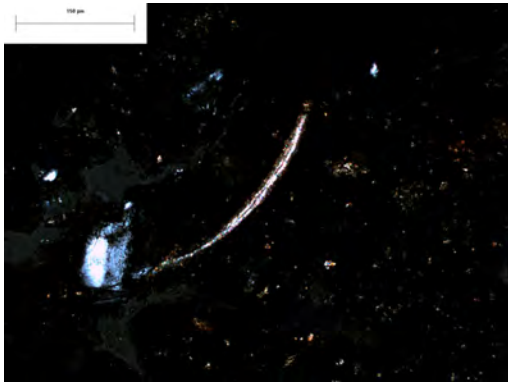


e)

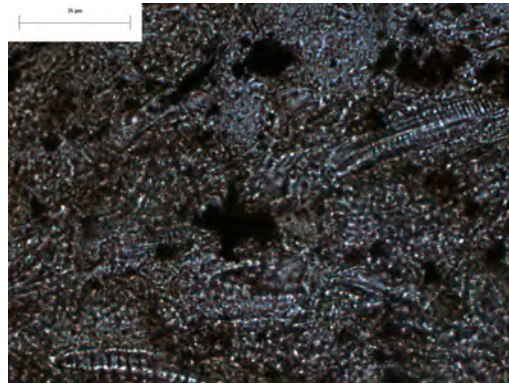
Figura 46. Microfotografías de la capa TMR7 superior con mancha parda. a y b) Contacto abrupto entre la microestructura compuesta de dos materiales distintos (PL). c) Microestructura de la región negra, rica en materia orgánica (PL). d) Microestructura de la región parda, con mayor cantidad de óxidos de hierro y menor cantidad de materia orgánica en la matriz (RL+PL). e) Tercera microestructura en región muy pequeña con mayor cantidad de minerales y con matriz con óxidos de hierro y materia orgánica (PL).

TMR7 inferior

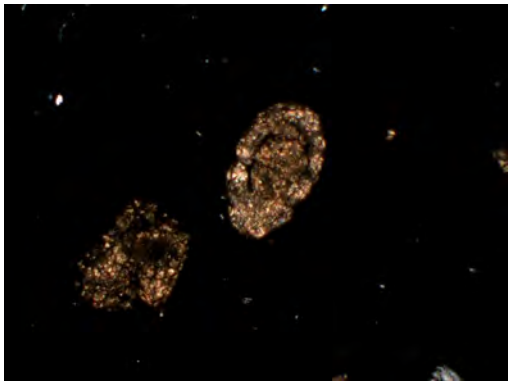
Presenta una matriz negra rica en materia orgánica (Figura 47a) con pequeñas regiones que no están cubiertas de materia orgánica en las que se aprecian arcillas que brillan en luz polarizada cruzada. Poca presencia de minerales frescos. Abundantes fragmentos de conchas (Figura 47a), oolitos (Figura 47c) y diatomeas (Figuras 47b y 47d). Se encuentran rasgos gleicos (Figura 47e).



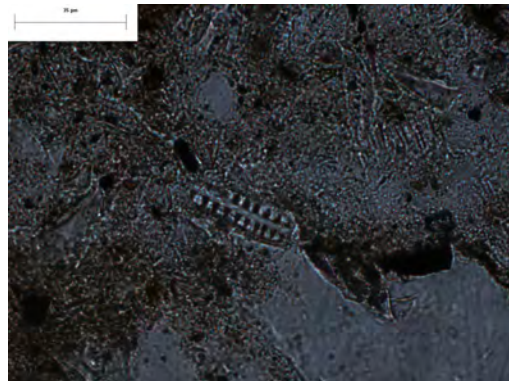
a)



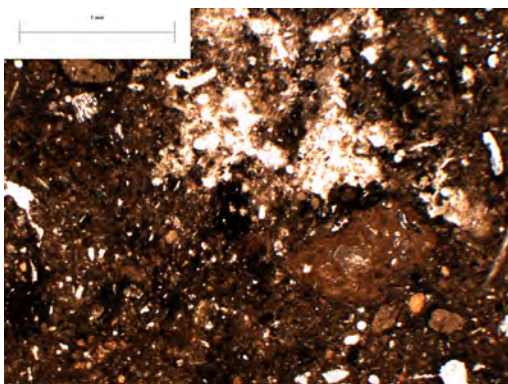
b)



c)



d)

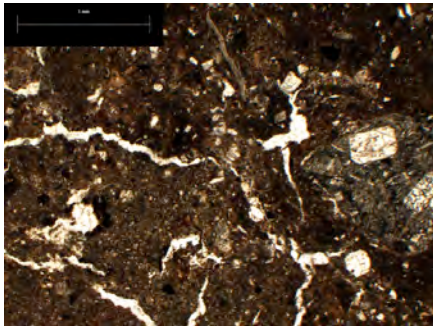


e)

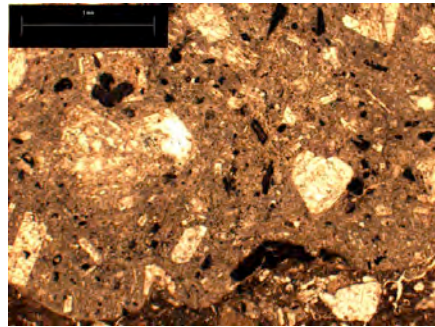
Figura 47. Microfotografías de la capa TMR7 inferior. a) Vista dorsal de fragmento de concha en matriz rica en materia orgánica negra (NX). c) Oolito y fragmento de carbonato (NX). b y d) Diatomeas (PL). e) Rasgos gleicos (PL).

TMR8F

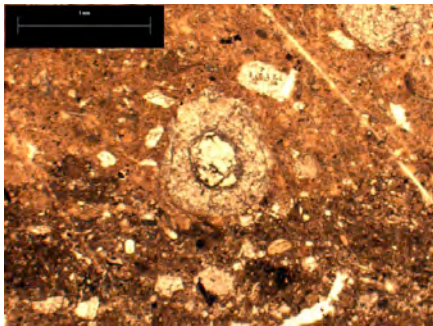
Material sumamente arcilloso, con alta presencia de agrietamiento (Figura 48a) y fragmentos líticos inalterados (Figuras 48a y 48b). Las grietas parecen formarse por desecación, no hay estrías que demuestren fenómenos de expansión - contracción. Se encuentran oolitos y fragmentos de conchas (Figura 48c). Se encontró también una microestructura compuesta (Figura 48d).



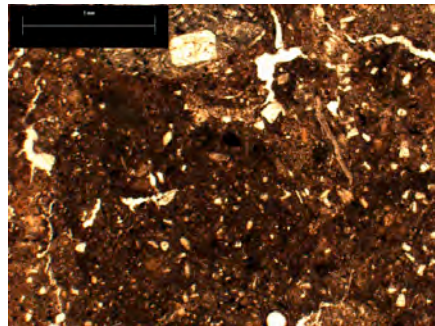
a)



b)



c)

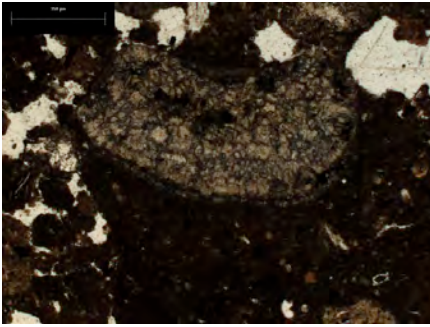


d)

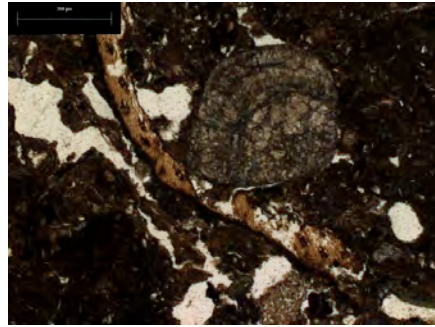
Figura 48. Microfotografías de la capa TMR8F. a) Microestructura con grietas y rasgos gleicos con fragmento de roca volcánica redondeado fresco (PL). b) Fragmento de roca inalterado (PL). c) Oolito y fragmento de concha (PL). d) Contacto de microestructura compuesta (PL).

TMR8

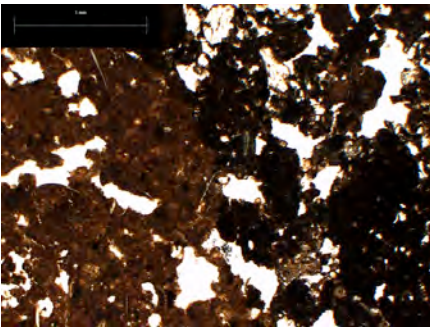
Matriz oscura, asociada a materia orgánica “black pigmented”. Microestructura compuesta (Figura 49c). No se ve estructura evidente debido al color de la matriz, pero tampoco se encuentran poros característicos de suelo. Se encuentran también varios fragmentos de carbonatos de origen biogénico de formas redondeadas: oolitos (Figuras 49a y 49b), conchas (Figura 49e); principalmente fragmentados. Se encontraron diatomeas (Figura 49d).



a)



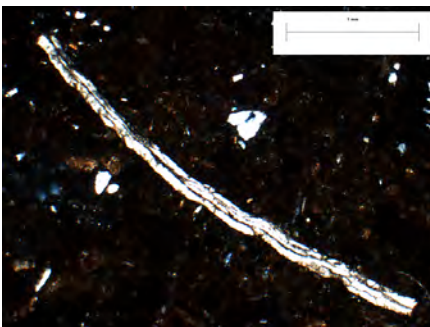
b)



c)



d)



e)

Figura 49. Microfotografías de la capa TMR8. a) Fragmento de oolito (PL). b) Fragmento de concha en vista dorsal junto a oolito fragmentado (PL). c) Microestructura compuesta en contacto abrupto (PL). d) Diatomea e) Fragmento de concha en vista dorsal.

7. Discusión

Para poder responder la pregunta de investigación inicial sobre discernir entre el origen natural o cultural de los materiales, es necesario tener en cuenta los resultados de los análisis realizados y observaciones, así como el contexto en el que cada uno de estos suelos pudo haberse formado de manera natural.

En el caso de la Estela de Cuicuilco, se procedió a realizar una comparación con suelos de características similares (principalmente en cuanto a la composición del material parental, la posición en la geoforma y el ambiente en que se formó). Para proceder de esta manera, se tomó en cuenta a los suelos naturales con menos perturbación por efecto del calentamiento de la lava del Xitle descritos en la tesis de Ibarra-Arzave (2015).

En cuanto al perfil del Templo Mayor, se deben tomar en cuenta las mismas variables, aunque dado el grado de urbanización colonial y contemporáneo del Centro de México, acceder a archivos de estudios desde la perspectiva de suelos de materiales inalterados, resulta más complicado.

7.1 Rasgos de antropización identificados en la micromorfología

7.1.1 Perfil Estela de Cuicuilco

Se observa en general, a lo largo de todo el perfil, la presencia de minerales volcánicos de composición andesítica, fragmentos de pómez, minerales intemperizados. Esta composición refleja claramente su origen volcánico.

Debido a que los fines de esta tesis son identificar los rasgos que permitan distinguir si el origen de los materiales es cultural o natural, se seleccionaron rasgos particulares para responder a dicha pregunta. Para identificar la antropización o la influencia humana en el suelo, se eligieron los siguientes rasgos micromorfológicos: presencia de carbón, presencia de cutanes de arcilla retrabajados o pápulas, presencia de óxidos de hierro y manganeso retrabajados, compactación de suelo y microestructura compuesta. La presencia de carbón se eligió como un parámetro importante debido a que, desde los grupos humanos se hicieron sedentarios, los registros paleopedológicos muestran presencia de restos de carbón para actividades agrícolas,

domésticas y artesanales (Gebhardt, 2007). En cuanto a las fases heterogéneas de intemperismo, compactación y elementos retrabajados como los óxidos de hierro y manganeso y pápulas, se ha documentado que las actividades humanas como clareo de bosques, la agricultura, entre otras actividades; modifican la microestructura de suelo rompiéndola y generando patrones irregulares de su distribución (Goldberg & Macphail, 2006). La microestructura compuesta es una característica visible tanto a micro y mesoescala que por actividades humanas, puede encontrarse debido al transporte y remoción de distintos horizontes de suelo o distintos suelos dispuestos en una superficie. Por último, la compactación es una característica que de manera cultural puede darse en capas superficiales por el apisonamiento de los materiales edáficos.

Es importante señalar que por sí solas, las características mencionadas pueden darse de manera natural; el carbón vegetal puede generarse por incendios naturales, el transporte de material por procesos erosivos y después su sedimentación, etcétera. Sin embargo, cuando se encuentran en conjunto dos o más características señaladas en más de una capa del perfil de suelo; las probabilidades de que el origen de estas características sea antrópico, son mucho mayores.

Es por eso que las láminas de suelo se sometieron a un análisis semicuantitativo de abundancia de características de antropización. De acuerdo a la abundancia de ellas se asignaron valores de cero a cinco; siendo cero la ausencia de dicha característica y cinco, muy abundante de acuerdo a la tabla 4. Estas se registraron y están representadas en la figura 50.

Tabla 4. Valores asignados a cada una de las características micromorfológicas consideradas para registrar su abundancia en las láminas delgadas de suelo.

Abundancia de la característica micromorfológica	Valor asignado
Ausente	0
Escaso	1
Poco abundante	2
Presencia moderada	3
Abundante	4
Muy abundante	5

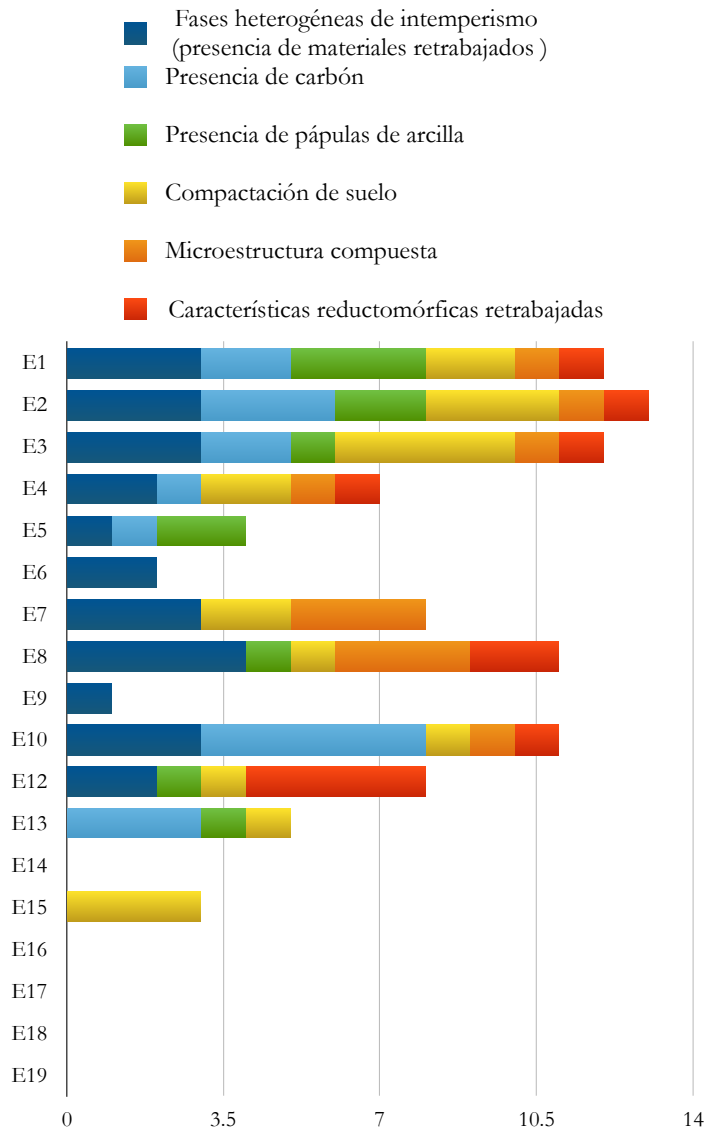


Figura 50. Esquema de abundancia de características de antropización en el suelo de la Estela de Cuicuilco para cada capa del perfil.

En la figura 50 se observa en E1, E2, E3, E8 y E10 la mayor abundancia de rasgos de antropización. Además de tener las barras más grandes, se observa que las capas superiores (E1, E2 y E3) presentan seis rasgos de antropización y las capas E8 y E9 solo cinco. En la parte inferior del perfil no se observan rasgos de antropización.

Para resaltar procesos naturales, se realizó un segundo diagrama del mismo perfil en el que se representaran las características micromorfológicas que son sensibles a la perturbación humana como la estructura de suelo granular sin compactación, la iluviación de arcilla *in situ*, la formación de óxidos de hierro también *in situ* (Figura 51). En particular, el rasgo más sensible y que da mejor información de procesos naturales son los cutanes de arcilla *in situ* debido a su fragilidad.

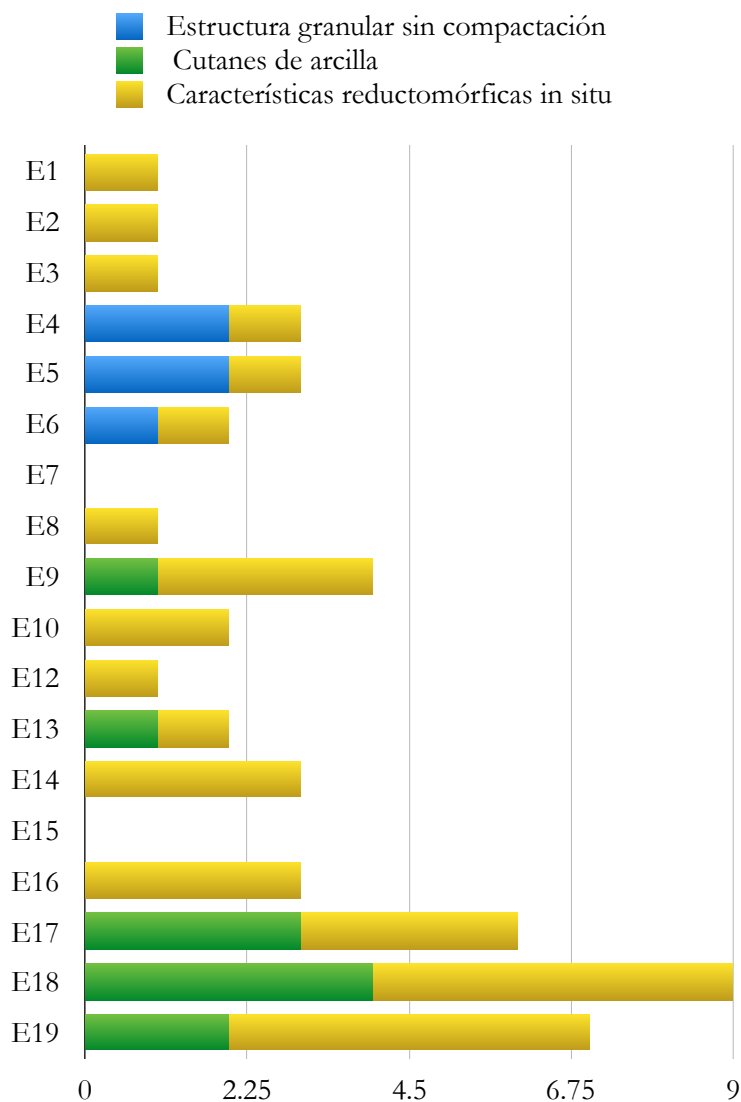


Figura 51. Esquema de abundancia de características de formación de suelo natural en el suelo de la Estela de Cuiculco para cada capa del perfil.

En el diagrama de abundancia de rasgos micromorfológicos de procesos naturales, observamos que las capas que acumulan mayor cantidad de dichas características son las capas E4, E5, E6, E17, E18 y E19. Por un lado las capas E4, E5 y E6 muestran estructuras granulares sin

compactación y las acumulaciones de óxidos se encuentran a lo largo de los poros con límites graduales, sin señales de transporte. Por otro lado, Las capas E17, E18 y E19 muestran cutanes de arcilla in situ y una estructura de suelo muy distinta a las capas superiores. Aquí los horizontes tienen mayor grado de pedalidad y tampoco hay signo de transporte de materiales o microestructuras compuestas. Estos suelos presentan características más parecidas a los Luvisoles reportados por Ibarra-Arzave (2015) en un perfil realizado en la ENAH, a pocos metros de la Estela de Cuicuilco.

Entonces, resalta la diferenciación de la parte inferior del perfil correspondiente a las últimas dos capas de material, que es de origen natural, dada su similitud con el perfil estudiado por Ibarra-Arzave (2015) y Solleiro-Rebolledo *et al.* (2015) en la ENAH a solo ~500m de la Estela. Este material parece conformar la cubierta edáfica durante o previa a la ocupación humana.

Por otro lado, en las capas superiores constituyentes en su mayoría por material pedosedimentario, resaltan capas como la E6 y E9 donde la estructura de suelo sin compactación y con poca presencia de perturbación, podrían indicar periodos donde la perturbación fue menor. Por ello, estas capas pueden ser indicadores periodos de estabilidad de suelo donde los humanos dejaron de manipular y perturbar este suelo y –de poderse relacionar temporalmente con la historia de la ocupación– podría complementar la dinámica de la población, entendiéndose por abandono temporal o alguna otra cuestión de la dinámica social antigua.

7.4.2 Perfil Templo Mayor

A diferencia de la Estela de Cuicuilco, aunque el perfil del Templo Mayor se encuentra en la misma cuenca, se encuentra en la parte más baja de la misma y las características micromorfológicas necesitan distintas consideraciones.

Por un lado, en términos geomorfológicos, el Templo Mayor se encuentra donde se encontraba el antiguo lago de Texcoco en un pequeño islote. Por esta razón, en la micromorfología encontramos restos de conchas y diatomeas ausentes en Cuicuilco; así como oolitos de fases transicionales entre ambientes lacustres y terrestres. A su vez, encontramos fragmentos líticos de origen volcánico pero en menor proporción. Otro rasgo característico de este perfil es la presencia dominante de una matriz negra compuesta por materia orgánica –que coincide con lo reportado en la medición de carbono orgánico total por pérdida por calcinación– la cual está presente en todas las capas.

Por otro lado, la temporalidad de la edificación del Templo Mayor pertenece al Posclásico, posterior a la Estela de Cuicuilco perteneciente al periodo Formativo. Cuando se comparan los restos de material constructivo encontrados en ambos suelos, resulta evidente el mayor desarrollo tecnológico para el perfil posclásico del Templo Mayor. En la micromorfología del Templo Mayor, se observa la presencia de varias geomembranas y firmes que separan las distintas capas de material pedosedimentario. A su vez, encontramos en el perfil, sobre todo en las capas superiores, fragmentos de estuco embebidos en la matriz del material de suelo.

De acuerdo a lo observado en la micromorfología, tenemos al menos cuatro orígenes de materiales constituyentes de los rellenos del Templo Mayor. En primer lugar, tenemos los materiales de origen sedimentario volcanoclástico, que son los fragmentos subredondeados de roca que pueden apreciarse en las láminas delgadas. En segundo lugar, están los materiales de origen sedimentario lacustre, como son los fragmentos de conchas, diatomeas, oolitos y formación de grietas. En tercer lugar, tenemos a los materiales culturales que se encuentran dividiendo los distintos rellenos para desplantar las nuevas fases constructivas, así como los restos de lajas y estuco. Por último, tenemos al suelo incipiente que se encuentra en las capas más superficiales, donde se comienza a desarrollar porosidad y rasgos vérticos (agrietamiento y

estructura en bloques subangulares que rompen en ángulos cercanos a los 45°) también incipientes.

Para ilustrar la diversidad de los procesos involucrados en la conformación de los materiales encontrados en el Templo Mayor, en la figura 53, se representan las características micromorfológicas ordenadas de acuerdo al tipo de proceso que los origina: antropización, procesos sedimentarios lacustres y pedogénesis incipiente. De acuerdo a la figura 53, los rasgos pedogenéticos in situ se encuentran en la parte superior del perfil. Esto, debido a que, la región superior del perfil es la que se encuentra en contacto con el ambiente y a partir de la desecación de estos materiales, la pedogénesis ha comenzado desde la deposición de estos materiales.

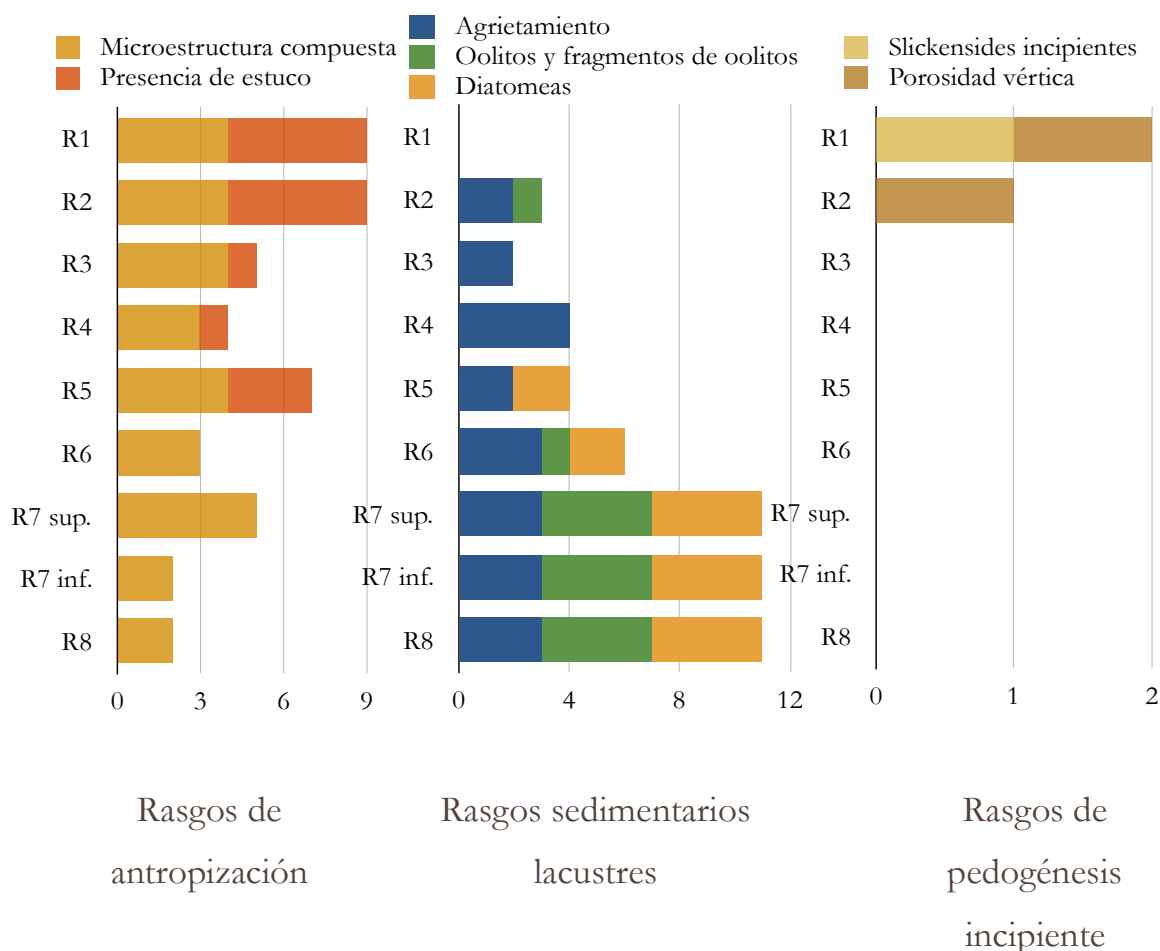


Figura 52. Esquema de abundancia de rasgos micromorfológicos encontrados en el perfil de Templo Mayor, separados de acuerdo al tipo de proceso que los origina.

De acuerdo también a la figura 52, los rasgos de antropización, debido a la presencia de estuco o fragmentos de estuco y a la mezcla de distintos materiales de composición muy distinta; se encuentran a lo largo de todo el perfil. A pesar de que la distribución de la influencia antropogénica se encuentra presente en todas las capas, se observa que es mayor la presencia de estuco en la parte superior debido a que es en esta región donde, incluso en campo, se observan las capas más gruesas de pisos. Por último, los rasgos asociados a la sedimentación lacustre, se encuentran también en todo el perfil pero de manera más abundante en la región inferior. En contraste con la pedogénesis incipiente, los rasgos contemplados como lacustres tal como las conchas, los oolitos y las diatomeas, se conservan mejor en la región donde los procesos ambientales que influyen en la pedogénesis no se encuentran tan presentes debido a la profundidad asociada a la constante presencia de agua.

8. Consideraciones finales

Fueron los suelos fértiles desarrollados sobre cenizas volcánicas al sur de la Cuenca de México una variable importante para el gran florecimiento de la civilización Cuicuilca durante el periodo Formativo. Cientos de años más tarde, los suelos del centro del lago de Texcoco, tras el desarrollo tecnológico de las chinampas y tlateles, influenció también el auge de los Mexicas durante el Posclásico.

Con el florecimiento de estos asentamientos, se estrechó también la relación entre éstos y su entorno, influenciando de esta manera el carácter antrópico de los suelos. Aunque la referencia inmediata de esta relación se remite a la agricultura, en esta tesis se encuentra que el suelo también ha sido manipulado e influenciado por los humanos para fines constructivos.

Comenzando por Cuicuilco, la Estela, elemento elemento asociado a la primera fase constructiva de la pirámide principal de Cuicuilco A, se encuentra rodeada por 16 capas de material pedosedimentario y dos horizontes de suelo natural en la parte más inferior tipo Luvisol. Las capas superiores de material pedosedimentario tienen una composición, estructura y características similares a los suelos aledaños de origen volcánico; de pH neutro, ricos en materia orgánica, fragmentos de pómez y fragmentos de roca tipo andesítica, lo que indica que los Cuicuilcas tomaron suelo de regiones cercanas para cubrir la Estela.

También se encontró que la cubierta de la Estela por material pedosedimentario, no ocurrió como un hecho único de sepultamiento para dar paso a distintas fases constructivas. Por el contrario, en estas capas se encontraron intervalos de formación incipiente de suelo –E9– y otras capas con alteración mucho más intensa, como en la capa E10, donde se encontró la mayor cantidad de carbón vegetal; así como en las capas superiores donde encontramos compactación. Culturalmente, este sepultamiento diferenciado implica que hubo periodos en los que la Estela no estuvo completamente sepultada y el material que lo cubrió parcialmente, permitió el desarrollo de suelos incipientes. Es decir, durante el proceso de cubrimiento de la Estela hubo un momento, como en la capa E9, en la que este suelo estuvo libre de perturbaciones y a partir de ello, inferimos que hubo un momento en el que los humanos no estuvieron presentes en la región específica de la Estela permitiendo el desarrollo incipiente de suelo.

Cientos de años más tarde, durante el periodo Posclásico en el lago de Texcoco con los Mexicas, se observa una mayor complejidad, tanto en el origen de los materiales pedosedimentarios, como en los factores que intervienen y el grado de desarrollo arquitectónico y de manejo del suelo. Mientras que en Cuicuilco nos situamos en la ladera baja del sur de la cuenca, en el Lago de Texcoco, como su nombre lo indica, nos encontramos además de la influencia de los humanos, la presencia de características lacustres en el material que por manipulación se llevan a superficie con fines constructivos.

En los rellenos del Templo Mayor encontramos una gran variabilidad de la estructura de los pedosedimentos. Mientras que en Cuicuilco encontramos una tendencia a ocupar suelos que provienen de fuentes muy cercanas o inmediatas; en Templo Mayor encontramos mezclas de material que previamente fue un suelo (de regiones de la ribera de la cuenca) en contacto con material lacustre (del fondo del lago) –como se ejemplifica en la micromorfología del Relleno 7 superior–.

Los patrones de composición y sus valores con alta variabilidad respaldan también lo encontrado en la micromorfología respecto al transporte del material desde diferentes fuentes; en particular del Templo Mayor.

La mezcla de materiales traídos desde el fondo del lago a superficie en el Templo Mayor permite sustentar que los mexicas utilizaron la técnica de los tlateles para la expansión de nuevas fases constructivas. Esto es, llevar material del fondo del lago a superficie tanto para la construcción de chinampas como para la construcción de superficies urbanas.

Por último, respecto al Templo Mayor, encontramos también que el transporte de estos materiales de lago a superficie ha propiciado la en las capas superficiales. De proseguir el desecamiento de los materiales, con el transcurso del tiempo y evitando mantener estos materiales sellados; los Rellenos culturales que alguna vez fueron sedimentos marinos, podrían desarrollarse para formar suelos tipo vertisol. Este último proceso pedogenético no correspondería a la temporalidad de los Mexicas, sino a procesos contemporáneos de desecación del antiguo lago de Texcoco, ahora Ciudad de México.

9. Bibliografía

- Aguilar-Tapia, R., Ortíz-Tenorio, L. A. (2016). *Informe final de la Operación 29, Proyecto Templo Mayor, Octava Temporada*.
- Barba Pingarrón, L. A., & Córdova Frunz, J. L. (2010). *Materiales y energía en la arquitectura de Teotihuacán*. Ciudad de México, México: UNAM, Instituto de Investigaciones Antropológicas.
- Borja Osorno, A., (1948). *Carta del Valle de México*. Ing. Hidr. Méx. 2: 14-22-
- Buckman, H. O., & Brady, N. C. (1970). *The Nature and Properties of Soils*. New York: The Macmillan Company.
- Carballo, D. M. (2015). *Urbanization and Religion in Ancient Central Mexico*. Oxford University Press.
- Córdova, C., Martín del Pozzo, A. L., Camacho, J. L., (1994). Palaeolandforms and Volcanic Impact on the Environment of Prehistoric Cuicuilco, Southern Mexico City. *Journal of Archaeological Science*, (21), 585-596.
- Courty, M. -A. (1992). Soil Micromorphology in Archaeology. *Proceedings of the British Academy* , 77, 39-59.
- Cummings, B. (2006). Cuicuilco and the Archaic Culture of Mexico. *The Scientific Monthly*. 23 (4), 289-304.
- Díaz Ortega, J. (2008). *Cambios ambientales y dinámica erosiva en el glacis de Buenavista Morelos, en el cuaternario tardío: registros paleopedológicos*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Díaz-Rodríguez, J. A. (2006). Los suelos lacustres de la Ciudad de México. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil* , 6 (2), 111-130.
- Díaz-Rodríguez, J. A.-S.-A. (1998). Physical, chemical, and mineralogical properties of Mexico City: a geotechnical perspective. *Canadian Geotechnical Journal* , 35 (4), 600-610.
- Doering, T. F. (2014). Mesoamerica in the Preclassic Period: Early, Middle, Late Formative. In C. Smith (Ed.), *Encyclopedia of Global Archaeology* (pp. 4783-4802). Tampa, Florida, EUA: Springer Reference.

- Friesem, D. E. (2016). Geo-ethnoarchaeology in action. *Journal of Archaeological Science* , 70, 145-157.
- García-Calderón, N. E., Krasilnikov, P., Valera-Pérez, M. A., & Torres-Trejo, E. (2007). Suelos. In I. Luna, J. J. Morrone, & D. Espinosa, *Biodiversidad de la faja volcánica transmexicana*. Ciudad de México: UNAM.
- Gebhardt, A. (2007). Impact of charcoal production activities on soil profiles: the micromorphological point of view. *ArchéoSciences* , 31, 127-136.
- Goldberg, P., & Macphail, R. I. (2006). *Practical and Theoretical Geoarchaeology*. Reino Unido: Blackwell Publishing.
- Gutierrez de MacGregor, M. T., González Sánchez, J., & Zamorano Orozco, J. J. (2005). La Cuenca de México y sus cambios demográfico-espaciales. *Temas selectos de geografía de México* .
- Ibarra Arzave, G. (2015). *Reconstrucción de la cubierta edáfica en el cuaternario tardío en la porción sur de la Cuenca de México y su afectación por la actividad volcánica del Xitle*. Ciudad de México, México.
- Imaz, M. (1989). Historia Natural del Valle de México. *Ciencias* , 15, 15-21.
- IUSS Working Group. (2014). *Base referencial mundial del recurso suelo 2014. Actualización 2015*. Roma.
- Jackson, M. L. (1958). *Soil Chemical Analysis*. Engelwood Cliffs, N. J., EUA: Prentice-Hall, Inc.
- Krasilnikov, P., Gutiérrez-Castorena, M. d., Ahrens, R. J., Cruz-Gaistardo, C. O., Sedov, S., & Solleiro-Rebolledo, E. (2013). *The Soils of Mexico*. Springer.
- Krasilnikov, P., Jiménez Nava, F. J., Reyna Trujillo, T., & García Calderón, N. E. (Eds.). (2011). *Geografía de Suelos de México*. Ciudad de México, México: Las prensas de Ciencias.
- Lehmann, A., & Stahr, K. (2007). Nature and Significance of Anthropogenic Urban Soils. *J Soils Sediments* , 7 (4), 247-260.
- Loaiza, J. C., Stoops, G., Poch, R. M., & Casamijtana, M. (Eds.). (2015). *Manual de micromorfología de suelos y técnicas complementarias*. Medellín, Colombia: Fondo Editorial Pascual Bravo.
- López Dinorín, R. &. (2011). *Análisis de los desplazamientos horizontales observados con el GPS en el Occidente de la Cuenca de México*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.

- López Luján, L., Torres, J., & Montúfar, A. (2003). Los materiales constructivos del Templo Mayor de Tenochtitlan. *Estudios de cultura Nábatl* (34), 137-166.
- Macphail, R. I., Allen, M. J., Crowther, J., Cruise, G. M., & Whittaker, J. E. (2010). Marine Inundation: Effects on archaeological features, materials, sediments, and soils. *Quaternary International* (214), 44-55.
- Maldonado Koerdell, M. (1954-55). La historia geohidrológica de la Cuenca de México. *Rev. Mex. de Est. Antropol.* , XIV.
- Manzanilla, L., & Serra, M. C. (1987). Aprovechamiento de recursos de origen biológico en la Cuenca de México. *Geofísica Internacional* , 26 (1), 15-28.
- McClung de Tapia, E. (2012). Silent Hazards, Invisible Risks: Prehispanic Erosion in the Teotihuacan Valley, Central Mexico. (J. C. Sheets, Ed.) *Surviving Sudden Environmental Change: Answers from Archaeology* , 143-165.
- Minor García, O. (2014). *Comparación entre dos posibles soluciones al diseño estructural, en 1930 y contemporánea, para el edificio "La Nacional", el primer rascacielos de México*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Morehart, C. T., & Frederick, C. (2014). *The Chronology and collapse of pre-Aztec raised field (chinampa) agriculture in the Northern Basin of Mexico* (Vol. 88). E.U.A.: Antiquity Publications.
- Nachtergaele, F. (2005). The "soils" to be classified in the World Reference Base for Soil Resources. *Euras. Soil Sci.* , 38 (Supl. 1), 13-19.
- National Research Council, Academia de la investigación científica A. C., Academia Nacional de Ingeniería A. C. (1995). *Mexico's City Water Supply: Improving the Outlook for Sustainability*. Washington D. C.: National Academy Press.
- Núñez-Solís, J. (2000). *Fundamentos de edafología*. Costa Rica: EUNED.
- Nutall, Z. (1926). The Aztecs and their Predecessors in the Valley of Mexico. *American Philosophical Society* , 65 (4), 245-255.
- Pastor, A., Gallelo, G., Cervera, M. L., & de la Guardia, M. (2016). Mineral soil composition interfacing archaeology and chemistry. *Trends in Analytical Chemistry* , 78, 48-79.

- Plunket, P., & Uruñuela, G. (2012). Where East Meets West: The Formative in Mexico's Central Highlands. *Journal of Archaeological Research* , 1-51.
- Porta, J., López, A. M., & Roquero, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. España: Mundi-Prensa.
- Qingren, W., Yucong, L., & Y., W. (2011). Optimizing the weight loss-on-ignition methodology to quantify organic and carbonate carbon of sediments from diverse sources. *Environ Monit Assess* , 174, 241-257.
- Quiñones Amézquita, C. T. (2005). *Chinampas y Chinamperos: Los horticultores de San Juan Tezompa*. Ciudad de México, México: Universidad Iberoamericana.
- Ramírez, F. (2012). La Erupción del Xitle y el fin de Cuicuilco. *Revista de Arqueología Americana* (30), 61-89.
- Retallack, G. J. (2001). *Soils of the Past. An introduction to paleopedology*. Oregon, Eugene, EUA: Blackwell Science.
- Rivera Uria, M. Y., Sedov, S., Solleiro-Rebolledo, E., Pérez-Pérez, J., McClung, E., González, A., et al. (2007). Degradación ambiental en el valle Teotihuacán: evidencias geológicas y paleopedológicas. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* , 59 (2), 2003-217.
- Rzedowski, G. C. de, J. Rzedowski y colaboradores, (2005). *Flora fanerogámica del Valle de México*. 2a. ed., 1a reimp., Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro (Michoacán), 1406 pp.
- Sedov, S., Lozano-García, S., Solleiro-Rebolledo, E., McClung de Tapia, E., Ortega-Guerrero, B., & Sosa-Nájera, S. (2010). Tepexpan revisited: A multiple proxy of local environmental changes in relation to human occupation from a plaeolake shore section in Central Mexico. *Geomorphology* , 122, 309-322.
- Siebe, C. (2000). Age and archaeological implications of Xitle volcano, southwestern Basin of Mexico-City. *Journal of Vulcanology and Geothermal Research* , 104, 45-64.
- Siebe, C., Jahn, R., & Stahr, K. (2006). *Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en campo* (2ª edición ed.). Ciudad de México, México: UNAM.

Soil Survey Manual, Chapter Three. (1993). *Natural Resources Conservation Service*. Consultado en enero de 2017 de United States Department of Agriculture: https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/national/soils/?cid=nrcs142p2_054253

Sokolov, I. A. (1997). *Soil Formation and Exogenesis*. Moscow.

Solleiro-Rebolledo, E., Sedov, S., Sycheva, S., Sánchez Pérez, S., Pustovoitov, K., & Sauer, D. (2015). Influencia de los paleosuelos en los procesos exógenos modernos en la porción noreste de la Cuenca de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* , 67 (2), 255-272.

Solleiro-Rebolledo, E., Straubinger, M., Terhorst, B., Sedov, S., Ibarra, G., Sánchez-Alaniz, J. I. (2016). Paleosols beneath a lava flow in the southern basin of Mexico: The effect of heat on the paleopedological record. *CATENA* , 137, 622-634.

Sposito, G. (2008). *The Chemistry of Soils* (2ª edición). Nueva York, E.U.A.: Oxford University Press.

Stolt, M. H., & Lindbo, D. L. (2010). Soil Organic Matter. In G. Stoops, *Interpretations of Micromorphological features of Soils and Regoliths* (Vol. 17, pp. 369-396). Amsterdam, Países Bajos: Elsevier.

Targulian, V. O., & Goryachkin, S. V. (2004). Soil memory: Types of record, carriers, hierarchy, and diversity. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* , 21 (1), 1-8.