



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA

INSTITUTO DE GEOLOGÍA

LOS PALEOSUELOS “NEGROS” COMO INDICADORES DE CAMBIOS
AMBIENTALES NATURALES E INDUCIDOS POR EL HOMBRE EN EL PERIODO
DE OCUPACION TEOTIHUACANO

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
DOCTOR EN CIENCIAS DE LA TIERRA

PRESENTA:

SERAFÍN SÁNCHEZ PÉREZ

COMITÉ TUTORAL

Dra. Elizabeth Solleiro Rebolledo, Instituto de Geología
Dr. Sergey Sedov, Instituto de Geología
Dra. Emily McClung de Tapia, Instituto de Investigaciones Antropológicas

MÉXICO, D.F. NOVIEMBRE, 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

A MI MADRE QUIEN DEDICÓ SU VIDA A MI EDUCACIÓN

A MARGARITA

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Nacional Autónoma de México**, porque me permitió acercarme al conocimiento de las ciencias ambientales, mostrándome un camino por donde he podido transitar, aprendiendo, escudriñando y disfrutando de los entornos naturales, nunca podré expresar lo profundamente agradecido que estoy.

Al **Posgrado en Ciencias de la Tierra**, porque a través de sus programas, clases y actividades tuve la oportunidad de profundizar y comprender mejor el medio ambiente, generándo una nueva perspectiva en mis actividades académicas y de investigación.

Al **Instituto de Geología** por el apoyo que me brindo en el desarrollo de la investigación. Siempre ha sido y será para mí, el lugar donde se dan las soluciones a mis dudas.

A los proyectos **CONACYT 101988** a cargo de la Dra. Emily McClung de Tapia y **PAPIIT IN 117709** a cargo de la Dra. Elizabeth Solleiro Rebolledo, por brindarme los recursos para los análisis de laboratorio, salidas al campo y congresos.

A la **Dra. Elizabeth Solleiro Rebolledo**, por ser mi guía en esta investigación, por sus enseñanzas, consejos y su infinita paciencia, todo ello hicieron posible la conclusión de este trabajo. Eternamente agradecido.

Al comité tutorial: **Dr. Sergey Sedov, y Dra. Emily McClung de Tapia**, por las asesorías, comentarios y consejos realizados a lo largo de este trabajo, que me permitieron llevar a buen término la investigación.

Al jurado examinador **Dra. Blanca Lucía Prado Pano, Dra. Teresa Pi Puig, Dr. Lorenzo Vázquez Selem**, por su minuciosa revisión y comentarios al trabajo realizado.

Al **M. en C. Jaime Díaz Ortega**, por su ayuda en el trabajo de campo, en la realización de los análisis físicos y químicos en el laboratorio de paleosuelos, así como en la elaboración de las secciones delgadas.

A la **Dra. Teresa Pi Puig**, por su apoyo en el análisis e identificación de las fases minerales, de muestras totales de suelo y de arcilla orientada.

A la **QFB. Fabiola Vega García** por su ayuda en el análisis de elementos totales por fluorescencia de rayos X.

Al **Sr. Elijo Jiménez (†)**, por su amistad, comentarios y asesoría en la elaboración de las secciones delgadas.

A la **Arqueóloga Pamela García Ramírez** por su ayuda en la elaboración del mapa digital del valle de Teotihuacán.

Al **Dr. Jorge Enrique Gama Castro** por sus comentarios y enseñanzas tanto campo como en gabinete que enriqueció este trabajo.

A **María Luisa Reyes Ochoa y Gloria Benítez Alba** por el apoyo en todos los trámites académicos y administrativos a lo largo de toda mi estancia en el posgrado.

A todos los amigos y compañeros del grupo de paleosuelos, sus comentarios, pláticas, bromas y risas, me hicieron sentir parte del grupo.

ÍNDICE

Resumen

Introducción		1
CAPÍTULO 1	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.1	Planteamiento del problema	4
1.2	Justificación	7
1.3	Hipótesis	8
1.4	Objetivos	10
CAPÍTULO 2	ANTECEDENTES	11
2.1	Estudios con enfoque arqueológico	11
2.2	Estudios geoarqueológicos	14
CAPÍTULO 3	MARCO CONCEPTUAL	18
3.1	Los suelos en contextos arqueológicos	18
3.1.1	Relaciones entre los sitios arqueológicos y el suelo	19
3.1.2	Características del suelo	20
3.1.3	Suelos y procesos sedimentarios	24
3.1.4	Los suelos y el desarrollo del contexto arqueológico	25
3.1.5	Los suelos del entorno al sitio arqueológico en el Valle de Teotihuacán	28
3.1.6	Como acceder a los estudios de los suelos del entorno a los sitios arqueológicos	32
3.2	Procesos pedogenéticos y suelos en zonas semiáridas	33
3.2.1	Características de las zonas semiáridas	33
3.2.2	Procesos peogenéticos relacionados a las zonas semiáridas	34
3.3	Los Vertisoles	41
CAPÍTULO 4	ÁREA DE ESTUDIO	45
4.1	Geomorfología	46
4.2	Geología	47
4.3	Clima	48
4.4	Vegetación	48
4.5	Suelos	49

CAPÍTULO 5	METODOLOGÍA	50
5.1	Estrategia de campo para la identificación, descripción y muestreo del paleosuelo “negro”.	50
5.2	Construcción del mapa de distribución de los paleosuelos.	52
5.3	Análisis físico – químicos	53
5.4	Análisis mineralógico	55
5.5	Análisis micromorfológico	56
5.6	Fechamientos por ¹⁴ C	56
CAPÍTULO 6	RESULTADOS	58
6.1	Perfil San Pablo (sección tipo), características morfológicas	58
6.2	Características morfológicas de los paleosuelos “negros” identificados en el Valle de Teotihuacán	61
6.3	Distribución y diferenciación del paleosuelo “negro” en el paisaje	71
6.4	Resultados de los análisis del laboratorio	77
6.4.1	Perfil San Pablo (Sección tipo)	77
6.4.2	Los paleosuelos “negros” en la planicie aluvial: Perfiles La Ventilla1 y 2, Las Tunas 1 y El Canal	92
6.4.3	Los paleosuelos “negros” localizados en zonas de poca pendiente: Perfil El Cedazo, Las Vías, La Mina, Las Terrazas 2 y El Pozo	109
6.5	Indicadores de la paleovegetación	115
6.6	Calidad del paleosuelo “negro”	119
CAPÍTULO 7	DISCUSIÓN	122
7.1	Distribución y morfología del paleosuelo “negro” en el valle de Teotihuacán	122
7.2	Pedogénesis y tasas de formación del paleosuelo “negro”	124
7.3	El paleosuelo “negro” como recurso agrícola	126
7.4	Pedogénesis del paleosuelo “negro”: Clima versus impacto humano	130

CAPÍTULO 8	CONCLUSIONES	133
Referencias bibliográficas		137

RESUMEN.

La ciudad prehispánica de Teotihuacán fue la metrópoli más grande del México antiguo, concentró a la mayor cantidad de habitantes y demandó una gran cantidad de recursos naturales para su subsistencia. El suelo como un recurso de su medio ambiente jugó un papel importante en su desarrollo y esplendor, particularmente en el periodo Clásico (200 – 650 DC). La presente investigación se abocó a identificar la cubierta de suelo que existía en el periodo teotihuacano, ubicando su distribución en el valle de Teotihuacán, así como la caracterización de sus propiedades pedogenéticas que dan cuenta de los diferentes eventos ambientales naturales que propiciaron su desarrollo y las posibles modificaciones provocadas por la actividad humana. Para llevar a cabo los objetivos propuestos, se realizó en primer lugar un recorrido de campo en el valle, para ubicar los suelos correspondientes al periodo teotihuacano. Esta actividad se basó en el trabajo previo de Rivera-Uria y colaboradores en el 2007, quien lo reconoce por primera vez y lo describe como un suelo “negro”, debido a su alto contenido de materia orgánica, que ocasiona un color oscuro muy intenso. Ubicados los paleosuelos “negros” en las diferentes secuencias estratigráficas, se describieron sus características y se muestrearon para su posterior análisis. Los análisis comprendieron tanto determinaciones físico-químicas como: color, distribución del tamaño de partícula, susceptibilidad magnética, materia orgánica, cuantificación de elementos mayores; así como análisis mineralógicos, micromorfológicos y fechamientos por ^{14}C . Los resultados indicaron que el paleosuelo “negro” se distribuye ampliamente en el valle de Teotihuacán. En el fondo del valle (planicie aluvial) se identifica formando parte de pedocomplejos, con una secuencia de horizontes AE/ABtss/Bk. En las zonas de mayor altitud donde la pendiente no es muy pronunciada se reconoció como un solo suelo en el perfil (monocíclico), en esos lugares el horizonte que lo forma es el ABtss. El paleosuelo se identifica como un Vertisol cálcico. Los análisis físico-químicos, mineralógicos y geoquímicos ayudaron a precisar las características del paleosuelo, indicando su gran contenido de arcilla; la alta concentración de materia orgánica, que le imprime el color oscuro; los altos valores en la susceptibilidad magnética, debido

al elevado contenido de material volcánico, particularmente amorfo; la identificación de la halloisita como la arcilla dominante; el índice Ti/Zr estableció la relación pedogenética de los horizontes AE y ABtss. La micromorfología fue particularmente importante, logrando identificar los procesos pedogénicos relacionados con los diferentes ambientes naturales, dominantes en el desarrollo del paleosuelo, como: la iluviación, la carbonatación, los rasgos verticos. Además se identificaron atributos pedogenéticos asociados a la actividad humana, como los redox, en el horizonte AE. Los fechamientos realizados en los horizontes indican que el paleosuelo “negro” tuvo un amplio tiempo de desarrollo, que pudo abarcar al menos cuatro mil años y también indican que fue la cubierta de suelo en los periodos Formativo - Clásico. Los análisis realizados en colaboración con otros investigadores, mostraron a través de la evaluación del potencial agrícola, lo adecuado del paleosuelo para el desarrollo de la agricultura; del análisis de polen y fitolitos se logró la identificación de maíz en el paleosuelo y en particular este último mostro evidencias de la utilización del riego. Las características pedogenéticas que originaron las cualidades adecuadas al suelo para su uso agrícola, el clima y el uso del riego quedaron registrados en el suelo, constituyendo lo que se conoce como “la memoria del suelo”

INTRODUCCIÓN

Los estudios de las relaciones que se establecen entre el medio ambiente y el hombre, son de gran relevancia cuando se quiere explicar el desarrollo de una cultura. Especialmente cuando se trata de culturas pasadas, debido a que las relaciones que se establecieron fueron más directas y estrechas con su entorno e incluyeron prácticamente todos los niveles de su escenario natural: el litológico, el edafológico, el sedimentológico, el ecológico e incluso el relieve.

Dentro de todos los elementos del medio ambiente, destaca uno en particular, el suelo, en específico los paleosuelos. Su estudio brinda la posibilidad de acceder a la información que da cuenta de estas relaciones con las comunidades pretéritas y más aún, ofrece la oportunidad de realizar aproximaciones al ambiente en el cual las culturas se desarrollaron. Los paleosuelos tienen la cualidad de haber registrado en lo que se conoce como “memoria del suelo” (Targulian et al., 2004), los eventos naturales que causaron su desarrollo y las alteraciones por el uso que los humanos realizaron. Partiendo de la idea de que los factores formadores del suelo condicionan sus características y el clima, particularmente la lluvia y la temperatura, direccionan los procesos pedogenéticos, la identificación de tales procesos, permitirá inferir las condiciones climáticas que prevalecieron en su desarrollo.

Si bien, el suelo es un elemento del medioambiente importante en cualquier momento de la historia del hombre, es particularmente significativo en el desarrollo de las primeras sociedades sedentarias, especialmente en el establecimiento y progreso de la agricultura.

Este es el caso de la cultura teotihuacana, que se desarrolló entre el siglo I y VII dC. El estudio de los paleosuelos ha sido particularmente importante, porque ha permitido acercarse, en una escala local, a la reconstrucción del ambiente en el cual tuvo lugar una de las culturas más importantes en el mundo prehispánico.

Teotihuacán, considerada la ciudad de los dioses, albergó una de las concentraciones más grandes de habitantes en el México antiguo, (125 000

habitantes, aproximadamente (Millon, 1970). Tal concentración de población demandó toda clase de recursos, por lo tanto, la presión sobre el ambiente fue muy grande para satisfacer las necesidades de la sociedad. El suelo, como parte del entorno natural, jugó un papel estratégico en el desarrollo de esta cultura.

El estudio de los paleosuelos en el valle de Teotihuacán y en general de los reconocimientos paleoecológicos, se han realizado en las últimas dos décadas, resultando en un número importante de casos de estudio (Lounejeva et al., 2006, 2007; McClung de Tapia et al., 2003, 2005; Rivera-Uria, et al., 2007; Sedov et al., 2010; Solleiro-Rebolledo et al., 2006, 2011; Sánchez-Pérez et al., 2013; Sycheva, et al., 2010). Dentro de ellos, el primero en reconocer al paleosuelo correspondiente al periodo teotihuacano fue el de Rivera-Uria y colaboradores en el 2007, describiéndolo como un suelo “negro”, debido a su alto contenido de materia orgánica, que ocasiona un color oscuro muy intenso. Sin embargo los arqueólogos están de acuerdo que las condiciones paleoambientales de esta área aún no están lo suficientemente entendidas y se requiere de más estudios (Cowgill, 2008).

De esta forma, esta investigación pretende contribuir al conocimiento de la cubierta de suelo que existía en el momento del establecimiento de la cultura Teotihuacana, en la caracterización de sus rasgos pedogenéticos, los cuales posibilitan identificar cronológicamente los diferentes ambientes que se sucedieron a lo largo del desarrollo del paleosuelo, además de dar un acercamiento a las posibles alteraciones realizadas por los habitantes del sitio.

La investigación comprendió dos etapas: la primera fue identificar al suelo “negro” en el valle, describiendo sus perfiles y tomando muestras para los diferentes análisis que se aplicarían. La segunda etapa incluyó la generación de un mapa de distribución del suelo “negro” y el procesamiento de las muestras colectadas en campo, que abarcaron técnicas físicas, químicas y micromorfológicas, todas encaminadas a evaluar aquellas propiedades del paleosuelo que son estables a través del tiempo y que permitan identificar los procesos pedogenéticos involucrados en el desarrollo del suelo “negro”.

La tesis consta de 8 capítulos: el primero se refiere a los planteamientos que originan la investigación; en el segundo se realiza una revisión general de los trabajos realizados por los arqueólogos, su presentación es cronológica y toma en cuenta los trabajos que incluyen algunas reflexiones sobre el medio ambiente, además, en este capítulo se incluyen los trabajos realizados por diferentes grupos multidisciplinarios, dentro del campo de las ciencias de la tierra, que abordan distintos aspectos del paleoambiente en el valle de Teotihuacán; el tercer capítulo explora los conceptos de los suelos y su relación con los contextos arqueológicos, partiendo de su reconocimiento, pasando por las posibles relaciones que se establecen con los habitantes del sitio, así como su transformación a través del tiempo, después del abandono del sitio, hasta su identificación en el momento actual, se profundiza también en los posibles procesos pedogenéticos que pudieran estar involucrados en el desarrollo del suelo “negro”; en el cuarto capítulo se proporciona un panorama general de los aspectos ambientales del valle de Teotihuacán; el capítulo quinto comprende el desglose de la metodología utilizada para el desarrollo de la investigación, se enumeran las diferentes fases del trabajo de campo, las técnicas empleadas para evaluar los indicadores paleopedológicos; el capítulo sexto incluye todos los resultados obtenidos tanto del trabajo de campo como de lo realizado en el laboratorio, contienen tablas, gráficos, esquemas e imágenes en donde se sintetizan la información; en el capítulo séptimo se discuten ampliamente los resultados obtenidos, en términos de los objetivos planteados en la investigación y finalmente en el capítulo octavo, se exponen las consideraciones finales de la investigación, planteando el ambiente prevaleciente en el momento de la ocupación teotihuacana, así como las alteraciones del suelo ocasionadas por la actividad humana.

CAPÍTULO .1 . DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

A continuación se presenta la problemática que originó el desarrollo de la investigación, planteando la importancia del conocimiento del ambiente en que se desarrolló la cultura teotihuacana y de las relaciones entre los pobladores del sitio y su entorno natural. Se argumenta la trascendencia de este tipo de trabajos y el enfoque particular de las ciencias de la tierra, especialmente la paleopedología, que permite establecer el ambiente que existió en el periodo teotihuacano y las alteraciones realizadas por la actividad del hombre.

1.1 Planteamiento del problema.

Los estudios de las características paleoecológicas, interacciones entre el hombre y el ambiente, así como el uso de recursos naturales en el Valle de Teotihuacán, en los periodos Preclásico al Clásico (aproximadamente entre los 400 a.C. y 650 d.C.), se han enfocado en la caracterización de los suelos de la región y la reconstrucción de la paleovegetación a través de la recuperación de macro y micro restos (Sanders, 1976; Sanders et al., 1979; McClung de Tapia et al, 2003, 2005; Lounejeva et al., 2006, 2007; Solleiro-Rebolledo et al., 2006, 2011; Rivera-Uria, et al., 2007; Sedov et al., 2010; Sycheva et al 2010; Sánchez-Pérez et al., 2013). Sin embargo la pregunta aún persiste ***¿cuál fue la cubierta de suelo que ocuparon los pobladores de estas culturas, que permitió su desarrollo?***

Sanders, (1976); Sanders et al., (1979), llegan a la conclusión de que el paisaje que existió en el Preclásico y en el Clásico fue muy semejante al actual, idea muy generalizada en estos días, sin embargo esta propuesta tiene grandes problemas debido a la evidencia de modificaciones a gran escala de la cubierta de suelo por procesos erosivos, inducidos por el hombre y fenómenos de sedimentación desde la época prehispánica. Trabajos como los de González-Arqueros et al., (2013); McClung de Tapia et al., (2005); Rivera-Uria et al., (2007); Sedov et al., (2010); Solleiro-Rebolledo et al., (2011), muestran las evidencias de la erosión y la depositación de pedosedimentos en el fondo del valle.

Lo anterior sugiere que el suelo que pisaron los teotihuacanos, cultivaron y usaron como materia prima para fabricar diferentes tipos de materiales constructivos, no es el mismo que podemos observar en la actualidad, sino ha sido destruido en los lugares con pendientes y depositados en la parte baja del valle. En estas posiciones, es posible observar los relictos de este suelo, sepultados por pedosedimentos y sedimentos más jóvenes.

Los procesos erosivos así como los de sedimentación, representan muchas dificultades para la reconstrucción de la cubierta original de suelo y sus horizontes, sin embargo el segundo caso, los suelos enterrados (paleosuelos) son frecuentemente preservados. Estos suelos han sido ya reconocidos y llamados paleosuelos "negros" debido a su color oscuro muy intenso, ocasionado por la abundante materia orgánica, los cuales han sido parcialmente estudiados en el Valle de Teotihuacán por: Rivera-Uría, et al., (2007); Solleiro-Rebolledo et al., (2011) y Sánchez-Pérez et al., (2013).

Los paleosuelos son el resultado de la interacción de los factores formadores del suelo: material parental, clima, organismos, relieve y tiempo (Dokuchaev, 1967; Jenny, 1941), lo anterior implica que sus características son la consecuencia directa de estos factores. Los mecanismos de desarrollo *in situ* conocidos como procesos pedogenéticos, son condicionados y regulados por los factores formadores presentes en su momento de desarrollo. De esta manera los paleosuelos tienen la información del ambiente donde se formaron y al seleccionar las propiedades que son estables a través del tiempo, se tendrá acceso a lo que constituye la "memoria del suelo" (Targulian et al., 2004).

Esta cualidad de los paleosuelos permite aproximarse al ambiente que existía en el momento de la ocupación teotihuacana. La reconstrucción paleoambiental incluye la información generada por los suelos antiguos y la vegetación de Teotihuacán, permitiendo dar respuesta a otra de las interrogantes importantes para el entendimiento de la sociedad teotihuacana: ***¿Cuál fue el ambiente que existía en el periodo teotihuacano, que permitió el establecimiento de esta cultura?***

El estudio de los paleosuelos teotihuacanos tiene una alta resolución espacial, debido a que los factores formadores del suelo son específicos para cada área, como por ejemplo la planicie del fondo del valle, de tal forma que permite generar información acerca de las condiciones paleoambientales a una escala local. Los estudios de paleosuelos son complementarios pero independientes a otras aproximaciones de reconstrucción paleoecológicas usadas en Teotihuacán como: la paleobotánica, sedimentológica y las evidencias climáticas.

Además los suelos son la clave para el entendimiento de los recursos agrícolas obtenidos, ya que éstos dependen de las características del suelo, su calidad y ésta determina, en gran medida el éxito de su explotación agrícola. Esta idea incluye las deficiencias y limitaciones para el crecimiento de las plantas cultivadas. Asimismo las cualidades del suelo influyen directamente en el desarrollo y adaptación de prácticas agrícolas, como pueden ser: laboreo, abonamiento, riego, entre otras, necesarias para compensar las posibles limitaciones.

El manejo agrícola de los suelos modifica las propiedades y procesos pedogenéticos de los suelos, generando características muy particulares y registradas nuevamente en la "memoria" del suelo. Esta condición permite contestar una de las preguntas básicas en la relación hombre - medio ambiente, ***¿Cómo se afectó al recurso suelo al ser explotado agrícolamente?***

La alta concentración de población de finales del Preclásico - Clásico, en el Valle de Teotihuacán (Millon, 1970), ocasionó una fuerte presión sobre los recursos naturales, en particular al recurso suelo, implementando un modelo de explotación agrícola intensivo que permitió proveer productos agrícolas a la población rural y urbana.

De esta forma, la presente investigación se centra en dar respuesta a las preguntas planteadas, tomando como base a los paleosuelos que existieron en el momento de la ocupación teotihuacana, como uno de los aspectos principales de los ecosistemas, que permite aproximarnos a las relaciones medio ambiente-hombre.

1.2 Justificación

Teotihuacán fue una de las ciudades más importantes del México prehispánico, albergó la concentración más importante de población en el periodo Clásico, calculada en aproximadamente 125 000 habitantes en aproximadamente 20 km² (Millon, 1970). Considerada la ciudad de los dioses, demandó toda clase de recursos naturales, combustibles, materias primas para la construcción, alimentos, agua, entre los principales (López, 1989; Manzanilla, 1997; McClung de Tapia, 1987). Es claro que la presión sobre los recursos debió ser muy grande, para obtener todos los bienes que la población demandaba y muy probablemente afectando su entorno.

Es factible que uno de los principales problemas de una población de este tamaño, haya sido su alimentación y muy probablemente la mayor cantidad de este recurso debió de provenir de la producción agrícola del Valle de Teotihuacán.

Es claro entonces que el entender la relación entre el hombre y su medio ambiente, permite aproximarse al entendimiento del establecimiento y desarrollo de esta cultura, partiendo de la idea de que el ambiente tiene influencia, en diferentes grados, en el desarrollo de los grupos humanos (Steward, 1955).

El suelo y en particular, los paleosuelos, como parte del ambiente natural y siendo la base de los ecosistemas terrestres naturales, así como de los agroecosistemas, permite acceder a información del ambiente que existía en la época teotihuacana, además de aportar información sobre las posibles alteraciones sufridas por el uso del suelo en actividades agrícolas.

De esta manera, la presente investigación realiza un acercamiento a las relaciones del medio ambiente y asentamiento teotihuacano utilizando uno de los elementos básicos de los ecosistemas actuales y pasados, el suelo, para aportar información ambiental y de las posibles alteraciones antropogénicas, como elementos importantes en la evaluación del asentamiento humano y su entorno natural.

Como se ha mencionado, este tipo de estudios de reconstrucción ambiental a través del análisis de los paleosuelos proporciona información invaluable y detallada, a una escala local. Pero desafortunadamente el proceso de urbanización, que podría considerarse que comenzó desde la época del Clásico (a partir del 200 d.C.), y que ha continuado hasta el presente, ha destruido y en el mejor de los casos sepultado a los paleosuelos, perdiendo uno de los elementos importantes en el registro ambiental y de las actividades antropogénicas. Este hecho hace necesario que este tipo de estudios sea prioritario, ya que a la velocidad en que los nuevos emplazamientos urbanos se desarrollan, en pocos años no habrá registro alguno.

1.3 Hipótesis.

Dentro de los diferentes factores (naturales y culturales) que contribuyeron al establecimiento de la ciudad de Teotihuacán, el medio ambiente (abiótico y biótico) jugó un papel importante en la decisión de establecerse en el lugar.

Si bien no fue factor determinante, sí influyó en las decisiones de los habitantes del sitio (Steward, 1955), particularmente en los momentos más tempranos de la fundación de la ciudad, donde estas sociedades fueron condicionadas de forma más directa con el medio ambiente.

En el valle y su entorno inmediato, se encuentran abundantes y diversos materiales geológicos como: rocas volcánicas, utilizadas como materiales de construcción, incluyendo las minas de obsidiana de Sierra de las Navajas; una extensa zona plana correspondiente a la parte baja del valle, con una ligera pendiente hacia el sur, que promueve el drenaje hacia el Lago de Texcoco y lo suficientemente alejada del lago, como para evitar problemas severos de inundación; la existencia de manantiales; diferentes tipos de vegetación, que van desde la riparia en la parte baja del valle, hasta comunidades de pino- encino en la cima de las elevaciones montañosas que circundan al valle, albergando una gran variedad de fauna, tanto terrestre como acuática (Manzanilla, 2001; McClung de Tapia, 1979; McClung de Tapia, 1987; McClung de Tapia, 2012).

Dentro de esta variedad de recursos, cabe destacar dos elementos importantes como atractores en el establecimiento de los primeros habitantes del valle: el suelo y clima. Estos dos factores son relevantes dentro de todas las posibilidades de aprovechamiento del medio ambiente, debido a que al menos en las primeras etapas del desarrollo de la ciudad de Teotihuacán, su dependencia del medio ambiente, en términos de obtención de recursos alimenticios, como los provenientes de la agricultura, fue básica y prioritaria (McClung, 1979; McClung, 1987; Steward, 1955).

Hipótesis 1.

El valle de Teotihuacán poseía un suelo bien desarrollado, de buena calidad para el cultivo, un suelo vertisol (Rivera-Uria et al., 2007; Solleiro-Rebolledo et al., 2011; Sanchez-Pérez., et al 2013), catalogado en la actualidad como uno de los mejores suelos en México para el desarrollo de la agricultura.

Si bien este tipo de suelo tiene un potencial agrícola alto, posee características que dificultan su laboreo, debido a la alta concentración de arcillas. En la actualidad se deben trabajar con la ayuda de tractores; retienen fuertemente el agua, de tal forma que se necesita la implementación del riego para lograr un control del agua y mantener el mayor tiempo posible el suelo a capacidad de campo, evitando por un lado, la desecación que provocaría la contracción del suelo y la formación de grietas, y por el otro, la saturación de agua y el encharcamiento.

Hipótesis 2.

El uso intensivo del suelo en la producción agrícola altero los procesos pedogenéticos de su desarrollo.

Lo anterior implica una organización social que permitiera el trabajo organizado intensivo a lo largo de todo el ciclo agrícola, promoviendo la congregación de la población en torno a los centros de producción agrícola (Wittfogel, 1963; Matos, 2009).

De esta forma la precipitación no debió ser lo suficientemente abundante como para que las plantas cultivadas pudieran terminar su desarrollo biológico y el riego proveyó el agua necesaria en la última parte de éste (Wittfogel, 1963; Nichols, 1987; Matos, 2009).

1.4 Objetivos.

De lo expuesto anteriormente se plantean los siguientes objetivos a desarrollar en esta investigación, tomando en cuenta que el centro de la investigación son los paleosuelos que registraron estos acontecimientos, llamados "suelos negros" por los actuales habitantes de la localidad y por los arqueólogos que los han identificado en sus trabajos.

Objetivo general

Evaluar a los suelos "negros" como elementos del ecosistema, que han registrado los cambios ambientales naturales y/o antropogénicos en el sitio de Teotihuacán.

Objetivos particulares

1. Establecer la distribución del paleosuelo "negro" en el valle de Teotihuacán.
2. Identificar y evaluar las secuencias estratigráficas donde se encuentran los paleosuelos.
3. Identificar las características físico – químicas, mineralógicas y los procesos pedogenéticos que intervinieron en la formación y desarrollo del paleosuelo "negro" en el valle de Teotihuacán.
4. Establecer una cronología de los sucesos a través del fechamiento por ^{14}C de los paleosuelos "negros".
5. Establecer las características ambientales bajo las que se desarrollan los paleosuelos "negros" e identificar las posibles alteraciones provocadas por la actividad antropogénica.

CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES.

Existen hasta este momento, una gran cantidad de investigaciones realizadas en el sitio de Teotihuacán, con diferentes enfoques que incluyen aspectos sociales, culturales, cronológicos, urbanos, ambientales entre otros.

En este apartado se discutirán primero, los trabajos sobresalientes realizados por arqueólogos, en donde relacionan aspectos ambientales y la actividad humana. Posteriormente se abordarán los trabajos especializados realizados en el valle, en el campo de las ciencias de la tierra.

2.1. Estudios con enfoque arqueológico.

Las primeras investigaciones realizadas en el sitio corresponden a los trabajos de Sigüenza y Góngora en el siglo XVII, que abarcaron el área de la Pirámide de la Luna, de igual manera y en el mismo sector, se realizaron investigaciones por parte de Antonio García Cubas en el siglo XIX (Schávelzon, 1983)

Posteriormente Holmes (1897), en la última parte del siglo XIX, hace un reconocimiento integral del sitio, desde el punto de vista arqueológico, en donde identifica una serie de asentamientos de tipo doméstico, en torno al centro ceremonial, además señala que es un complejo urbano ocupado por diversos grupos sociales.

Por los festejos del primer centenario de la Independencia de México, Batres (1906), realiza excavaciones dentro del complejo ceremonial, incluyendo la Pirámide del Sol, el Templo de la Agricultura, los Subterráneos y el Templo de los Sacerdotes.

En el siglo XX, se realizan varias investigaciones, dentro de ellas sobresale la realizada por Gamio (1922), la cual es muy relevante porque forma un equipo interdisciplinario, que origina el primer trabajo en donde se toma en cuenta el medio ambiente, incluyendo aspectos geológicos y botánicos. También contiene

aspectos de la población prehispánica, de la Colonia e incluso de la población que circundaba al sitio en ese momento.

En los años treinta, Sigvald Linné, del Museo Etnográfico de Suecia, excavó unidades habitacionales extensas y complicadas, debido a su traza arquitectónica y a su interpretación funcional del espacio, como son los de Xolalpan y Tlamimilolpa, siendo de los primeros investigadores en proponer cual era la forma de vida de los teotihuacanos (Linné, 1942).

En los años sesenta se desarrollan grandes proyectos arqueológicos, en donde se toma en cuenta al medio ambiente como un elemento importante en el desarrollo de la cultura teotihuacana y las actividades realizadas por los ocupantes de la antigua ciudad. Uno de estos proyectos es el de René Millon de la Universidad de Rochester, el trabajo fue "Proyecto Elaboración del Mapa de Teotihuacán" (Teotihuacan Mapping Project), en 1966, el cual elabora un mapa detallado de gran parte del complejo arquitectónico de la ciudad. El mapa fue creado a partir de los materiales arqueológicos de superficie y la fotointerpretación de fotografías aéreas de baja altitud de la región. Además esta investigación logra una mayor precisión en la cronología del sitio, en la densidad de población y en la extensión de la ciudad (Millon, 1967, 1971).

En esta década destaca también el trabajo de Lorenzo (1968), en donde reflexiona sobre la agricultura, los sistemas riego y el ambiente, en el momento en que se origina y desarrolla el sitio.

Otro de los proyectos de este mismo período es el "Teotihuacan Valley Project" de William Sanders, de la Universidad de Pennsylvania. Este proyecto incluyó una serie de recorridos, realizando un reconocimiento regional, el cual permitió hacer consideraciones sobre el ambiente y su relación con el desarrollo de la sociedad, trabajos que se insertan en lo que se conoce como Ecología Cultural. Además, este trabajo localizó diferentes sitios arqueológicos en el valle. Sanders y su equipo no solo incluyeron en su estudio al valle de Teotihuacán, sino también englobaron en sus reconocimientos de superficie a las zonas de Texcoco,

Iztapalapa, Chalco – Xochimilco y Zumpango. De estos trabajos se desprenden las primeras interpretaciones globales de la historia de los asentamientos de la Cuenca de México, abarcando reflexiones sobre el medio ambiente que existía y su relación con los pobladores de este lugar. Es a partir de este conjunto de trabajos, donde se genera la idea de que el ambiente del valle de Teotihuacán en los periodos Preclásico y Clásico es muy similar al presente. (Sanders, 1965; Sanders y Price, 1968; Sanders et al., 1979). Idea que con los trabajos paleoecológicos ha sido descartada, como se verá en el siguiente apartado.

Varios trabajos particulares, una gran mayoría tesis, surgieron de los grandes proyectos realizados en las décadas de los sesentas y setentas, los cuales abarcaron diversos temas como: paleofauna, paleoflora, cerámica, lítica, arquitectura, conjuntos residenciales, demografía, entre otros.

En los ochentas destacan las investigaciones realizadas por Rubén Cabrera y su equipo mediante el “Proyecto Arqueológico Teotihuacán 80-82” del INAH, en donde se excavaron los conjuntos habitacionales de la Ciudadela, talleres de cerámica y el complejo Oeste de la Calle de los Muertos (Cabrera, 1982).

Sobresalen también las excavaciones de Evelyn Rattray, en el “Barrio de los Comerciantes” (Rattray, 1988); las de Linda Manzanilla, en el conjunto residencial de Oztoyahualco (Barba et al, 1987; Manzanilla, 1993); las de Rubén Cabrera y George Cowgill en el Templo de Quetzalcóatl (Cabrera et al, 1990); las de Michael Spence en el Barrio Oaxaqueño (Spence, 1992); las de Rubén Cabrera en la Ventilla (Cabrera, 1996); las de Saburo Sugiyama en la Pirámide de la Luna (Sugiyama, 1999) y las de Eduardo Matos en el Templo de Quetzalcóatl y rescates en varios sitios de la antigua ciudad (Matos, 2003).

Los trabajos mencionados son tan solo una parte de los numerosos trabajos desarrollados en el sitio arqueológico de Teotihuacán, su enfoque es esencialmente arqueológico y el entorno natural fue tomado en cuenta, pero no desde una perspectiva de las ciencias naturales y del paleoambiente.

Por consecuencia las interpretaciones paleoambientales y de la relaciones que se establecen entre el paleoambiente y los pobladores de la antigua ciudad son limitadas.

2.2 Estudios geoarqueológicos.

Dentro del ámbito de la geoarqueología, los estudios paleoecológicos, de las interacciones entre el medio ambiente y el hombre, incluyendo las modificaciones del paisaje, así como el uso de recursos naturales en el valle de Teotihuacán, se han llevado a cabo en las últimas dos décadas, por varios equipos de investigación en las diferentes áreas de las ciencias ambientales, resultando en diversos estudios de caso.

La diversidad de las investigaciones muestra la existencia de diferentes aproximaciones para la reconstrucción paleoambiental, que han sido aplicadas en el valle e incluyen: los estudios paleobotánicos, sedimentológicos y las evidencias climáticas.

Dentro de esta gama de trabajos, los geoarqueológicos destacan, particularmente los concernientes a los paleosuelos. Este acercamiento es complementario a los estudios realizados por otras disciplinas pero independientes a las otras aproximaciones realizadas en el valle de Teotihuacán.

En este sentido, los primeros trabajos en donde identifican al paleosuelo “negro”, como el posible suelo que sirvió de superficie a los teotihuacanos, fueron los realizados por Charlton (1970), en sus recorridos de superficie, dentro de su proyecto de agricultura contemporánea y Nichols (1987), en sus excavaciones en los canales de Tlajinga.

Sin embargo el suelo “negro” identificado por los trabajos anteriores no fue estudiado sino hasta el 2007, por Rivera-Uria, et al., quienes identifican al suelo “negro” fuera del sitio arqueológico, en un barranco de un río, en la planicie aluvial del fondo del valle, al NE de la pirámide de La Luna y lo nombran como el perfil San Pablo. Los autores documentan su presencia en una secuencia compuesta

de un suelo moderno y tres paleosuelos pobremente desarrollados sobre sedimentos aluviales, constituyendo una secuencia de horizontes Ap/AC/2A/2AC/2C/3A/3C/4A/4AC, siendo el paleosuelo 4 el correspondiente al suelo “negro”.

Otro de los trabajos que continúan reflexionando sobre el paleosuelo “negro” es el de Solleiro-Rebolledo et al., (2011), quienes designan al paleosuelo inferior (4A/4AC) como SP1, para diferenciarlo de los paleosuelos aluviales poco desarrollados que sobreyacen y de los tres paleosuelos del Pleistoceno tardío que subyacen. Los autores redefinen los horizontes del paleosuelo, proponiendo ahora una secuencia del SP1 (San Pablo) de: 4A/4E/5A/5Bk, debido a la identificación de características como eluviación de arcilla y rasgos estágnicos, además de carbonatos secundarios.

Recientemente Sánchez-Pérez et al., (2013), realizan el primer acercamiento a la distribución del suelo “negro” en el valle, planteando que se encuentra en gran parte de la planicie baja del valle, así como zonas de poca pendiente de los piedemontes. Retoman al perfil San Pablo como perfil tipo y reinterpretan, a partir de los análisis practicados y las descripciones de campo, los horizontes del suelo identificados por Rivera-Uria et al., (2007) y Solleiro-Rebolledo et al., (2011) y propone una nueva secuencia de: 4A/4C/5AE/5ABtss/5Bk/5Ck llamándolo BSPP (Black San Pablo Paleosol) al paleosuelo 5 (es decir la secuencia de horizontes 5AE/5ABtss/5Bk/5Ck). La designación de los horizontes superiores no cambia (Ap/AC/2A/2AC/2C/3A/3C). Además establecen los rasgos pedogenéticos que contribuyen a la reconstrucción paleoambiental. También evalúan la fertilidad del suelo indicando que tiene buenas cualidades para su uso agrícola, corroborando su uso con la evidencia paleobotánica encontrada en el paleosuelo.

Las investigaciones paleopedológicas no solo se han circunscrito al valle de Teotihuacán, sino también han abarcado áreas adyacentes, resultando en una serie de trabajos que proponen diferentes modelos de formación de suelo, relacionados al desarrollo del paisaje en diferentes intervalos cronológicos, desde el Pleistoceno tardío hasta el Holoceno (McClung de Tapia et al., 2003, 2005;

Lounejeva et al., 2006, 2007; Solleiro-Rebolledo et al., 2006, 2011; Rivera –Uria et al., 2007; Sedov et al., 2010; Sycheva, 2010).

De los trabajos mencionados en este apartado, se desprende que el paleosuelo “negro” se encuentra sepultado por una serie de suelos poco desarrollados derivados de sedimentos aluviales, en la planicie del fondo del valle y en algunas ocasiones encontrado muy cerca de la superficie o en la superficie de los piedemontes, evidenciando procesos intensos de erosión que modificaron a gran escala el manto del suelo. Evidencias de tales procesos, que incluyen erosión y deposición de pedosedimentos en el fondo del valle han sido mostrados por los trabajos de: McClung de Tapia et al., (2005, 2012); Rivera-Uria et al., (2007); Sedov et al., (2010); Solleiro-Rebolledo et al., (2011) y Sánchez-Pérez et al., (2013), así como erosión en otras áreas adyacentes al valle de Teotihuacán que incluyen Texcoco, (Cordova, 1997; Cordoba y Parsons, 1997) y Tlaxcala (Heine, 2003; Borejsza et al., 2008). Además se han encontrado algunos sitios arqueológicos del periodo Posclásico e incluso del Clásico sepultados por varios metros de sedimentos (Cabrera, 2005; Gazzola, 2009; McAulife et al., 2001).

Lo anterior sugiere que el suelo que pisaron y utilizaron los teotihuacanos no es el mismo que se encuentra actualmente en la superficie, contraviniendo lo planteado por Sanders en 1976 y Sanders et al., (1979), los cuales proponen que el paisaje del valle de Teotihuacán para los periodos Preclásico y Clásico, fue similar al presente, idea que como se ha comentado ya, es aceptada de forma tácita, por muchos de los estudiosos de la cultura teotihuacana.

Por otro lado se ha establecido que al final del Pleistoceno el ambiente que prevalecía en el valle fue más húmedo que en la actualidad (McClung de Tapia et al, 2003; Solleiro-Rebolledo et al., 2006). Para ese periodo de tiempo existía una vegetación del tipo C3, de tipo forestal tanto en las elevaciones montañosas como en la planicie del fondo del valle, con suelos bien drenados del tipo de los Luvisoles (Lounejeva et al., 2006; Cabadas, 2007). Solleiro-Rebolledo et al., (2011), llegan a la conclusión que en el fondo del valle son paleosuelos Luvisoles estágnicos.

En el Holoceno la situación cambia, el ambiente se torna más seco, en las partes bajas del valle se encuentran suelos carbonatados, correspondientes a este periodo, con una vegetación predominantemente C4 (Solleiro-Rebolledo et al., 2006; McClung de Tapia et al, 2003, 2012). La vegetación forestal se redujo, ubicándose ahora en las cimas de las montañas que circundan al valle.

CAPÍTULO 3. MARCO CONCEPTUAL.

En este capítulo se presentan los conceptos básicos de los suelos en contextos arqueológicos, desde cómo se relacionan con el hombre dentro de sus asentamientos, hasta las posibles asociaciones que entablan las comunidades humanas con los suelos de su entorno. También se revisan algunos conceptos, haciendo especial énfasis en los factores formadores y los procesos pedogénicos que se llevan a cabo. Finalmente se expone los atributos distintivos de los vertisoles, que incluyen sus rasgos morfológicos, sus características pedogenéticas y sus propiedades físico-químicas.

3.1 Los suelos en contextos arqueológicos

Los suelos en contextos arqueológicos han sido estudiados en primera instancia por los arqueólogos que conducen las excavaciones en los sitios, en muchos de los casos no de manera formal o sistemática, perdiendo frecuentemente valiosa información contenida en ellos. Lo anterior se origina porque no son el objeto central de las investigaciones arqueológicas o porque no se cuenta con la formación adecuada para poder profundizar en el estudio.

Recientemente la arqueología y la edafología se han conjuntado para formar equipos de investigación, permitiendo un mayor conocimiento de los suelos en contextos arqueológicos y generando información valiosa particularmente en la relación del hombre con su entorno. Estos trabajos han sido enmarcados en lo que se conoce en la actualidad como estudios geoarqueológicos.

Estos enfoques ponen de manifiesto la importancia de conocer a profundidad los aspectos de formación del suelo, contemplando sus factores formadores y los procesos pedogenéticos generados.

De esta forma es necesario desarrollarr un corpus de conocimientos que proporcionen los elementos teóricos necesarios, para entender las afectaciones

de la actividad humana en el desarrollo de los suelos y poder interpretar estos rasgos.

3.1.1 Relaciones entre los sitios arqueológicos y el suelo.

Los suelos se relacionan con los sitios arqueológicos de numerosas formas, pudiéndose agrupar en dos grandes áreas: a) los suelos dentro del sitio arqueológico y b) los suelos fuera del sitio arqueológico (en el entorno inmediato).

La primera se refiere a que muchos de los sitios arqueológicos se asientan directamente sobre un suelo, siendo el material de arranque de los sistemas de cimentación de casas y edificios. En muchas ocasiones, las unidades habitacionales tenían como piso al suelo que se desarrollaba en ese momento, registrando en él, las actividades que se llevaron a cabo (Barba, 1990). Tiempo después, al ser abandonado el lugar, los materiales constructivos podrían volverse el material parental de un nuevo ciclo pedogenético sepultando al anterior. Este hecho es incluido en los estudios llamados “formación del contexto arqueológico”, (Schiffer, 1987; Stein, 2001a).

El otro grupo de relaciones sitio – suelo es aquel que se establece al interaccionar el humano con su entorno, en este caso con el suelo. Estas relaciones son muy variadas, lográndose distinguir las que se refieren a: la explotación para la agricultura; su extracción como material constructivo, que incluye al relleno de estructuras arquitectónicas, la fabricación de adobes y bajareque; su uso como materia prima para la elaboración de cerámica (Barba, 1995; Gendrop, 2001; Moya, 1982; Rice, 1987). Si bien no son las únicas relaciones que se establecen, probablemente son las que más impactan al suelo. Lo anterior muestra los posibles usos del recurso suelo en época prehispánica, pone de manifiesto el conocimiento que tenían para su utilización en diversas formas y por consecuencia la posible existencia de una organización social que permitió la acumulación del conocimiento para el manejo de este recurso.

Lo expuesto podría considerarse como las relaciones más relevantes entre el asentamiento humano y el suelo, establecidas en el momento de la ocupación y

sus transformaciones hasta nuestros días. Este hecho impone varios retos que el estudioso de los suelos en contextos arqueológicos debe enfrentar, debido a que lo observado en el sitio y su entorno actual, no es necesariamente el que existió en el momento de la ocupación y aún más, como un primer paso, debe de distinguir entre un suelo, un sedimento natural y un sedimento cultural, todo dentro del periodo de tiempo del sitio arqueológico en estudio. Es por esta razón que es necesario precisar qué se entiende por un suelo y distinguirlo de los otros materiales no consolidados que inciden cotidianamente en los asentamientos humanos prehispánicos (sedimentos naturales y antropogénicos).

3.1.2 Características del suelo

El suelo es un componente esencial de cualquier reconstrucción paleoambiental y de un registro de las actividades humanas realizadas en él.

En los estudios del suelo de épocas pasadas así como del presente, es importante distinguirlo de los sedimentos naturales y antropogénicos, para poder acceder a la información tanto ambiental como cultural que han quedado registradas en él y guardadas en su memoria. Si bien es claro que la distinción de los suelos de los demás materiales es vital para poder profundizar en su estudio, no siempre se realiza, ocasionando serias confusiones en la forma de aproximarse a su reconocimiento y análisis, y en consecuencia a las interpretaciones.

Esta confusión se advierte desde la definición de lo que se considera como suelo, debido a que prácticamente todas las disciplinas relacionadas con el ambiente han generado algún concepto, produciéndose varias definiciones y normalmente dependen del interés que exista sobre él y de la información que se quiera obtener. Es común que la población, en general, piense que suelo es la capa superficial oscura rica en humus y que presumiblemente es benéfica para el crecimiento de las plantas; en cambio la arqueología considera al suelo como una parte del registro del pasado.

En geología se reconoce al suelo como depósitos sedimentarios de edades recientes no consolidados, es decir no litificados (también llamado regolita). En

este ámbito el sedimento es definido como un conjunto de partículas minerales y orgánicas de diferentes tamaños (Fanning et al., 1989).

Para la Ingeniería, el suelo es un “conjunto de partículas minerales producto de la desintegración mecánica o de la alteración química de rocas preexistentes”. En esta disciplina se reconoce que el suelo es un sistema de tres fases constitutivas principales: sólida, líquida y gaseosa (Buol et al., 1981; Fanning et al., 1989).

Los puntos de vista anteriores son solo algunas consideraciones de lo que se puede entender por el suelo. A continuación se presentan algunas definiciones que han sido aceptadas por la comunidad científica dedicada al estudio de los suelos. En este sentido Simonson (1968) citado por Fanning et al., (1989) menciona algunos conceptos básicos que son utilizadas en la actualidad:

El suelo como roca alterada o regolita

La mayoría de los ingenieros, geólogos, científicos espaciales, oceanógrafos y científicos de las ciencias de la tierra, reconocen al suelo como una roca muy alterada o regolita. El suelo en este concepto, incluye a todas las rocas o materiales no consolidados alterados, constituidos por minerales, que se presentan sobre la superficie de la tierra e incluso en otros planetas.

El suelo como un cuerpo natural organizado.

El concepto se originó cuando se observó que los suelos tienen horizontes formados por procesos pedogenéticos, que fueron diferentes de los que formaron a las rocas y sedimentos subyacentes. Las características de estos horizontes fueron determinadas por la combinación de la acción de los factores formadores del suelo: material parental, clima, organismos, relieve y tiempo.

En el ámbito de la geoarqueología, Goldberg et al., (2006), proponen una definición sintética de lo que se podría considerarse suelo: “el suelo es un cuerpo natural constituido por organismos, minerales y componentes orgánicos, diferenciado hacia el interior por horizontes de profundidad variable, los cuales

difieren del material que está por debajo en sus propiedades morfológicas, físicas, químicas y de composición, y por sus características biológicas”.

La definición de suelo de la WRB (2006) enfatiza que el suelo es la consecuencia de la interacción de lo que se ha llamado los factores formadores del suelo (material parental, clima, organismos, topografía y tiempo) y en la definición de Goldberg et al (2006) los factores formadores del suelo están implícitos. Además es necesario destacar que la formación del suelo sucede *in situ*, a diferencia de los sedimentos.

De tal manera que su formación se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

$$S = f(\text{cl, o, r, p, t})$$

es decir, el suelo es función de los factores formadores (cl: clima; o: organismos; r: relieve; p: material parental; t: tiempo) y de las características e intensidades de cada uno de ellos (Dokuchaev, 1967; Jenny, 1941). En la actualidad se reconoce que el hombre juega un papel determinante en la formación y desarrollo del suelo.

Por lo tanto, la conjunción de los factores formadores del suelo en un área específica, tienen como consecuencia la formación de un tipo de suelo característico, los mecanismos internos, conocidos como procesos pedogenéticos, son los que construyen al suelo y lo diferencia de los otros materiales geológicos o antropogénico,

Es importante reconocer a los procesos pedogenéticos, tanto en campo como a través de los datos de laboratorio, para entender los diferentes tipos de suelo que puedan existir y reconocer su génesis. (Buol et al.,1981; Goldberg et al., 2006).

La Figura 3.1 ilustra los constituyentes básicos del suelo como producto de los factores formadores y de los procesos pedogénéticos.

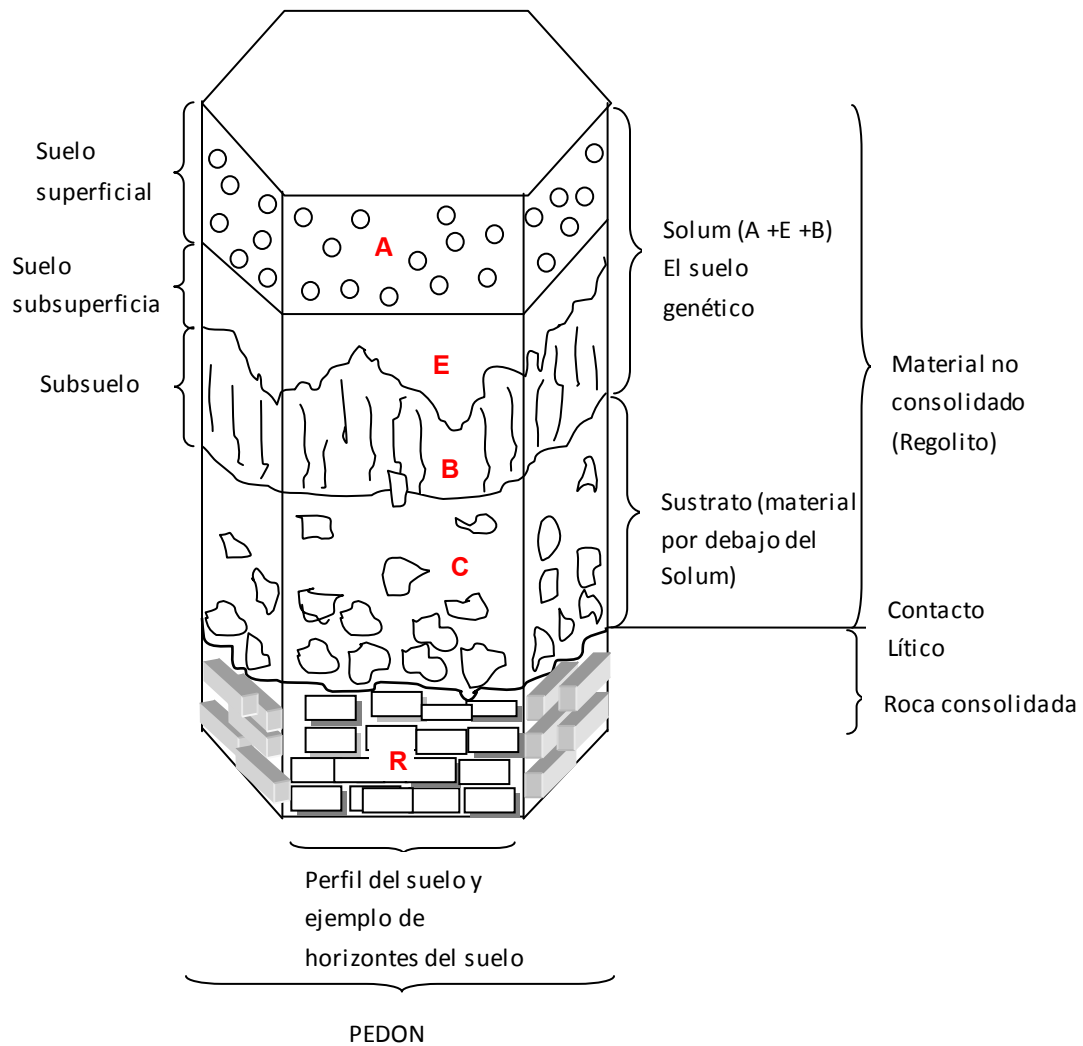


Fig.3.1. Unidad mínima de estudio del suelo, donde se muestran sus características básicas y un ejemplo del material de donde proviene. Modificado de Fanning et al., (1989).

3.1.3 Suelos y procesos sedimentarios.

Existen claras diferencias entre un suelo y un sedimento. Los sedimentos tienen una historia diferente a los suelos, implican mayor dinamismo. Un sedimento se forma por erosión, transporte y deposición, sobre una superficie de algún paisaje o área y así se pueden tener sedimentos de río (fluviales), de lagos (lacustres), de playas o los depositados por la acción de la gravedad como los coluviones. Los sedimentos indican periodos de inestabilidad ambiental, también conocida como rexiastasia, situación en donde predomina la fitoinestabilidad (poca vegetación) y la morfogénesis (acción de erosión hídrica principalmente y denudación en general) (Goldberg et al., 2006; Tricart et al., 1982). Además cuando el sedimento ha sido transportado por largas distancias las partículas adquieren morfologías características, como: redondez, texturas superficiales pulidas o esmeriladas, que denotan el medio de transporte, incluso una selección de partículas generando depósitos bien clasificados (madurez textural). Los estratos formados de esta manera, como los fluviales, pueden presentar laminaciones (Corrales et al., 1977). En contraste, los suelos son estáticos, es decir se desarrollan *in situ*, a través de los factores formadores y procesos pedogenéticos descritos en el punto anterior. El tiempo de formación del suelo es considerado como un periodo de estabilidad, para que se puedan expresar los factores formadores y las mecanismos físicos - químicos de los procesos pedogenéticos. A este periodo también se le conoce como biostasia, en donde la fitoestabilidad es una característica de este periodo. (Goldberg et al., 2006; Tricart et al., 1982).

De acuerdo con lo anterior, se puede decir que los materiales que constituyen al sitio arqueológico no son suelos, son un sedimento, debido que tienen una historia similar a los sedimentos naturales, es decir, procede de una fuente de donde se extrajo el material, sufren una transportación hasta el sitio y ahí se depositan. Esta idea incluye a los materiales que constituyen a las estructuras, que al intemperizarse, después del abandono, se desprenden y se depositan en la base o en las plazas aledañas. (Goldberg et al., 2006; Stein, 2001b).

Como cualquier sedimento natural, los depósitos arqueológicos pueden estar sometidos a procesos postdeposicionales que pueden ser los geogénicos o pedogénicos, en este último caso un suelo se desarrollará sobre ellos (Goldberg et al 2006).

3.1.4 Los suelos y el desarrollo del contexto arqueológico.

Los sitios arqueológicos que observamos se formaron en el pasado, pero a través del tiempo se han seguido transformando hasta llegar a nuestros días (Binford, 1983). Esta idea considera al sitio desde el momento de su construcción, su utilización, reutilización y abandono (contexto sistémico), hasta sus transformaciones posteriores debidas a las relaciones con su entorno, que incluyen al intemperismo, la erosión, la sedimentación y la formación de suelo (contexto arqueológico) (Schiffer, 1987; Stein, 2001a). En ocasiones después de ser abandonado, el sitio puede ser ocupado nuevamente, repitiéndose todo el ciclo.

En el análisis de la formación de un sitio arqueológico, se requiere considerar tres tipos de procesos, cada uno de los cuales abarca diferentes campos de estudio (Schiffer, 1987; Stein, 2001a).

El primero es un proceso cultural, responsable de la formación del registro arqueológico e incluye la manera en que los objetos fueron producidos, usados, mantenidos y descartados. Además comprende las actividades que los crearon, el uso de los artefactos y todo lo que implica su deposición.

El segundo es también un proceso cultural que los altera y obscurece el uso original de los objetos. Incluye las acciones que realiza la gente contemporánea, así como las actividades de los arqueólogos llevadas cabo sobre el lugar.

El tercero abarca los procesos naturales, es decir los eventos no culturales que alteran, obscurecen o preservan las características originales de los objetos, como la acción de la lluvia, la temperatura y el crecimiento de vegetales, es decir el intemperismo.

Este último proceso recae en las ciencias de la tierra e incluye una gran variedad de relaciones con el ambiente (Stein, 2001a). Dentro de estas relaciones se encuentran las transformaciones físico – químicas *in situ* (pedogénesis) que tiene como consecuencia la formación de suelo.

Los materiales que forman al sitio arqueológico han sido considerados como sedimentos (Goldberg et al., 2006; Stein, 2001b), por haber sido extraídos de alguna región, transportados al lugar y depositados mediante un mecanismo particular, al igual que los sedimentos naturales pueden sufrir una serie de alteraciones geogénicas y/o pedogénicas.

En el caso de las alteraciones pedogénicas, cuando el sitio es abandonado, los materiales que constituyen al sitio comienzan a intemperizarse física y químicamente. Estos procesos continúan hasta que las plantas comienzan a desarrollarse sobre el material alterado y al cabo de un tiempo, si la estabilidad del sistema continúa y no hay aporte importante de otros sedimentos, como los de origen fluvial, se tiene la conformación de un suelo. Los procesos pedogénicos comienzan a expresarse, proporcionando al suelo sus rasgos característicos (French, 2003; Goldberg et al., 2006; Schiffer, 1987). La ocupación y abandono de los asentamientos humanos puede repetirse varias veces, quedando registrado en la estratigrafía del sitio varios suelos que se desarrollaron a partir de los materiales constructivos del sitio, de diferentes temporalidades. Los suelos sepultados por los materiales arqueológicos son paleosuelos, por haberse desarrollado en ambientes diferentes al actual, de acuerdo a lo definido por Retallack (2001).

Es necesario enfatizar que el desarrollo del suelo sobre los sitios arqueológicos dependerá en mucho de la estabilidad del ambiente en donde se encuentre y del tiempo que haya transcurrido. Para el caso de Mesoamérica, los sitios prehispánicos tienen al menos quinientos años, (considerándose a partir de la caída de Tenochtitlan) y pueden llegar hasta los tres mil años (aproximadamente en el inicio del Preclásico) (López et al., 2001).

Como se ha mencionado, la formación de suelos sobre los sitios arqueológicos es un elemento importante en la conformación de cualquier registro arqueológico. Y cuando es entendido puede ser identificado y estudiado.

Dentro de las actividades de investigación de los arqueólogos, geoarqueólogos o edafólogos, los trabajos de excavación son los que normalmente dan cuenta de la formación de suelos en el sitio. Si bien, para muchos arqueólogos, los trabajos de excavación tienen como objetivo principal la ordenación de los eventos culturales en el tiempo, el trabajo en conjunto con los especialistas de las ciencias de la tierra, brindarán una mejor comprensión del origen del estrato, de la secuencia estratigráfica y por lo tanto de los eventos posdeposicionales que el sitio ha sufrido. También es necesario comentar que las alteraciones de los materiales que conforman al asentamiento humano no siempre tienen como producto final la formación de un suelo, sin embargo un enfoque pedogenético podrá contribuir al entendimiento de las alteraciones de los materiales *in situ*. En ambos casos, alteración de los materiales o formación de suelo, la información obtenida es importante para la comprensión del registro arqueológico. Por ejemplo, el enfoque paleopedológico podría explicar el origen del estrato, cuando éste ha sido modificado por los procesos de intemperismo físico y químico, a tal grado que los materiales culturales que formaron la estratigrafía primaria del sitio, no se reconozcan por estar fragmentados (pudiéndose describir como un conjunto de partículas). Es decir, en este caso se encuentran algunos restos de materiales arqueológicos (restos de estuco, fragmentos de roca pertenecientes algún tipo de estructura, cerámica, hueso, por mencionar algunos) insertos de una matriz de tierra, que es básicamente el producto de alteración en los materiales arqueológicos. Herramientas como la micromorfología que se aplica a los suelos y paleosuelos, es fundamental para la identificación de los procesos pedogénéticos que se desarrollan y establecer el origen del estrato. De igual manera, al reconocer un suelo en la secuencia estratigráfica (paleosuelo si está sepultado por materiales de una ocupación posterior) el enfoque paleopedológico podría identificar los procesos pedogénéticos que se llevaron a cabo en el desarrollo del

suelo y así poder establecer las características ambientales que prevalecían en el momento de su origen, así como el material a partir del cual proviene.

Finalmente se debe de tomar en cuenta no sólo a los suelos que han sido desarrollados a partir de materiales culturales (en el caso que existan en la secuencia estratigráfica), que es lo que normalmente se considera cuando se reflexiona sobre la formación del contexto arqueológico, también hay que reconocer a los suelos que sirvieron como soporte al asentamiento humano y que son los suelos que existían en el momento de la ocupación. Estos son paleosuelos que al analizarlos a través de sus procesos pedogenéticos (memoria edáfica), proporcionan información sobre las condiciones paleoambientales que existían.

3.1.5 Los suelos del entorno al sitio arqueológico en el Valle de Teotihuacán.

Los asentamientos humanos prehispánicos establecieron muchas relaciones con los suelos de su entorno, que abarcan desde lo sagrado hasta su utilización. En el caso de la cultura teotihuacana, las relaciones que se establecieron de forma física con los suelos se puede distinguir las relaciones de explotación.

La utilización de los suelos por la agricultura.

La agricultura en las sociedades sedentarias fue la base de su subsistencia, permitió el desarrollo de la sociedad y de la cultura. El desarrollo de la agricultura originó un aumento y una mejor nutrición de la población, al lograr mayor éxito en esta actividad, se pudo contar con excedentes agrícolas, estimulando el comercio con otras regiones. En ocasiones, originó el control político e incluso ideológico de los lugares de producción, siendo el inicio de muchas guerras por este control (Challenger, 1998; Nichols, 1987).

Pero al hablar de agricultura y de su éxito, se debe tomar en cuenta al suelo y las cualidades que determinan su fertilidad, el tipo de cultivo que se pueda desarrollar y las técnicas que deban emplearse en su manejo.

Estas cualidades fueron desarrolladas por los factores y procesos formadores del suelo, específicos del lugar donde se encuentran los suelos sometidos a la agricultura. Texturas que permitan el drenaje del suelo, la retención de humedad aprovechable por las plantas y un intercambio catiónico que retenga los elementos nutritivos; materia orgánica que genere estructura, un drenaje eficiente, alta retención de humedad y un pH cercano a la neutralidad para que los nutrientes estén en solución y puedan ser absorbidos por las plantas, son algunos de los rasgos que determinan la fertilidad de los suelos, generados por los factores y procesos.

Los agricultores prehispánicos, desarrollaron un conocimiento profundo de los suelos que les permitió el manejo de ellos y su éxito agrícola.

Los sistemas agrícolas prehispánicos fueron de dos tipos, los sistemas agrícolas de temporal donde su única fuente de agua eran las lluvias locales y los intensivos, los cuales utilizaban el riego para suministrar el agua durante los periodos donde las lluvias no eran suficientes o no estaban bien repartidas a lo largo del ciclo biológico de la planta (Nichols, 1987).

En la región de Teotihuacán, se han reportado evidencias de canales relacionados con el riego, muy probablemente desde épocas tempranas, permitiendo plantear que aproximadamente en el Preclásico tardío comenzó la utilización del riego intensificándose la producción agrícola (Nichols, 1987; Zavala, 2013).

En las zonas de riego, el intenso uso de agua, en muchas ocasiones de flujos superficiales, ocasionaron alteraciones en la pedogénesis de los suelos, desarrollando rasgos no propios de los procesos naturales, pudiéndose identificar como procesos de degradación del suelo (Solleiro-Rebolledo et al., 2006, 2011; Rivera-Uria, et al., 2007; 2010; Sycheva et al 2010; Sánchez-Pérez et al., 2013).

Utilización de los suelos como materiales constructivos.

Fueron muchos los usos que se le dieron a los suelos como materiales constructivos, de los cuales se pueden señalar los siguientes:

- Como rellenos en los edificios arquitectónicos. Muchos de los edificios prehispánicos en su núcleo estaban rellenos por materiales diferentes a las paredes de la construcción, esto es: escombros de materiales constructivos de edificaciones anteriores, fragmentos de cerámica, lítica, rocas y suelo. Por ejemplo, Barba, (1995) identifica al suelo, particularmente el horizonte A, del entorno al sitio arqueológico de Teotihuacán, como parte del relleno de las diferentes etapas constructivas de la Pirámide de la Luna.
- Como adobes y bajareques. La utilización de suelos para la manufactura de estructuras arquitectónicas ha sido desarrollada desde épocas muy tempranas en prácticamente todos los continentes (Moya, 1982). La materia prima para elaborar estos materiales son suelos y sedimentos. La selección de alguno de ellos dependía en muchas ocasiones de su accesibilidad, sin embargo las cualidades buscadas en ambos casos eran las mismas, la plasticidad desarrollada por la proporción de limos y arcillas, atributo básico para modelar las estructuras cubicas de los adobes o las formas de las paredes, conocidos como muros de bajareques (Gendrop, 2001). En el caso de los bajareques, los materiales deberían desarrollar mejor adhesividad que los adobes, para que se sostengan con la trama de estructuras vegetales, que servían de soporte y formaban propiamente la pared. En la vivienda común en Teotihuacán, se utilizó tanto bajareque como adobe. Millon (1971) menciona la utilización de adobe en las casas que se localizaban en la periferia de la gran ciudad, también Morelos (1986), encuentra en Tlajinca, unidades habitacionales, así como cuartos para trabajo artesanal con muros de adobe.

La explotación del suelo como materiales constructivos necesariamente tuvo consecuencias importantes en la cubierta edáfica. Su extracción fue a cielo abierto, por medio de socavones e implica primero una remoción de la cubierta vegetal, dejando grandes orificios en la superficie, provocando en muchas ocasiones la erosión acelerada del lugar.

La utilización del suelo para la elaboración de la cerámica.

Al igual que los adobes y bajareques, la materia prima para la elaboración de la cerámica tiene dos fuentes principales: los sedimentos y los suelos. De la misma forma la elección de alguno de los dos materiales, probablemente estaba condicionada por la accesibilidad al recurso (Rice, 1987).

Las cualidades buscadas en estos materiales cuando se trataban de suelos, era un horizonte edáfico que fuera rico en arcillas. Es por esta razón, que muchas veces el horizonte B era el explotado, pero también cuando el suelo se desarrolla a partir de lutitas el horizonte C puede contener porcentajes elevados de arcillas heredadas del material parental del suelo, era objeto de explotación también. En muchas ocasiones el horizonte A no era utilizado, debido a su alto porcentaje de materia orgánica, la cual ocasionaba dificultades en el momento de la cocción. Al estar en el horno, si el incremento de la temperatura no era lo suficientemente lento para permitir el la salida del bióxido de carbono producto de la combustión, la cerámica podría explotar, por la presión ejercida por el gas contenido en los poros.

La alta proporción de arcillas genera la plasticidad buscada por el artesano, cuidando que la adhesividad no fuera excesiva para que no se pegara en las manos y permitiera la manufactura de las diferentes formas cerámicas. Cuando la materia prima era rica en arcillas del tipo de las esmectitas, la gran adhesividad generada por estos tipos de materiales era regulada por materiales antiplásticos, como arenas, cenizas volcánicas, conchas molidas, entre otros materiales.

En Teotihuacán, en los trabajos sobre cerámica (Rattray, 2001; Krotser et al., 1980), identifican una gran cantidad de tipos cerámicos de manufactura local, como el Anaranjado San Martín, Copa, entre otros. En los trabajos de Rattray (2001) identifica por medio de petrografía, minerales y vidrio de origen volcánico, característica mineralógica típica de los suelos y sedimentos de la región.

Al igual que los bajareques y los adobes, la explotación del suelo para la fabricación de la cerámica tuvo repercusiones desfavorables en la cubierta

edáfica, debido a que los métodos de extracción del suelo propician la erosión acelerada (Rice, 1987).

3.1.6 Como acceder a los estudios de los suelos del entorno a los sitios arqueológicos.

Uno de los principales problemas para acceder al estudio de los suelos alrededor de los sitios arqueológicos, es que lo que observamos en la actualidad no es el paisaje que existía en el momento de la ocupación. Este hecho hace necesario buscar a los suelos que existieron en épocas pasadas contemporáneos a la ocupación, que puedan estar sepultados, es decir se tiene que enfocar el análisis a los paleosuelos. Si bien, esta noción, podría parecer básica, cuando se reflexiona sobre el paisaje que existió, en el momento en que un sitio arqueológico fue ocupado, son pocos los escritos que abordan esta idea. Particularmente ha sido preocupación de la geoarqueología, especialmente de los trabajos enfocados a las reconstrucciones paleoambientales, donde se utiliza a los paleosuelos como indicadores de las condiciones climáticas y de las alteraciones ocasionadas por la actividad antropogénica, dentro de ellos se podría mencionar a Goldberg, et al., (2006); Holliday, (1992); Retallack, (2001); Sedov et al., (2001, 2003, 2010); Solleiro-Rebolledo et al., (2003) y en particular los realizados para el valle de Teotihuacán por Rivera-Uria et al., (2007); Solleiro-Rebolledo et al., (2006, 2011) Sánchez-Pérez et al., (2013).

De esta forma, en los estudios de la actividad agrícola pasada, el primer paso, es la identificación de los suelos que correspondieron al momento de la ocupación; de igual forma, la ubicación de los suelos que sirvieron como materia prima para la fabricación de materiales de construcción y la elaboración de la cerámica, tendrán que corresponder al momento en que los habitantes del sitio los utilizaron.

La estrategia paleopedológica utiliza las secuencias sedimentarias fluviales donde se encuentran depósitos de sedimentos alternados con el desarrollo de suelos, indicando los periodos de estabilidad e inestabilidad del ambiente. Este enfoque implica la identificación de los rasgos pedogenéticos que constituyen la “memoria

del suelo”, pudiendo tener acceso a ella a través de las características físico – químicas más estables a través del tiempo, así como a los rasgos ambientales que los formaron y los caracterizaron (Goldberg, et al., 2006; Holliday, 1992; Retallack, 2001; Targulian et al., 2004).

Dentro de los análisis aplicados, los concernientes a las observaciones micromorfológicas son especialmente importantes, para evaluar las propiedades de los paleosuelos y los procesos pedogenéticos. Es importante mencionar que las muestras de los horizontes A, son utilizadas también para fechar al suelo, a través de los compuestos húmicos, dejando claro que la fecha obtenida es la última etapa de desarrollo del suelo.

3.2 Procesos pedogenéticos y suelos en zonas semiáridas

3.2.1 Características de las zonas semiáridas

La escasez de la precipitación, característica de estas regiones, influye de forma determinante en la pedogenesis de los suelos que se desarrollan, generando rasgos distintivos y característicos en el perfil del suelo. Bull (1991) identifica a estas zonas, como aquellas que tienen una precipitación media anual entre 250 a 500 mm y comenta que frecuentemente se pueden encontrar asociadas a regiones clasificadas como sub – húmedas con una precipitación que oscila entre los 500 y 1000 mm.

En las zonas semiáridas de México, gran parte de esta precipitación llega en verano, (entre junio y septiembre), cuando la radiación solar es muy intensa y las tasas de evapotranspiración son también muy elevadas, afectando directamente los procesos pedogenéticos y condicionando el establecimiento de las plantas que se desarrollan sobre los suelos (Challenger, 1998).

La estructura de los ecosistemas de zonas semiáridas se caracteriza por su reducida biomasa, su corta estatura y su cobertura relativamente abierta. En general se trata de matorral xerófilo y pastizal semidesértico (Challenger, 1998)

Si bien esta condición de aridez es uno de los factores formadores determinante en el origen y desarrollo de los suelos de estas regiones, los procesos pedogenéticos adquieren rasgos particulares, al incidir en ellos otros factores como el tipo de roca o la topografía (Dokuchaev, 1967; Jenny, 1941).

De esta forma es necesario profundizar en el conocimiento de la pedogénesis de los suelos que se desarrollan en climas semiáridos, para reconocerlos, caracterizarlos y así poder identificar las posibles alteraciones producto de eventos naturales o antropogénicos.

3.2.2 Procesos pedogenéticos relacionados a las zonas semiáridas

Salinización

En los procesos de salinización, las sales se concentran en la superficie de los horizontes del suelo y en ocasiones pueden llevar a la formación de horizontes sálicos, expresándose en forma de costras salinas.

Las sales pueden provenir de la disolución de estos minerales en las partes altas y lixiviarse hacia las partes bajas o depresiones, por medio de un drenaje superficial, o por un drenaje subsuperficial (agua freática). La evaporación del agua de las partes bajas ricas en estas sales lixiviadas, conducen a las sales por capilaridad muy cerca de la superficie del suelo (Fig. 3.2) (Fanning et al., 1989; Anderson, 2002).

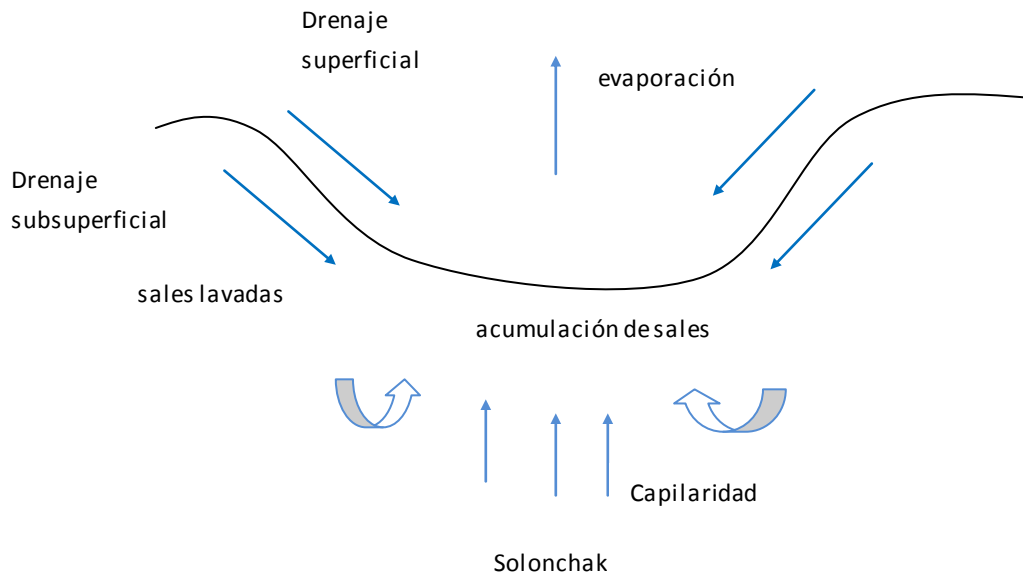


Fig.3.2. Diagrama idealizado de procesos de salinización en regiones semiáridas. El drenaje superficial y subsuperficial lixivia las sales de las partes altas, las acumula en zonas bajas y por capilaridad se concentran cerca de la superficie del suelo. Modificado de Fanning et al, (1989).

Dentro de las sales más frecuentes depositadas cerca de la superficie o sobre ella se pueden mencionar: la Halita (NaCl), Mirabilita ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), Epsomita ($\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$) y Tychita ($\text{Na}_6\text{Mg}_2 (\text{CO}_3)_4\text{SO}_4$), esta última muy tóxica para las plantas.

En las regiones semiáridas o sub-húmedas, este fenómeno de concentración de sales cerca de la superficie es común, particularmente en donde la evaporación supera a la precipitación, durante la mayor parte del año y puede ser estimado mediante el cociente P/T , que al ser menor de 25 indica la concentración de sales. Sin embargo la salinización también puede ser inducida, cuando las regiones semiáridas son explotadas agrícola y son sometidas al riego (Fanning et al, 1989). Debido a las altas concentraciones de sales, los coloides normalmente están floculados.

La alta acumulación de sales, normalmente de color blanco, en las partes superficiales de los suelos producidos por salinización, son conocidos como

“suelos de álcali blanco”, especialmente si predomina el sodio. Estos suelos son conocidos como Solonchaks.

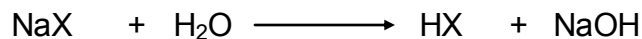
De acuerdo a Fanning, et al., (1989) y Buol et al., (1981), los Solonchaks son la etapa inicial para producir Solonetz (conocidos como suelos de álcali negro).

Solonización.

Solonización es el proceso que lleva a la formación de un Solonetz, llamado también “suelo de álcali negro”, usualmente con un horizonte E.

En el proceso clásico, un Solonchak es drenado por procesos geomorfológicos o artificialmente, de esta manera las sales solubles son lixiviadas, dejando saturado el complejo de intercambio por el sodio principalmente.

Por hidrólisis del sodio, que se encuentra en el complejo de intercambio, puede desarrollar un pH muy alto, incluso mayor a 10.



en donde la X representa el complejo de intercambio.

Con un pH muy alto, que puede ser desarrollado por la presencia de carbonato de sodio, la materia orgánica y la arcilla son dispersadas y logran ser iluviadas bajo esas condiciones. La iluviación posterior puede conducir a la formación de un horizonte nátrico (Btn) (Fanning et al., 1989; Schaetzl et al., 2002) (Fig. 3.3)

Las características diagnósticas de un horizonte nátrico son:

- Presencia de un horizonte argílico (Bt)
- Estructura prismática o columnar en la parte superior del suelo.
- Presencia, en ocasiones mínima, de un horizonte eluvial E.

- Un contenido de 15 % o más de sodio intercambiable dentro de los primeros 40 cm de profundidad.
- y /o una suma de magnesio más sodio intercambiables mayor que la del calcio más la acidez intercambiable a pH 8.2, dentro de los primeros 40 cm de profundidad.

En la actualidad se reconoce que existen otros caminos para la formación de un horizonte nátrico, las cuales no requieren un Solonchak como un estado inicial, como por ejemplo, el intemperismo de materiales ricos en sodio, como la albita, que pueden liberar sodio y formar un horizonte nátrico, e incluso se pueden desarrollar en un clima húmedo, si se presenta un drenaje impedido (Fanning et al, 1989; Schaetzl et al., 2002).

A las áreas donde se asocian Solonchaks y Solonetz se les conoce como slickspots scab.

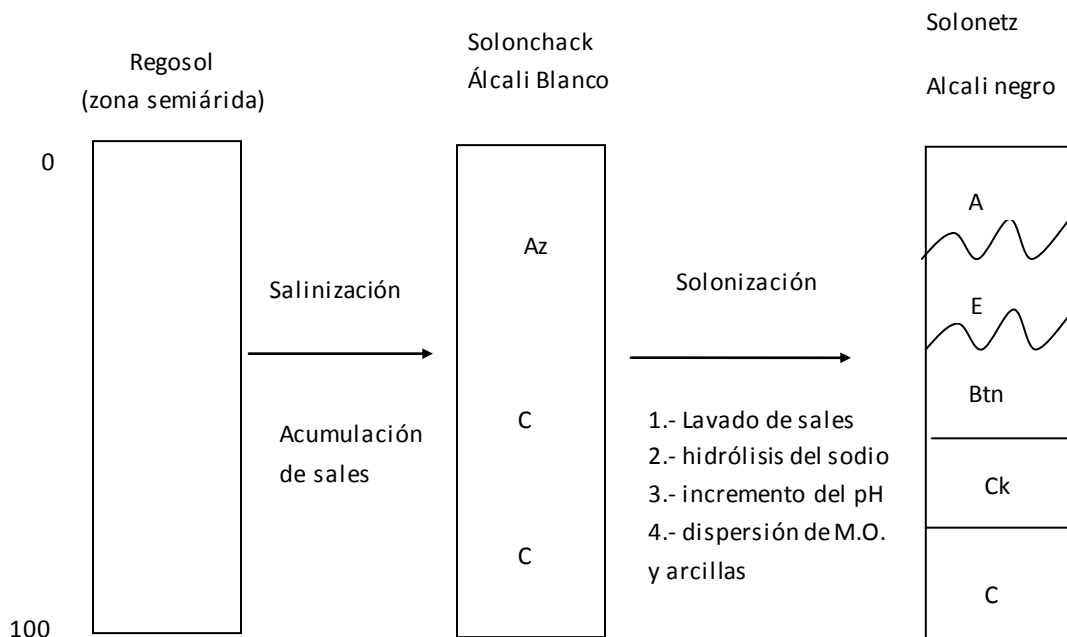


Fig 3.3. Diagrama clásico de los procesos de Salinización y Solonización. Tomado de Fanning et al., 1989.

Solodización

Con la continua lixiviación del horizonte A del Solonetz, el suelo comienza a incrementar su acidez o al menos el sodio se pierde y un horizonte A y E “más normal” se desarrolla. La zona de dispersión de la materia orgánica y arcilla (del horizonte nátrico) se mueve a mayor profundidad dentro del suelo, por los mecanismos de eluviación – iluviación. Es de notar que el horizonte E está bien definido (Fanning et al, 1989; Schaetzl et al., 2002) (Fig. 3.4)

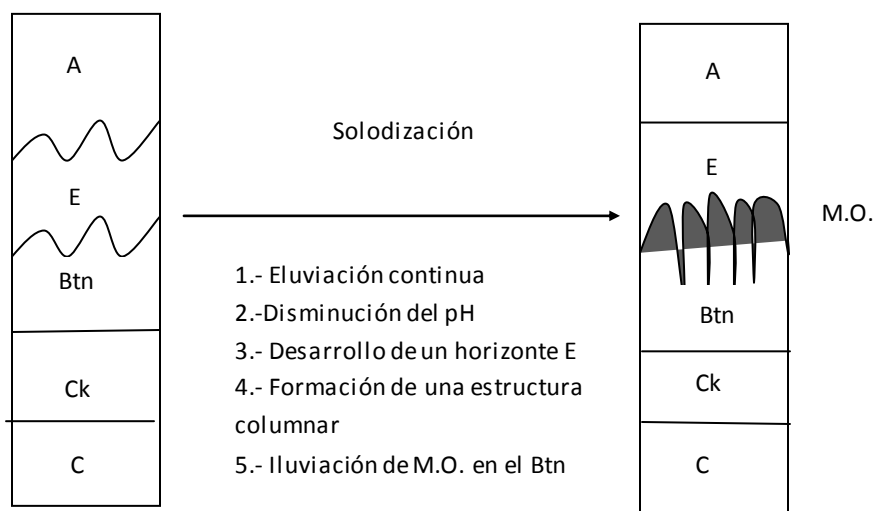


Fig. 3.4 Diagrama del proceso de Solodización. Tomado de Fanning et al, 1989.

Calcificación.

La calcificación involucra una eluviación débil y la formación de carbonatos secundarios en los horizontes del subsuelo. El calcio tiende a ser el catión intercambiable dominante en el suelo, influenciado fuertemente por este proceso. Bajo estas condiciones el calcio se asocia con la materia orgánica humificada

formando humatos de calcio estables en un horizonte A y frecuentemente se encuentran también en los horizontes por debajo de A como pueden ser B o C. Los horizontes de transición como AB, y/o AC o BA, comúnmente están presentes y el horizonte E no se presenta en este proceso.

En el proceso de calcificación, la eluviación incluye a las sales solubles, la remoción parcial de los carbonatos y la iluviación de carbonatos secundarios por precipitación de la solución del suelo (Fanning et al., 1989; Schaetzle et al., 2002).

Es necesario enfatizar, que existen suelos que aunque presenten procesos de calcificación, no necesariamente tienen un horizonte de acumulación de carbonatos de calcio secundarios como Bk o Ck, estos suelos pueden ser las Rendzinas, algunos Cambisoles (calcáreos) y “suelos calcimórficos intrazonales”.

De esta forma, la Calcificación es el proceso dominante en los suelos bien drenados que se presentan en las regiones sub – húmedas a áridas. El calcio es el catión dominante en el complejo de alteración y se presenta como carbonato de calcio secundario.

El calcio proviene, en su mayoría, del intemperismo de los minerales primarios carbonatados (principalmente de la calcita y dolomita) del material parental, pero algunos pueden provenir de la adición de minerales por el viento o por el intemperismo de minerales silicatados ricos en calcio. Cuando la actividad agrícola afecta a los suelos, encalando y agregando materia orgánica de forma sistemática o los incendios repetidos, propicia fenómenos de Calcificación en regiones más húmedas que las típicas (Fanning et al, 1989; Schaetzl et al, 2002).

Horizonte Cálcico.

Existen dos tipos diagnósticos:

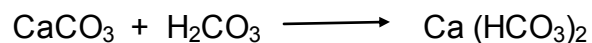
- El primero sobreyace a materiales que tienen menos carbonatos que el horizonte cálcico. Lo anterior incluye la presencia de un horizonte cálcico de iluviación de al menos 15 cm de espesor, que tiene un contenido mayor o igual a 15 % de carbonato de calcio que el horizonte que subyace.

- El segundo caso se refiere a los suelos de textura arenosa, areno – gravosa, en general de textura gruesa, que muestran menos de 18% de arcilla. Para calificar, en este caso, como horizonte cálcico, el horizonte debe tener al menos 5 % (en volumen) más de carbonato de calcio en forma de polvo que el horizonte que le subyace y este horizonte debe tener al menos 15 cm de espesor (Fanning et al, 1989; Schaetzl et al., 2002).

Mecanismos que gobiernan la movilidad del carbonato de calcio en el suelo.

Como se ha mencionado, la calcificación se desarrolla en suelos derivados de materiales ricos en calcio, donde el intemperismo de minerales como la calcita y dolomita, o de minerales silicatados ricos en calcio e incluso de materiales transportados por viento, son precipitados como minerales cristalinos secundarios. En el caso los suelos provenientes de aluviones o coluviones, la formación y movilidad de los carbonatos de calcio secundarios es muy clara. En estos lugares, en donde la precipitación es moderada o escasa (como corresponde a las zonas semiáridas y sub – húmedas) permite la distribución uniforme del carbonato de calcio a través de todo el perfil del suelo inicial (Fanning et al, 1989; Schaetzl et al., 2002).

Al establecerse la vegetación, por escasa que sea, genera bióxido de carbono, debido a la respiración de la raíz. El bióxido de carbono reacciona con la humedad del suelo formando un ácido débil, el carbónico, que al ionizarse reacciona con el carbonato de calcio para formar bicarbonato de calcio, que es mucho más soluble que el carbonato de calcio (de 30 a 40 veces más).



En zonas semiáridas la penetración del agua en el perfil del suelo es limitada, debido a la escasa precipitación, sin embargo la profundidad de penetración del agua de lluvia es casi constante. El bicarbonato de calcio desciende en solución hasta la máxima penetración que logren las aguas pluviales en el perfil del suelo. Al no existir más bióxido de carbón y si existir carbonato de calcio, se presenta un ambiente químico llamado ion común, provocando que la solubilidad del

bicarbonato de calcio disminuya y precipite, iniciándose de esta manera la formación del horizonte cálcico (Fanning et al., 1989; Schaetzl et al., 2002).

3.3 Los Vertisoles

Dentro de las posibilidades de desarrollo de suelos en regiones semiáridas, merecen atención aparte los Vertisoles o suelos que han desarrollado características verticas (WRB, 2006).

Los Vertisoles se desarrollan también en zonas semiáridas, sub – húmedas e incluso en regiones tropicales y subtropicales. Todas estas regiones en donde se desarrollan estos suelos tienen una estación de lluvia muy localizada y un periodo de sequía muy marcado (Dudal, et al., 1988; Fanning, et al., 1989; WRB, 2006).

Ambiente de formación

Los Vertisoles se encuentran sobre depresiones y áreas onduladas casi planas, donde el material parental es de carácter básico, es decir, rico en Ca, Mg y Na, como los basaltos o aluviones de los fondos de los valles. Condiciones que favorecen la formación de minerales de la arcilla expandibles 2:1, esta formación de esmectitas es característica de estos suelos (Dudal, et al., 1988; Fanning et al., 1989; WRB, 2006).

La formación de Vertisoles es particularmente favorecida en donde el agua subterránea somera atrapa las “bases” (Ca, Mg y Na) en solución y una neo – formación de esmectitas puede ocurrir, como pueden ser las planicies pobremente drenadas (Dudal, et al., 1988; Fanning et al., 1989; WRB, 2001).

Debido a que las regiones semiáridas y sub – húmedas favorecen el desarrollo de los Vertisoles, la vegetación dominante que se desarrolla sobre estos suelos es usualmente sabanas, pastizales naturales e incluso bosques (Dudal, et al., 1988; Fanning et al., 1989; WRB, 2006).

Descripción general

Son suelos minerales ricos en arcillas pesadas mezcladas con una alta proporción de arcillas expandibles 2:1. Lo anterior, normalmente requiere una alternancia de saturación de agua y de desecamiento, en presencia de más de 30 % de arcilla del tipo de las esmectitas. En la estación de secas, forman profundas grietas desde la superficie de al menos 1 cm de ancho y 50 cm de profundidad, lo cual sucede en la mayoría de los años (Fanning et al, 1989; Dudal, et al., 1988; WRB, 2006).

La WRB (2006) admite para este orden de suelo un perfil con los horizontes A (B) C. Al respecto Fanning et al., (1989) comenta que los Vertisoles poseen un horizonte A de espesor variable y normalmente no se encuentra un horizonte E o B, sin embargo en la actualidad se reconocen la presencia de un horizonte Bw y un Bt, donde el Bw se localiza en parte superior donde los argilanes no son estables por el fenómeno de contracción y expansión, y el Bt en la parte inferior, donde la contracción y expansión es mucho menor que en la parte superior por una disminución en el contenido de arcilla o por una condición de humedad mas constante. Muchos de los Vertisoles tiene un pH alto y se encuentra un horizonte Ck también.

Aunque muchos de los Vertisoles son de color negro, el contenido de materia orgánica es bajo, frecuentemente entre 1 y 2 %. (Ahmad, 1984; Dudal, et al., 1988; Fanning, et al, 1989, WRB, 2006).

Además, los Vertisoles poseen las siguientes características:

- un microrelieve gilgai.
- agregados estructurales en forma de cuña o paralelepípedos con un eje longitudinal inclinado entre 10° y 60° con respecto a la horizontalidad.
- slickensides que se intersectan. (Ahmad, 1984; Dudal, et al., 1988; Fanning, et al., 1989; WRB, 2006).

Propiedades, problemas y usos.

Los Vertisoles son muy poco permeables, una vez que las grietas se saturan de agua, el drenaje se hace lento hasta llegar a obtener un índice de infiltración de 0. Si en esta etapa las lluvias se prolongan o el riego continua, los vertisoles se inundan rápidamente, siendo un problema para la agricultura de riego.

El agua es adsorbida en la superficie de las arcillas y retenida entre las láminas de los cristales de arcilla (laticce). Los Vertisoles son suelos con buenas propiedades de retención de agua, pero la retención es tan fuerte, sobre todo la que se encuentra entre las láminas de los cristales, que la mayor parte de ella no está disponible para las plantas.

La mayoría de los vertisoles tienen una alta capacidad de intercambio catiónico y un alto porcentaje de saturación de bases, dominando la saturación los cationes de Ca y Mg. Los valores de pH normalmente se encuentran entre 6 y 8 (Ahmad, 1984; Fanning et al, 1989; WRB, 2006).

Su desarrollo en áreas de poca pendiente y las adecuadas características químicas, hacen que estos suelos sean potencialmente muy fértiles y por esta razón han sido sometidos a la agricultura tanto en el pasado como en la actualidad. Sin embargo en México son productivos solo cuando son sometidos a riego.

Suelos con características vérticas.

Existen muchos suelos que pueden generar características vérticas y normalmente están asociados a los Vertisoles. Estos pueden tener una o más propiedades como las mencionadas anteriormente, como grietas que pueden ser no lo suficientemente amplias (menos de un cm de ancho y menores a 50 cm de profundidad), o slickensides, o pueden ser arcillosos con un incipiente horizonte vértico que no es lo suficientemente profundo (Fanning et al, 1989; Dudal, et al., 1988; WRB, 2006).

La mayoría de los suelos con características vérticas se encuentran en posiciones más altas en el paisaje que los Vertisoles, por ejemplo en pendientes suaves, sobre mesas y sobre superficies de piedemontes, como son los Calcisoles Vérticos, Luvisoles o Cambisoles (Ahmad, 1984; Fanning et al, 1989; WRB, 2006).

CAPÍTULO 4. ÁREA DE ESTUDIO.

La antigua ciudad de Teotihuacán se encuentra en la actualidad ubicada políticamente, en el Estado de México, en el municipio de Teotihuacán, colindando al Norte con el municipio de Temascalapa, al Sur con los municipios de Acolman y Santiago Tepetitlán, al Este con los municipios de San Martín de las Pirámides y Otumba y al Oeste con el municipio de Tecamac. El sitio arqueológico se encuentra a 45 km de la Ciudad de México (INEGI, 2001).

A continuación se describirá el entorno natural del sitio arqueológico de Teotihuacán, considerando como límites lo correspondiente al Valle donde se encuentra el sitio (Figura 4.1).

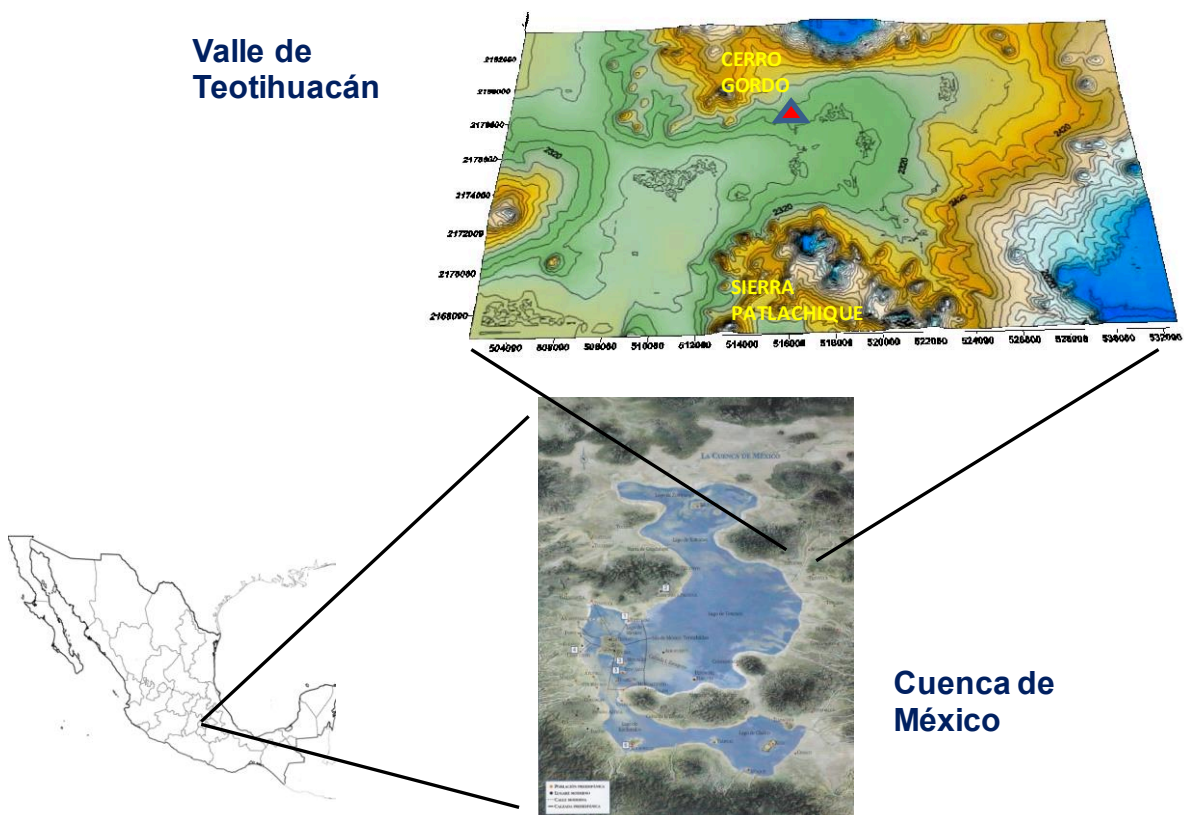


Fig. 4. 1. Ubicación del área de estudio. Se muestran las principales elevaciones que conforman al Valle de Teotihuacán. La imagen de la cuenca de México fue tomada de Vela (2004), Arqueología Mexicana, No. 68.

4.1. Geomorfología

El Valle de Teotihuacán se encuentra en la región central de México, pertenece a la provincia fisiográfica de la Faja Volcánica Transmexicana. Su desarrollo comienza en el Terciario medio, emplazando en superficie diversas estructuras volcánicas de carácter ácido a intermedio y continuó su actividad en el Plio-Cuaternario, situando ahora materiales que formaron estructuras volcánicas de intermedias a básicas (INEGI, 2001).

El Valle se ubica particularmente en la Cuenca de México. La cuenca está limitada al norte por la Sierra de Pachuca, al sur por la Sierra del Chichinautzin, al este por la Sierra Nevada y de Rio Frio y al oeste por la Sierra de las Cruces. Tiene una superficie de 7 853 Km². Hasta el siglo XVII, la cuenca fue un sistema endorreico, que contó con varios cuerpos de agua: los lagos de Zumpango y Xaltocan al Norte, el lago de Texcoco (el más extenso y salino de la cuenca) al centro y los lagos de Xochimilco y Chalco al Sur.

El Valle de Teotihuacán es parte de este sistema, se localiza en la región noreste, entre las coordenadas 19^o 43' y 19^o 38' de latitud y 98^o 43' y 98^o 53', limita al norte con varios edificios volcánicos: Malinalco, Cerro Gordo, Cerro Soledad y Texuaca; al sur y sureste con la Sierra Patlachique, al oeste con el Cerro Chiconauhtla, al este con la Sierra Soltepec y algunos conos cineríticos como Cerro Caldera, Cerro Loma Mocha y Cerro San Lucas. Además al norte se abren las planicies de Tepeapulco - Apan y al suroeste la llanura de Texcoco, por donde en la antigüedad desembocaba el río San Juan en el lago de Texcoco. Su altitud varía entre 2205 a 3050 m (López, 1989; INEGI, 2001; Hernández, 2007).

La hidrología del valle está formada por cuatro ríos principales: los Estetes, el Muerto, el Soldado y Piedras Negras, estos ríos se unen en la planicie para formar el río San Juan, el cual fue canalizado, en época prehispánica, para cruzar la ciudad de Teotihuacán, a la altura de la Ciudadela (López, 1989). De flujo intermitente, se hacía permanente después de ser alimentado por los manantiales

que se encontraban al suroeste del valle, formando parte de una red de irrigación permanente en la parte inferior del valle.

4.2 Geología

El sitio arqueológico se encuentra asentado sobre una planicie aluvial, constituida de materiales aluviales y laháricos, con una pendiente de 0-4° (Tapia-Valera et al., 2001).

Rodeando la planicie se encuentran una serie de elevaciones, dentro de ellas al norte destaca el Cerro Gordo, se trata de un estratovolcán, en donde se intercalan materiales de tipo andesítico – basáltico, las rocas andesíticas se les asocia una edad del Plioceno temprano y al basalto del Plioceno tardío (García et al., 2002; Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989). Otra de las elevaciones importantes en la parte norte es cerro Malinalco, formado de rocas andesíticas, del Mioceno medio y tardío.

En el sur, la Sierra Patlachique, está compuesta de andesitas y dacitas del Plioceno temprano y basaltos del Plioceno tardío (Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989). INEGI (1985), reporta que el piedemonte de la Sierra, así como del Cerro Gordo están formados de sedimentos vulcano - sedimentarios consolidados del Cuaternario y en algunas cimas de la Sierra, existen basaltos también del Cuaternario.

Existen una serie de estructuras volcánicas, monogenéticas del Cuaternario, en el valle, formadas por materiales de composición intermedia a básica. Estas estructuras aparecen alineadas a lo largo de un sistema de fallas normales, con dirección NE-SW. Existe otro sistema de fallas con dirección NW - SE, en donde también se observan una alineación de conos cineríticos (García et al., 2002).

4.3 Clima

Debido a la conformación geomorfológica del valle, el clima presenta variaciones que corresponden a los diferentes niveles altitudinales. En las zonas bajas del valle se reporta un clima BS₁kw(w)(i'), semiseco templado, con una precipitación que varía entre 500 y 600 mm, en elevaciones entre 2200 y 2800 msnm (García, 1968, 1974).

En las zonas altas, mayores a los 2800 msnm, que corresponden a las elevaciones que circundan el valle, se tiene un clima C(wo)(w)b(i') el más seco de los templados subhúmedos, con una precipitación media anual que oscila entre los 700 y 800 mm. En general el valle tiene una temperatura media anual que varía entre los 12 y 18 °C (García, 1968, 1974).

4.4 Vegetación

La vegetación que existe en el valle es producto de la alteración humana actual y pasada. Por esta razón la vegetación que domina en el valle se ha descrito como una vegetación secundaria, que no obstante cambia con la altitud (Rzedowski, 1957). En las partes bajas, hasta los 2750 msnm, domina el matorral xerófilo, como *Opuntia streptacatha*, *Zaluzania augusta*, *Mimosa biuncifera* y *Yucca filifera*. Además existen también en algunas áreas entre los 2400 y 3050 msnm de pastizales.

En las zonas más altas de las elevaciones que circundan al valle, particularmente en las laderas opuestas al valle, se encuentran bosques de encino. También se localizan matorrales de encino, tanto en las laderas bajas como en las altas, vegetación que atestigua la gran perturbación humana que ha existido en el lugar (Castilla et al., 1983; Rzedowski, 1957, 1978).

4.5 Suelos

Los suelos que son dominantes en el fondo del valle son Fluvisoles mólicos, cámbicos y con propiedades vérticas (McClung de Tapia, et al., 2003). Estos suelos se desarrollan a partir de sedimentos coluvio – aluviales, provenientes de los procesos erosivos de las elevaciones que circundan al valle, la evidencia apunta que este proceso inicio en el momento del contacto y continuó a lo largo de toda la época Colonial hasta nuestros días (Rivera-Uria, et al., 2007).

Trabajos recientes realizados en el valle indican que el suelo dominante en la planicie aluvial en época prehispánica era un Vertisol cálcico, también se localizaba en áreas de poca pendiente hacia el Cerro Gordo y la Sierra Patlachique (Rivera-Uria, et al, 2007; Sánchez-Pérez et al., 2013; Solleiro-Rebolledo et al., 2011)

Se reporta para esta zona, suelos del tipo de los Vertisoles crómicos y pélicos, aflorando particularmente hacia el Sur del valle, en algunas secciones del piedemonte de la Sierra Patlachique.

En los piedemontes y en las laderas de poca pendiente se encuentran Feozem y Cambisoles. En las de mayor pendiente existen Litosoles (Leptosol para la WRB, 2006). En la cima del Cerro Gordo se encuentra un Cambisol húmico.

CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA.

Para desarrollar los objetivos planteados se siguió una metodología dividida en 3 fases. La primera fase incluyó el reconocimiento del paleosuelo “negro” en diferentes lugares dentro del Valle de Teotihuacán, para establecer su distribución y tomar muestras de los perfiles mejor conservados. La segunda fase consistió en la revisión de los informes de campo realizados por los arqueólogos en sus trabajos de excavación dentro del sitio arqueológico, para identificar la distribución del paleosuelo dentro del sitio. Con esta información, se procedió a la construcción del mapa de distribución del suelo “negro”. Finalmente en la tercera fase se aplicaron los análisis a las muestras obtenidas, para distinguir los rasgos pedogenéticos que lo formaron.

5.1 Estrategia de campo para la identificación, descripción y muestreo del paleosuelo “negro”.

Los paleosuelos se pueden encontrar en diferentes ambientes y áreas geográficas, por esta razón se hizo necesario establecer una estrategia que permitiera localizarlos.

Teniendo en cuenta que el asentamiento teotihuacano se encuentra en la parte más baja del valle, tanto el centro cívico - ceremonial, como en gran parte de las unidades habitacionales, la estrategia que se siguió en campo fue identificar al paleosuelo “negro” en la planicie aluvial, tanto en registros naturales como en contextos arqueológicos.

Se llevó a cabo también la revisión bibliográfica tanto de los trabajos realizados por los arqueólogos, así como el análisis y la incorporación de los resultados de las investigaciones realizadas por los especialistas en ciencias de la tierra. De estos últimos se destacan los conducidos por Gama-Castro et al., (2005), McClung de Tapia, et al., (2003, 2005), Lounejeva et al., (2006), Rivera-Uria et al, (2007), Rivera (2008), Solleiro-Rebolledo et al., (2006), Solleiro-Rebolledo et al.(2011), los

cuales se realizaron principalmente en la planicie aluvial, en donde se identificaron varios paleosuelos “negros” asociados a la ocupación teotihuacana. De estas investigaciones se seleccionó al perfil denominado San Pablo, el cual fue tomado como sección tipo y sirvió para la identificación del paleosuelo “negro” tanto en la zona arqueológica como en el valle.

La dinámica aluvial del valle permitió, en esta investigación, un primer reconocimiento de los paleosuelos en secuencias sedimentarias coluvio – aluviales, detectando cuatro perfiles donde se identificó al paleosuelo “negro” (Tabla 6.1).

En una segunda etapa se realizaron diferentes recorridos para localizar a los paleosuelos en pendientes ligeras, en el área del Cerro Gordo y en la Sierra Patlachique. Se localizaron un total de seis perfiles en estas zonas (Tabla 6.1).

La tercera fase de campo consistió en identificar y ubicar a los suelos en los sitios arqueológicos, es decir, se visitaron excavaciones conducidas por arqueólogos en donde aparecía el paleosuelo “negro”, el cual sirvió de base para desplantar las estructuras arquitectónicas. Es el caso del sitio La Ventilla 1 y 2. Esta etapa también incluyó al perfil denominado las Tunas1, en donde se observó el paleosuelo “negro” por debajo de una unidad habitacional (Tabla 6.1).

En todos los casos se ubicaron los puntos por medio de sus coordenadas geográficas, se describieron los perfiles y se procedió a tomar muestras de cada horizonte siguiendo los criterios de Soil Survey Staff (1988).

Se colectaron varios tipos de muestras:

- para análisis físicos-químicos y mineralógicos 2 kg de suelo de cada horizonte y se guardaron en bolsas de plástico.
- para los análisis micromorfológicos, se obtuvieron bloques inalteradas de 10 x 10 cm, de cada horizonte de los suelos identificados y se envolvieron en papel aluminio, para evitar que el bloque se rompiera

- para el análisis de susceptibilidad magnética se tomaron muestras a cada 5 cm en toda la secuencia estratigráfica de los perfiles.
- para el análisis geoquímico se obtuvo un monolito del perfil San Pablo, que incluyó a los horizontes 5ABtss, 5AE y 4C.
- para los fechamientos se utilizó una capa de carbón ubicada entre los horizontes 4A y 3C; extracto orgánico resultante del análisis de fitolitos encontrados en la superficie del horizonte 5AE de San Pablo; materia orgánica del horizonte AEB de la Ventilla; carbonatos de los horizontes Bkb de la Ventilla y 5Ck de San Pablo.

Se etiquetaron debidamente y se condujeron al laboratorio de Paleosuelos del Instituto de Geología de la UNAM, para su posterior análisis.

5.2 Construcción del mapa de distribución de los paleosuelos.

A partir de los perfiles identificados en el Valle de Teotihuacán, en donde se observó al paleosuelo “negro” y con las coordenadas de sus ubicaciones se procedió a construir un mapa de distribución del paleosuelo en el valle.

El primer paso para la elaboración del mapa de distribución del paleosuelo fue la identificación de la carta o cartas que corresponden a la zona de interés, según la nomenclatura del INEGI. Una vez identificadas fue necesario tener las cartas en imagen digital (1 : 50 000), de las cuales se empleó la capa correspondiente a las curvas de nivel, en este caso la carta utilizada es la E14b21.

Las diversas capas de la carta se encuentran en formato dxf, para poder verlas fue necesario utilizar el programa AutoCAD. En este programa fue posible realizar un mosaico con diversas cartas, así como recortar la zona exacta que se requirió trabajar.

Una vez que se obtuvo este archivo se empleó el programa DXF a XYZ para “reventar” las curvas de nivel, es decir, se obtuvieron los puntos con los que se

formaron las curvas en coordenadas X, Y y Z (en una hoja de Excel) con las cuales fue posible desplegar el mapa topográfico en el software SURFER 8. Una vez que se construyó el mapa fue posible adjuntarle las coordenadas de los perfiles identificados en campo a partir de otra hoja de Excel en la cual se especifican sus valores de X y Y (Fig. 6.13).

5.3 Análisis físico – químicos.

Preparación de las muestras.

Las muestras de los diferentes perfiles se secaron sobre charolas de plástico a temperatura ambiente. Posteriormente, se rompieron agregados del suelo en un mortero de madera, evitando que las partículas que lo constituyen se rompieran. Finalmente, el material se cribó por medio de un tamiz de abertura de malla de 2 mm y el suelo tamizado fue utilizado para el análisis.

Determinación de color.

El color se determinó por medio de la tabla de colores Munsell (1975), en húmedo y en seco, utilizando una placa de porcelana y a la luz del día.

Cuantificación de las fracciones minerales de arena, limo y arcilla.

La cuantificación del tamaño de partícula sirvió para detectar discontinuidades en las secuencias aluviales-paleosuelos, además de caracterizar a los horizontes de los paleosuelos “negros” encontrados. La cuantificación se llevó a cabo siguiendo el Manual de Procedimientos del Laboratorio de Física de Suelos del Instituto de Geología de la UNAM (Flores y Alcalá, 2010). Se realizó un pretratamiento con H₂O₂ y HCl para remover la materia orgánica y los carbonatos respectivamente. Se utilizó una solución saturada de hexametáfosfato de sodio para dispersar a las partículas, después se separaron las arenas (2-0.063 mm) con un tamiz de abertura de malla de 63 micras, las arcillas (< 0.002 mm) se separan por sedimentación de los limos (0.063- 0.002 mm).

Determinación de la susceptibilidad magnética.

La susceptibilidad magnética (χ) es utilizada para diferenciar horizontes de suelo y relacionarlos a los factores formadores del suelo en suelos volcánicos (Rivas et al., 2006). Las muestras se secaron perfectamente, para eliminar el agua higroscópica, utilizando el Liofilizador marca LABCONCO, No. de serie 061264047 B, posteriormente se depositaron en cubos de plástico de 8 cm³. La medición de susceptibilidad magnética se realizó en baja frecuencia (LF) y en alta frecuencia (HF), utilizando el susceptibilímetro marca Bartington MS2, en el Instituto de Geofísica de la UNAM.

Geoquímica de elementos mayores.

El análisis de elementos mayores por fluorescencia de Rayos X fue realizado a un monolito extraído del Perfil San Pablo, el cual incluyó a los horizontes 4C/5AE/5ABtss. Las mediciones se condujeron a lo largo en cuatro secciones, como se muestra en la figura 5.1 (líneas 2, 7, 12 y 17), comenzando a un centímetro de la base y las lecturas subsecuentes se tomaron a cada tres centímetros.

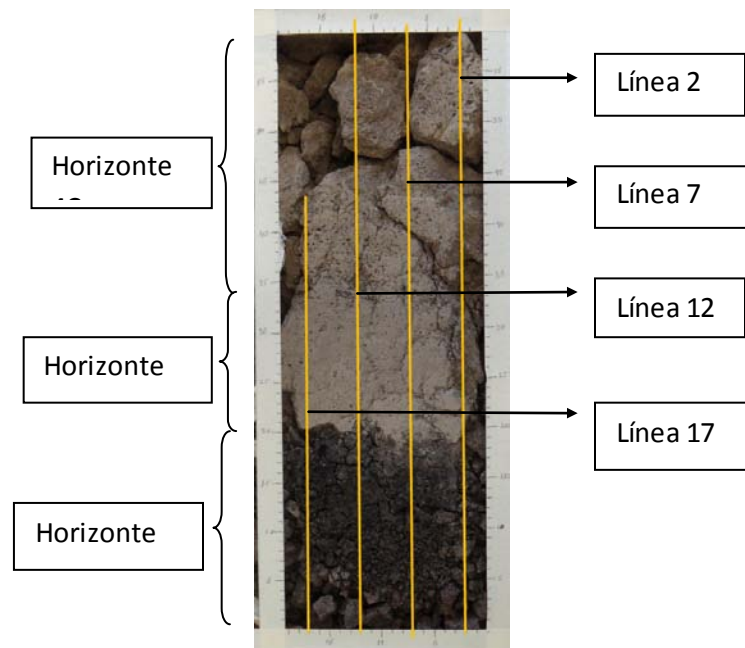


Fig. 5.1. Monolito extraído del perfil San Pablo, donde se muestran los horizontes analizados por Fluorescencia de Rayos X, así como las líneas que se siguieron en la toma de lecturas.

De los valores obtenidos del análisis se seleccionó la línea 12, por ser la que mejor representa la sección completa del monolito.

El equipo utilizado es portátil, de la marca Thermo Scientific, Modelo Niton XL3t. El aparato se calibra primero con un blanco y luego con un estándar CCRMP – Till – 4 y se utilizaron 3 filtros, cada uno es específico para un grupo de elementos.

Determinación de la materia orgánica.

Fue determinada por pérdida de ignición. Dos gramos de muestra fueron colocados en un recipiente de porcelana y calentados a 400⁰C en un horno (Blume et al., 1990). Posteriormente la muestra fue enfriada en un desecador y pesada. La materia orgánica fue calculada por la diferencia entre el peso inicial y el peso final, dividido por el peso inicial de la muestra multiplicado por 100.

5.4 Análisis mineralógico.

Análisis de difracción de Rayos X.- Se estudiaron dos tipos de muestras:

- 1) Muestras totales, no orientadas, en polvo, para identificar a los minerales de arenas limos y arcillas. Los difractogramas se obtuvieron en un equipo Philips modelo 1130/96(generator) y PW 1050/25(goniómetro), equipado con monocromador y tubo de cobre. Los difractogramas se analizaron con el software del equipo Siemens D5000. Todas las muestras de los diferentes horizontes de suelo, 20 en total, se homogenizaron mediante un mortero de ágata y posteriormente se analizaron utilizando un portamuestras de aluminio en el intervalo angular 2θ de 4° a 70° y velocidades de 2°/minuto.
- 2) Muestras de la fracción arcilla orientadas, para identificar exclusivamente las fases minerales de las arcillas. Las muestras se secaron a temperatura ambiente (con identificación de patrones en el intervalo angular 2θ de 4° a 70°), saturación con etilen glicol (con identificación de patrones en el intervalo angular 2θ de 4° a 20°) y calentamientos a 400° C y 550° C (con identificadores de patrones en el intervalo angular de 2θ de 4° a 20°).

5.5 Análisis micromorfológico.

Los bloques inalterados obtenidos en campo se secaron e impregnaron con resina Cristal de índice de refracción 1.544. Para que la resina penetre por todo el espacio poroso se somete a una presión de 22 atmósferas en una cámara de vacío por 24 horas. Se deja secar por al menos dos semanas para un secado completo.

La muestra impregnada se cortó con un disco cuyo perímetro es de polvo de diamante, obteniendo un bloque de 70 X 50 mm. Una de sus dos superficies mayores se pulió con lijas de diferente diámetro de grano, desde la número 80 hasta la 1000. La superficie pulida del bloque se pegó al portaobjetos (previamente esmerilado con un abrasivo de 1000) con la misma resina Cristal, pero con un mayor volumen de catalizador, para que el secado sea más rápido.

El bloque adherido al portaobjetos se cortó a un espesor de 1 mm con una microcortadora marca Buehler. Finalmente la preparación se terminó rebajando el espesor del suelo con abrasivos de carburo de silicio de 600 y de 1000 y puliendo la superficie con alúmina, utilizando un paño.

Una vez preparadas las láminas delgadas, para su descripción e interpretación de los rasgos micromorfológicos, se utilizó el microscopio petrográfico marca Olympus modelo BX 51, siguiendo los criterios propuestos por Bullock et al, (1985), Delvigne (1998) y Stoops (2003).

5.6 Fechamientos por ^{14}C

Los fechamientos por ^{14}C realizados en este trabajo fueron de dos tipos.

- Los fechamientos de materia orgánica total de horizontes A de paleosuelos. En este caso los compuestos húmicos del horizonte fueron el material que se utilizó en el fechamiento, teniendo en cuenta que la fecha obtenida corresponde a la última fase del desarrollo del suelo. Además se realizaron

fechamientos de carbón y del extracto orgánico obtenido de la extracción de fitolitos.

- Los fechamientos realizados en carbonatos en los horizontes B y C. En estos horizontes se utilizaron los carbonatos secundarios formados por pedogénesis.

En ambos casos las muestras fueron procesadas por espectrometría de aceleración de masas (AMS) en el laboratorio de Beta Analytic de Miami, Florida, EU.

CAPÍTULO 6. RESULTADOS.

A continuación se muestran los logros obtenidos en el reconocimiento del paleosuelo “negro” en el valle de Teotihuacán, también se exponen los resultados de los análisis practicados a las muestras de suelos.

6.1 Perfil San Pablo (sección tipo), características morfológicas.

El perfil San Pablo se seleccionó en esta investigación como el perfil tipo, para identificar directamente el paleosuelo “negro” en campo. Tomando en cuenta la información generada por Rivera-Uria et al. (2007) y Solleiro-Rebolledo et al. (2011), quienes lo describieron por primera vez, aportando información sobre sus características morfológicas generales, además de ubicarlo cronológicamente como contemporáneo al periodo teotihuacano. Este perfil es un punto privilegiado, porque contiene al paleosuelo “negro” bien desarrollado y los eventos pedosedimentarios posteriores a la ocupación teotihuacana (Fig. 6.1 y Tabla 6.1).

Con base a la información obtenida por los autores mencionados, se revisó nuevamente el lugar, exponiendo un nuevo perfil, a 1 m al este del previamente estudiado. Se describió con más detalle, reconociéndose características adicionales a las ya expuestas, ocasionando una reasignación de los horizontes del suelo. De esta forma los horizontes 4A/4AC/5A/5Bk, descritos por Rivera-Uria et al. (2007) y Solleiro-Rebolledo et al. (2011), fueron cambiados a: 4A (con una profundidad de 135-170 cm), 4C (170-185 cm), 5AE (185-195 cm), 5ABtss (195-235 cm), 5Bk (235-310 cm), 5 Ck (> 310 cm). De todos estos horizontes, los que corresponden al suelo “negro” teotihuacano son: 5AE/ 5ABtss/5Bk/5Ck. La designación de los horizontes superiores no cambia (Ap/AC/2A/2AC/2C/3A/3C) (Fig. 6.1).

De acuerdo a Rivera-Uria et al. (2007) y Solleiro-Rebolledo et al. (2011), los suelos que se encuentran por arriba del paleosuelo 5 son posteriores al periodo teotihuacano. Se trata de paleosuelos poco desarrollados, formados a partir de aluviones. Sus características generales son: los horizontes A tienen una estructura granular poco desarrollada, friable; los horizontes C muestran

estructuras sedimentarias (laminaciones); en ambos casos su textura es arenolimsa.

De manera particular, además de las variaciones texturales entre el horizonte 3C y el 4A, se observó una clara línea de carbón sobre la superficie de este último. También en esta nueva revisión pedoestratigráfica del Perfil San Pablo, se detectaron diferencias en 4AC. Se notaron estructuras sedimentarias (laminaciones), constituidas de tefra redepositada con una débil pedogénesis. El horizonte 5A fue dividido en dos horizontes: el 5AE, de color pálido, con una estructura en bloques subangulares, de textura arcillo-limsa y el 5ABtss, de color negro, muy arcilloso, con una estructura en bloques angulares, muy duro, con superficies de fricción y fisuras vérticas (Fig. 6.1). Los fechamientos obtenidos en los trabajos de Rivera-Uria et al., (2007) y Solleiro-Rebolledo et al. (2011) permitieron ubicar cronológicamente al paleosuelo “negro” a finales del Formativo y principios del Clásico.

El contacto entre el horizonte 4C y 5AE es abrupto, marcado por una capa delgada (2-3 mm) de humus de color muy oscuro. Debido a que el horizonte 4C no contiene materia orgánica, la ubicación de la capa de humus sugiere que fue formada como parte de paleosuelo 5, correspondiente al momento teotihuacano, previo a la depositación del material aluvial que constituyó el material parental del paleosuelo 4A/4C. El horizonte cálcico 5Bk, es muy duro, con abundantes carbonatos secundarios relleno de fisuras, con una orientación predominantemente horizontal. El suelo “negro” se clasificó como un Vertisol cálcico.

Gracias a las características distintivas del horizonte 5ABtss, fue posible usarlo como un marcador estratigráfico para reconocer al suelo en el valle, dentro de la zona arqueológica y fuera de ella.

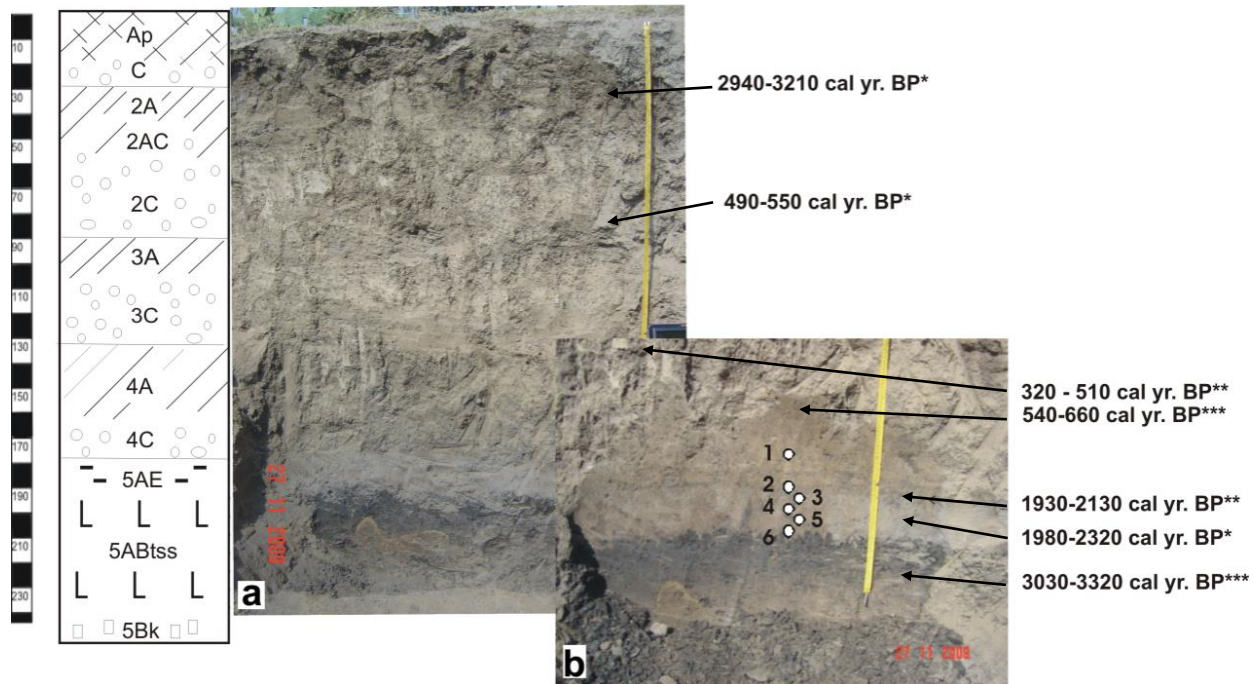


Fig. 6.1 Perfil San Pablo (perfil tipo), donde se muestra el paleosuelo “negro” (5AE/5ABtss/5Bk). (a) El paleosuelo “negro” es un pedocomplejo enterrado por tres paleosuelos pobremente desarrollados y un suelo moderno. (b) Esquema (los números del 1 al 6) de muestreo para el análisis de fitolitos. Todos los fechamientos de ^{14}C son expresados con calibración 2sigma en años antes del presente. * Rivera-Uria et al. (2007); ** Este trabajo; ***Solleiro-Rebolledo et al. (2011). Publicado en Sánchez-Pérez et al. (2013).

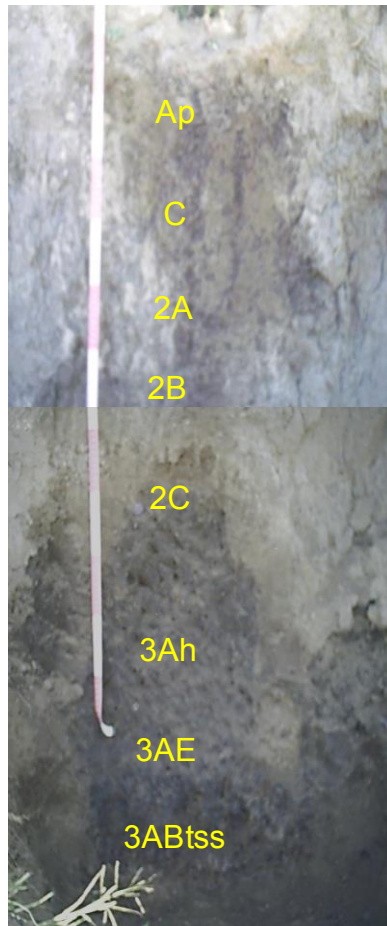
6.2 Características morfológicas de los paleosuelos “negros” identificados en el Valle de Teotihuacán.

El trabajo en campo incluyó dos áreas en donde se localizaron los suelos “negros”: la planicie baja del valle y zonas de poca pendiente aledañas al Cerro Gordo y a la Sierra Patlachique.

Los perfiles estudiados, con sus características morfológicas generales, se presentan a continuación, en las figuras 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9, 6.10.

Paleosuelos “negros” localizados en la planicie aluvial.

Fig. 6.2. **Perfil El Canal.** Se localiza en la planicie aluvial del valle, fuera del sitio arqueológico, junto a un canal de riego construido en la época prehispánica, sus coordenadas son: 19° 40' 12.5" N; 98° 50' 40.0" W, a 2 280 msnm.



Horizonte Ap. Tiene un espesor de 25 cm, de color pardo, con una estructura granular, poco desarrollada, suelta, de textura areno – limosa, poroso y con abundantes raíces.

Horizonte C. Con un espesor de 19 cm, de color pardo claro, de textura areno – limosa, con tendencia a la laminación, su límite inferior es abrupto y ondulado.

Horizonte 2A. Tiene un espesor de 17 cm, de color pardo oscuro, su estructura es granular medianamente desarrollada, friable, la textura es areno – limosa, con abundantes poros, medianos, evidencias de bioturbación, pocas raíces, sin reacción al ácido clorhídrico.

Horizonte 2B. Espesor de 24 cm, de color pardo claro, su estructura es en bloques subangulares, medianamente desarrollados, de textura limo – arcillosa, más compacto que el anterior.

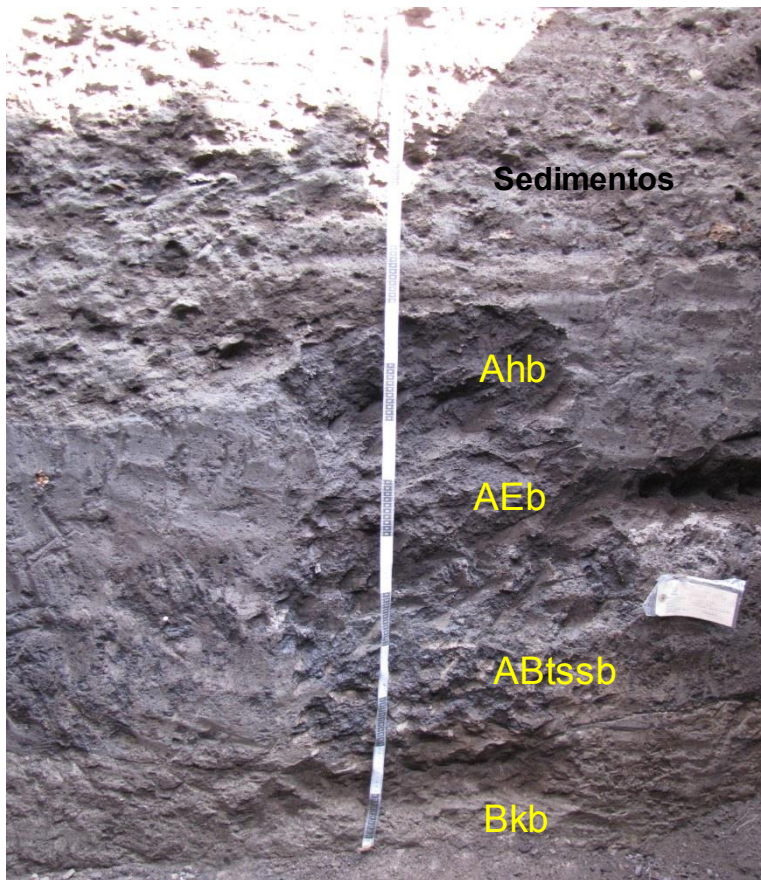
Horizonte 2C. Tiene un espesor de 22 cm, de color pardo claro, de textura limo – arenoso, con tendencia a la laminación, sin reacción al ácido clorhídrico.

Horizonte 3Ah. Espesor de 35cm, de color pardo muy oscuro, con una estructura granular friable, de textura limo – arcilloso, abundantes poros finos y medianos, con raíces finas, evidencia de bioturbación, sin reacción al ácido.

Horizonte 3AE. Tiene un espesor de 8 cm, de color pardo grisáceo, su estructura es en bloques subangulares, medianos a pequeños, poco desarrollados, poroso, con biocanales, sin reacción al ácido clorhídrico (paleosuelo “negro”).

Horizonte 3ABtss. Con un espesor > 25 cm, de color oscuro, su estructura en bloques angulares, medianamente desarrollados, de tamaño medio a pequeños, los bloques tienen recubrimiento de arcilla – humus, con rasgos vérticos (paleosuelo “negro”).

Fig. 6.3. **Perfil La Ventilla 1.** Se encuentra ubicado en el sitio arqueológico de La Ventilla, por debajo de las construcciones arquitectónicas del sitio arqueológico, sus coordenadas son: 19°40'51.1" N; 98°51'20.3" W, a 2 281 msnm.



Sedimento. Su espesor es de 53 cm, de color pardo, su textura es arenosa con grava, tiene tepalcates y abundante carbón. Se nota una tendencia a laminación incluyendo a los tepalcates. El límite inferior es abrupto y ondulado, evidenciando un proceso erosivo. No muestra rasgos pedogénicos.

Horizonte Ahb. Tiene un espesor de 19 cm, es de color pardo gris, de textura limo – arcillosa, menos compacto que el sedimento, su estructura es de bloques pequeños subangulares y poca granular, no hay presencia de grava ni tepalcates. Posible correlación con el Horizonte 4A del perfil San Pablo.

Horizonte AEb. Tiene un espesor de 23 cm, de color pardo grisáceo, más claro que el anterior, su textura es limo – arcillosos, menos arcilloso que el anterior, su estructura es en bloques subangulares pequeños, poroso y con muchos canales biogénicos. Posible correlación con el horizonte 5AE de San Pablo (paleosuelo “negro”).

Horizonte ABb. Su espesor es de 39 cm, es de color oscuro, su textura es limo – arcilloso, mucho más compacto que el anterior, su estructura es en bloque subangulares, con fracturas finas, los bloques tiene recubrimientos de arcilla – humus, su interior es más claro. Tiene algunos rasgos vérticos (facetas de presión) (paleosuelo “negro”).

Horizonte Bkb. Su espesor es de 21 cm, de color pardo claro, con vetas claras de carbonatos, su estructura es en bloques grandes poco desarrollados, con tendencia laminar, muy compacto. Su límite con el horizonte anterior es muy claro (paleosuelo “negro”).

Fig.6.4. **Perfil La Ventilla 2.** Se encuentra ubicado en el sitio arqueológico de La Ventilla, por debajo de las estructuras arquitectónicas del sitio arqueológico, sus coordenadas son: 19°40'51.1" N; 98°51'20.3" W, a 2 281 msnm.



El sedimento 1 (S1) es de color pardo oscuro con secciones de pardo claro, de textura limo – arenoso y masivo.

El sedimento 2(S2) es de color pardo claro, tiene una separación abrupta, de textura limo – arcillosa, presenta tendencia a formar estructuras en bloques subangulares poco desarrollados

Horizonte AEb. Tiene un espesor de 4 cm, de color gris pálido, su textura es limosa, de estructura subangular poco desarrollada y granular y friable (paleosuelo “negro”).

Horizonte ABtssb. Tiene un espesor de 14 cm, de color oscuro, su textura es limo – arcillosa, de estructura en bloques subangulares, pequeños y friables (paleosuelo “negro”).

Horizonte Bkb. Tiene un espesor de 8 cm, de color pardo oscuro, de textura limo – arcilloso, la estructura es en bloques subangulares bien desarrollados, presenta cutanes de iluviación (paleosuelo “negro”).

Fig. 6.5. **Perfil Las Tunas 1.** Se ubica dentro de la planicie aluvial, cerca de una casa prehispánica, sus coordenadas son: 19°41'45.7" N; 98° 49'41.8" W, a 2 295 msnm.



Sedimentos. Su espesor es de 120 cm, de color pardo claro, suelto, de textura areno – limosa, con una tendencia a la laminación, presencia de fragmentos de cerámica prehispánica, su límite inferior es abrupto y ondulado, evidenciando un proceso erosivo, muestra algunos rasgos pedogénicos.

Horizonte 2A. Tiene un espesor de 14 cm, de color gris oscuro, de estructura granular, de tamaño mediano, medianamente desarrollados, su textura es limo arcilloso, no reacciona al ácido clorhídrico.

Horizonte 2C. Tiene un espesor de 14 cm, de color pardo claro, de textura limo – arenoso, su límite inferior es abrupto.

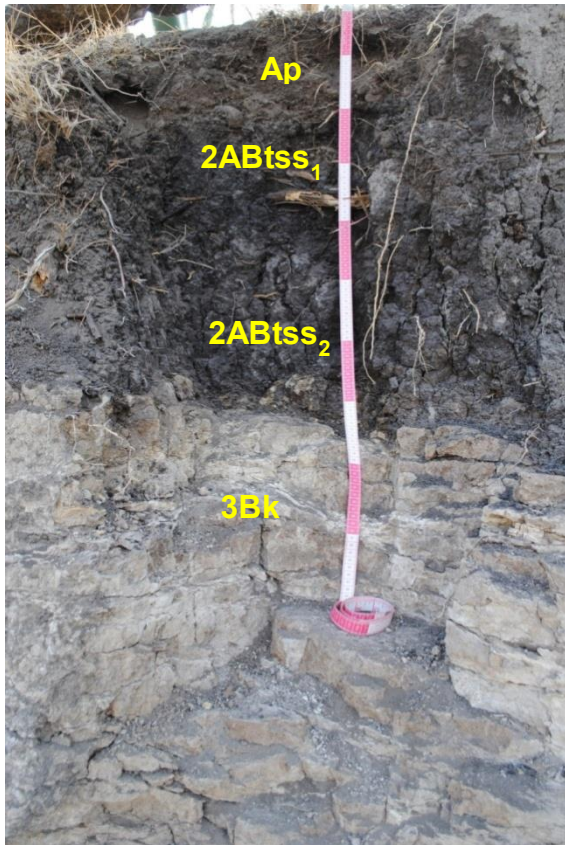
Horizonte 3AE. Tiene un espesor de 16 cm, de color pardo grisáceo, su estructura es de granular a bloques pequeños, consistentes, de textura limo – arcilloso, con microporos (paleosuelo “negro”).

Horizonte 3ABtss₁. Su espesor es de 15 cm, de color muy oscuro, su estructura es en bloques medianos y pequeños, de textura arcillo – limosa, con pequeñas grietas, los bloques tienen recubrimiento de arcilla – humus (paleosuelo “negro”).

Horizonte 3ABtss₂. Tiene un espesor de 8 cm, de color pardo claro, de estructura en bloques medianos, bien desarrollados, de textura limo – arcilloso, con pequeñas grietas (paleosuelo “negro”).

Paleosuelos “negros” localizados en zonas de poca pendiente.

Fig. 6.6. **Perfil El Cedazo.** Se encuentra ubicado hacia la Sierra Patlachique, en la parte alta del piedemonte de la sierra, sus coordenadas son: 19° 38' 32.6" N; 98° 48' 14.1" W, a 2 353 msnm. Se encontró fragmentos de cerámica prehispánica.



Horizonte Ap. Tiene un espesor de 20 cm. Es el suelo actual. Color pardo en seco, de estructura granular, desarrollo moderado, relativamente suelta, no hay reacción al HCl, abundantes raíces y poros grandes y medianos, fuerte bioturbación. El límite con el horizonte subyacente es gradual y ondulado.

Horizonte 2ABtss₁ Su espesor es de 20 cm. De color gris-negro, estructura en bloques subangularres - angulares de medianos a grandes, muy desarrollados, rompen a granular (estructura secundaria). Compacto, no hay reacción al HCl, abundantes microporos, raíces moderadas, algunas grandes. Grietas pequeñas a medianas bien definidas. El límite con el horizonte inferior es plano y difuso (paleosuelo “negro”).

Horizonte 2ABtss₂ De 27 cm de espesor. De color gris-negro en seco, bloques angulares-prismáticos de medianos a pequeños muy desarrollados, no hay reacción al HCl, abundantes microporos, pocas raíces, grietas pequeñas bien definidas, algunas grandes. El límite con el horizonte inferior es abrupto (paleosuelo “negro”).

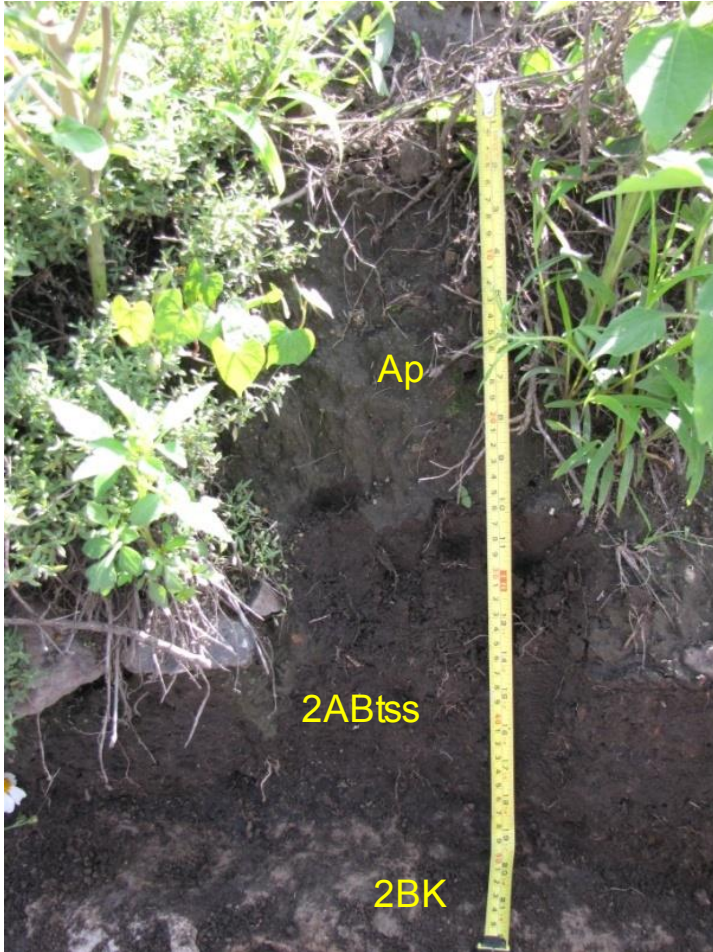
Fig. 6.7. **Perfil El Pozo.** Se ubica hacia el Cerro Gordo, en la parte media del piedemonte, junto a un cultivo de tunas, sus coordenadas son: 19° 43' 41.7" N; 98° 46' 39.5" W, a 2 387 msnm. Se encontró fragmentos de cerámica prehispánica.



Horizonte Ap. Tiene un espesor de 30 cm, de color gris, de estructura granular, friable, de textura areno-limosa y con abundantes raíces.

Horizonte 2ABtss. Tiene un espesor de 60 cm, de color oscuro, más compacto que el anterior, de estructura en bloques subangulares que rompen a granular, de textura arcillo-limosa, pocas raíces y se encuentran tepalcates (paleosuelo "negro").

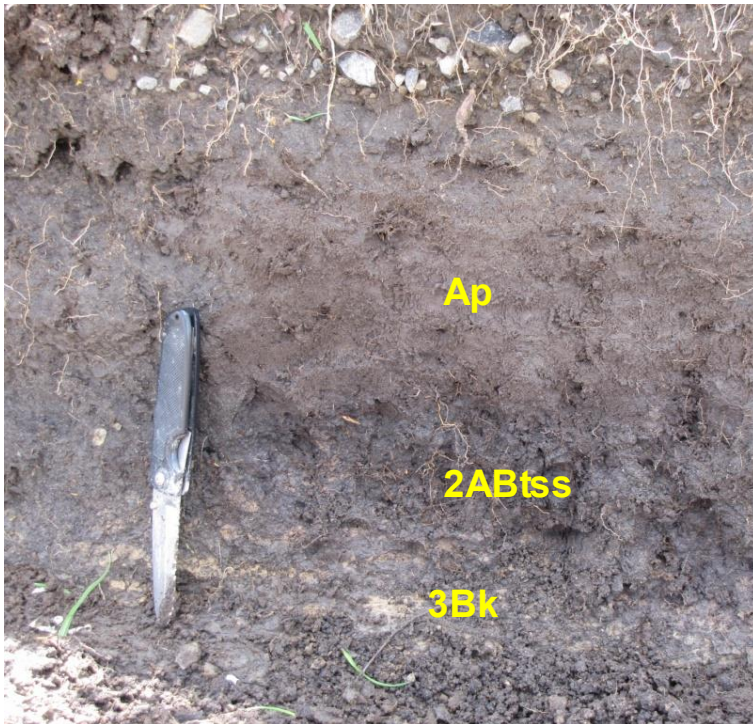
Fig. 6.8. **Perfil Las Terrazas 2.** Se localiza sobre el desplante de la ladera del Cerro Gordo, en una terraza en descanso, sus coordenadas son: 19° 43' 20" N; 98° 49' 14.3" W, a 2334 msnm.



Horizonte Ap. Tiene un espesor de 42 cm, es de color negro, de textura limo-arenosa, su estructura es granular bien desarrollada, friable, con raíces abundantes.

Horizonte 2ABtss. Tiene un espesor de 6 cm, es de color oscuro, de textura limo - arcillosa, su estructura es de bloques pequeños subangulares, friables, medianamente desarrollados, con presencia de raíces (paleosuelo "negro").

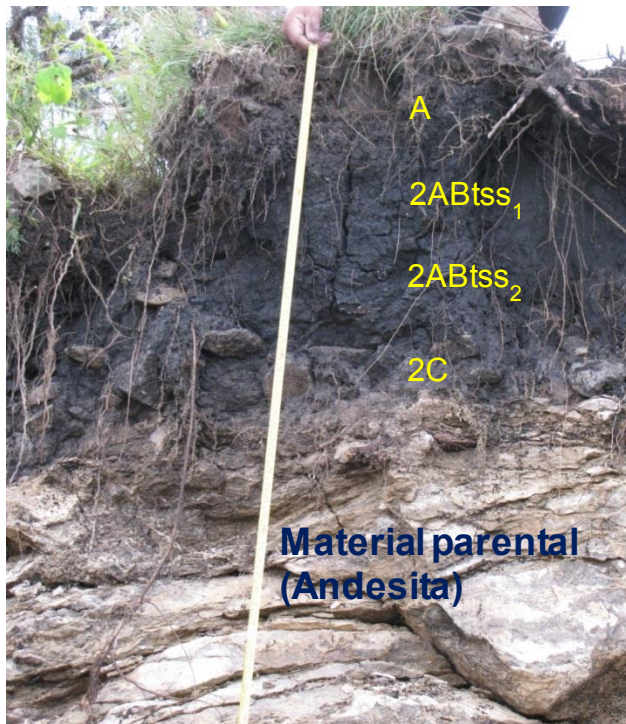
Fig. 6.9. **Perfil Las Vías**. Se encuentra hacia la Sierra Patlachique, en la parte media del piedemonte, sus coordenadas son: 19° 39' 33.2" N; 98° 48' 6.4" W, a 2336 msnm.



Horizonte Ap. Tiene un espesor de 25 cm, de color pardo oscuro, con una textura limo – arcillosa, su estructura es granular poco desarrollada, friable, plástico y adhesivo, con abundantes raíces delgadas.

Horizonte 2ABtss. Tiene un espesor de 18 cm, su color es gris oscuro, de textura arcillo – limosa, plástico y poco adhesivo, su estructura es en bloques pequeños subangulares, bien desarrollados, compactos, con raíces finas (paleosuelo “negro”).

Fig. 6.10. **Perfil La Mina.** Se encuentra en la pendiente de la Sierra Patlachique, junto a una mina de grava, sus coordenadas son: 19° 39' 0.6" N; 98° 49' 48.2" W, a 2372 msnm. No se encontraron tepalcates.



Horizonte A. Tiene un espesor de 20 cm, es de color pardo oscuro, de textura arcillo – limoso, muy pedregoso, su estructura es de bloque subangulares poco desarrollados, friable y rompen a granular, con abundantes raíces finas y medias.

Horizonte 2 ABtss₁. Tiene un espesor de 45 cm, es de color oscuro, de textura arcillo – limoso, de características vérticas, su estructura es subangular bien desarrollada (paleosuelo “negro”).

Horizonte 2ABtss₂. Tiene un espesor de 10 cm, es de color gris claro, de textura limo – arcillosos, su estructura es de bloques sub angulares poco desarrollados, friable, con pocas raíces finas (paleosuelo “negro”).

Horizonte 2C. Tiene un espesor de 15 cm, de color pardo claro, su textura es areno – limosa, masivo y suelto (paleosuelo “negro”).

6.3. Distribución y diferenciación del paleosuelo “negro” en el paisaje.

Del recorrido realizado por el valle de Teotihuacán, además de los perfiles estudiados y descritos anteriormente, se identificaron más de 13 puntos donde se observó el paleosuelo “negro” teotihuacano (Tabla 6.1).

Tabla 6.1. Localización de los perfiles donde se identificó el paleosuelo “negro”

Sitio	Localización	Altitud msnm	Contexto	Observaciones
San Pablo	19°42'30.9" 98°49'15.2"	2 303	Fuera del sitio	Secuencia coluvio- aluvial
El Pozo	19° 43' 41.7" 98° 46' 39.5"	2 387	Fuera del sitio	Muy cerca de la superficie
El Canal	19° 40'12.5" 98° 50'40.0"	2280	Fuera del sitio	Secuencia coluvio- aluvial, cerca de canal de riego
Las Tunas 2	19°41'45.7" 98° 49'41.8"	2 295	Fuera del sitio	Secuencia coluvio- aluvial
Las Terrazas 1	19° 43' 42.1 98° 49' 21.4	2 441	Fuera del sitio	Muy pedregoso sobre terracea
Las Terrazas 2	19° 43' 20" 98° 49' 14.3"	2334	Fuera del sitio	Terraza en descanso
Las Canchas	19° 39' 26.8" 98° 47' 59.9"	2 346	Fuera del sitio	Paleosuelo de poco espesor
Las Vías	19° 39' 33.2" 98° 48' 6.4"	2 336	Fuera del sitio	Influencia de agricultura moderna
La Mina	19° 39' 0.6" 98° 49' 48.2"	2 372	Fuera del sitio	Área de extracción de piedra
El Cedazo 1	19° 38' 32.6" 98° 48' 14.1"	2 353	Fuera del sitio	Sobre pendiente liguera
La Ventilla 1	19°40'51.1" 98°51'20.3"	2 281	Dentro del sitio arqueológico, por debajo de los pisos	Paleosuelo bien desarrollado
La Ventilla 2	19°40'51.1" 98°51'20.3"	2 281	Dentro del sitio arqueológico, por debajo de los pisos	Afectado por la construcción del sitio
Las Tunas 1	19°41'45.7" 98°49'41.8"	2 295	Debajo de casa prehispánica	Afectado por la construcción del sitio

A partir del reconocimiento del paleosuelo en el paisaje del valle, se observaron diferencias en los perfiles. En muchos de los sitios, el paleosuelo “negro” constituyó un pedocomplejo, como lo muestra el perfil tipo San Pablo, el cual se caracterizó por la presencia de un horizonte de color más pálido (eluvial) sobreyaciendo a un horizonte de color muy oscuro, más arcilloso y duro, con una estructura angular (5ABtss), iluvial (Fig. 6.1). Cabe aclarar que los pedocomplejos están formados de dos o más suelos, con una incipiente pedogénesis, en donde el horizonte C, no separa a los diferentes suelos de forma clara, constituyendo un conjunto de horizontes pertenecientes a diferentes ciclos de formación de suelo.

En otros sitios, el paleosuelo “negro” se encontró como un solo suelo en el perfil, es decir, se consideró como un suelo monocíclico, sin el horizonte pálido sobreyaciendo a éste. En estos lugares el paleosuelo “negro” fue sepultado por pedosedimentos (Fig. 6.11) o apareció en la superficie, donde ha sido incorporado a la actividad agrícola moderna (Fig. 6.12).



Fig. 6.11. El paleosuelo “negro” enterrado por pedosedimentos. Perfil ubicado en la Sierra Patlachique.

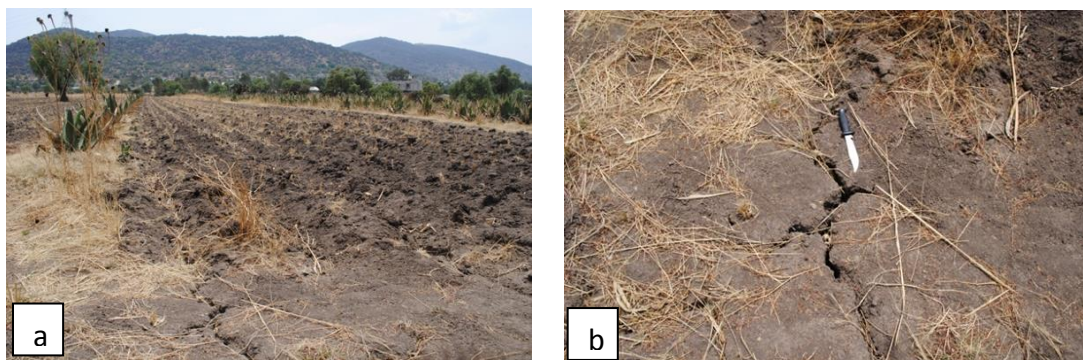


Fig. 6.12. El paleosuelo “negro” en la superficie. A, paleosuelo “negro” en la superficie, utilizado en la actualidad para prácticas agrícolas. B, detalle de la superficie del paleosuelo “negro”, donde se puede apreciar las grietas características de los vertisoles.

En la figura 6.13 se muestran las áreas en donde se identificó al paleosuelo “negro”. La región A, muestra la zona en donde se reconoció al paleosuelo formando parte de un pedocomplejo, en tanto que el área B, señala la ubicación del paleosuelo “negro” como un suelo individual (Sánchez-Pérez et al., 2013).

El paleosuelo “negro” como parte de un pedocomplejo, se observó en San Pablo, Las Tunas, La Ventilla y El Canal (Tabla 6.1; Figura 6.13). McClung de Tapia et al. (2003) describe suelos similares (en cuanto a su fechamiento y morfología), en los sitios de Chinampa y San Lorenzo.

El área A se localiza en la parte más baja del valle, correspondiente a la planicie aluvial, entre los 2 240 y los 2 300 msnm. En esta posición dentro de la geomorfología del valle, los procesos de sedimentación coluvio – aluviales son frecuentes, fenómeno que promueve la formación de suelos policíclicos. Es de resaltar que es en esta superficie, donde solo se encontró al horizonte pálido sobreyaciendo al horizonte oscuro, reconocido como el paleosuelo “negro” teotihuacano.

En el área B, el paleosuelo “negro” teotihuacano se encuentra en un perfil monocíclico (un solo suelo en el perfil), carente del horizonte pálido (AE o E). Este

tipo de perfiles fueron observados en El Pozo, Las Terrazas, Las Canchas, Las Vías y El Cedazo (Tabla 6.1; Figura 6.13), los cuales se correlacionan directamente con los descritos por McClung de Tapia et al. (2003, 2005) en los perfiles de la Zanja, Patlachique, Cerro Colorado, Tlajinga, Barranca del Muerto y Calpultitlan. El área está localizada entre los 2 300 y 2 400 msnm.

En los últimos reconocimientos realizados por arriba de esta cota, el paleosuelo “negro” aparece en pequeñas áreas, particularmente en el Cerro Gordo. Sin embargo, el límite entre las áreas A y B no es muy claro, debido a que en ocasiones los pedocomplejos y los suelos monocíclicos ocupan zonas a la misma altitud.

De lo anterior se puede proponer, una secuencia del suelo “negro” en el valle, de acuerdo a su posición topográfica (Fig. 6. 14). El horizonte ABtss se observa tanto en la parte baja del valle, así como en zonas de mayor altitud pero en pendientes ligeras. Incluso en estas áreas se presenta en superficie. El horizonte pálido AE solo aparece en las partes más bajas del valle sobreyaciendo al horizonte ABtss.

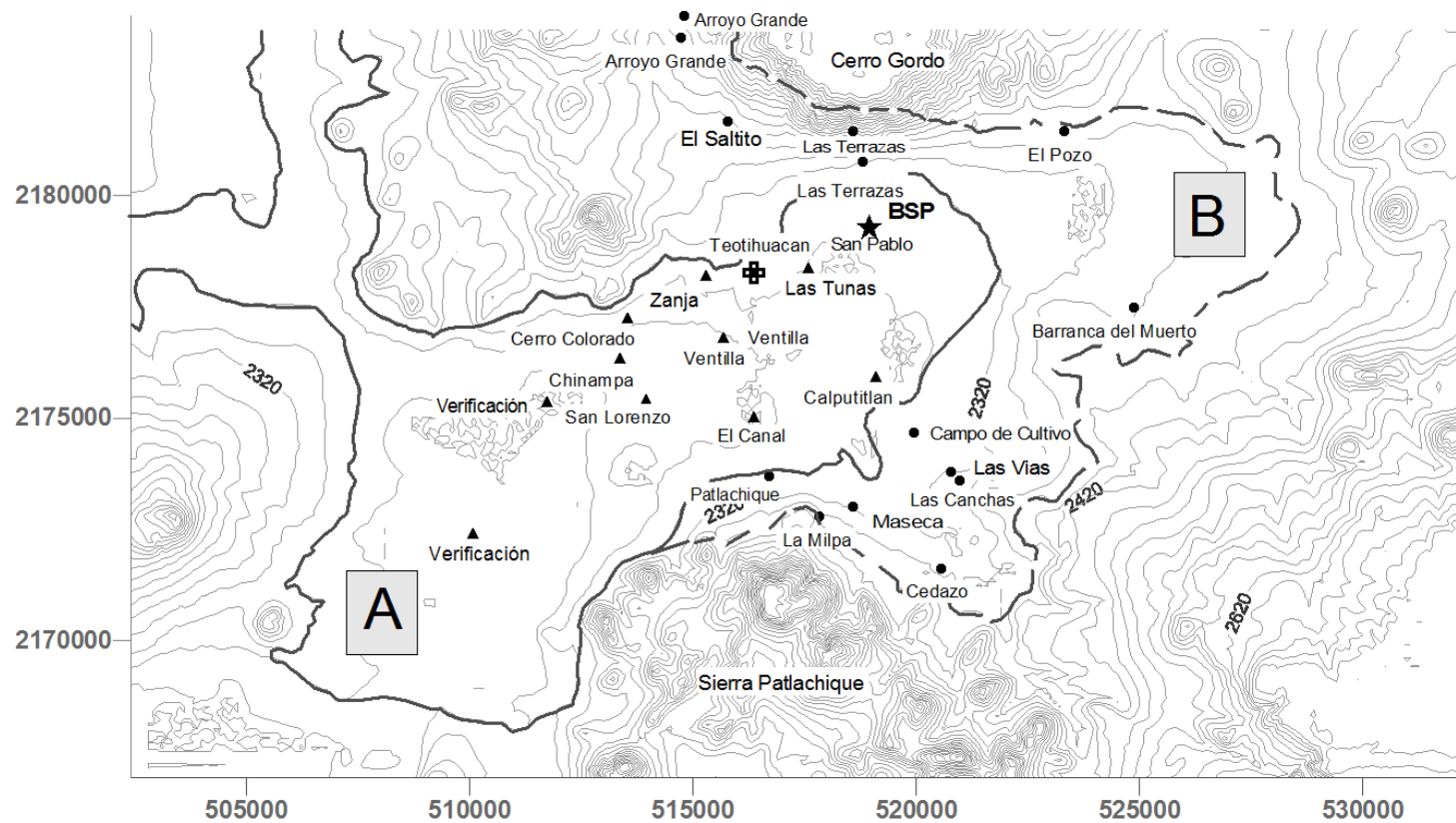


Fig. 6.13. Mapa de distribución del paleosuelo “negro” en el Valle de Teotihuacán. El área A corresponde a la superficie ocupada por el paleosuelo “negro” formando parte de un pedocomplejo. La zona B el paleosuelo se encuentra como un perfil monogenético.

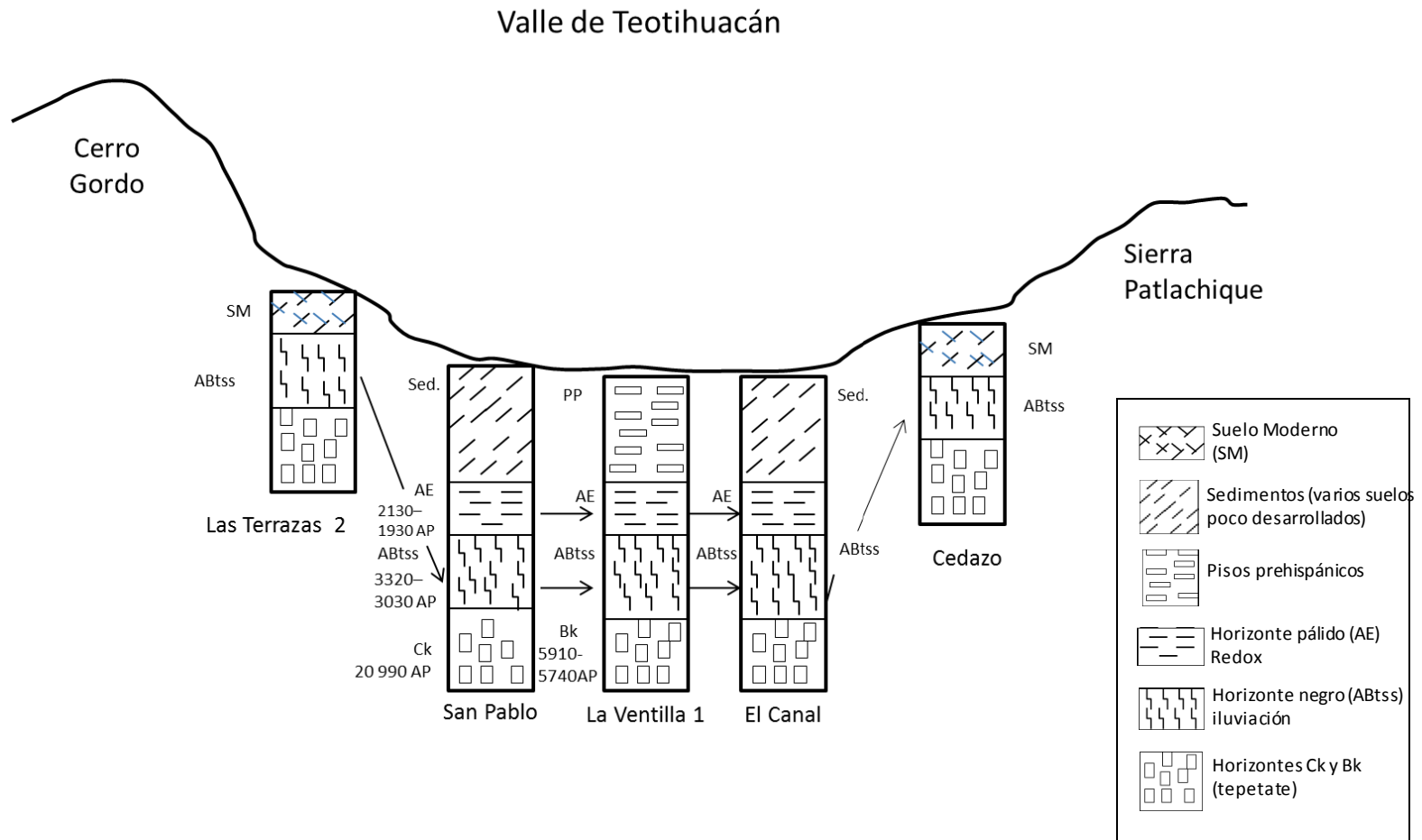


Fig. 6.14. Esquema de distribución del suelo “negro” en el valle, de acuerdo a su posición topográfica. Se señalan las correlaciones entre los horizontes identificados.

6.4. Resultados de los análisis del laboratorio.

6.4.1 Perfil San Pablo (Sección tipo).

Este perfil posee los siguientes horizontes 5AE, 5ABtss1, 5ABtss2, 5Bk, sobreyacidos. El color del horizonte 5ABtss es de gris muy oscuro, en seco y negro en húmedo (Tabla 6.2), provocado por los componentes húmicos fuertemente ligados a la fracción mineral. El horizonte 5AE es de color gris en seco y café grisáceo oscuro en húmedo. Este color contrasta fuertemente con los colores de los horizontes adyacentes y normalmente indica un exceso de agua, saturación del horizonte, condiciones redox y además la pérdida de ácidos húmicos y arcilla, consecuentemente la formación de un color pálido.

HORIZONTE	COLOR SECO	COLOR HUMEDO
4A	10 YR 6/3 Café pálido	10YR 3/2 Café grisáceo muy oscuro
4AC	10 YR 6/2 Café grisáceo claro	10 YR 4/3 Café
5AE	10 YR 5/1 Gris	10YR 4/2 Café grisáceo oscuro
5ABtss ₁	10 YR 3/1 Gris muy oscuro	10 YR 2/1 Negro
5ABtss ₂	10 YR 3/1 Gris muy oscuro	10YR 2/1 Negro
5Bk	10 YR 6/3 Café pálido	10 YR 4/3 Café

Tabla 6.2. Resultados de la determinación del color del paleosuelo “negro” (5AE/5ABtss/5Bk) y del suelo que sobreyace a este.

La combinación observada de los **rasgos micromorfológicos** en el perfil San Pablo es variable, compleja y en algunas ocasiones contradictoria. Las partículas del tamaño de la arcilla y del limo son el componente principal de la matriz del paleosuelo. El horizonte 5ABtss muestra una microestructura muy compacta, en forma de bloques angulares, coloreada por pigmentos de humus y separada por fisuras. La superficie del bloque está cubierta por un revestimiento continuo de

arcilla iluvial, con un relativo alto color de interferencia, claramente ilustrado en la figura 6.15 a y b. Es de notar que los cuerpos de arcilla están visiblemente separadas de la matriz del suelo y no pueden ser “cutanes de estrés” de origen vértico, sino son claramente cutanes de iluviación.

Algunos de los revestimientos están laminados y algunas de las microcapas (frecuentemente las exteriores) están impuras, contienen una mezcla de humus y partículas finas de limo. Esta microlaminación permanece oscura en luz polarizada (Figura 6.15 c y d). En consecuencia se tienen dos diferentes características: una estructura en bloques angulares (relacionada a los procesos vérticos) y los revestimientos de arcilla (asociados con la iluviación).

En el horizonte pálido 5AE, que sobreyace al anterior, el número de rasgos decrece (la pigmentación del humus y los revestimientos de arcilla iluvial); se tiene un pobre desarrollo de la estructura (los bloques angulares no están bien desarrollados) y la fracción limo y arena son dominantes. Únicamente en este horizonte se observaron nódulos redondeados de compuestos ferruginosos (Figura 6.15 e) y también pápulas. Es común encontrar, pequeños fragmentos de carbón de morfología alargada, también se encontraron fragmentos carbonizados, los cuales asemejan una estructura de madera (Fig 6.15 f).

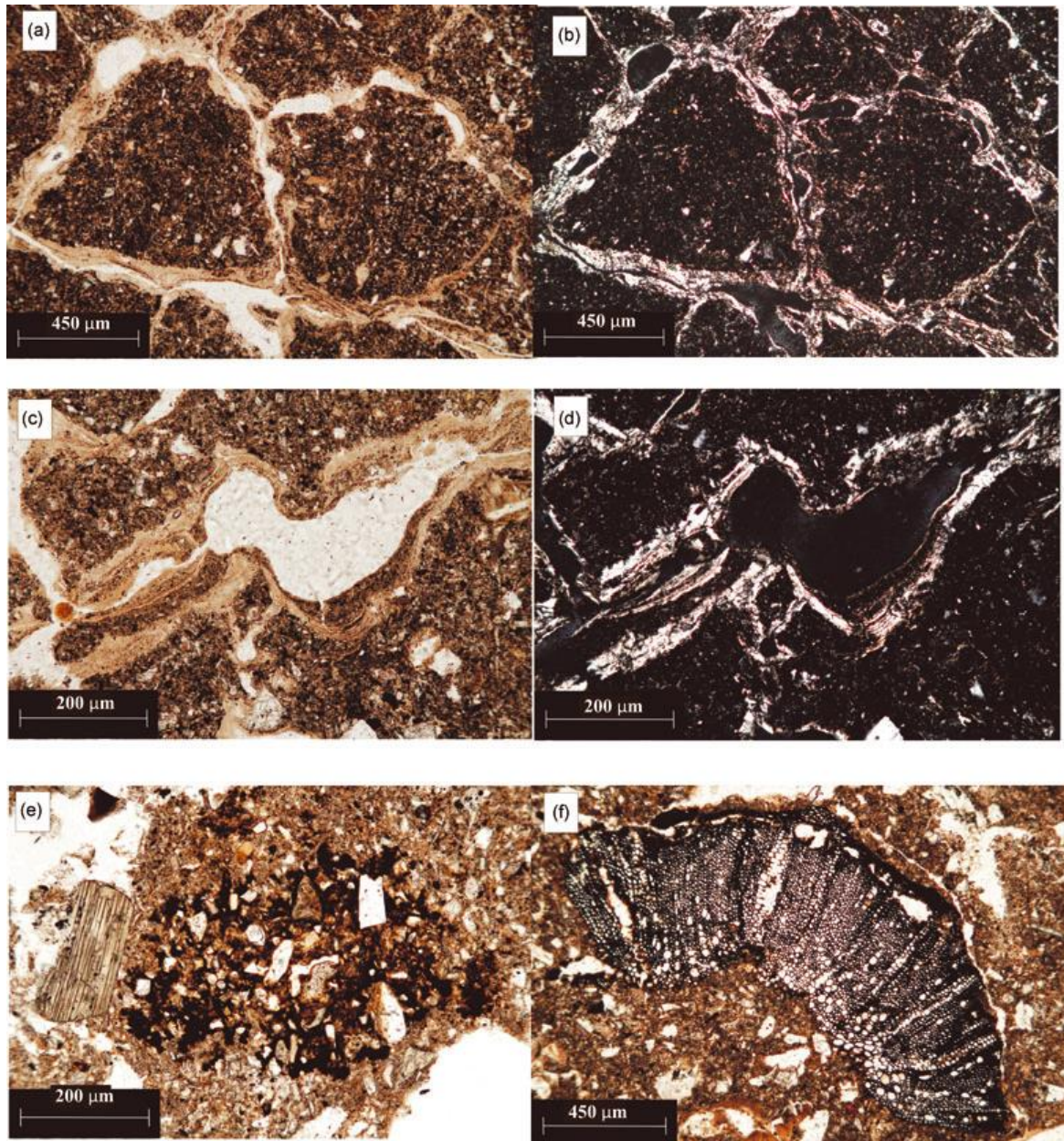


Fig. 6.15. Micromorfología del suelo "negro" del Perfil San Pablo. (a) Recubrimientos de arcilla iluvial en bloques vérticos compactos, en el horizonte 5ABtss, con luz polarizada plana. (b) Igual que (a) pero con nicóles cruzados, nótese el fuerte color de interferencia de los recubrimientos de arcilla. (c) Detalle del recubrimiento de arcilla iluvial del horizonte 5ABtss, nótese la microlaminación, en la capa superior se aprecia el enriquecimiento con limo fino y humus, con luz polarizada plana. (d) Igual que (c) pero con nicóles cruzados, nótese los fuertes colores de interferencia de la capa de revestimiento de arcilla iluvial inferior limpia, en contraste con la capa superior impura que es oscura. (e) Nódulo de compuestos ferruginosos en el horizonte 5AE, con luz polarizada plana. (f) Carbón en el horizonte 5AE, con luz polarizada plana.

La **distribución del tamaño de partícula** muestra la predominancia de la fracción limo en el horizonte 5AE, alcanzando un 51 %. (Fig. 6.16). En el horizonte 5ABtss, esta fracción disminuye hasta un 30%, mientras que aumenta el porcentaje de arcilla alcanzando hasta un 56%. Indicando una acumulación de la fracción arcilla en 5ABtss y no se observa ninguna discontinuidad entre 5AE y 5ABtss.

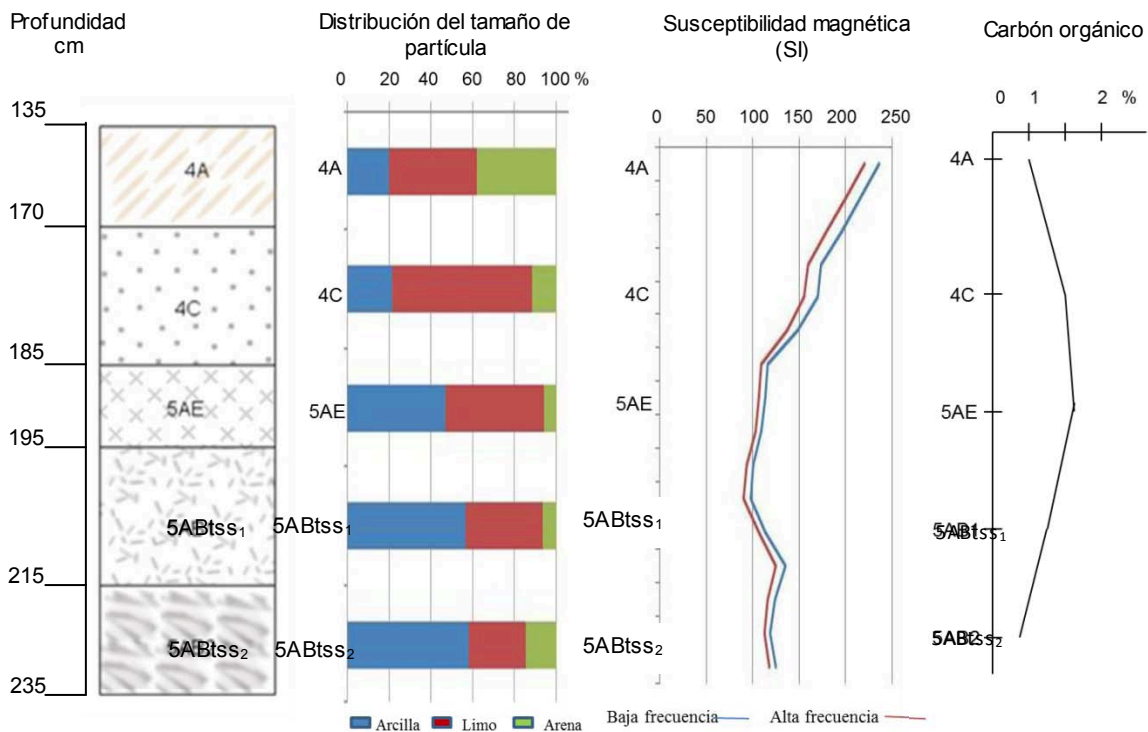


Fig. 6.16. Propiedades analíticas seleccionadas que caracterizan al paleosuelo “negro”: distribución del tamaño de partícula (%); susceptibilidad magnética (SI); carbón orgánico total (%).

Debido al origen aluvial de los paleosuelos que sobreyacen al paleosuelo “negro”, la proporción de partículas que los caracterizan es de una mezcla de limo y arena, lo anterior se observó en campo y ha sido reportado por Rivera-Uria et al. (2007). Los horizontes A tienen una mayor proporción de limo que los horizontes C,

incluso se observó en campo que algunos de estos últimos presentan aun laminaciones, indicando su origen.

Con respecto a la **materia orgánica del suelo** (fig. 6.16), sus valores variaron de 1.3 % en el horizonte 4A a 0.9 % en 4C. Con respecto al suelo “negro”, el horizonte 5AE obtuvo el valor más alto de contenido de materia orgánica, con un 1.9% y los valores decrecen en 5ABtss.

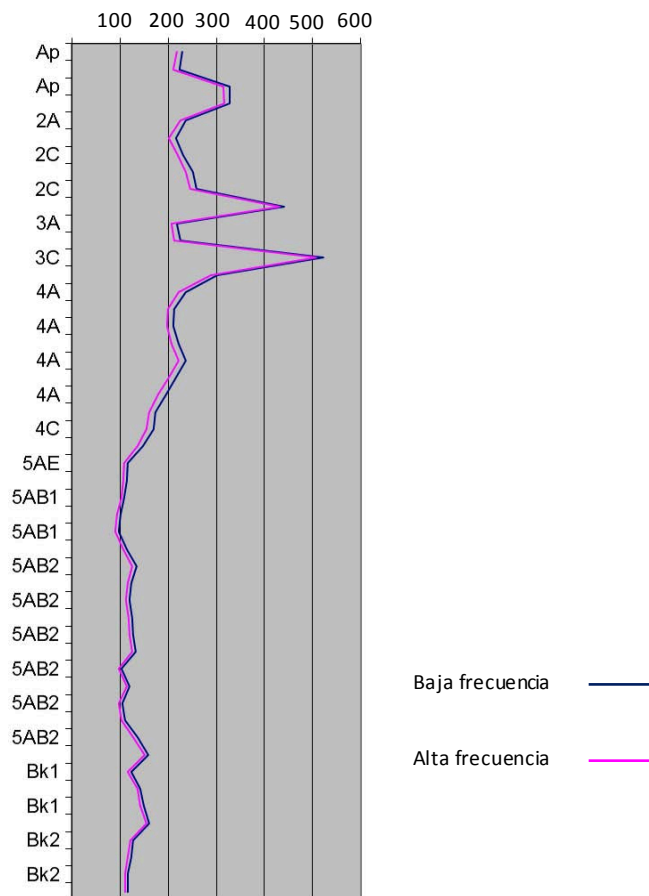


Fig. 6.17. Gráfica de la susceptibilidad magnética (SI), de toda la secuencia estratigráfica del perfil San Pablo. Nótese la disminución de los valores en los horizontes A de los suelos jóvenes y el aumento en los horizontes C. La evaluación fue a cada 5 cm, por esa razón se repiten los horizontes.

Los valores de **susceptibilidad magnética** (χ) del suelo “negro” difieren considerablemente de los obtenidos en los materiales que sobreyacen al paleosuelo (Fig. 6.17). Los horizontes orgánicos de los suelos jóvenes, 2A y 3A, muestran los valores más bajos de χ , en comparación a los horizontes C (2C y 3C). El valor más alto fue obtenido en el horizonte 3C. Los valores más bajos de χ corresponden a los horizontes 5AE y 5ABtss (fig.6.16 y 6.17), se puede apreciar un ligero incremento en la parte baja del horizonte 5ABtss y en el 5BK. El horizonte 4A muestra un valor más alto de susceptibilidad magnética que el horizonte 4C, posiblemente debido a la presencia de material carbonizado.

Dadas las dudas con respecto a la relación entre los horizontes 5AE y 5ABtss (que pudieran representar dos fases de desarrollo de suelo), se aplicó el análisis de elementos mayores por fluorescencia de Rayos X, con el análisis se buscó identificar los elementos que podrían ser marcadores del origen de los horizontes. Por este motivo se seleccionaron a los elementos Ti y Zr, como elementos que son muy estables en el suelo y de esta forma se realizó una aproximación a la identificación de los horizontes que pertenecen al mismo ciclo pedogenético. Para este fin se calculó el índice Ti/Zr (Tabla 6.3), a partir de sus concentraciones en ppm (Chapman et al., 1968; Ballesta et al., 1991) y posteriormente se graficó para observar su comportamiento en los horizontes (Fig. 6.18).

Como se puede observar en el gráfico (Fig.6.18), el comportamiento del índice en el horizonte 4C, es diferente a los del resto del perfil, interpretándose como la diferencia entre los materiales parentales de ambos paleosuelos, evidenciando la discontinuidad entre ambos suelos. Al compararse los horizontes 5AE y 5ABtss la gráfica muestra también un comportamiento diferente entre ambos horizontes, interpretándose en primera instancia, como una evidencia de la discordancia entre los componentes que constituyen a ambos horizontes.

Coordenadas de la línea de medición	Horizonte	Ti ppm	Zr ppm	Ti/Zr
1-12	5ABtss	1200	206.92	5.79
4-12	5ABtss	2200	220.74	9.96
7-12	5ABtss	2400	217.11	11.05
10-12	5ABtss	2700	222.94	12.11
13-12	5ABtss	1900	201.89	9.41
16-12	5ABtss	1700	221.52	7.67
19-12	5ABtss	1700	209.98	8.09
22-12	5AE	3000	197.15	15.21
25-12	5AE	3500	202.32	17.29
28-12	5AE	3000	202.1	14.84
31-12	5AE	3300	191.61	17.22
34-12	5AE	2200	203.05	10.83
37-12	4C	2700	221.42	12.19
40-12	4C	2400	235.96	10.17
43-12	4C	2900	236.79	12.24
46-12	4C	600	200.74	2.9
49-12	4C	3000	230.01	13.04
52-12	4C	1400	227.21	6.16
55-12	4C	1400	207.9	6.73
58-12	4C	100	181.58	0.55

Tabla 6.3. Concentraciones de Ti y Zr en partes por millón y el producto del cociente Ti/Zr

Al calcular los promedios del índice para cada horizonte, resulta más clara la diferencia entre los horizontes 5AE y 5ABtss y la lejanía con el 4C. Sin embargo, los valores individuales de 5AE y 5ABtss son ligeramente más cercanos que los obtenidos para 4C.

El aumento en el valor del índice en el horizonte 5AE, se puede atribuir a aportes de sedimentos, tanto de origen natural o antrópico que enriqueció a este horizonte, particularmente de Ti (tabla 6.3).

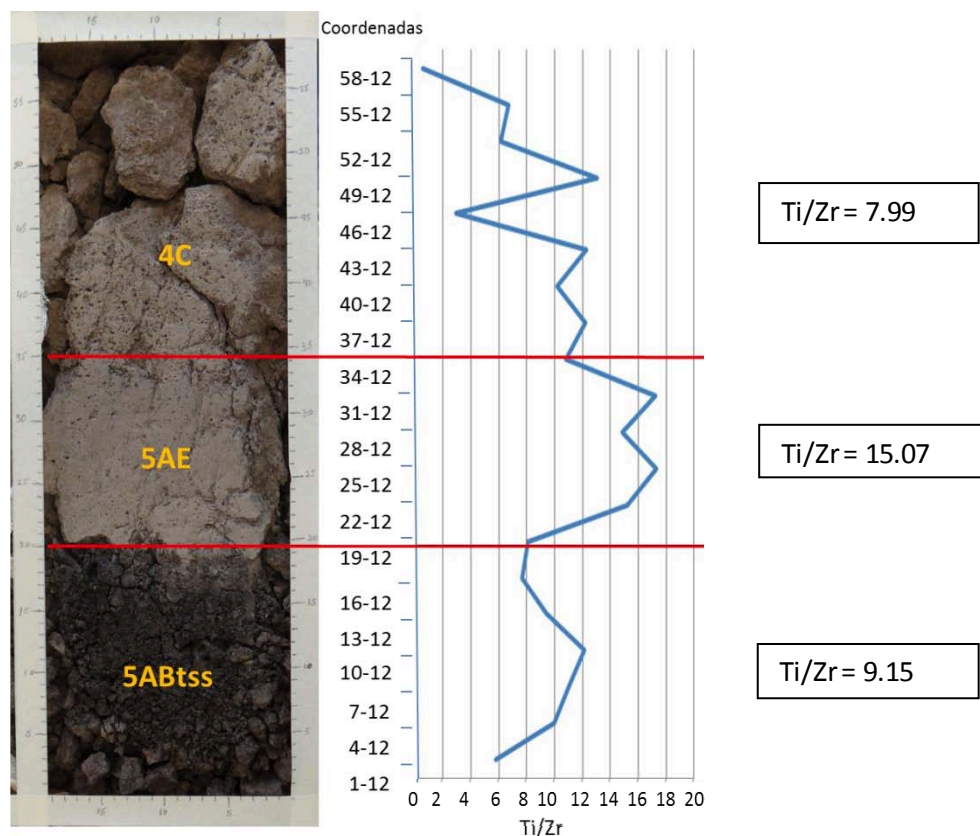


Fig. 6. 18. Monolito del Perfil San Pablo, en donde se muestra el comportamiento del índice Ti/Zr en los tres horizontes (4C/5AE/5ABtss) y el promedio del índice por horizonte.

Con respecto a los análisis de **Difracción de Rayos X**, como primer paso, se aplicó a la muestra total de su elo de los horizontes 4A/4C/5AE/5ABtss, dividido este último en dos partes 5ABtss₁ (parte superior) y 5ABtss₂ (parte inferior).

Las muestras estudiadas presentan una cristalinidad intermedia, su mineralogía es muy similar, en donde la plagioclasa de composición intermedia es de los componentes principales; el ópalo es también una constante en todos los casos y si bien puede tener un origen volcánico, es probable que una fracción importante sea ópalo biogénico, debido a la evidencia encontrada de actividad agrícola realizada sobre este suelo en época prehispánica (ver sección 6.5). El cuarzo es otro de los minerales que es constante en todas las muestras, así como la magnetita. Se encuentran trazas de anfíbol en los horizontes 4A y 5ABtss₂ y claramente distinguible en 5AE (lo que puede apoyar a la idea de una discontinuidad entre 5ABtss y 5AE). En este último horizonte se reconoce también un pico en el difractograma de $\sim 3.10\text{\AA}$, indicando posiblemente la presencia de óxidos de hierro (Fig. 6.19). La abundancia de plagioclasas de composición intermedia y la presencia de anfíbol, sugiere que el material parental es de origen volcánico, de carácter intermedio.

Con respecto al grupo de los filosilicatos, se observó un pico en el difractograma de $\sim 4.48\text{\AA}$ en todas las muestras, muy probablemente relacionado con minerales del grupo del caolín, representando una de las fases menos cristalinas, al igual que el ópalo (Tabla 6.4).

Horizonte	Fases identificadas	Observaciones
4A	-Plagioclasa de composición intermedia: $(CaNa)(SiAl)_4O_8$ -Ópalo: $SiO_2 \times H_2O$ y/o Tridimita: SiO_2 -Cuarzo: SiO_2 - <i>Trazas mínimas de anfíbol</i> - <i>Magnetita</i> : Fe_3O_4 - Filosilicatos a $\sim 4.48\text{Å}$ muy probablemente de tipo caolínfíco.	Queda pico de $\sim 3.10\text{Å}$ Posibles óxidos de hierro
4C	-Plagioclasa de composición intermedia: $(CaNa)(SiAl)_4O_8$ -Ópalo: $SiO_2 \times H_2O$ y/o Tridimita: SiO_2 -Cuarzo: SiO_2 - Filosilicatos a $\sim 4.48\text{Å}$ muy probablemente de tipo caolínfíco	Predominio de plagioclasas. Sin anfíbol.
5AE	-Plagioclasa de composición intermedia: $(CaNa)(SiAl)_4O_8$ -Ópalo: $SiO_2 \times H_2O$ y/o Tridimita: SiO_2 -Cuarzo: SiO_2 -Anfíbol tipo Magnesihornblenda o similar: $(CaNa)_{2.26}(MgFeAl)_{5.15}(SiAl)_8 O_{22}(OH)_2$ - <i>Magnetita</i> : Fe_3O_4 -Filosilicatos a $\sim 4.48\text{Å}$ muy probablemente de tipo caolínfíco	Queda pico de $\sim 3.10\text{Å}$ Posibles óxidos de hierro
5ABtss ₁	-Ópalo: $SiO_2 \times H_2O$ y/o Tridimita: SiO_2 -Plagioclasa de composición intermedia: $(CaNa)(SiAl)_4O_8$ - Cuarzo: SiO_2 - <i>Magnetita</i> : Fe_3O_4 -Filosilicatos a $\sim 4.48\text{Å}$ muy probablemente de tipo caolínfíco.	Mayor proporción de ópalo y menor de feldespatos que la muestra anterior. Sin anfíbol. 2.92
5ABtss ₂	-Ópalo: $SiO_2 \times H_2O$ y/o Tridimita: SiO_2 -Plagioclasa de composición intermedia: $(CaNa)(SiAl)_4O_8$ -Cuarzo: SiO_2 - <i>Magnetita</i> : Fe_3O_4 - <i>Trazas mínimas de anfíbol</i> - Filosilicatos a $\sim 4.48\text{Å}$ muy probablemente de tipo caolínfíco	Mayor contenido en plagioclasas que la muestra anterior.

Tabla 6.4. Resultados del análisis de Difracción de Rayos X aplicado a la muestra total de suelo de los horizontes 4A/4C/5AE/5ABtss₁/5ABtss₂, del paleosuelo “negro” perfil San Pablo.

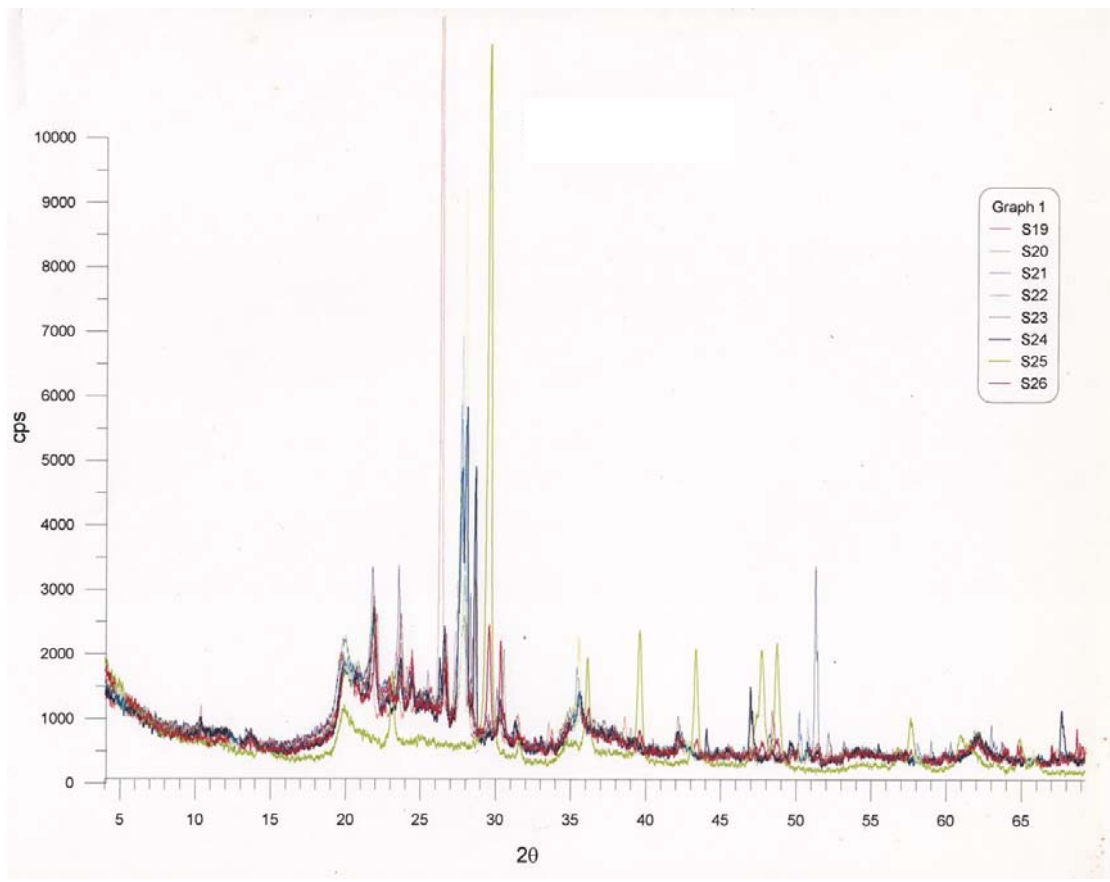


Fig. 6.19. Difractograma de la muestra total de suelo del Perfil San Pablo, de los horizontes: 4A (S24); 4C (S 23); 5AE (S19); 5 AB₁ (S20); 5 AB₂ (S21); 5Bk (S22); 5Bk₂ (S25); 5Ck (S26)

Como un segundo paso en la evaluación mineralógica del suelo, el análisis de **Difracción de Rayos X se aplicó a la fracción arcilla** de los horizontes 5AE/5ABtss₁/5ABtss₂, los resultados se muestran en la tabla 6.5. Las muestras analizadas presentan características muy semejantes. Predomina el material de baja cristalinidad, la presencia de material amorfo es abundante, particularmente en el horizonte 5AE y el componente haloisítico es común en todas las muestras, la presencia de este mineral es más clara en el horizonte 5ABtss.

Horizonte	Picos sin tratamiento	Picos con etilenglicol	Picos a 450°C	Fases identificadas	Observaciones
5AE	~(12-14 Å) ~ 10Å ~ 7Å	~ (14-16 Å) ~ 10Å ~ 7Å	~(10Å) ~ 10Å X	<i>Componente esmectítico no puro.</i> Pequeña proporción de mica Componente caolinitico de tipo haloisítico	
5ABtss ₁	~((12-14 Å)) ~ 10Å ~ 7Å	~((14-16 Å)) ~ 10Å ~ 7Å	~((10Å)) ~ 10Å X	<i>Componente esmectítico no puro.</i> Pequeña proporción de mica Componente caolinitico de tipo haloisítico	Escasa proporción del componente esmectítico
5ABtss ₂	~(12-14 Å) ~ 10Å ~ 7Å	~ (14-16 Å) ~ 10Å ~ 7Å	~(10Å) ~ 10Å X	<i>Componente esmectítico no puro.</i> Pequeña proporción de mica Componente caolinitico de tipo haloisítico	

Tabla 6.5. Resultados del análisis de Difracción de Rayos X a la fracción arcilla de los horizontes 5AE/5ABtss, del paleosuelo “negro” del perfil San Pablo.

La haloisita al ser el componente principal de los minerales de la arcilla, conduce a pensar que su origen es el intemperismo de ceniza volcánica y al no identificar alofano, se propone que el alofano (como primer producto del intemperismo de la ceniza) ha sido transformado a haloisita

También se observa la presencia de componentes esmectíticos no puros y proporciones bajas de mica.

En lo referente a la **cronología del paleosuelo “negro”**, se detalló lo ya publicado en los trabajos previamente publicados por Rivera-Uria et al. (2007) y Solleiro-Rebolledo et al. (2011) y se incorporaron nuevos fechamientos de ^{14}C , publicados por Sánchez-Pérez et al. (2013) (Tabla 6.6). Los fechamientos realizados en carbonatos secundarios del horizonte 5Ck, dieron edades mucho más antiguas que las esperadas, de 20990 ± 100 AP (Beta 293587). Esta edad indica una discontinuidad entre 5Bk y 5Ck, este último formándose en el Pleistoceno tardío.

Para el fechamiento del horizonte 5AE, se utilizó el extracto de fitolitos de una capa oscura y delgada localizada sobre la superficie del horizonte, las edades obtenidas fueron de 2130 – 1930 cal. AP (180 AC – DC 20; Beta 293586), lo cual correlaciona con las edades de 2320 – 1980 cal. AP. (370 B.C. – A.D. 30; Beta 210760) reportadas previamente por Rivera-Uria et al. (2007) de la materia orgánica del horizonte 5AE (previamente designado como un horizonte 4A). Lo anterior confirma que la capa delgada de humus era parte de este horizonte.

Con respecto al horizonte 5ABtss, el fechamiento realizado fue a partir de su contenido de materia orgánica, obteniéndose edades de 3320 – 3030 cal. AP. (1370 – 1080 B.C.; Beta 261617).

También se fechó una capa de carbón que se encontraba entre el horizonte 3C y 4A, obteniéndose una edad de 320 – 510 cal. AP (A.D. 1440 – 1630; Beta 293585). Solleiro-Rebolledo et al. (2011) obtuvieron una edad de 660 – 540 cal. AP (A.D. 1290 – 1410; Beta 219962), fechando material orgánico carbonizado proveniente del horizonte 4A.

El horizonte 3A, fue fechado por Rivera-Uria et al. (2007), utilizando material orgánico carbonizado del horizonte, obteniendo edades de 550 – 490 cal. AP (A.D. 1400 – 1460; Beta 219963), que correlacionan con las obtenidas en este trabajo.

Las edades de la capa de carbón y del material carbonizado son similares, indicando que el material se quemó entre el Posclásico tardío y el periodo Colonial.

Las edades del horizonte 3A son ligeramente anteriores al horizonte 4A, debido probablemente a que el horizonte 3A, contiene materiales redepositados de suelos más antiguos.

Del paleosuelo más superficial, el horizonte 2A fue fechado a partir de su contenido de materia orgánica, obteniéndose una inesperada edad de 3210 – 2940 cal. AP (Beta 219961) mostrando una inversión. Las posibles explicaciones han sido discutidas anteriormente (Rivera-Uria et al., 2007; Sedov et al., 2009) y se atribuyen a la erosión del paleosuelo “negro” y su sedimentación en la parte alta de la secuencia estratigráfica de este perfil.

Los fechamientos también proporcionaron información sobre el tipo de vegetación predominante en el paleosuelo, a través del $\delta^{13}\text{C} \text{‰}$ (Tabla 6.6). Para este perfil la información proviene del extracto (para la determinación de fitolitos), de una banda oscura que se encontraba sobre el horizonte 5AE. El valor obtenido fue de -15.7 ‰, que de acuerdo con Lounejeva et al. (2006), la vegetación que se desarrolló pertenece a las plantas con un metabolismo C4 y CAM, referidas a climas cálidos y secos, estas últimas indican un clima más árido.

Código de Laboratorio	Material	$\delta^{13}C_{\text{‰}}$	^{14}C años AP	2 Sigma Cal. años AP	Calibración 2Sigma Rango de años	Referencia
Beta 219961	Materia orgánica del 2A de San Pablo	-17.7	2920 ± 40	3210-2940	Cal. B.C. 1260-1000	Rivera-Uria et al. (2007)
Beta 219963	Materia orgánica carbonizada del 3A de San Pablo	-22.0	420 ± 40	550-490	Cal. A.D. 1400-1460	Rivera-Uria et al. (2007)
Beta 219962	Materia orgánica carbonizada del 4A de San Pablo	-23.3	620 ± 40	660-540	Cal. A.D. 1290-1410	Solleiro-Rebolledo et al. (2011)
Beta 293585	Carbón de una capa delgada entre 4A y 3C de San Pablo	-24.1	390 ± 40	510-420 400-320	Cal. A.D. 1440-1540 Cal. A.D. 1540-1630	Sánchez-Pérez et al. (2013)
Beta 210760	Materia orgánica del 5AE ^a de San Pablo	-16.7	2140 ± 60	2320-1980	Cal. B.C. 370-30	Rivera-Uria et al. (2007)
Beta 293586	Extracto de los fitolitos de una banda oscura sobre el 5AE de San Pablo	-15.7	2060 ± 40	2130-1930	Cal. B.C. 180- Cal. A.D. 20	Sánchez-Pérez et al. (2013)
Beta 261617	Materia orgánica del 5ABtss ^b de San Pablo	-16.7 -14.9	2980 ± 40	3320-3030	Cal. B.C. 1370-1080	Solleiro-Rebolledo et al. (2011)
Beta 328554	Materia orgánica del AE de la Ventilla 1	-15.5	3190 ± 30	3460-3360	Cal. B.C. 1510-1410	Sánchez-Pérez et al. (2013)
Beta 307550	Carbonatos del horizonte Bk de la Ventilla 1	-6.7	5080 ± 30	5910-5740	Cal. B.C. 3960-3790	Sánchez-Pérez et al. (2013)
Beta 293587	Carbonatos de 5Ck de San Pablo	-6.7	20,990 ± 100			Sánchez-Pérez et al. (2013)

^a Designado previamente como 4A (Rivera –Uria et al., 2007);

^b Designado previamente como 5A (Rivera – Uria et al., 2007)

Tabla 6.6. Fechamientos de radiocarbono del paleosuelo “negro”.

6.4.2 Los paleosuelos “negros” en la planicie aluvial: Perfiles La Ventilla1 y 2, Las Tunas 1 y El Canal.

Todos los paleosuelos reconocidos en la planicie aluvial, tienen características morfológicas y analíticas similares entre ellos y a su vez con el perfil San Pablo.

En el sitio conocido como La Ventilla, ubicado dentro del complejo urbano de Teotihuacán, se situaron dos perfiles estratigráficos, producto de los trabajos de los arqueólogos en la temporada de excavación 2012. El perfil 1 se ubicó en la sección sur del sitio, fuera del Patio de los Glifos, de acuerdo a la ubicación descrita por los arqueólogos, corresponde a: S1 W2, sección 19 (Fig. 6.20). El perfil 2 se encuentra dentro del Patio de los Glifos (Fig.6.21), de acuerdo con los arqueólogos se sitúa en el Perfil Oeste, cuadro Z' 54.



Fig. 6.20. Sitio La Ventilla, sector sur del sitio (S1W2, sección19). La flecha indica la ubicación del perfil 1.



Fig. 6. 21. Sitio La Ventilla, Patio de los Glifos. (Perfil Oeste, cuadro Z' 54). La flecha indica la ubicación del perfil 2.

Ambas secuencias estratigráficas incluyen aproximadamente 0.80 m de pisos prehispánicos y por debajo de ellos 0.50 m de capas sedimentarias que sobreyacen al paleosuelo “negro” (Figuras 6.3 y 6.4).

Los pisos prehispánicos son muy horizontales y paralelos entre sí, se observan cinco pisos y cada uno está constituido por fragmentos de tezontle del tamaño de las gravas (2 a 6 cm de diámetro en promedio), cementadas fuertemente, y reaccionan al ácido clorhídrico, por lo cual se piensa que el material cementante es esencialmente carbonatos de calcio. Este material está cubierto de un mortero de cal y arena (estuco) que es el acabado del piso.

Las capas sedimentarias, por debajo de los pisos, son arenosas, de color café, con tendencia a formar laminaciones horizontales, se observaron también abundantes fragmentos de cerámica y carbón. Este material es el que sobreyace directamente al paleosuelo “negro”, el cual muestra los horizontes AEb/ABtssb/Bkb.

Con respecto a los perfiles Las Tunas 1 y El Canal, se ubican fuera del sitio arqueológico, el suelo “negro” se encuentra sepultado por al menos dos suelos con diferentes desarrollos pedogenéticos. En ambos sitios, los horizontes identificados son: AE/ABtss, como correspondientes al paleosuelo “negro” teotihuacano

En general, en los perfiles de esta zona, el paleosuelo “negro” forma parte de un pedocomplejo, constituido por los horizontes AE/AB/Bk. Cabe mencionar que solo en los perfiles La Ventilla 1 y El Canal se observó el horizonte Ah. El horizonte Bk se observó en todos los perfiles y solo se muestreó en La Ventilla 1 y 2.

Los colores de los horizontes ABtss son oscuros, indicando la presencia de materia orgánica fuertemente ligada a la fracción mineral del suelo. Los horizontes AE, al igual que en el perfil San Pablo, son grises, mostrando los efectos de las condiciones redox y por otro lado la pérdida de minerales como la arcilla y de compuestos húmicos. El horizonte Bk es de color amarillo claro, revelando por un lado la presencia de óxidos de hierro y por otro, una gran cantidad de sales que favorecen el desarrollo de los colores claros (Tabla 6.7).

PERFIL	HORIZONTE	COLOR SECO	COLOR HUMEDO
Ventilla 1	Ah	10 YR 4/1 Gris oscuro	10YR 3/2 Café grisáceo muy oscuro
	AE	10 YR 6/2 Gris café claro	10YR 4/2 Café grisáceo oscuro
	ABtss	10 YR 3/1 Gris muy oscuro	10YR 2/2 Café muy oscuro
	Bk	10 YR 6/4 Café amarillento claro	10 YR 4/4 Café amarillento oscuro
Ventilla 2	AE	10 YR 5/1 Gris	10YR 4/2 Café grisáceo oscuro
	ABtss	10 YR 3/1 Gris muy oscuro	10 YR 2/1 Negro
	5Bk	10 YR 6/3 Café pálido	10 YR 4/3 Café
Las Tunas 1	AE	10YR 6/2 Gris café claro	10 YR5/3 café
	ABtss ₁	10YR3/2 Café grisáceo muy oscuro	10 YR2/1 negro
	ABtss ₂	10 YR 3/2 Café grisáceo muy oscuro	10 YR2/1 negro
El Canal	Ah	10 YR 4/2 Café grisáceo oscuro	10 YR3/1 Gris muy oscuro
	AE	10 YR 5/1 Gris	10YR 4/2 Café grisáceo oscuro
	ABtss	10YR3/1 Gris muy oscuro	10YR 2/2 Café muy oscuro

Tabla 6.7. Resultado de la determinación del color del paleosuelo “negro” en los perfiles La Ventilla 1y 2, Las Tunas 1 y El Canal.

Los rasgos micromorfológicos en los horizontes Ah, indican la prevalencia de las partículas de tamaño limo y arcilla en la matriz del suelo, coloreada por pigmentos de humus dando una tonalidad oscura, además muestra una estructura granular, compacta, separada por biocanales (Fig. 6.22 a, b). Dentro de los minerales más abundantes en este horizonte, destacan la plagioclasas, en menor proporción se encuentran los anfíboles alterados (muestran figuras de ataque) y

las micas, además se observa fragmentos de vidrio volcánico. También se identificaron pápulas en baja proporción (Fig. 6.22 c, d).

Con respecto a los horizontes ABtss, sus características son semejantes a las descritas para el perfil San Pablo, siendo también sus rasgos variables y complejos. Las partículas del tamaño de las arcillas y los limos son dominantes en la matriz, con una microestructura en bloques angulares compacta, pigmentada por humus y separada por fisuras. Gran parte de los poros están revestidos por arcilla laminada, con colores de interferencia relativamente altos. Al igual que en el perfil San Pablo, algunas de las microlaminaciones son impuras, contienen una mezcla de limo y humus (Fig. 6.22 e, f).

El mineral abundante es la plagioclasa, se observan también anfíboles, micas, fragmentos de vidrio volcánico y fragmentos de piedra pómez (Fig. 6.23 a, b).

De esta forma existen dos características principales en este horizonte, que coinciden con las características del perfil San Pablo: una estructura en bloques angulares, relacionados con los procesos vérticos y los revestimientos de arcilla, relacionados con los procesos de iluviación.

De igual manera, el horizonte AE que sobreyace al anterior, posee pedocaracterísticas semejantes a las del perfil San Pablo. La pigmentación originada por el humus y los revestimientos de arcilla disminuyen. Éstos solo se observan en la parte baja del horizonte, su estructura es en bloques angulares poco desarrollados y las fracciones limo y arena son dominantes. Además es el único horizonte que presenta frecuentes nódulos de compuestos ferruginosos y pápulas (Fig. 6.23 c, d, e).

El horizonte más profundo es el Bk, presente en la Ventilla, el cual muestra una dominancia de arcilla y limo en la matriz, se aprecian también partículas gruesas del tamaño de las arenas en la matriz. Los minerales abundantes son las plagioclasas y los fragmentos rocosos de material pumítico, en menor proporción anfíboles y micas, que constituyen a la fracción arena. Se observa también una ligera pigmentación oscura ocasionada por humus. La estructura que se nota es

en bloques subangulares bien desarrollada, separados por pequeñas fisuras. Una proporción alta de los espacios porosos está cubierta por recubrimientos de arcilla, con microlaminaciones, los colores de interferencia son relativamente altos (Fig. 6.23 f). Estos recubrimientos son más limpios que los del horizonte AB, es decir no se aprecia limo y/o humus recubriéndolos. En los espacios porosos más amplios, sobre los recubrimientos de arcilla microlaminada, se identificaron carbonatos de calcio microcristalinos (micritas), relleno gran parte del espacio poroso (Fig. 6.24 a, b). En consecuencia, en este horizonte tenemos dos pedocaracterísticas distintivas y diferentes: los recubrimientos de arcilla (limpia), relacionada a los procesos de iluviación y la precipitación de carbonatos de calcio microcristalino (micritas) sobre los recubrimientos de arcilla, relacionados con una disminución en el flujo del agua en el suelo.

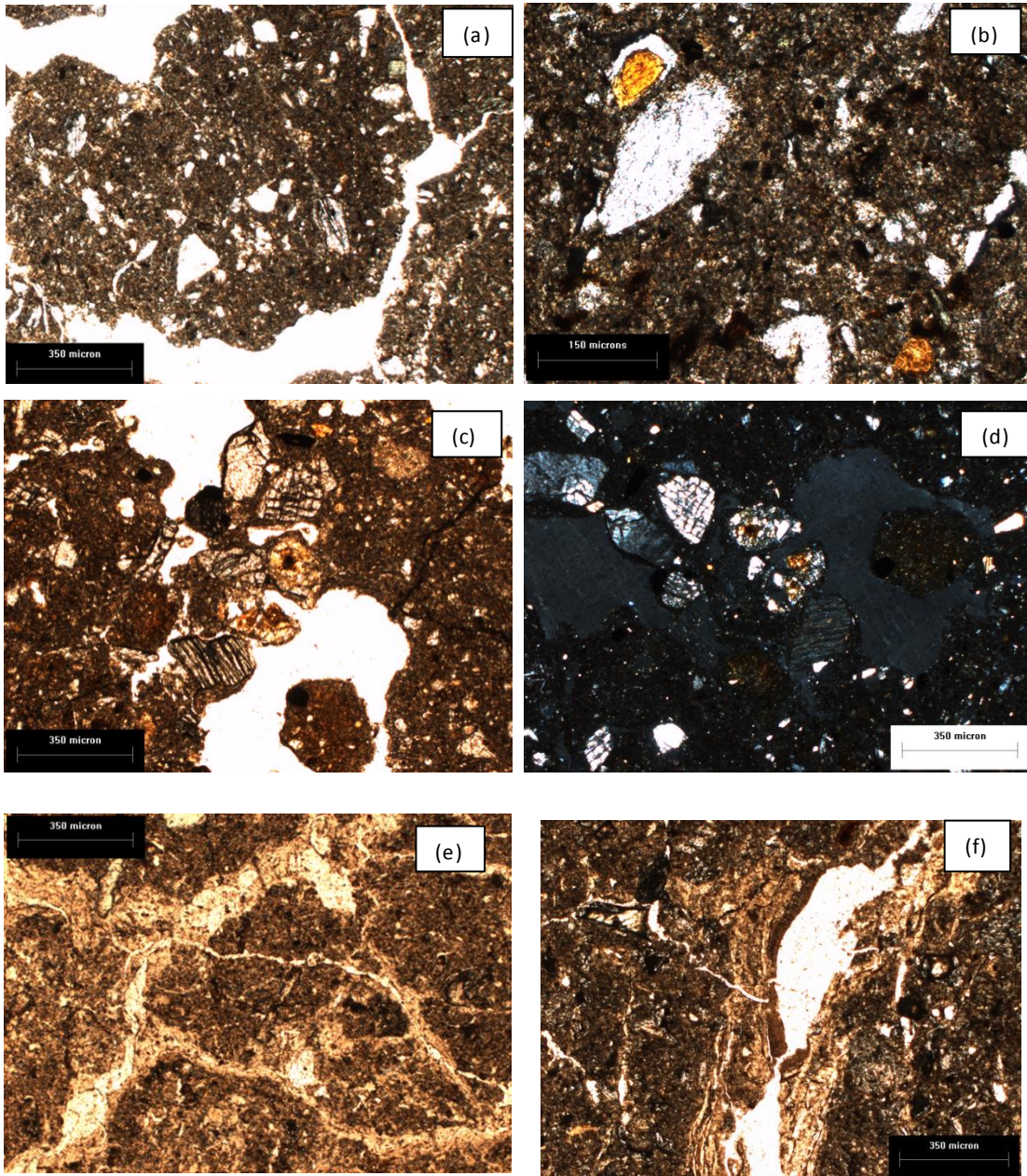


Fig. 6.22. Micromorfología del suelo “negro” de los perfiles de la planicie aluvial La Ventilla 1y 2, Las Tunas 2 y El Canal. (a) y (b) Estructura granular pigmentada de humus en Ah, de la Ventilla 1 y El Canal respectivamente, con luz polarizada plana. (c) Minerales abundantes en el horizonte Ah de La Ventilla 1, plagioclasas y anfíboles, con luz polarizada plana. (d) Igual que (c) pero con nicoles cruzados. (e) Recubrimientos de arcilla iluvial en estructuras en bloques compacta, en el horizonte ABtss del perfil La Ventilla 1, con luz polarizada plana. (f) Detalle del recubrimiento de arcilla en el horizonte ABtss del perfil El Canal, nótese la microlaminación, en la capa superior se puede observar el enriquecimiento de limo y humus, con luz polarizada plana.

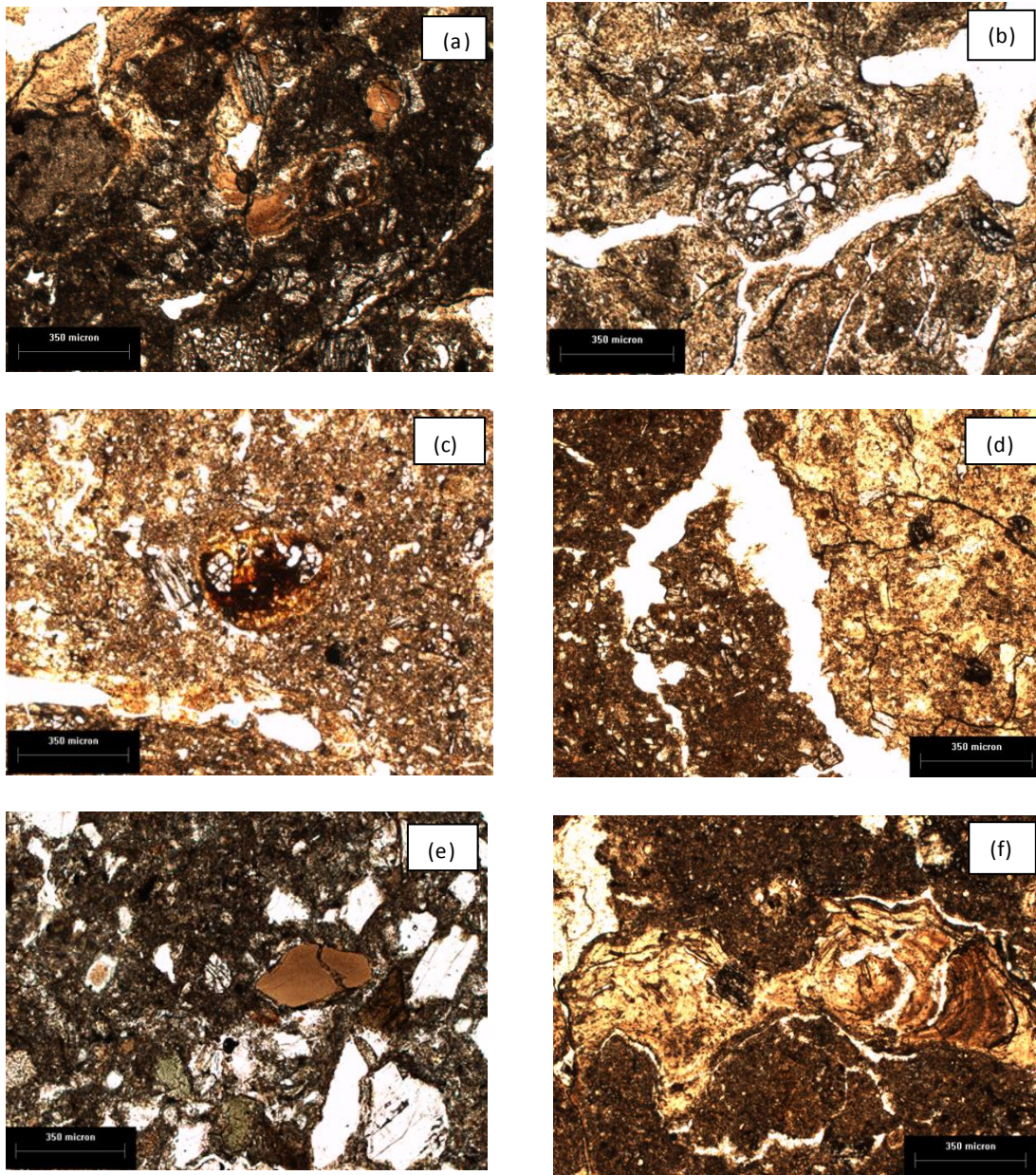


Fig. 6.23. Micromorfología del suelo “negro” de los perfiles de la planicie aluvial La Ventilla 1y 2, Las Tunas 2 y El Canal. (a) y (b) Minerales abundantes en el horizonte ABtss, anfíboles, fragmentos de vidrio y piedra pómez, de La Ventilla 2 y Las Tunas 1, con luz polarizada plana. (c) Nódulo de compuestos ferruginosos y pérdida de la pigmentación por humus, en AE de la Ventilla 1, con luz polarizada plana. (d) estructura angular poco desarrollada en el horizonte AE de La Ventilla 2, con luz polarizada plana. (e) Pápula en el horizonte AE del perfil El Canal, con luz polarizada plana. (f) Microlaminación de arcilla iluvial en el horizonte Bk, en el Perfil La Ventilla 1, con luz polarizada plana.

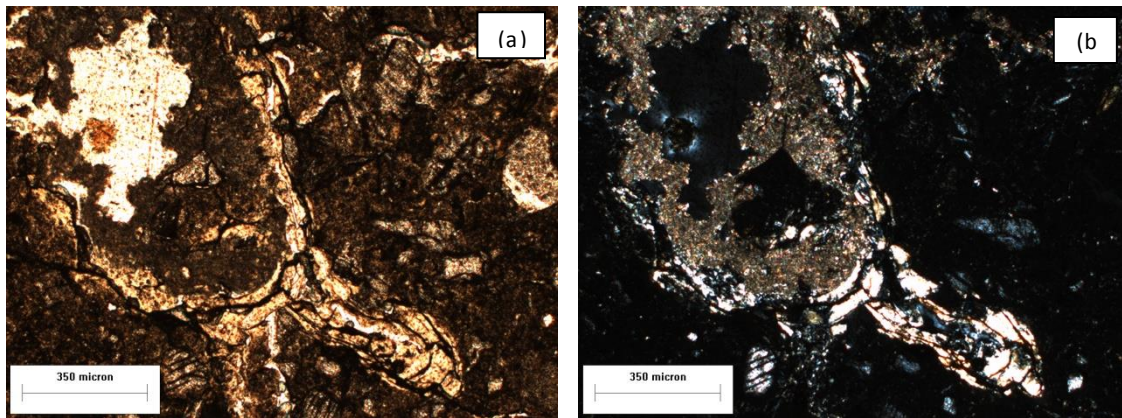


Fig. 6.24. Micromorfología del suelo “negro” de los perfiles de la planicie aluvial La Ventilla 1y 2, Las Tunas 2 y El Canal. (a) Recubrimiento de arcilla iluvial relleno los espacios porosos entre las estructuras, del horizonte Bk de la Ventilla 1, con luz polarizada plana. (b) igual que (a) pero con nicoles cruzados, obsérvese los altos colores de interferencia en la arcilla iluvial y los carbonatos de calcio microcristalinos (micritas) precipitados sobre los recubrimientos de arcilla.

La distribución del tamaño de partícula en el paleosuelo “negro” de la planicie aluvial, muestra la predominancia de la fracción limo en el horizonte AE (45 – 60%) (Fig. 6.25). En el horizonte ABtss, disminuye el limo y se observa un aumento general en todos los perfiles de la arcilla, sus valores oscilaron entre 28 y 45 %. Las diferencias texturales entre los horizontes AE y ABtss no son marcadas, indicando que no existe una discontinuidad litológica entre ambos.

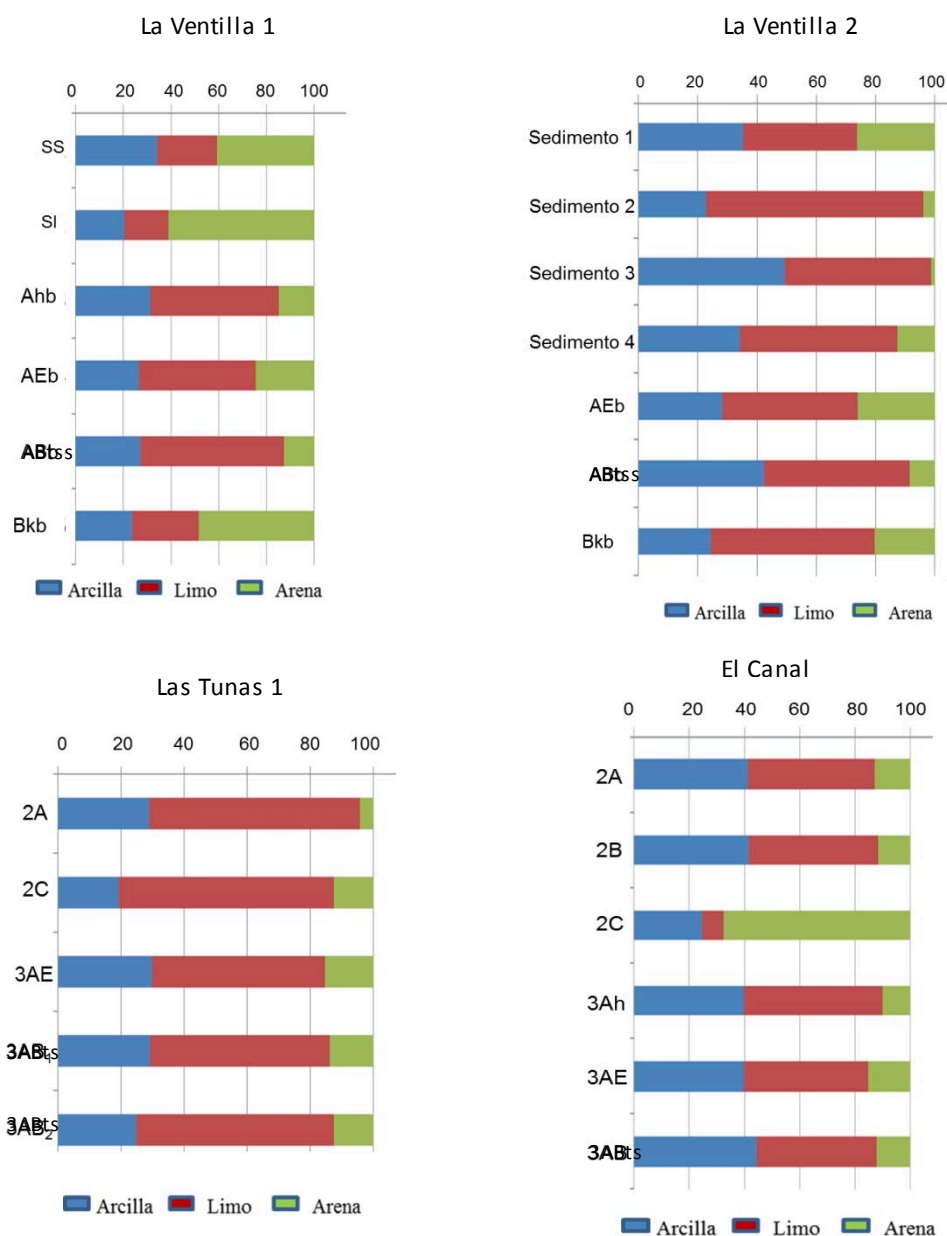


Fig. 6.25. Graficas de distribución del tamaño de partículas, de los perfiles La Ventilla 1 y 2, Las Tunas 1 y El Canal.

La **materia orgánica del suelo** de los perfiles de La Ventilla mostró valores de 0 a 0.42% en los sedimentos y un máximo en el horizonte Ah (1.74%); los horizontes AE tuvieron valores de 0.88 a 1.18%, disminuyendo la concentración hacia los

horizontes ABtss, a r angos entre 0.9 y 0.78 % . Los horizontes Bk son los que obtuvieron los valores más bajos entre 0.1 a 0.2% (Figura 6.26).

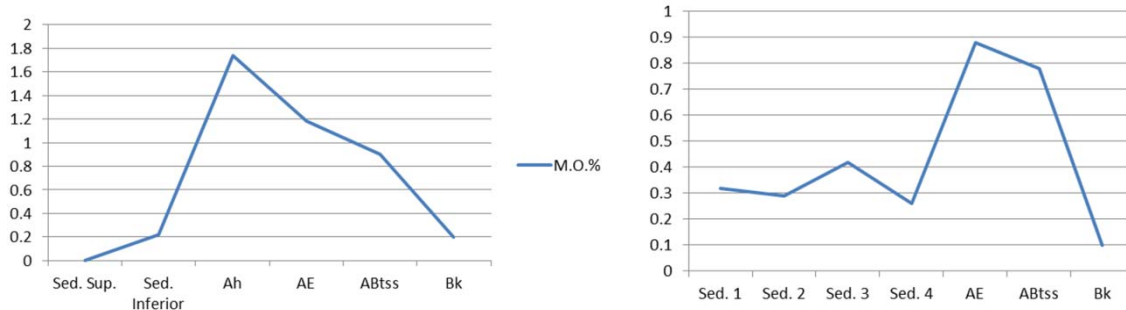


Fig. 6.26. Graficas de porcentaje de la materia orgánica del suelo, de los perfiles La Ventilla 1 y 2.

Con respecto a los valores de la **susceptibilidad magnética (χ)** de los perfiles Las Tunas 1 y El Canal, se registró un comportamiento semejante al descrito para el perfil San Pablo. El patrón del paleosuelo “negro” difiere considerablemente con

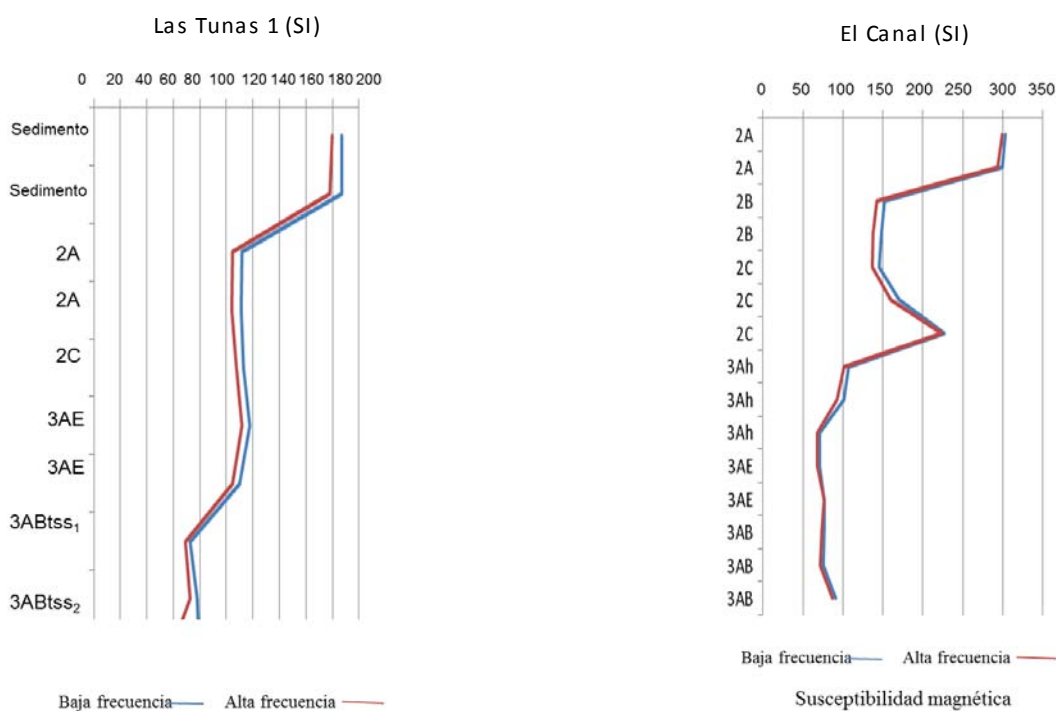


Fig. 6.27. Graficas de la susceptibilidad magnética de los perfiles Las Tunas1 y El Canal.

respecto a los sedimentos y los suelos con poca pedogénesis, particularmente se observa un incremento de χ en el horizonte 2C del perfil El Canal y de acuerdo a lo reportado por Ortega-Guerrero et al. (2004) y Rivas et al. (2006) lo anterior es debido a los minerales de origen volcánico, particularmente de magnetita, identificada en este trabajo por Difracción de Rayos X, en altas proporciones. Los valores más bajos de χ corresponden a los horizontes AE y ABtss, notándose un ligero incremento en la parte baja del horizonte ABtss (Fig.6.27).

La **Difracción de Rayos X** se aplicó a los perfiles La Ventilla 1 y el Canal. Los resultados de las muestras estudiadas son muy similares a los obtenidos en el perfil San Pablo. En ambos perfiles, los materiales analizados presentan una cristalinidad intermedia, con una mineralogía similar en todas las muestras analizadas, en donde las plagioclasas de composición intermedia son de los minerales más abundantes; el ópalo es también constante en todas las muestras, así como el cuarzo y anfíboles; es también importante la magnetita, que está presente en todos los horizontes y probablemente es el mineral responsable de los altos valores de la susceptibilidad magnética (χ). En el perfil La Ventilla 1, los sedimentos se diferencian de los horizontes del suelo por presentar un escaso desarrollo de arcillas (Fig. 6.28) El horizonte Ah es semejante a los sedimentos que le sobreyacen y se caracteriza por un aumento en la proporción de plagioclasas, anfíbol y una disminución en la magnetita. El horizonte ABtss se diferencia del horizonte AE por tener un aumento en los materiales de baja cristalinidad y no se identificó anfíbol. El horizonte Bk es muy similar a los dos horizontes anteriores y solo varía en la presencia de carbonatos de calcio (Tabla 6. 8).

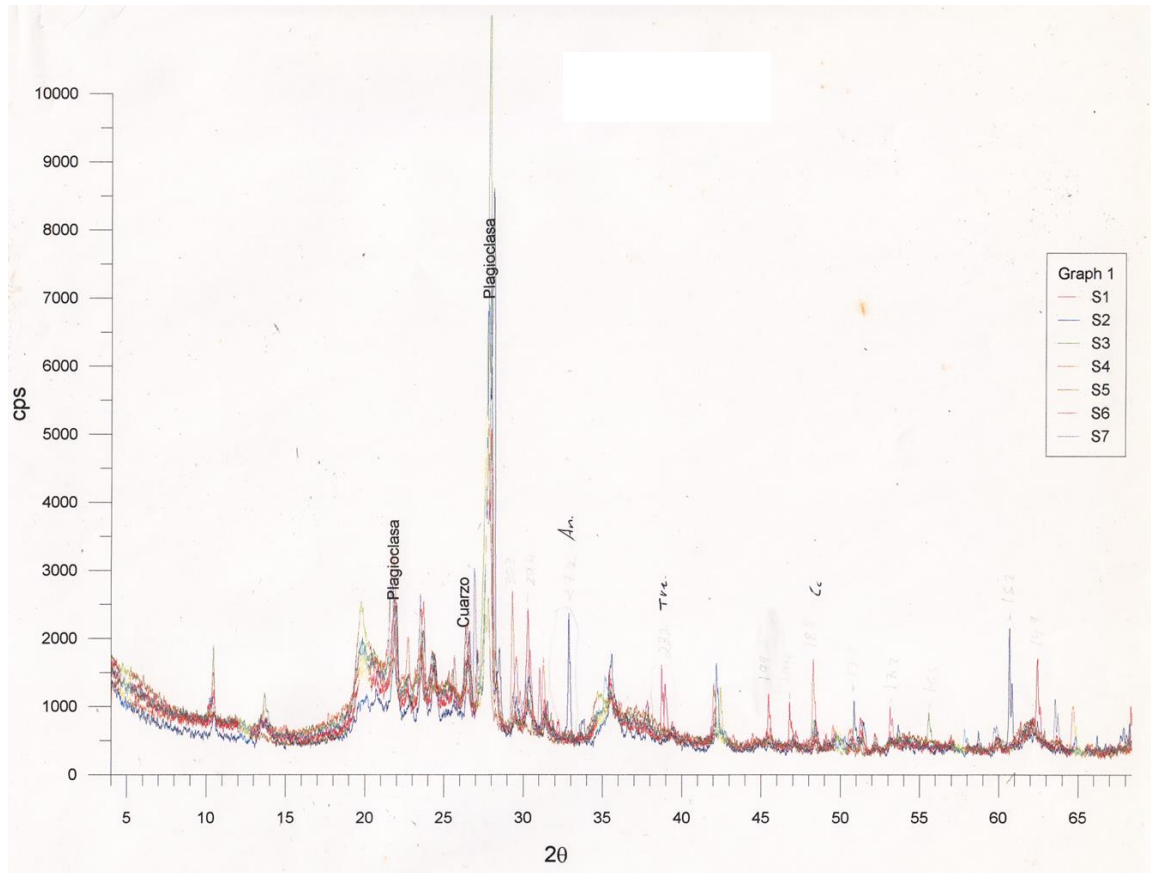


Fig. 6.28. Difractograma de la muestra total del Perfil Ventilla 1. Sedimento 1 (S1); Sedimento 2 (S2); Ah (S3); AE (S4); ABtss (S5); Bck (S6)

Horizonte	Fases identificadas	Observaciones
Sedimento	-Plagioclasa de composición intermedia: (CaNa)(SiA)4O8 -Ópalo: SiO ₂ x H ₂ O y/o Tridimita: SiO ₂ -Cuarzo: SiO ₂ - Magnetita: Fe ₃ O ₄ - Anfíbol tipo Magnesihornblenda o similar: (CaNa) _{2.26} (MgFeAl) _{5.15} (SiAl) ₈ O ₂₂ (OH) ₂ -Filosilicatos a ~4.48Å muy probablemente de tipo caolinítico.	Escaso desarrollo de las arcillas.
Sedimento	-Plagioclasa de composición intermedia: (CaNa)(SiA)4O8 -Ópalo: SiO ₂ x H ₂ O y/o Tridimita: SiO ₂ -Cuarzo: SiO ₂ - Magnetita: Fe ₃ O ₄ - Anfíbol tipo Magnesihornblenda o similar: (CaNa) _{2.26} (MgFeAl) _{5.15} (SiAl) ₈ O ₂₂ (OH) ₂ -Filosilicatos a ~4.48Å muy probablemente de tipo caolinítico.	Escaso desarrollo de las arcillas
Ah	-Plagioclasa de composición intermedia: (CaNa)(SiA)4O8 -Ópalo: SiO ₂ x H ₂ O -Cuarzo: SiO ₂ -Magnetita: Fe ₃ O ₄ -Anfíbol tipo Magnesihornblenda o similar: (CaNa) _{2.26} (MgFeAl) _{5.15} (SiAl) ₈ O ₂₂ (OH) ₂ -Filosilicatos a ~4.48Å muy probablemente de tipo caolinítico.	Similar a las dos muestras anteriores pero con mayor proporción de feldespato y anfíbol y menor proporción de magnetita.
AE	-Plagioclasa de composición intermedia: (CaNa)(SiA)4O ₈ -Ópalo: SiO ₂ x H ₂ O y/o Tridimita: SiO ₂ -Cuarzo: SiO ₂ -Anfíbol tipo Magnesihornblenda o similar: (CaNa) _{2.26} (MgFeAl) _{5.15} (SiAl) ₈ O ₂₂ (OH) ₂ -Calcita: CaCO ₃ -Magnetita: Fe ₃ O ₄ -Filosilicatos a ~4.48Å muy probablemente de tipo caolinítico.	Bajo desarrollo de los filosilicatos.
ABtss	-Ópalo: SiO ₂ x H ₂ O y/o Tridimita: SiO ₂ -Plagioclasa de composición intermedia: (CaNa)(SiA)4O8 -Cuarzo: SiO ₂ Magnetita: Fe ₃ O ₄ -Filosilicatos a ~4.48Å muy probablemente de tipo caolinítico.	Mayor proporción de material de baja cristalinidad (amorfos +filosilicatos). Una de las pocas muestras sin anfíbol.
Bk	-Plagioclasas de composición intermedia: (CaNa)(SiA)4O8 -Ópalo: SiO ₂ x H ₂ O y/o Tridimita: SiO ₂ -Cuarzo: SiO ₂ -Magnetita: Fe ₃ O ₄ -Calcita: CaCO ₃ -Filosilicatos a ~4.48Å muy probablemente de tipo caolinítico.	Se incrementa nuevamente la proporción de plagioclasas.

Tabla 6.8. Resultados del análisis de Difracción de Rayos X aplicado a la muestra total de suelo de los horizontes Ah/AE/ABtss/Bk, del paleosuelo "negro" del perfil La Ventilla.

Con respecto al perfil El Canal (Tabla 6.9; Fig. 6.29) los horizontes 3Ah, 3AE y 3ABtss son muy semejantes y solo difieren por un ligero aumento en la proporción de plagioclasas en el horizonte 3AE.

Horizonte	Fases identificadas	Observaciones
3Ah	-Plagioclasa de composición intermedia: (CaNa)(SiA)4O8 -Cuarzo:SiO2 -Ópalo: SiO2x H2O y/o Tridimita: SiO2 -Trazas de anfíbol- -Filosilicatos a ~4.48Å muy probablemente de tipo caolinítico.	Decrece el feldespato y se incrementa la cantidad de material amorfo.
3AE	-Plagioclasa de composición intermedia: (CaNa)(SiA)4O8 -Cuarzo:SiO2 Ópalo: SiO2x H2O y/o -Tridimita: SiO2 - Trazas de anfíbol Filosilicatos a ~4.48Å muy probablemente de tipo caolinítico	Similar a la muestra anterior.
3ABtss	-Plagioclasa de composición intermedia: (CaNa)(SiA)4O8 -Cuarzo:SiO2 -Ópalo: SiO2x H2O y/o Tridimita: SiO2 -Trazas de anfíbol -Filosilicatos a ~4.48Å muy probablemente de tipo caolinítico.	Disminuye nuevamente la proporción de feldespato

Tabla 6.9. Resultados del análisis de Difracción de Rayos X aplicado a la muestra total de suelo de los horizontes 3Ah/3AE/3ABtss, del paleosuelo “negro” del perfil El Canal.

Al igual que para el perfil San Pablo, se aplicó el análisis de Difracción de Rayos X a la fracción arcilla de los horizontes Ah/AE/ABtss, del perfil La Ventilla 1. Los resultados se muestran en la Tabla 6.10. Las características mineralógicas son muy semejantes en los tres horizontes analizados. Predomina el material de baja cristalinidad, el material amorfo es muy abundante y la haloisita es el mineral de la arcilla que está presente en todas las muestras analizadas. Se observa también un componente esmectítico de baja cristalinidad en toda la secuencia de horizontes, así como pequeñas proporciones de micas.

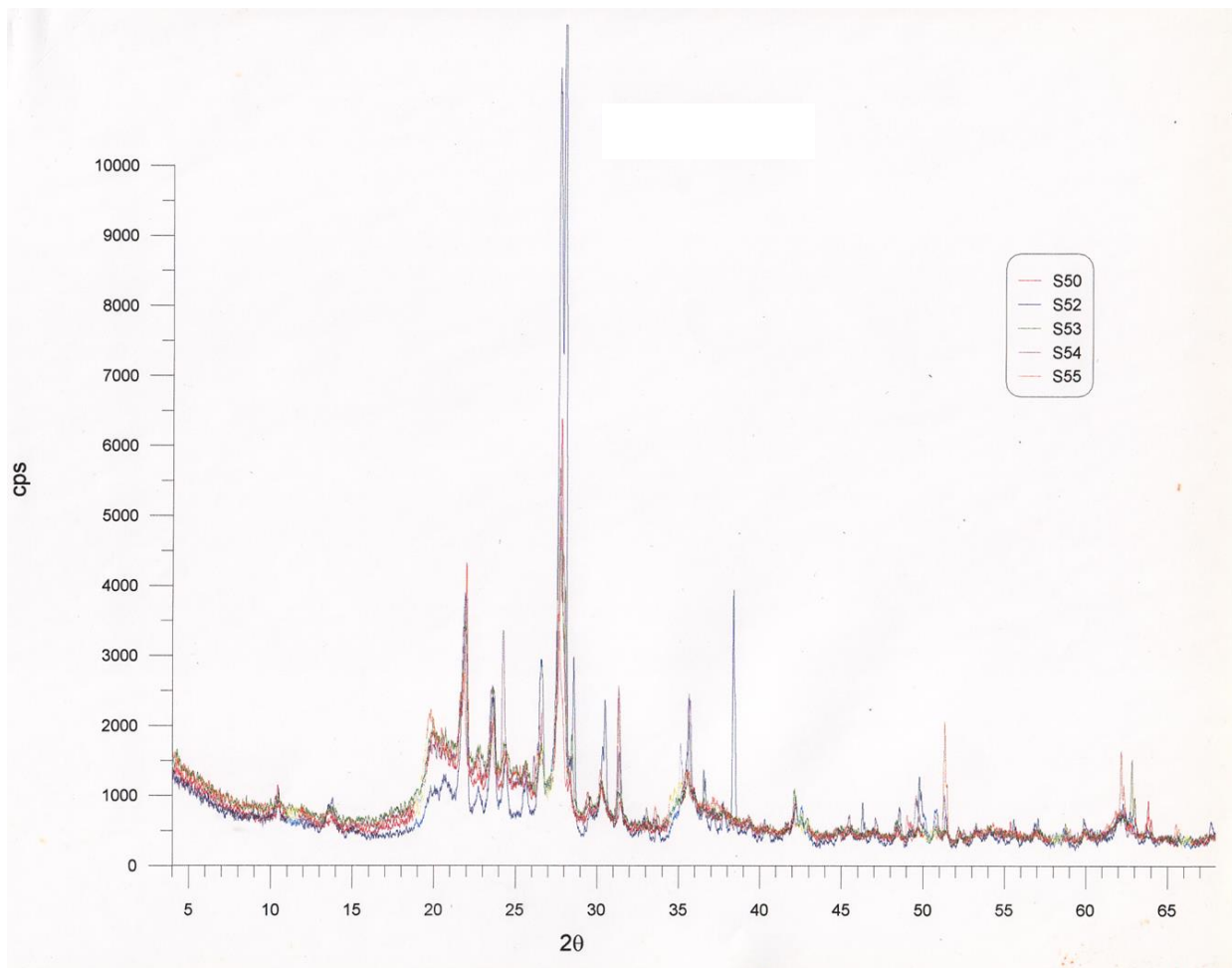


Fig. 6.29. Difractograma de la muestra total del Perfil El Canal, de los horizontes: 2A (S50); 2C (S52); 3Ah (S53); 3AE (S54); 3AB_{tss} (S55).

Horizonte	Picos sin tratamiento	Picos son etilenglicol	Picos a 450°C	Fases identificadas	Observaciones
Ah	~((12-14 Å)) ~ 10Å ~ 7Å	~((14-16 Å)) ~ 10Å ~ 7Å	~((10Å)) ~ 10Å X	<i>Componente esmectítico no puro.</i> Pequeña proporción de mica Componente caolínico de tipo haloisítico	Escasa proporción del componente esmectítico. Es una de las muestras donde se puede identificar mejor el componente haloisítico.
AE	~((12-14 Å)) ~ 10Å ~ 7Å	~((14-16 Å)) ~ 10Å ~ 7Å	~((10Å)) ~ 10Å X	<i>Componente esmectítico no puro.</i> Pequeña proporción de mica Componente caolínico de tipo haloisítico	Es la muestra con mayor proporción de material amorfo.
ABtss	~((12-14 Å)) ~ 10Å ~ 7Å	~((14-16 Å)) ~ 10Å ~ 7Å	~((10Å)) ~ 10Å X	<i>Componente esmectítico no puro.</i> Pequeña proporción de mica Componente caolínico de tipo haloisítico	Es la muestra con mayor proporción de material haloisítico

Tabla 6.10. Resultados del análisis de Difracción de Rayos X a la fracción arcilla de los horizontes Ah/AE/ABtss, del paleosuelo “negro” del perfil La Ventilla 1.

En el perfil la Ventilla 2 se realizaron también fechamientos para precisar la cronología del paleosuelo “negro” (Sánchez-Pérez et al., 2013). Se utilizaron los carbonatos secundarios identificados en el horizonte Bk, produciendo fechas de radiocarbono de 5910 – 5740 cal AP (Beta 307550; Tabla 6.6). También se utilizó la materia orgánica del horizonte AE obteniendo fechas de 3460 – 3360 cal AP (1510 – 1410 B.C.; Beta 328554). Esta última fecha sugiere que el horizonte AE pertenece al mismo ciclo de formación del paleosuelo “negro” y muestra también un largo periodo de estabilidad ambiental.

El fechamiento proporciona información sobre el $\delta^{13}\text{C}$ ‰, (Tabla 6.6). Para el caso del horizonte AE el valor obtenido fue de – 15.5 ‰. De acuerdo a Lounejeva et al., (2006), la vegetación que se desarrolló pertenece a las plantas con un metabolismo C4 y CAM, referidas a climas cálidos y secos. Con respecto al horizonte Bk el valor obtenido de $\delta^{13}\text{C}$ ‰, fue de - 6 ‰, haciendo la corrección por ser carbonatos, se obtiene una cifra de – 21.7 ‰, que corresponde según Lounejeva et al., (2006), al límite entre las plantas C3 – C4 + CAM. La ubicación del valor isotópico entre estos dos ambientes, probablemente se deba a que los

carbonatos se originaron en el momento de cambio entre un clima húmedo a uno más seco. Este cambio climático se identificó en el análisis micromorfológico, en donde se observan carbonatos precipitados, en forma de micritas, sobre cutanes de arcilla, en el horizonte Bk del perfil La Ventilla (ver apartado 6.4.1, fig. 6.25 a y b).

6.4.3. Los paleosuelos “negros” localizados en zonas de poca pendiente: Perfil El Cedazo, Las Vías, La Mina, Las Terrazas 2 y El Pozo.

Todos los perfiles analizados se encuentran fuera del sitio arqueológico y se ubican en los piedemonte que rodean al sitio. Los perfiles El Cedazo, Las Vías y La Mina se localizan hacia la Sierra Patlachique y Las Terrazas y El Pozo en el piedemonte del Cerro Gordo. En estos perfiles el paleosuelo “negro” se encuentra como un solo suelo en el perfil (monocíclico), formado por un solo horizonte, el ABtss, frecuentemente expuesto en superficie.

El color en los horizontes ABtss de estos perfiles es gris muy oscuro en seco y en húmedo café muy oscuro y negro (Tabla 6.11). El color ha sido muy semejante en todos los horizontes ABtss analizados en el valle, en donde los componentes húmicos ligados fuertemente a la fracción mineral son los responsables del desarrollo del color.

PERFIL	HORIZONTE	COLOR SECO	COLOR HÚMEDO
Cedazo	ABtss	10YR 3/1 Gris muy oscuro	10YR 2/2 Café muy oscuro
Las Vías	ABtss	10YR 3/1 Gris muy oscuro	10YR 2/1 Negro
La Mina	ABtss	10YR 3/2 Café grisáceo muy oscuro	10YR 2/1 Negro
Las Terrazas 2	ABtss	10YR 3/1 Gris muy oscuro	10YR 2/2 Café muy oscuro
El Pozo	ABtss	10YR 3/1 Gris muy oscuro	10YR 2/1 Negro

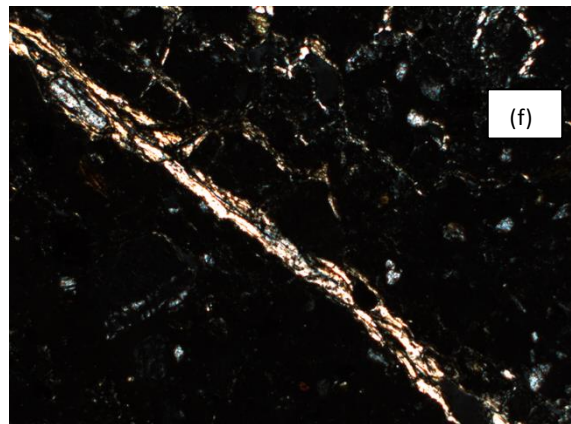
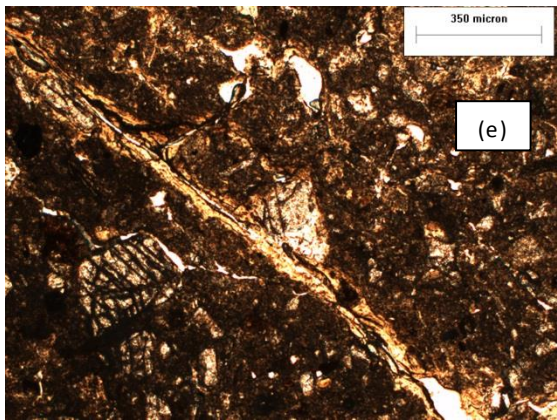
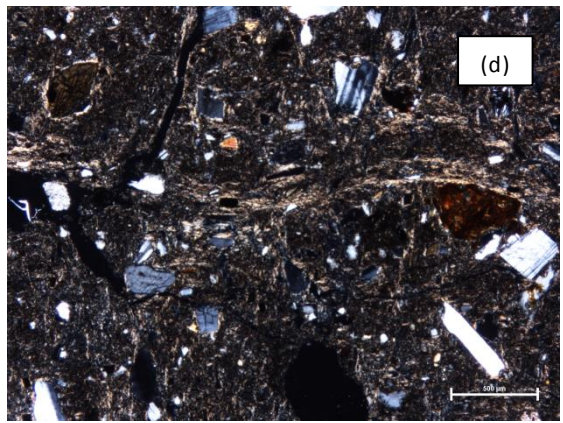
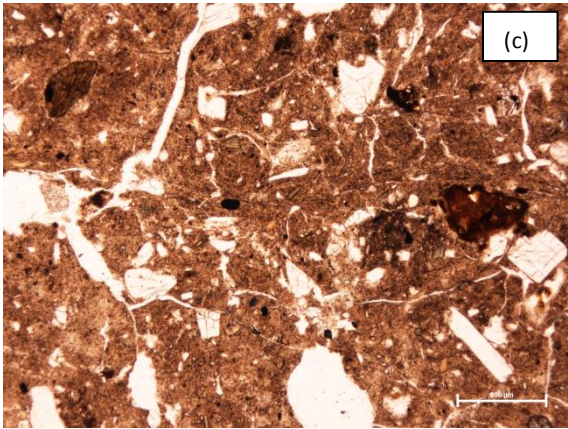
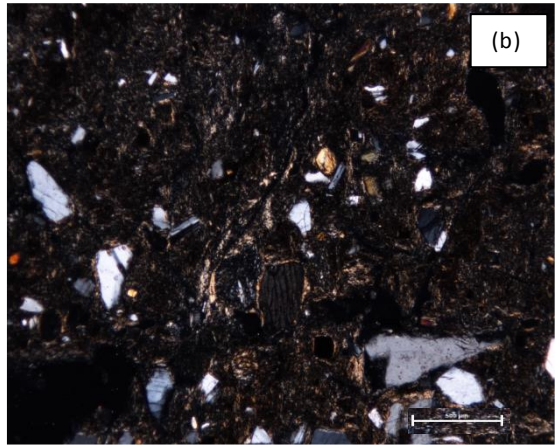
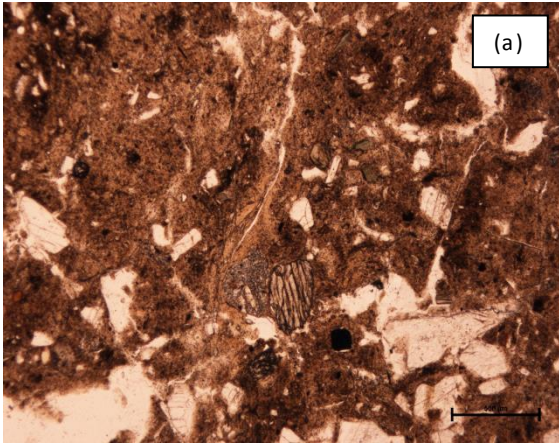
Tabla 6.11. Resultados de la determinación del color del paleosuelo “negro”, en los perfiles: El Cedazo, Las Vías, La Mina, Las Terrazas 2 y El Pozo.

La micromorfología del horizonte ABtss en todos los perfiles analizados es similar. El horizonte ABtss muestra una microestructura muy compacta, en donde la arcilla y el limo son los componentes principales, coloreada por compuestos húmicos, proporcionándole una pigmentación oscura. La separación de la microestructura es por pequeñas fisuras. Las superficies de los bloques están recubiertas por laminaciones de arcilla orientada, con altos colores de interferencia, como se ilustra en la figura 6. 30 a, b, c y d. Las laminaciones son muy claras y prácticamente apreciables en todos los revestimientos observados en los diferentes horizontes de los perfiles estudiados. Es de notar que los cuerpos de arcilla son visiblemente delgados y están íntimamente ligados a la matriz del suelo e incluso a algunos granos grandes del suelo (Fig. 6.30 e, f, g y h). Sobre las estructuras también se observaron revestimientos de arcilla iluvial (Fig. 6.30 i y j), con un relativo alto color de interferencia, sin las impurezas de limo y humus. Estos revestimientos de arcilla son escasos, Dudal y Eswaran (1988), indican que la dispersión, translocación y acumulación de arcilla se puede llevar a cabo en

algunos Vertisoles y normalmente son tan pocos los cutanes formados, que no se consideran significativos para sugerir un proceso pedogenético relevante.

Los minerales más abundantes son las plagioclasas, se observan también anfíboles, fragmentos de vidrio y fragmentos de pómez.

Por lo tanto, las características micromorfológicas de este horizonte son la estructura en bloques y los revestimientos de arcilla orientada, relacionados con los procesos vérticos.



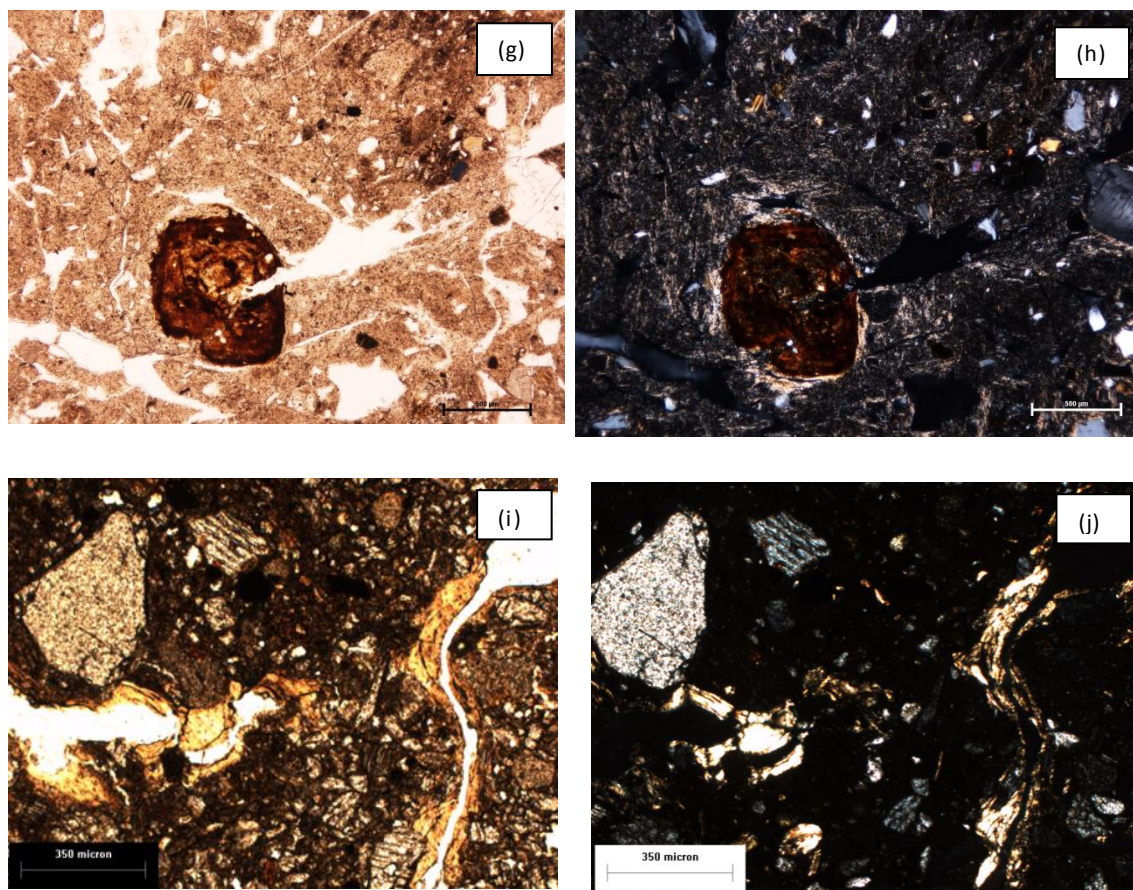


Fig. 6.30. Micromorfología del suelo “negro” de los perfiles asociados los piedemontes: El Cedazo, Las Terrazas 2 y El Pozo. (a) y (c) Recubrimientos de arcilla orientada en bloques verticos compactos, con luz polarizada plana. (b) y (d) igual que (a) y (c) pero con nicoles cruzados. (e) revestimientos de arcilla alineados sobre la estructura vertica, con luz polarizada plana. (f) igual que (e) pero con nicoles cruzados, nótese los altos colores de interferencia en la arcilla alineada. (g) Recubrimiento de arcilla alineada alrededor de un grano de gran tamaño, con luz polarizada plana. (h) Igual que (g) pero con nicoles cruzados. (i) Revestimiento de arcilla iluvial sobre algunas superficies de la estructuras, con luz polarizada plana. (j) Igual que (i) pero con nicoles cruzados.

Con respecto a la **distribución del tamaño de partícula**, los resultados se muestran en la figura 6.31. Como se puede observar, la partícula dominante en todos los horizontes ABtss fue la arcilla, variando de 38 a 75 %. Solo el horizonte 2C del perfil La Mina, presentó una menor proporción de arcillas. Se observa también que la parte superior del horizonte ABtss fue la de mayor porcentaje.

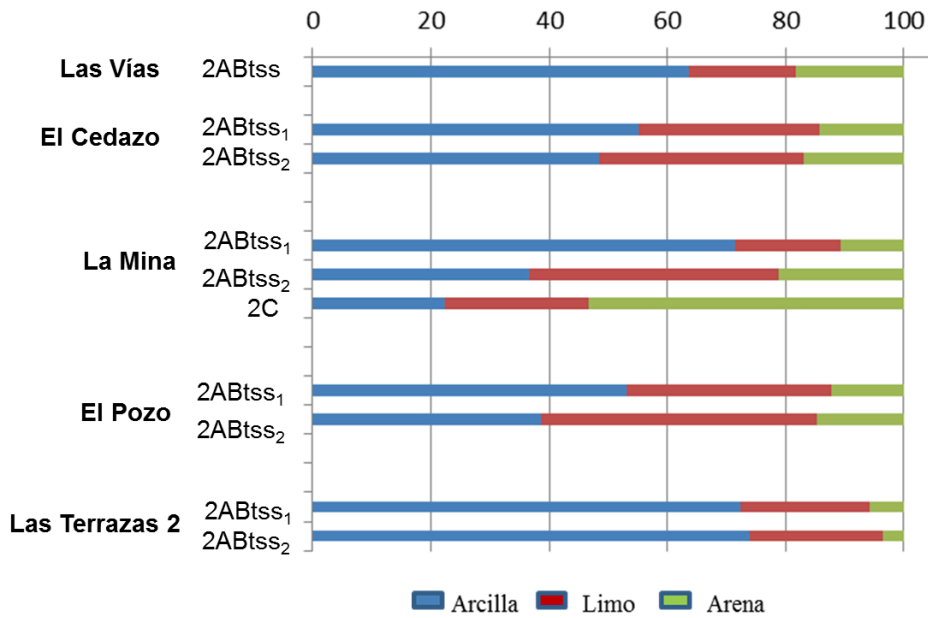


Fig. 6.31. Graficas de distribución del tamaño de partículas, de los perfiles: Las Vías, El Cedazo, La Mina, El Pozo, Las Terrazas2.

La **Difracción de Rayos X** aplicada a la muestra total de su elo de los perfiles El Cedazo y Las Terrazas 2, se muestra en la tabla 6.12. Las muestras presentan una cristalinidad intermedia, su mineralogía es muy similar, la fase cristalina dominante es la plagioclasa de composición intermedia, el cuarzo y el anfíbol. Las fases menos cristalinas fueron el ópalo, la tridimita y los filosilicatos con distancia interplanares a $\approx 4.48\text{Å}$, probablemente halosita como componente principal de los filosilicatos, como fue para las muestras de la planicie aluvial.

Como se puede observar las fases minerales son muy semejantes entre todos los horizontes ABtss estudiados, tanto de la planicie aluvial, así como en los piedemontes (Tablas 6.4, 6.8 y 6.12).

Perfil	Horizonte	Fases identificadas	Observaciones
Cedazo	ABtss 1	-Plagioclasa de composición intermedia: (CaNa)(SiA)4O8 -Ópalo: SiO ₂ x H ₂ O y/o Tridimita: SiO ₂ -Cuarzo: SiO ₂ -Anfibol tipo Magnesiorblanda o similar: (CaNa)2.26(MgFeAl)5.15(SiAl)8 O ₂₂ (OH) ₂ -Magnetita: Fe ₃ O ₄ -Filosilicatos a ~4.48Å muy probablemente de tipo caolínítico	
	ABtss 2	-Plagioclasa de composición intermedia: (CaNa)(SiA)4O8 -Ópalo: SiO ₂ x H ₂ O y/o Tridimita: SiO ₂ -Cuarzo: SiO ₂ -Anfibol tipo Magnesiorblanda o similar: (CaNa)2.26(MgFeAl)5.15(SiAl)8 O ₂₂ (OH) ₂ -Magnetita: Fe ₃ O ₄ -Filosilicatos a ~4.48Å muy probablemente de tipo caolínítico.	
Las Terrazas 2	3ABtss	-Plagioclasa de composición intermedia: (CaNa)(SiA)4O8 -Ópalo: SiO ₂ x H ₂ O y/o -Cuarzo: SiO ₂ - Filosilicatos a ~4.48Å muy probablemente de tipo caolínítico	Importante proporción de arcillas.

Tabla 6.12. Resultados del análisis de Difracción de Rayos X aplicado a las muestras totales de suelo de los horizontes ABtss, de los perfiles El Cedazo y Las Terrazas 2.

6.5. Indicadores de la paleovegetación.

Para la reconstrucción de las condiciones paleoambientales locales, bajo las cuales el horizonte pálido (AE) del paleosuelo “negro” se formó, se llevó a cabo un análisis detallado de polen y de sílice biogénico.

El análisis de polen se realizó en colaboración con la Dra. Emily McClung de Tapia y Emilio Ibarra Morales, del Instituto de Investigaciones Antropológicas de la UNAM y publicado en Sánchez-Pérez et al., (2013).

Se utilizaron cinco muestras de suelos colectadas de los horizontes 4A/4C/5AE/5ABtss₁/5ABtss₂ del perfil San Pablo. Pese a que el conteo de polen fue bajo, un considerable número de taxones fueron identificados en el paleosuelo “negro” del perfil San Pablo (Tabla 6.13), sin embargo la construcción del diagrama de polen no fue posible. Los taxones de árboles identificados incluyen *Quercus* sp., *Pinus* sp., *Alnus* sp., y *Cupressus* sp. Estas especies representan el bosque mixto de pino-encino que probablemente estuvo presente en la cima del Cerro Gordo y en su ladera norte, durante la época de ocupación prehispánica. *Liquidambar* sp, es característico de las planicies aluviales. Los taxones de herbáceas incluyen a Chenopodiaceae-Amaranthaceae, Poaceae, Asteraceae, Fabaceae, Cyperaceae, y Euphorbiaceae y fueron identificadas en el horizonte 5ABtss. Polen de maíz fue recuperado del horizonte 4A y 5ABtss. No se recuperaron restos macrobotánicos de estos horizontes, sin embargo, el carbón microscópico fue muy abundante en los horizontes 4A, 5AE y 5ABtss, lo que sugiere la utilización estacional de fuego para quemar la vegetación antes del cultivo.

Con respecto al **análisis de sílice biogénico**, se llevó a cabo en colaboración con la Dra. Alexandra Golyeva, del Instituto de Geografía de la Academia Rusa de Ciencias y publicado por Sánchez-Pérez et al. (2013).

El análisis consistió en la identificación de fitolitos, diatomeas y espículas de esponja, en seis muestras (Fig. 6.1). Cinco muestras (de la 2 a la 6) fueron tomadas del horizonte pálido 5AE, a diferentes profundidades, de las cuales dos fueron colectadas de la capa delgada oscura que separa al horizonte 5AE, de los sedimentos aluviales que le sobreyacen y la muestra 6 fue recogida directamente en el contacto con el horizonte 5ABtss subyacente. Para comparación una muestra fue tomada del sedimento aluvial (horizonte 4C), 10 cm arriba del límite superior del horizonte 5AE.

Taxones	4A 143-168 cm	4C168-179 cm	5AE179-187 cm	5ABtss ₁ 187- 212 cm	5ABtss ₂ 212- 237 cm
Gimnospermas					
<i>Abies</i> sp.	X	X			
<i>Pinus</i> sp.	X	X	X	X	X
<i>Cupressus</i> sp.		X			
<i>Juniperus</i> sp.		X			
Arbóreos					
<i>Acer negundo</i>	X	X		X	X
<i>Alnus</i> sp.	X	X	X	X	X
<i>Quercus</i> sp.			X	X	X
Betulaceae		X		X	X
Juglandaceae		X			
<i>Liquidambar</i> sp.		X		X	
Herbáceas					
Asteraceae	X	X	X	X	X
Cyperaceae		X	X		
<i>Cheno-am</i>		X	X	X	X
Euphorbiaceae		X			
Fabaceae		X	X		
Poaceae	X	X	X	X	X
<i>Zea mays</i>		X	X		
No identificados	X	X		X	X
Modernos/introducidos					
<i>Avena</i> sp.		X	X		
<i>Cupressus</i> sp.		X		X	X
<i>Eucalyptus globulus</i>		X	X	X	
<i>Pinus</i> sp.		X	X	X	X
<i>Schinus molle</i>				X	X
Rubiaceae	X	X	X	X	X

Tabla 6.13. Taxones de polen recuperado del paleosuelo "negro" del perfil San Pablo. La presencia de los diferentes taxones es indicada por X (tomado de Sánchez-Pérez et al., 2013).

Los fitolitos son las estructuras de sílice biogénica que predominan en las muestras analizadas. Sin embargo, los microfósiles acuáticos, incluyendo las espículas de esponja y caparazones de diatomeas están presentes en todas las muestras en cantidades menores. Las espículas son pocas y su distribución es irregular (Tabla 6.14).

Muestra	Horizonte	Profundidad (cm)	Total		Espículas de esponjas		Diatomeas		Fitolitos	
			Numero	Porcentaje	Numero	Total (%)	Numero	Total (%)	Numero	Total (%)
1	4C	175	1668	100	12	1.0	42	3.0	1608	96.0
2	5AE	185	2214	100	9	<1.0	135	6.0	2070	94.0
3	5AE	187	2612	100	20	1.0	116	4.0	2476	95.0
4	5AE	190	2202	100	3	<1.0	108	5.0	2091	95.0
5	5AE	192	2704	100	12	<1.0	76	3.0	2616	97.0
6	5AE/5ABtss	195	1551	100	9	1.0	27	2.0	1515	97.0

Tabla 6.14. Distribución de las diferentes estructuras de sílice biogénica identificadas en el paleosuelo “negro” del perfil San Pablo (tomado de Sánchez-Pérez et al., 2013).

Las diatomeas son más frecuentes y aumentan su abundancia hacia la parte alta del horizonte 5AE, llegando a su máximo en la capa delgada oscura localizada en la superficie de este horizonte y decrece significativamente en el aluvión que sobreyace. Además esta capa oscura es la que tiene la mayor proporción de diatomeas completas. Las asociaciones de fitolitos están dominados por plantas como los pastos (Gramíneas) acompañados por pequeñas cantidades de células de coníferas. Plantas hidrófilas como las cañas (tulares) son comunes. Los fitolitos de maíz (*Z. mays*) fueron encontrados en cantidades limitadas en todas las muestras estudiadas (Tabla 6.15).

Horizonte	Profundidad (cm)	Festucoide	<u>Chloridoideae</u>	Elongado	Zea mays	Otros panicoides	Point-Shaped	Fan-Shaped	Coníferas	Fragmentos
4C	175	23	21	33	3	9	4	7	2	
5AE	185	20	31	25	<1	8	1	11	<1	4
5AE	187	14	24	26	2	8	1	6	6	13
5AE	190	14	25	32	1	5	2	6	4	10
5AE	192	16	27	21	1	8	1	5	7	14
5AE/5ABtss	195	14	30	26	1	7	1	4	4	14

Tabla 6.15. Distribución de los principales fitolitos (%). Grupos generales de los fitolitos de pastos clasificados de acuerdo a Twiss (2001) (tomado de Sánchez-Pérez et al., 2013).

La capa oscura que se encuentra en la parte superficial del horizonte 5AE, contiene una baja proporción de fitolitos de maíz y una alta cantidad de fitolitos de

coníferas y pastos festucoides C3 y solo en este horizonte se encontraron cutículas silificadas. Estas partículas son indicativas de que fueron depositados estos materiales directamente en la superficie del suelo.

6.6. Calidad del paleosuelo “negro”

La calidad del paleosuelo “negro” del perfil San Pablo, fue evaluada en colaboración con la Dra. Blanca Prado, del Instituto de Geología de la UNAM y publicado por Sánchez-Pérez et al., (2013).

El análisis de la calidad de paleosuelo “negro” del perfil San Pablo fue realizado con la finalidad de evaluar el potencial agrícola del paleosuelo. Para este fin se utilizaron dos muestras correspondientes a los horizontes 5AE y 5ABtss y dos muestras del suelo moderno Ap1 y Ap2 subyacente.

El paleosuelo “negro” está caracterizado por su alto contenido de arcilla y materia orgánica (Tabla 6.16). Estas dos propiedades son responsables del buen desarrollo de la estructura y de su estabilidad. La conductividad eléctrica del suelo, alcanzó valores por debajo de 0.7 dS/m, indicando que la salinidad no juega un papel restrictivo en el crecimiento de las plantas (Forsythe, 1997). Los valores de la conductividad hidráulica son bajos reflejando el gran potencial de saturación del suelo, especialmente en el horizonte 5ABtss, donde el movimiento del agua es muy lento. La cantidad de agua disponible para las plantas fue evaluada utilizando tanto la conductividad hidráulica como la curva característica de la humedad del suelo (Fig. 6.31), la cual es relacionada con el alto contenido de arcilla y de materia orgánica. En la construcción de la curva se utilizaron diferentes presiones de succión, que al graficarse permitió la estimación de la capacidad de retención del agua del suelo cuando se seca.

Tabla 6.16. Características seleccionadas para evaluar la calidad del paleosuelo “negro” del perfil San Pablo (tomado de Sánchez-Pérez et al., 2013).

									Capacidad de retención de agua				
Suelo	Horizonte	Color en húmedo	COS ^a %	CE ^b dSm ⁻¹	Arcilla	Estabilidad de los agregados	Pb ^e gcm ⁻³	Porosidad %	CC ^f	PWP ^g	Kfs ^h cmhr ⁻¹	Φ _m ⁱ cm ² hr ⁻¹	α ⁱ cm ⁻¹
Paleosuelo “negro”	5AE	10YR 2/1	1.5	0.63	36 ^c	Débil	1.10	58	55	26	1.72	14	0.12
	5ABtss	10YR 2/2	1.6	0.77	57 ^c	Fuerte	1.10	58	53	24	0.21	2	0.12
Suelo moderno	Ap1	10YR 3/2	0.6	1.06	29-40 ^d	Moderada	1.00	62	43	17	5.28	21	0.25
	Ap2	10YR 3/2		1.10	29-40 ^d	Moderada	1.04	61	43	17	8.70	44	0.20

^aCarbón orgánico del suelo

^cConductividad eléctrica

^dDe acuerdo a Rivera-Uria et al., (2007)

^eTextura en campo y estimación por el triángulo de la textura

^fDensidad aparente

^gCapacidad de campo

^hPunto de marchites permanente

ⁱConductividad hidráulica

^jParámetros para estimar la infiltración

Como se ilustra en la figura 6.29, el paleosuelo “negro” tiene una gran capacidad de retención de agua, con agua disponible medida entre 20 y 30 % cuando pF es > 3.5. Sin embargo la lenta infiltración se asocia a problemas de inundaciones estacionales. En comparación, el suelo moderno tiene bajo porcentaje de agua a disponible (< 20%) a las mismas presiones de succión.

A pesar de que la porosidad no fue medida directamente, los valores de textura y del parámetro α (relacionado con el agua gravitacional), indican que el paleosuelo “negro” tiene una baja porosidad (Tabla 6.16). La baja porosidad, junto con el alto contenido de materia orgánica, su baja salinidad y la elevada capacidad de retención de agua, indican la alta calidad del suelo y lo adecuado para un uso agrícola. En comparación, el suelo moderno es más poroso, favoreciendo el desarrollo radicular de las plantas, su conductividad hidráulica es mayor a la del paleosuelo “negro”, pero la agregación y la estabilidad son menores.

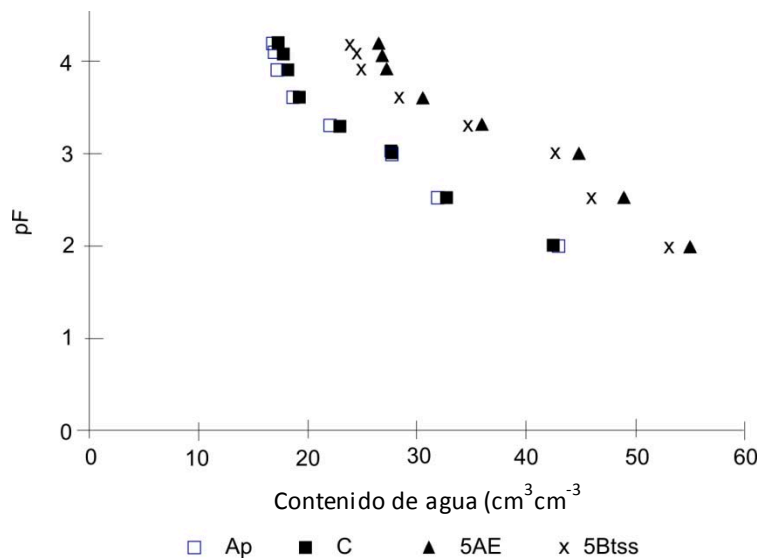


Fig. 6. 31. Curva de retención de humedad del paleosuelo “negro” en comparación con el suelo actual de la superficie del perfil, aplicado a los perfiles seleccionados (Ap1, Ap2, 5A E, 5Btss)(tomado de Sánchez-Pérez et al., 2013)

CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN.

7.1. Distribución y morfología del paleosuelo “negro” en el valle de Teotihuacán.

El paleosuelo “negro” representa una cubierta de suelo que ocupa extensas áreas en el valle de Teotihuacán. En la planicie aluvial se forma parte de un pedocomplejo con una secuencia de horizontes AE/ABtss/Bk. En las zonas de mayor altitud, en donde la pendiente no es muy pronunciada, presenta un horizonte ABtss, con ausencia del horizonte eluvial, constituyendo un perfil monocíclico (Fig. 6.13)

El horizonte pálido (AE) fue una constante en todos los perfiles observados en la parte baja y plana del valle. Macromorfológicamente este horizonte se caracteriza por su color pálido, debido a las condiciones redox, y por su estructura en bloques poco desarrollada. Los rasgos micromorfológicos y de distribución de partículas por tamaño evidencian los procesos eluviales y reductomórficos que dan origen al horizonte.

Por otro lado, en los horizontes ABtss, que subyacen al anterior, los rasgos macromorfológicos que los caracterizan (su color negro, su alta proporción de arcilla, su estructuración en bloques angulares bien desarrollados y sus cutanes de estrés) muestran claramente su carácter vértico. Los rasgos micromorfológicos y texturales documentan los procesos iluviales que se han llevado a cabo en la conformación del horizonte, como son la acumulación de arcilla iluvial, humus y limo, que en conjunto generan revestimientos impuros sobre las estructuras vérticas del horizonte.

Las pedocaracterísticas del horizonte AE y de ABtss sugieren que ambos horizontes pertenecen al mismo ciclo de formación de suelo, sin embargo el índice Ti/Zr señala que existen diferencias en su composición, que hacen pensar que horizonte AE, fue enriquecido con material de origen natural, como puede ser sedimentos, o de origen antrópico, como algún tipo de abono.

La mineralogía de los horizontes ABtss del fondo del valle, así como de las zonas más elevadas, indican una relación estrecha entre las fases minerales identificadas, estableciéndose una correlación directa entre todos los horizontes, de los diferentes perfiles evaluados (Fig. 6.14). Particularmente llama la atención la presencia de trazas de anfíbol en todos ellos y la ausencia en el AE.

El análisis mineralógico indica que, de acuerdo a las fases mineralógicas identificadas, el material parental del paleosuelo “negro”, es de tipo volcánico piroclástico, de carácter intermedio. El intemperismo de los vidrios volcánicos ha formado haloisita, siendo un rasgo distintivo en estos suelos.

De acuerdo a la literatura, las esmectitas son el tipo de arcilla preponderante en los Vertisoles (Fanning, et al., 1989; Dudal, et al., 1988; WRB, 2001). Sin embargo los Vertisoles pueden ser dominados por otros minerales de arcilla y generar las propiedades vérticas, si estos minerales están caracterizados por un área superficial alta, es decir por una alta proporción de arcilla fina (Heidari et al., 2005). Es por ello que a pesar de la escasa formación de arcillas esmectíticas en el paleosuelo negro, hay un fuerte desarrollo de propiedades vérticas.

Como se muestra en la presente investigación, el paleosuelo “negro” no es un fenómeno local, presente solo en algunos perfiles, sino más bien representa un manto semicontinuo a través de la planicie y laderas bajas del valle de Teotihuacán. Es probable que este manto se haya extendido por amplias áreas en el centro de México. Córdova (1997) reporta varias unidades aluviales con desarrollo de suelo en Texcoco (identificado como el suelo S3), con evidencia de ocupación humana, particularmente con fragmentos de cerámica del Clásico y Coyotlatelco. Este suelo se localiza en Barranca Honda, en Cuanalan y en la llanura de inundación del río Coatepec, cerca de San Vicente Coatlinchan. De acuerdo a sus características y posición estratigráfica, el suelo S3 se correlaciona con el paleosuelo “negro” descrito en este trabajo. Sin embargo, hacia los márgenes del ex-lago de Texcoco, en Tepexpan, la presencia del paleosuelo “negro” no es clara, ya que ahí los paleosuelos están menos desarrollados y tienen características fluviales (Sedov et al., 2010).

Fuera de la cuenca de México, el paleosuelo “negro” también correlaciona con un suelo muy oscuro y arcilloso fechado para el periodo Formativo, localizado en el noreste del estado de Tlaxcala (Borejsza et al., 2008). Es de llamar la atención que suelos con propiedades vérticas y presencia de carbonatos de la misma edad que las del paleosuelo “negro” hayan sido identificados en las Tierras Bajas Mayas (Solís-Castillo et al. 2013).

7.2 Pedogénesis y tasas de formación del paleosuelo “negro”.

La posición estratigráfica y los fechamientos del suelo “negro”, permiten establecer límites en el tiempo de duración de la pedogénesis y las posibles relaciones con la historia local de la ocupación humana.

De acuerdo a los fechamientos realizados sobre los carbonatos subyacentes al paleosuelo “negro” en el horizonte 5Ck, del perfil San Pablo, la fecha obtenida fue de 21000 años AP., mientras que el horizonte Bk del perfil La Ventilla 1 fue de 5910 años AP. Lo anterior indica la existencia de un *hiatus* entre la secuencia del paleosuelo del Pleistoceno tardío representado por los carbonatos pedogenéticos en 5Ck del perfil San Pablo (Solleiro-Rebolledo et al., 2011) y el paleosuelo del Holoceno medio al tardío representado por el paleosuelo “negro” del perfil la Ventilla 1.

Los fechamientos sobre los carbonatos pedogénicos son muy confiables, debido a que no existen formaciones geológicas de calizas en el área, que pudieran contribuir con carbono antiguo a los carbonatos. Además, los carbonatos se forman en equilibrio isotópico con el CO₂ del suelo (Cerling, 1984), por lo tanto, la edad de radiocarbono de los carbonatos se relaciona con la vegetación presente en el suelo durante su formación.

Tomando en cuenta el intervalo de edad proporcionado por los fechamientos de radiocarbono de materia orgánica del suelo, de carbón y del extracto de fitolitos, de los horizontes 5AE y 5ABtss del paleosuelo San Pablo, así como las fechas de

los carbonatos del paleosuelo de La Ventilla 1, se sugiere que la pedogénesis del paleosuelo “negro” ocurre en un lapso de al menos cuatro milenios (Tabla 6.6).

La micromorfología del horizonte Bk del perfil La Ventilla 1, muestra que los carbonatos pedogenéticos se encuentran sobre cutanes de arcilla, razón por la cual se piensa que la pedogénesis del paleosuelo es aun anterior a la fecha marcada por los carbonatos. Esto es debido a que la iluviación de arcilla es un proceso que requiere de tiempo. En primer lugar se necesita que el suelo pierda las bases del complejo de cambio, para que posteriormente la arcilla pueda movilizarse. Por lo tanto es probable que la pedogénesis haya durado más de cuatro mil años. De esta forma el fechamiento de los carbonatos marcaría un cambio ambiental, de uno periodo húmedo a otro más seco.

El horizonte ABtss que sobreyace al Bk tiene una edad de 3320 – 3030 Cal AP, utilizando la materia orgánica (Solleiro-Rebolledo et al., 2011). Al compáralo con el fechamiento de los carbonatos (5910 – 5740 Cal AP), se puede establecer un lapso de aproximadamente 2500 años, durante el cual se forman las características de este horizonte como: la estructuración, la presencia de cutanes de estrés, el alto contenido de arcilla, la acumulación de humus (que la da el color característico), y la precipitación de carbonatos pedogénicos en Bk.

Los fechamientos para el horizonte 5AE del perfil San Pablo corresponden al periodo Formativo (2130 – 1930 Cal AP). Al comparar estas edades con las registradas para el horizonte ABtss, se estima un lapso de poco más de 1000 años. Es en algún momento dentro de este periodo de tiempo, en donde se desarrollan los rasgos distintivos de este horizonte como: la pérdida de bases, de ácidos húmicos y de arcillas, y la precipitación de compuestos ferruginosos. Es también en este momento en donde se forman los cutanes de arcilla “sucios” en el horizonte ABtss, como el resultado de la iluviación de los materiales de este horizonte.

En varios sitios como Las Tunas y La Ventilla, los horizontes superiores del paleosuelo “negro” están directamente asociados con restos culturales del periodo

Clásico. Por lo tanto, se llega a la conclusión que este paleosuelo fue el que estuvo presente en la superficie de la región durante el periodo Formativo y Clásico.

Debido a la especificidad de los rasgos morfológicos del paleosuelo y a su fácil identificación como estrato, se propone al paleosuelo “negro”, como un marcador estratigráfico, muy útil en los trabajos de prospección arqueológica en Teotihuacán.

7.3. El paleosuelo “negro” como recurso agrícola.

El desarrollo de la agricultura intensiva desde el periodo Formativo, está bien documentado por varios estudios paleobotánicos realizados en contextos arqueológicos (Álvarez del Castillo, 1984; McClung de Tapia, 1987; Nichols, 1987; Charlton, 1990; Nichols, et al., 1991; González, 1993; Ibarra et al., 1993; Zavala, 2013). La presencia de fitolitos y polen de maíz en los horizontes AE y ABtss del perfil San Pablo, reflejan la actividad agrícola del suelo. Las características micromorfológicas asociadas con el horizonte AE, también reflejan impacto humano sobre el paisaje, éstas incluyen revestimientos impuros, interpretados como agrocutanes, pápulas, numerosas partículas de carbón, así como fragmentos de costras de desecación, previamente reportadas por Sedov et al., (2009), asociadas a los trabajos de limpieza de la superficie cultivada, a la quema de vegetación y al laboreo del suelo para el cultivo.

Lo anterior coincide con datos previamente obtenidos de fósforo disponible del paleosuelo “negro” en el perfil San Pablo, los cuales alcanzaron las concentraciones más altas en los horizontes 5AE y 5ABtss (aproximadamente 100 mg/kg), indicativos de la actividad agrícola intensiva y de la fertilización realizada (Rivera-Uria et al., 2007).

Es muy probable que el cultivo intensivo del paleosuelo “negro” , incluía además de un programa de fertilización, un manejo cuidadoso del agua de riego, una

práctica bien documentada en el valle (Nichols, 1987; Charlton, 1990; Nichols, et al., 1991; Zavala, 2013). La alta densidad de población durante el periodo Clásico, estimada en 150 000 habitantes en la ciudad de Teotihuacán (Millon, 1970), promovió el desarrollo de técnicas agrícolas intensivas, para suministrar las necesidades de su dieta diaria.

En las áreas donde fue posible, estas técnicas de irrigación fueron incorporadas para sostener la producción (McClung de Tapia, 1987; Nichols, 1987; Zavala, 2013). Como se mencionó anteriormente, el paleosuelo “negro” con un horizonte pálido AE se encuentra distribuido en la parte baja del valle y coincide con los sitios reportados por Nichols (1987) y Zavala (2013), donde se han identificado una serie de canales para uso agrícola.

De los perfiles estudiados en esta investigación, ubicados en la zona baja del valle, las evidencias más fuertes del uso del riego provienen de dos ámbitos: los rasgos micromorfológicos y texturales y de la presencia de microorganismos acuáticos.

Los rasgos micromorfológicos en el horizonte AE indican la inundación temporal. El exceso de agua promueve el desarrollo de rasgos reductomórficos y la eluviación de componentes como humus, arcilla e incluso limos finos, que originan el color pálido del horizonte. Por otro lado, el horizonte ABtss muestra rasgos de haber recibido los materiales procedentes del horizonte AE, como la iluviación de arcilla con impurezas de limo y de compuestos húmicos. En el análisis textural se observa un aumento generalizado de la fracción arcilla, con respecto al horizonte AE, en todos los perfiles analizados.

La presencia de microorganismos acuáticos, es considerada una de las evidencias más fuertes del uso del riego. Microorganismos tales como diatomeas (parcialmente fragmentadas) y espículas de esponja. La presencia de estos esqueletos de microorganismos, indican que fueron transportados hasta el paleosuelo “negro” a través de agua superficial utilizada para el riego. Otro aspecto interesante se refiere a las diferencias encontradas en las relaciones de

Ti/Zr, las cuales muestran claramente contrastes entre los horizontes AE y ABtss, que coinciden con la mayor cantidad de anfíboles en AE, que no se presentan en ABtss. En consecuencia, es probable que los teotihuacanos hayan incorporado materiales al horizonte AE para aumentar la fertilidad.

La relativa abundancia de fitolitos correspondientes a plantas C3 en particular de cañas (tulares), sugiere un ambiente ripario (McClung de Tapia, 2012; McClung de Tapia et al., 2012), lo cual puede reflejar la proximidad de la zona a la orilla del río o puede indicar la presencia de canales de irrigación artificiales.

Esta información ha llevado a revisar anteriores interpretaciones de los datos de isótopos estables de carbono del perfil de San Pablo. Lounejeva y colaboradores (2006, 2007), inicialmente interpretaron los elevados valores de $\delta^{13}\text{C}$ en la materia orgánica del paleosuelo “negro” del perfil San Pablo (que varió -14.6 ‰ a -15.7 ‰), como indicativo de plantas C4 y CAM. Los autores interpretaron esos valores como una señal climática indicando la predominancia de vegetación Xerofita en condiciones áridas. Sin embargo la asociación del paleosuelo “negro” con la actividad agrícola, puede sugerir la presencia de plantas domésticas con una composición isotópica “pesada”, como el maíz que es una planta C4 y el nopal (*Opuntia* spp) y maguey (*Agave* spp), las cuales son plantas CAM. Esta revisión de la interpretación se apoya en los trabajos de Johnson et al. (2007), quienes interpretan el incremento del $\delta^{13}\text{C}$, en suelos cultivados por los antiguos mayas, como la evidencia del cultivo del maíz.

Las propiedades físicas del paleosuelo “negro” del perfil San Pablo, indican un alto potencial agrícola, con cualidades aptas para la agricultura, incluyendo la retención de nutrientes, promovida por el alto porcentaje de arcilla y materia orgánica del suelo. Además estas propiedades tienen como resultado también, una muy buena agregación, provocando un incremento en la estabilidad del suelo. Estas características son igualmente importantes en la retención del agua disponible. Como consecuencia, el suelo mantiene un reservorio adecuado para el desarrollo de las plantas cultivadas. Lo cual es especialmente necesario bajo condiciones áridas o semiáridas. Sin embargo, la baja permeabilidad (Kfs) de 5AB

sugiere la saturación de agua en el suelo, en algunos periodos del año, impide que las raíces de las plantas extraigan oxígeno de manera eficiente. Estos problemas podrían aumentar en caso de exceso de humedad debido a las tendencias climáticas o a un riego continuo o descuidado.

La evidencia pedológica y paleobotánica indican lo adecuado del paleosuelo “negro” y el uso que se le dio en la parte baja del valle, para la producción intensiva de cultivos, necesarios para suministrar la demanda de alimentos por la densa población urbana. Son por estas razones que la presente investigación plantea que el paleosuelo “negro” representó un recurso básico para el establecimiento de una agricultura intensiva, capaz de sustentar a la población de la antigua ciudad de Teotihuacán.

Sin embargo otro aspecto de la utilización del paleosuelo “negro” fue revelado en los estudios pedológicos llevados a cabo en los rellenos de la Pirámide de la Luna. Se documentó un predominio de materiales derivados de suelo, como lo son bloques de horizontes Ah y BCK. Los bloques redepositados del horizonte Ah, tienen características morfológicas y analíticas semejantes al horizonte ABtss del paleosuelo “negro”. Lo anterior sugiere que los grandes edificios ceremoniales de Teotihuacán fueron construidos utilizando a gran escala al paleosuelo “negro”, a pesar de la importancia que tenía el suelo como recurso agrícola (Sánchez-Pérez et al., 2013).

Es de llamar la atención que los perfiles de La Ventilla analizados en este trabajo, se identifica el horizonte pálido AE y los paleosuelos reportados por Zavala (2013) ubicados por debajo de las estructuras arquitectónicas de La Ciudadela, en donde también identifican al horizonte AE, fueron construidas en la Fase Miccaotli (100-250 DC). Es decir, para estas fechas el paleosuelo “negro” ya había desarrollado su horizonte pálido AE, por lo tanto eran áreas de uso agrícola y sin embargo fueron sepultadas por el avance de ciudad.

Estas prácticas se interpretan como un indicador indirecto de que la población teotihuacana ya no solo dependía de la producción agrícola local, sino también del comercio a larga distancia de productos alimenticios.

7.4. Pedogénesis del paleosuelo “negro”: Clima versus impacto humano.

El paleosuelo “negro” muestra una variedad de pedocaracterísticas, algunas de las cuales no pueden explicarse con un modelo monogenético, lo que sugiere varios estados de evolución durante un periodo de tiempo prolongado. Particularmente la evidencia micromorfológica muestra una diversidad de pedocaracterísticas aludiendo a diferentes estados de desarrollo del suelo. Son estas las razones por las cuales un modelo poligenético es probablemente la mejor forma de explicar las características pedogenéticas del paleosuelo.

Se propone la siguiente secuencia de desarrollo del suelo, agrupando las pedocaracterísticas dentro de los diferentes horizontes y en la Tabla 7.1 se relaciona con los periodos de tiempo de la pedogénesis

1. Fase inicial: Iluviación, indicada por la arcilla iluvial del horizonte Bk (Fig. 6.23 f y 6.24). El proceso de iluviación implica una lixiviación de bases como condición para que el proceso pueda llevarse a cabo. Estas características pedogenéticas corresponden a un primer periodo de humedad.
2. Fase secundaria: Procesos vérticos, responsables del desarrollo de las características macro y micromorfológicas que tienen lugar en el horizonte ABtss (Fig. 6.15). Se relaciona a esta fase, la acumulación de carbonatos secundarios en el horizonte Bk y corresponden a un largo periodo bajo condiciones ambientales semiáridas, estacionales.
3. Fase terciaria: Iluviación y procesos estágnicos, indicados por la iluviación de arcilla en el horizonte ABtss (Fig. 6.15 a y 6.22 e y f) y la presencia de nódulos de compuestos ferruginosos en AE (Fig. 6.15 e y 6.23 c), estas

características probablemente corresponde a un periodo húmedo de pedogénesis en la etapa final del desarrollo paleosuelo.

La primera interpretación sobre el estado final de la pedogénesis del paleosuelo “negro” revela un cambio climático, particularmente un incremento en la precipitación, que promueve el desarrollo de los procesos estagnicos y la iluviación, por un exceso de humedad (Sedov et al., 2009). Sin embargo. La asociación del paleosuelo “negro” con una actividad agrícola a largo plazo, sugiere una hipótesis alternativa: la degradación inducida por el hombre, debido a sus prácticas agrícolas. Particularmente, el uso del riego suministra el exceso de agua que ocasiona la zonación de un horizonte 5A, existente antes de que los habitantes del valle sometieran al suelo a la actividad agrícola y a la utilización del riego (para el caso del perfil San Pablo), formando dos horizontes diferentes, el 5AE y el 5ABtss. Lo anterior es evidenciado por la presencia del horizonte pálido 5AE en la parte baja del valle, estrechamente asociado a la red de canales de riego.

La hipótesis del impacto humano se apoya además en la presencia de características morfológicas, particularmente en los procesos reductomórficos del horizonte AE, que guardan estrecha relación con la evidencia paleobotánica, morfológica y analítica, descrita en los puntos anteriores. En el horizonte ABtss las pedocaracterísticas iluviales incluyen recubrimientos impuros que podrían estar relacionados con la actividad agrícola. Las propiedades físicas de este horizonte concuerdan con lo limitado de la permeabilidad, ocasionando la sobresaturación de agua en AE y el desarrollo de los procesos reductomórficos (estagnicos).

De lo explicado anteriormente se deduce que el horizonte AE es un horizonte agrogénico.

La ausencia del horizonte eluvial (AE) en los perfiles ubicados en áreas de mayor altitud, no indica que no hayan sido utilizados para la actividad agrícola. Por el contrario, la posición geomorfológica de estos suelos en el paisaje probablemente fue menos favorable para el uso del riego, restringiendo su empleo a una agricultura de temporal.

Tabla 7.1. Cuadro donde se sintetiza las diferentes fases de pedogénesis registradas por el paleosuelo "negro".

Fase	Pedocaracterísticas	Horizonte	Procesos pedogenéticos	Interpretación paleoambiental	Tiempo aproximado de pedogénesis
Primera	- Pérdida de bases - Movilidad y precipitación de arcilla en Bk	Bk	Iluviación	Primer periodo de humedad	Antes de 5910 cal AP
Segunda	- Carbonatos pedogénicos	Bk	Carbonatación	Ambiente semiárido - árido estacional	Entre 5910 y 3320 cal AP
	- Estructuración - Cutanes de estrés -Alto contenido de arcilla -Acumulación de humus	ABtss	Procesos vérticos		
Tercera	-Pérdida de bases -Movilidad de humus - Movilidad de arcilla - Nódulos de hierro	Formación de AE	Procesos estágnicos	Segundo periodo de humedad producido por la acción humana	Entre 3320 y 2130 cal AP
	-Precipitación de arcilla	ABtss	Iluviación		

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES.

A partir de lo expuesto en los capítulos anteriores, se puede llegar a las siguientes conclusiones.

- La reconstrucción de la distribución del paleosuelo “negro” en el valle de Teotihuacán permite ubicarlo en extensas áreas, tanto en las zonas bajas correspondientes a la planicie fluvial, como en sitios de altitudes mayores, donde la pendiente no fue muy pronunciada, asociadas a los piedemontes del Cerro Gordo y de la Sierra Patlachique. Este paleosuelo conforma la cubierta edáfica desarrollada durante el periodo Formativo y Clásico, identificado no solo en la Cuenca de México (Córdoba, 1997), sino en otras regiones en donde también existe evidencia de ocupación humana (Borejsza et al., 2008; Solís-Castillo et al., 2013).
- De los perfiles descritos en campo y analizados, se identifican dos grupos de secuencias estratigráficas en donde el paleosuelo “negro” se encuentra: en la primera, localizada en el fondo del valle, el paleosuelo forma parte de un pedocomplejo, sepultado por dos o más suelos con poco desarrollo pedogenético. La secuencia de horizontes que constituyen al paleosuelo “negro” son AE/ABtss/Bk. El segundo grupo se ubica en las zonas de mayor altitud, en esas áreas, el paleosuelo se reconoce como un solo suelo (monocíclico), es decir, no está sepultado por otros suelos, incluso en algunas regiones se observa en la superficie. El horizonte que lo forma es ABtss.
- Las características vérticas del paleosuelo “negro” utilizadas para su reconocimiento en campo, como el color oscuro, la textura arcillosa, la estructura en bloques angulares, los cutanes de estrés y los carbonatos pedogénicos, pueden ser utilizadas para el reconocimiento del paleosuelo “negro” y por lo tanto, ser un marcador estratigráfico útil, en los trabajos de prospección arqueológica.

- Los análisis físico-químicos, mineralógicos y geoquímicos ayudaron a precisar las características del paleosuelo. Específicamente indicaron el gran contenido de arcilla, mostrando la profunda transformación del material parental; la alta concentración de materia orgánica del suelo, que origina la pigmentación oscura; los altos valores en la susceptibilidad magnética, debido al elevado contenido de material volcánico, particularmente de óxidos de hierro; la identificación de la haloisita como la arcilla dominante, indicaron que no siempre las propiedades vérticas están determinadas por la presencia de esmectita, sino también pueden estar relacionadas con un contenido alto de arcillas finas y esto puede ser suficiente para causar un comportamiento vértico (Heidari et al., 2005); el índice Ti/Zr marca el aporte de material exógeno al horizonte AE.
- La micromorfología es particularmente importante en este trabajo, debido a la identificación de los procesos pedogenéticos y su relación con las condiciones ambientales que los generan. A través de ella se identifica arcilla iluvial en el horizonte Bk, señalando un primer periodo húmedo de formación. También en este horizonte se observó la precipitación de carbonatos pedogénicos (micritas) sobre los recubrimientos de arcilla, indicando una segunda señal ambiental, es decir un cambio en el ambiente a condiciones más secas. En el horizonte ABtss se encuentran todos los rasgos pedogenéticos que caracterizan los procesos vérticos, que junto con los carbonatos secundarios precipitados en el horizonte Bk, señalan un ambiente estacional de carácter semiárido – árido, compatible con el actual clima del valle de Teotihuacán.
- La micromorfología también fue muy importante en la identificación de rasgos pedogenéticos provocados por la actividad humana. La presencia de un horizonte eluvial (AE), caracterizado por procesos redox (nódulos de hierro), lo atestiguan. Además en el análisis se identifican fragmentos de carbón y agrocitanes, características que en conjunto se relacionan a las prácticas agrícolas. En este sentido el registro de polen y fitolitos de maíz,

así como de diatomeas y microfósiles de plantas hidrófilas, han sido interpretadas como consecuencia de la utilización del riego. Lo anterior concuerda con la presencia de antiguos canales de riego en la parte baja del valle.

- De acuerdo a los fechamientos obtenidos en este trabajo y los reportados por Solleiro-Rebolledo et al (2011) y su relación con los procesos pedogenéticos identificados, el tiempo de duración de la pedogénesis fue de más de cuatro mil años, posiblemente iniciado en el Holoceno Medio. Este periodo de tiempo puede ser dividido en tres estadios: el primero caracterizado por un periodo húmedo, que pasó antes de 5910 Cal AP y ocurrió en un periodo de tiempo largo. El segundo marcado por un ambiente semiárido - árido estacional, que transcurrió entre 5910 y 3320 Cal AP, correspondiente al periodo Formativo. El tercer estadio corresponde a un segundo periodo húmedo, el cual tuvo lugar entre 3320 y 2130 Cal AP, este aumento de la humedad se relaciona con la actividad antropogénica, la utilización del riego en las prácticas agrícolas y corresponde al periodo Formativo – Clásico.

- La evaluación de la fertilidad del paleosuelo “negro” indica un conjunto de propiedades tales como: un alto contenido de materia orgánica y de arcilla, que facilita la retención de nutrientes, promueve la estabilidad del suelo y es adecuado para el cultivo sostenido. Estas características también son importantes para la retención de agua disponible, permitiendo que el suelo mantenga la humedad adecuada para suministrar el líquido a las plantas cultivadas, propiedad que es particularmente importante y benéfica en climas semiáridos – áridos como los de la Cuenca Norte de México. Sin embargo, la baja permeabilidad (Kfs) en el horizonte 5AB sugiere episodios de saturación de agua en el suelo durante la estación lluviosa, donde las raíces de la planta no pueden extraer el oxígeno de manera eficiente. Tales problemas pueden incrementarse en caso de un excesivo riego.

- El riego probablemente se utiliza principalmente para solventar las deficiencias de agua cuando el temporal termina, de esta manera las plantas cultivadas disponen de suficiente humedad para terminar su crecimiento, haciendo que la dependencia de las lluvias disminuya y haya mayor certidumbre en la producción agrícola. De esta forma se combinaron tres elementos del ambiente que propiciaron el éxito en la producción agrícola, en Teotihuacán: el suelo, el agua (riego) y el clima semiárido estacional.
- Las características pedogenéticas que originaron las cualidades adecuadas del suelo para su uso agrícola, el clima semiárido – árido y estacional y el uso del riego quedaron registradas en el suelo, constituyendo lo que se conoce como “la memoria del suelo”.

Referencias Bibliográficas

- Adam, D.P. and P. Mehringer. "Modern Pollen Surface Samples-an Analysis of Subsamples." *Journal of Research of the U.S. Geological Survey*. 3 (6), (1975): 733-736.
- Ahmad, N. Vertisols. En: *Pedogenesis and Soil Taxonomy: Ii. The Soil Orders. Pedogenesis and Soil Taxonomy: Ii. The Soil Orders*. Amsterdam.: Elsevier Science B.V., 1984.
- Alvarez del Castillo, C. "Dos Estudios Paleobotánicos En La Cuenca De México." Cuaderno de Trabajo 1984.
- Amundson, R., Y. Wang, O. Chadwick, S. Trumbore, L. McFadden, E. McDonald, S. Wells and M. De Niro. "Factors and Processes Governing the c Content of Carbonate in Desert Soils." *Earth and Planetary Science Letters* 125, (1994): 385-405.
- Atkinson, R. J. "Field Archaeology.". Londres.: Mathuen., 1946.
- Barba, L. *Radiografía De Un Sitio Arqueológico*. México.: Universidad Nacional Autónoma de México. 1990.
- Barba, L. *The Study of Activities in Classic Households. Two Case Studies from Coba and Teotihuacan in Ancient Mesoamerica*. Vol. I, núm. 1, 1990.

- Barba, L. "El Impacto En La Paleografía De Teotihuacan.", 92. México. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de México, 1995.
- Barba, L., Materiales, Técnicas y Energía En La Construcción. In M.E. Ruiz-Gallut & J. Torres-Peralta (Eds.), *Arquitectura Y Urbanismo: Pasado Y Presente De Los Espacios En Teotihuacan.*, Memoria De La Tercera Mesa Redonda. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia., 2005.
- Barba, Luis. and Linda. Manzanilla. "Superficies/Excavación. Un Ensayo De Predicción De Rasgos Arqueológicos Desde La Superficie En Oztoyalco." 1987, 19-46.
- Batres, Leopoldo. *Teotihuacan o La Ciudad Sagrada De Los Toltecas.* México.: Imprenta de Hull, 1906.
- Binford, L. R. "In Pursuit of the Past: The Coding the Archaeological Record." London.: Hudson., 1983.
- Blume, L.J., B.A. Schumacher and Shaffer P.W., eds. *Handbook of Methods for Acid Deposition Studies Laboratory Analyses for Soil Chemistry.* Las Vegas, NV: U.S.: Environmental Protection Agency., 1990.
- Borejsza, A., I. Rodríguez-López, C.D. Frederick and M.D. Bateman. "Agricultural Slope Management at La Laguna, Tlaxcala, México." *Journal of Archaeological Science* 35, (2008): 1854-1866.
- Bull, W. B. "Geomorphic Responses to Climatic Change.": Oxford, University Press., 1991.
- Bullock, P., N. Fedoroff, A. Jongerius, G. Stoops, T. Tursina and U. Babel. *Handbook for Soil Thin Section Description.* Wolverhampton, U.K.: Waine Research Publications, 1985.
- Buol, S.W., F.D. Hole and R.J. McCracken. "Génesis y Clasificación de Suelos." México., 1981.
- Cabadas Báez, Hector. *Paleosuelos del Centro de México como indicadores de cambios ambientales ocurridos durante los últimos 30 000 años.* Tesis de Maestría. 2007. Instituto de Geología, UNAM, 168 pp.
- Cabrera, R. "Las Excavaciones En La Ventilla. Un Barrio Teotihuacano." *Revista Mexicana de Estudios Antropológicos* 1996, 5-30.
- Cabrera, R. *Nuevas Evidencias Arqueológicas Del Manejo Del Agua En Teotihuacan. El Campo y La Ciudad.* In M.E. Ruiz-Gallut & J. Torres-Peralta. *Memoria De La Tercera Mesa Redonda de Teotihuacan, presente de los espacios en Teotihuacan.* *Arquitectura y urbanismo: pasado.* México: Instituto Nacional de Antropología e Historia, 2005.

Cabrera, R. Teotihuacan 80-82, Primeros Resultados. Vol. 1 Colección Científica, Serie Arqueología. Memoria del proyecto arqueológico Teotihuacan 80-82. México: INAH., 1982.

Cabrera, R. Cowgill, George. y Saburo Sugiyama. El Proyecto Templo De Quetzalcóatl Y La Práctica a Gran Escala Del Sacrificio Humano. La Época Clásica: Nuevos Hallazgos, Nuevas Ideas., Edited by Cardós de Méndez A. México.: INAH., 1990.

Cerling, T.H. "The Stable Isotopic Composition of the Val." Earth and Planetary Science Letters. 71, (1984): 229-240.

Challenger, A. Utilización y Conservación de Los Ecosistemas Terrestres de México. Pasado, Presente Y Futuro. México.: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Instituto de Biología, Universidad Autónoma de México, Agrupación Sierra Madre, S. C., 1998.

Chapman, S. C. and Horn, M. E.. Parent material uniformity and origin of silty soils in northwest Arkansas based on zirconium-titanium contents. Soil Sci. Soc. Amer. 1968. Proc.32: 265-271

Charlton, T.H. Contemporary Agriculture of the Valley. In W.T. Sanders, A. Kovar, T.H. Charlton, & R.A. Diehl. Pennsylvania State University, University Park., 1970.

Charlton, T.H. Operation 12, Field 20, Irrigation System Excavation. In T.H. Charlton & D.L. Nichols. Iowa City, IA.: Department of Anthropology, University of Iowa, 1990.

Chesworth, W. Encyclopedia of Soils Science. 2008. ed., 2008.

Córdova, C.E. "Landscape Transformation in Aztec and Spanish Colonial Texcoco, México.". Unpublished PhD dissertation.: University of Texas, Austin, TX., 1997.

Córdova, C.E. and J.R. Parsons. "Geoarchaeology of an Aztec Dispersed Village on the Texcoco Pledmont of Central Mexico." Geoarchaeology 1997, 177-210.

Corrales, Inmaculada. Juan Rosell Sanuy. Luis Sánchez de la Torre. Juan A. Vera Torres. Lorenzo Vilas Minondo. "Estratigrafía". 1977. Editorila Rueda. Madrid.

Courty, A, M., P. Goldberg and Macphail. "Soils and Micromorphology in Archaeology.": Cambridge University Press., 1989.

Cowgill, Goerge. "An Update on Teotihuacan." Antiquity 2008, 962-975.

Delvigne, J.E. Atlas of micromorphology of mineral alteration and weathering. Published 1998 by Mineralogical Association of Canada, ORSTOM éditions in Ottawa, Ontario, Paris.

Dokuchaev, V.V. Russian Chernozem. Translated from Russian by N. Kaner. Jerusalem.: Program of Scientific Translations., 1967.

Dudal, R. and H. Eswaran. Distribution, properties and classification of Vertisols. pp. 1-22. In: L. Wilding and R. Puentes (eds.). Vertisols: their distribution, properties, classification and management. Technical monograph 18. 1988. Texas A&M Printing Center. College Station, TX, USA.

Fanning Delvin, S. y Mary Christine Balluf Fanning. Soil: Morphology, Genesis, and Classification. John Wiley & Sons. 1989, 395 pp.

Forsythe, W. "Las Condiciones Físicas, La Producción Agrícola y La Calidad Del Suelo." In Agronomía Costarricense, 21, 35-47.

French, C. "Geoarchaeology in Action: Studies in Soil Micromorphology and Landscape Evolution." London, New York.: Routledge., 2003.

Gama-Castro, J., E. Solleiro-Rebolledo, E. McClung, J.L. Villalpando, S. Sedov, C. Jasso-Castañeda, S. Palacios and D. Hernández. "Contribuciones De La Ciencia Del Suelo a La Investigación Arqueológica- El Caso De Teotihuacan." Revista Tierra Latinoamericana. 2005, 11.

Gama-Castro, J.E., E. McClung-de-Tapia, E. Solleiro-Rebolledo, E. Ibarra, S. Sedov, C. Jasso-Castañeda, E. Vallejo-Gómez, T. Pi-Puig and H. Cabañas-Báez. "Incorporation of Ethnopedological Knowledge in the Study of Soils in the Teotihuacan Valley, Mexico." Eurasian Soil Science. 38., (2005): 1: 95-98.

Gamio, Manuel. "La Población Del Valle De Teotihuacan." México.: Secretaría de Agricultura y Fomento. 1922.

García, E. Clima actual de Teotihuacán. (ed) Jose L. Lorenzo Materiales para la Arqueología de Teotihuacán. 1968. INAH, México. 9-28.

García, P.A., Macías, J.L., Tolson, G, Valdez, G, Mora, J. C., Volcanic stratigraphy and geological evolution of the Apan region, east central sector of the Mexican volcanic Belt. 2002. Geofísica International.

Gazzola, J. "Una Propuesta Sobre El Proceso, Factores Y Condiciones De Colapso De Teotihuacan." Dimensión Antropológica, 2009.

Gendrop, P. Diccionario De Arquitectura Mesoamericana. 1a. reimp. ed. México., 2001.

Goldberg, P. and R. Macphail I. "Practical and Theoretical Geoarchaeology.": Blackwell Publishing., 2006.

González, J. "Estudio Del Material Arqueobotánico De Oztoyahualco. In L. Manzanilla (Ed.) Anatomía De Un Conjunto Habitacional Teotihuacano En Oztoyahualco.", 661-672. México: Instituto de Investigaciones Antropológicas. Universidad Nacional Autónoma de México., 1993.

Goyleva, A.A. "Biomorphic Analysis as a Part of Soil Morphological Investigations.", 43, 217-230: Catena, 2001.

Heine, K. "Paleopedological Evidence of Human-Induced Environmental Change in the Puebla-Tlaxcala Area (Mexico) During the Last 3,500 Years." Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 2003, 235-244.

Heidari, A ., Mahmoodi, SH., Stoops, G., Mees, F. Micromorphological Characteristics of Vertisols of Iran, Including Nonsmectitic Soils. Arid Land Research and Manacement. 2005. Taylor & Francis. 19; 29 46,

Hernandez, J.I. Geología y Geomorfología Volcánica de la región de los yacimientos de obsidiana de Otumba en el sector norte de la Sierra Nevada de México. Tesis de Licenciatura. 2007. Facultad de Filosofía y Letras UNAM.

Holliday, V, T. Soils in Archaeology: landscape Evolution and Human Occupation.: Smithsonian Institution Press., 1992.

Holmes, William H. Ruins of the Valley of Mexico. San Juan Teotihuacan. Vol. II, Edited by Archeological Studies among the Ancient Cities of Mexico. Chicago: Field Columbian Museum, 1897.

Huang., Walter T. Petrología. Primera .ed. México, Distrito Federal.: UTEHA., 1981.

Ibarra, E. and J. Zurita. "Análisis De Microrrestos Arqueobotánicos En La Unidad Habitacional de Oztoyahualco. In L. Manzanilla (Ed.) Anatomía De Un Conjunto Habitacional Teotihuacano en Oztayohualco.", 673-693. México: Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Autónoma de México., 1993.

INEGI. Síntesis de Información Geográfica del Estado de México. México. 2001. INEGI

Jenny, H. Factors in Soil Formation. McGraw-Hill. New York, 1941.

Johnson, K.D., D.R. Wright and R.E. Terry. "Application of Carbon Isotope Analysis to Ancient Maize Agriculture in the Petexbatún Region of Guatemala." Geoarchaeology, 2007. 313-336.

- Krotser, P., E. Rattray. "Manufactura y distribución de tres grupos cerámicos de Teotihuacán", en *Anales de Antropología*, t. I, 1980, pp. 91-104.
- Kurmann, M.H. An Opal Phytolith and Palynomorph Study of Extant and Fossil Soils in Kansas (USA). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*.1985, 217–235.
- Linné, Sigvald. Mexican Highland Culture. Archeological Researches at Teotihuacan, Calpulalpan and Chalchicomula in 1934-35. Vol. 7. Estocolmo.: The Ethnographical Museum of Sweden., 1942.
- Lorenzo, J.L. "Clima Y Agricultura En Teotihuacan." In *Materiales Para La Arqueología De Teotihuacan.*, 17, 51-72: INAH, Serie Investigaciones., 1968.
- López, A.A. "1. La historia de Teotihuacan", en *Teotihuacan, México, El Equilibrista, Citicorp/Citibank*, 1989, pp. 13-35.
- Lounejeva, E., P. Morales-Puente, H. Cabadas-Baez, E. Cienfuegos-Alvarado, S. Sedov, E. Vallejo-Gomez and E. Solleiro-Rebolledo. "Late Pleistocene to Holocene Environmental Changes from $\Delta 13 C$ Determinations in Soils at Teotihuacan.", 45, 85–98. México.: Geofísica Internacional, (2006).
- Lounejeva, E., P. Morales-Puente, E. Cienfuegos-Alvarado, S. Sedov and E. Solleiro-Rebolledo. "Late Quaternary Environment in Teotihuacan Valley, Mexico, Inferred from Delta 13c in Soils." *The Society of Archaeological Sciences* 30, (2007): 6-11.
- Manzanilla, Linda. *Anatomía De Un Conjunto Residencial Teotihuacano en Oztoyahualco. Vol. I y II.* México.: Instituto de Investigaciones Antropológicas. UNAM., 1993.
- Manzanilla, Linda. The impact of climatic change on past civilizations. A revisionist agenda for further investigation», *Quaternary International* 1997, 43-44, Elsevier, Maryland Heights: 153-159.
- Manzanilla, Linda. and López Luján. *Historia Antigua De México: El Horizonte Clásico. Vol. II.* INAH-UNAM. Coordinación de Humanidades, Instituto de Investigaciones Antropológicas., 2001.
- Matos Moctezuma, E. "La Arqueología de Teotihuacan." *Arqueología Mexicana.* Noviembre-Diciembre 2003., 28-35.
- Matos Moctezuma, Eduardo. *Teotihuacan.* ed. Ser. Ciudades, Edited by Colec. Historia-Fideicomiso , *Historia de las Americas.* México, Distrito Federal.: FCE,Colmex,FHA., 2009.
- McAuliffe, J.R., P.C. Sundt, A. Valiente-Banuet, A. Casas and J.L. Viveros. "Pre-

Columbian Soil Erosion, Persistent Ecological Changes, and Collapse of a Subsistence Agricultural Economy in the Semi-Arid Tehuacan Valley, Mexico's 'Cradle of Maize'." *Journal of Arid Environment*, 47, (2001):47–75.

McClung de Tapia, Emily. *Ecología y Cultura en Mesoamérica*. IIA-UNAM, Serie antropológica 30, México D.F. 1979.

McClung de Tapia, E. "Silent Hazards—Invisible Risks: Prehispanic Erosion in the Teotihuacan Valley, Central Mexico. In J. Cooper & P. Sheets (Eds.), *Surviving Sudden Environmental Change: Understanding Hazards, Mitigating Impacts, Avoiding Disasters*," 139–161: University Press of Colorado., 2012.

McClung de Tapia, E. "Patrones De Subsistencia Urbana. In E. McClung De Tapia & E.C. Rattray (Eds.), *Teotihuacan: Nuevos Datos, Nuevas Síntesis, Nuevos Problemas-*." 57–74. México: Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México., 1987.

McClung de Tapia, E. and C.C. Adriano-Moran. "Stable Carbon Isotopes Applied to Landscape Reconstruction in the Teotihuacan Valley." *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 64, (2012): 161–169.

McClung de Tapia, E., I. Domínguez Rubio, J. Gama Castro, E. Solleiro and S. Sedov. "Radiocarbon Dates from Soil Profiles in the Teotihuacan Valley, Mexico: Indicators of Geomorphological Processes." *Radiocarbon* 2005, 159–175.

McClung de Tapia, E. and Childs. Rattray. "The Scale and Structure of Obsidian Production in Teotihuacan." In *Teotihuacan, Nuevos Datos, Nuevas Síntesis, Nuevos Problemas-*, 429-450. México.: UNAM., 1987.

McClung de Tapia, E., E. Solleiro-Rebolledo, J. Gama, J.L. Villalpando and S. Sedov. "Paleosols in the Teotihuacan Valley, Mexico: Evidence for Paleoenvironment and Human Impact." *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 2003, 270–282.

McClung De Tapia, Emily. "El Paisaje Prehispánico Del Valle De Teotihuacán." *Arqueología Mexicana*. 2003, 36-41.

Millon, R. "Teotihuacan: Completion of Map of Giant Ancient City in the Valley of Mexico." 170(3962), 1077–1082: *Science*, 1970.

Millon, R. "'The Teotihuacan Mapping Project'." In *Ancient Mesoamerica*., edited by J.A. Graham, 220-227.: Peek., 1971.

Millon, R. Teotihuacan. Vol. 216, núm. 6 *Scientific American*., junio de 1967.

Morelos, N. "10. El concepto de unidad habitacional en el Altiplano (200 aC -750 dC)" en L. Manzanilla (ed), *Unidades habitacionales mesoamericanas y sus áreas de actividad*, México, UNAM, Instituto de Investigaciones Antropológicas, 1986, pp. 193-220.

Arqueología Serie Antropológica, núm. 76

Moya, V. J. "La Vivienda Indígena De México Y Del Mundo." México.: UNAM., 1982.

Nichols, D.L. "Prehispanic Irrigation at Teotihuacan, New Evidence: The Tlajinga Canals. In E. McClung De Tapia & E.C. Rattray (Eds.), Teotihuacan: Nuevos Datos, Nuevas Síntesis, Nuevos Problemas.", 133–160. México.: Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México., 1987.

Nichols, D.L., M. Spence and M. Borland. "Watering the Fields of Teotihuacan. Early Irrigation at the Ancient City." *Ancient Mesoamerica*.1991, 119–129.

Ortega-Guerrero, B., S. Sedov, E. Solleiro-Rebolledo and A. Soler. "Magnetic Mineralogy in Barranca Tlalpan Exposure Paleosols, Tlaxcala, Mexico." *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 2004, 120–132.

P.C., Twiss. A Curmudgeon's View of Grass Phytolithology. (Pp. 7–27). *Cerege Aix En Provence, France: A.A. Balkema Publishers Lisse-Abingdon-Exton-Tokyo*, Edited by Phytoliths: Application in earth science and human history. *Cerege Aix en Provence, France.: A.A. Balkema Publishers Lisse- Abingdon-Exton-Tokyo.*, 2001.

Piperno, D.R. "Identifying Crop Plants with Phytoliths (and Starch Grains) in Central and South America: A Review and an Update of the Evidence." *Quaternary International*.2009, 146–159.

Rattray, E.C. "Nuevas interpretaciones en torno al Barrio de los Comerciantes", en *Anales de Antropología*, Vol. XXV, 1988, pp.165-182.

Rattray, E. C. *Teotihuacan: Ceramics, Chronology, and Cultural Trends = Teotihuacan : Cerámica, Cronología Y Tendencias Culturales*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia, 2001. Print.

Reimer, P.J., M.G.L. Baillie, E. Bard, A. Bayliss, J.W. Beck, C. Bertrand, P.G Blackwell, C.E. Buck, G. Burr, K.B. Cutler, P.E. Damon, R.L. Edwards, R.G Fairbanks, M. Friedrich, T.P. Guilderson, K.A. Hughen, B. Kromer, F.G McCormac, S. Manning, C.B. Ramsey, R.W. Reimer, S. Remmele, J.R. Southon, M. Stuiver, S. Talamo, F.W. Taylor, J. Van der Plicht and C.E. Weyhenmeyer. "Intcal 09 and Marine 09 Radiocarbon Age Calibration Curves, 0–50,000 Yars Cal Bp." *Radiocarbon*2009, 1111–1150.

Retallack, J., G. "Soils of the Past. An Introduction of Paleopedology.", Blackwell Science. 2001.

Rice, P. M. *Pottery Analysis: A Sourcebook*. 1987. Chicago. University of Chicago Press.

Rivas, J., Ortega, B., S. Sedov, E. Solleiro-Rebolledo and S. Sycheva. "Rock Magnetism and Pedogenic Processes in the Luvisol Profiles: Examples from Central Russian and

- Central Mexico.", 156–157, 212–223.: Quaternary International. 2006.
- Rivera, U.Y. "Impacto Del Desarrollo Cultural Prehispánico En La Cubierta Edáfica Del Valle De Teotihuacán." Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México., 2008.
- Rivera-Uria, M.Y., S. Sedov, E. Solleiro-Rebolledo, J. Perez-Perez, E. McClung, A. Gonzalez and J. Gama-Castro. "Degradación Ambiental En El Valle De Teotihuacan: Evidencias Geológicas y Paleopedológicas." Boletín de la Sociedad Geologica Mexicana.2007, 203–217.
- Rovner, I. "Macro- and Micro-Ecological Reconstruction Using Plant Opal Phytolith Data from Archaeological Sediments." *Geoarchaeology*.1988, 155–163.
- Rzedowski, J. Algunas asociaciones vegetales de los terrenos del lago de Texcoco. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 1957. 21: 1-15.
- Rzedowski, J. *Vegetación de México*. Limusa. 1978. México. 432p
- Sánchez-Pérez S, Solleiro-Rebolledo E, Sedov S, McClung de Tapia E, Golyeva A, Prado B, Ibarra-Morales E. "The Black San Pablo paleosol of the Teotihuacan Valley, Mexico: pedogenesis, fertility, and use in ancient agricultural and urban systems". *Geoarchaeology* 2013, 28, 3:249-267.
- Sanders, W.T. *The Cultural Ecology of the Teotihuacan Valley*. University Park, USA.: Department of Sociology and Anthropology, The Pennsylvania State University., 1965.
- Sanders, W.T. "The Agricultural History of the Basin of Mexico. In E.R. Wolf (Ed.), *the Valley of Mexico: Studies in Pre-Hispanic Ecology and Society*.", 101–159: Albuquerque: School of American Research, University of New Mexico Press., 1976.
- Sanders, W.T., J.R. Parsons and R.S. Santley. *The Basin of Mexico: Ecological Processes in the Evolution of a Civilization.*: New York: Academic Press., 1979.
- Sanders, W.T. and B.J. Price. *Mesoamerica: The Evolution of a Civilization*. New York.: Random House., 1968.
- Schaetzl, R. J. and S. Anderson. "Soil, Genesis and Geomorphology. Cambridge University Press., 2002.
- Schiffër, M, B. "Formation Processes of Archaeological Record.", (1987).
- Schávelzon, Daniel. "La Primera Excavación Arqueológica De América: Teotihuacan En 1675." In *Anales De Antropología.*, XX, nùm. 1, 121-134, 1983.
- Sedov, S., S. Lozano-Garcia, Solleiro-Reboledo., E.McClung de Tapia., B. E.Ortega-

Guerrero and S. Sosa-Najera. "Tepexpan Revisited: A Multiple Proxy of Local Environmental Changes in Relation to Human Occupation from a Lake Shore Section in Central Mexico." *Geomorphology* 2010, 309-322.

Sedov, S., Y. Rivera and E. Solleiro. "Holocene Paleoecology of Teotihuacan, Mexico: Micromorphological Evidences from Alluvial Paleosols and Pedosediments." *Frankfurter Geowissenschaftliche Arbeiten Serie D. Physische Geographie*.2009, 123–131.

Sedov, S., E. Solleiro-Rebolledo, J.E. Gama-Castro, E. Vallejo-Gomez and A. Gonzalez-Velazquez. "Buried Paleosols of Nevado De Toluca: An Alternative Record of Late Quaternary Environmental Change in Central Mexico." *Journal of Quaternary Science*. 16(4), (2001): 375–389.

Sedov, S., E. Solleiro-Rebolledo, P. Morales-Puente, A. Arias-Herrera, E. Vallejo-Gomez and C. Jasso-Castaneda. "Mineral and Organic Components of the Buried Paleosols of the Nevado De Toluca/Central Mexico as Indicators of Paleoenvironments and Soil Evolution." *Quaternar International*., (2001): 106–107, 169–184.

Soil Survey Staff, , *Soil Survey Manual*: Washington, D.C., United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service, U.S., Government Printing Office, Handbook 18, 1998, 437 p.

Solleiro-Rebolledo, E., S. Sedov, McClung E., Cabadas H., Gama-Castro J. and Vallejo-Gomez E. "Spatial Variability of Environment Change in the Teotihuacan Valley During Late Quaternary: Paleopedological Inferences." *Quaternary Internacional*., (2006): 156–157, 13–31.

Solleiro-Rebolledo, E., S. Sedov, J.E. Gama-Castro, D. Flores-Román and G. Escamilla-Sarabia. "Paleosol-Sedimentary Sequences of the Glacis De Buenavista, Central Mexico: Interaction of Late Quaternary pedogenesis and Volcanic Sedimentation." *Quaternary International*., (2003): 106–107, 185–201.

Solleiro-Rebolledo, E., S. Sycheva, S. Sedov, E. McClung de Tapia, Y. Rivera-Uria, C. Salcido-Berkovich and A. Kuznetsova. "Fluvial Processes and Paleopedogenesis in the Teotihuacan Valley, México: Responses to Late Quaternary Environmental Changes." *Quaternary International*. 233, (2011): 40–52.

Spence, M.W. "Tlailotlacan, a Zapotec enclave in Teotihuacán." En J.C. Berlo (ed.) *Art, polity and the city of Teotihuacán 1992*, 59-88. Washington, DC: Dumbarton Oaks.

Spence, Michael. "Los Talleres De Obsidiana De Teotihuacan." In *Mesa Redonda: El Valle De Teotihuacan Y Su Entorno*., 213-218. México.: Sociedad Mexicana de Antropología., 1966.

Stein, J. K. *A Review of Site Formation Processes and Their Relevance to Geoarchaeology*. En *EarthSciences and Archaeology*. Paul Goldberg.Vance T.Holliday.Reid Ferring. ed.

Earth Sciences and Archaeology. New York.: Plenum, 2001a.

Stein, J. K. Archeological Sediments in Cultural Environments. Stein, J. K. Farrand, W. R. ed. Sediments in Archaeological Context. The Utah Press. , 2001b.

Steward, Julian. "El concepto y el método de la ecología cultural". Reimpreso de Theory of Culture Change. En: Antropología lecturas. Bhanan y Glazer. 2ª. Edición. 1955, pp. 334-344.

Sugiyama, S. Governance and Policy at Classic Teotihuacan. Mesoamerican archaeology: Theory and Practice. ed., Edited by J.A. Hendon and R.A. Joyce: Oxford: Blackwell Publishing, 2004.

Sugiyama, S. and R. Cabrera. "The Moon Pyramid Project and the Teotihuacan State Polity. A Brief Summary of the 1998–2004 Excavations. ." Ancient Mesoamerica. 18., (2007): 109–125.

Sugiyama, Saburo. "Se Descubren Dos Ofrendas De Notable Importancia En La Pirámide De La Luna En Teotihuacan." Arqueología Mexicana 1999, 71-73.

Sycheva, S.A., Sedov S.N. and E. Solleiro-Rebolledo. "Izmeneniya Landshaftov Dolinir. San-Pablo V Konce Pozdnego Pleistocena (Teotihuacan, Mexico) (Late Pleistocene Landscape Changes in the San Pablo Valley (Teotihuacan, Mexico)." Geomorfologia (in Russian). 2010, 90–100.

Tapia-Varela, G, López-Blanco, J. Mapeo Geomorfológico analítico de la porción central de la cuenca de México: unidades morfo-genéticas a escala 1:100,000. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. 2001. V19. Núm. 1 50-60

Targulian, V. O. and Krasilnikov. P. V. "Soil System and Pedogenic Processes: Self-Organization, Time Scales, and Environmental Significance.": Catena., 2007.

Targulian, V.O. and S.V. Goryachkin. "Soil Memory: Types of Record, Carriers, Hierarchy and Diversity." Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. 2004, 1–8.

Tricart, J. and J. Kilian. "La Ecogeografía y La Ordenación del Medio Natural". Editorial Anagrama, 1982. Barcelona.

Twiss P.C. A curmudgeon's view of grass phytolithology. In J.D. Menier & F. Colin (Eds.), Phytoliths: Application in earth science and human history. 2001. (pp. 7–27). Cerege Aix en Provence, France: A.A. Balkema Publishers Lisse-Abingdon-Exton-Tokyo.

USDA. Soil Survey Field and Laboratory Methods Manual. Lincoln, Nebraska.: United States Department of Agriculture., 2009.

Wittfogel, K.A. Despotismo Oriental. Estudio comparativo del poder totalitario. Ediciones Guadarrama. Madrid., 1966. 29-49.

WRB. "World Reference Base for Soil Resources.": World Soil Resources., 2006.

Zavala Arredondo, Jorge Arturo *De Agricultura, Corrientes sagradas y Mitos en Teotihuac.n. Investigaciones arqueológicas en la ribera sur del río San Juan.*” Tesis de Licenciatura en Arqueología., 2013.