



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

Programa de Maestría y Doctorado en Geografía

LAMABORDOS EN LA MIXTECA ALTA: CARACTERÍSTICAS DE SUELOS, ABANDONO Y DINÁMICA EROSIVA

TESIS

Que para optar por el grado de:

Maestra en Geografía

Presenta:

Norma López Castañeda

Director de Tesis

Dr. Lorenzo Vázquez Selem
Instituto de Geografía, UNAM

Ciudad Universitaria, Ciudad de México, Enero, 2019



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.

*Nada es inmutable,
todo cambia.
Las montañas se desgastan,
los mares se secan
y las ideas se transforman.
No somos los mismos,
ni mejores ni peores,
sólo distintos.*

*A mi familia:
Jaime, Elisa, Noemi, Graciela y Rodolfo*

Erosión

Roca fui, grano de arena soy.
El agua me lleva, me abandona,
me arrastra y me deja.

Por un tiempo en las montañas anduve
y en los llanos otro poco más.
Pero yo lo que quiero,
es llegar al fondo del mar.

Agradecimientos

La consecución de este trabajo representa, no sólo la cristalización de mis esfuerzos académicos, sino el necesario fin de otra etapa en mi vida. Tengo mucho que agradecer a numerosas personas, sin embargo, dado que la síntesis es perentoria, intentaré ser breve.

En primer lugar, agradezco a los miembros del sínodo, a la Dra. Berenice Solís Castillo, y a los Dres. Gerardo Bocco Verdinelli, Manuel Hermann Lejarazu, José Luis Palacio Prieto y Lorenzo Vázquez Selem. Sus diversos puntos de vista y sus comentarios han sido sumamente valiosos para enriquecer este trabajo.

A los Dres. José Lugo Hubp y Ronald Spores. Al primero por esa maravillosa clase de geomorfología que sería mi puerta de entrada al estudio de las modificaciones del ambiente por los seres humanos, por los libros, las charlas y, sobre todo, por su amistad. Al segundo, por dedicar su vida y obra a la Mixteca y a los Mixtecos, por insistir en que lo que sabemos de ellos es nada en comparación con lo que se ignora, y por ello, siempre instarnos a continuar en el ejercicio de comprensión del devenir de esa realidad.

Mis mayores afectos para las familias Pérez-Toledo y Roldán-Nicolau, y para la profesora María Caltenco, quiénes, de diferentes maneras, me han tendido sus cálidas manos en algunos de los momentos poco afortunados.

Hago especial mención de quienes facilitaron las condiciones o colaboraron en la realización del trabajo de campo: Mtra. María del Pilar Fernández, Xóchitl Ramírez, Miguel Ángel Cruz, Estefanía Roldán, Alejandra Franco, Ana Karen Romero, Tomasa Bautista, Víctor Cruz, cabildos y autoridades agrarias; quiénes dedicaron su tiempo, o dieron su anuencia para llevarlo a cabo. A cada uno, mil gracias.

Al apoyo del Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología y a la Universidad Nacional Autónoma de México por, parafraseando al actual rector, ser uno de los principales motores de la permeabilidad social en México.

A continuación, y de manera más personal, dedico algunas palabras de afecto para quienes le dan sentido a mi vida y la hacen cada día más bella: Mamá, Papá, Noemi, Elisa y Jaime, los amo familia. Cada uno, siguiendo diversos e intrincados caminos, está en busca de sus anhelos. Su felicidad es la mía y no hay nada que me haga más dichosa que ver dibujada una sonrisa en cada uno de sus rostros. Soy por y para cada uno de ustedes.

Por otro lado, hay personajes clave en el curso de nuestras vidas, esos que nos dejan una impronta en el alma y con los que aprendemos a *ser* humanos. Uno de ellos es Lorenzo, materialización de la generosidad y la calidez humana, posee el don de saber escuchar y siempre estás presto a ofrecer tu tiempo, así como un buen café, para cualquier tertulia. Algunos de los rasgos que de ti más admiro son tu sensibilidad artística, tu inagotable curiosidad y esa genialidad que te hace elucubrar un sin número de posibles explicaciones a cualquier fenómeno, natural o concerniente a los menesteres de la vida cotidiana. Gracias Lorenzo, infinitas gracias.

José Luis Palacio, es usted un monumento a la paciencia, capaz de sortear con la mayor urbanidad las más ríspidas situaciones y de llevar a buen puerto cada proyecto del que se encuentra al frente. Gracias por todo el apoyo, las oportunidades y las enseñanzas. Sin lugar a duda, haber tocado la puerta de su cubículo en junio de 2014 fue el inicio de la aventura más formativa en la que me he embarcado.

Rodrigo, caro Rodrigo, qué de momentos vividos y de emociones compartidas. Desde la sublime y plena alegría hasta el más profundo y sentido sollozo. Amigo, cómo las palabras siempre me fallan en los momentos más cruciales, hay dos hermosos instantes que recupero, en los que nuestro silencio ha sido más significativo que cualquier vocablo, y que para mí entrañan el entendimiento de las esencias: La ciudad de noche, las calles desiertas, miles y miles de luces en el horizonte como estrellas que se desdibujan velozmente. Caminar en la playa, acercarse a la orilla y esperar pacientemente a que las olas lleguen solas a besarnos los pies.

Introducción	4
<i>Objetivo general</i>	5
<i>Objetivos particulares</i>	5
<i>Estructura del trabajo</i>	5
Capítulo 1. Agricultura y civilización	7
1.1 <i>Agricultura y civilización en Mesoamérica</i>	7
1.2 <i>Desarrollo de las civilizaciones prehispánicas en Oaxaca</i>	11
1.3 <i>Los Mixtecos</i>	12
1.3.1 <i>Orígenes</i>	12
1.3.2 <i>Fases culturales en la Mixteca</i>	15
1.4 <i>La agricultura de terrazas en la Mixteca Alta</i>	21
Capítulo 2. Funcionamiento y dinámica geomorfológica de las terrazas agrícolas	28
Capítulo 3. Condiciones ambientales de la cuenca alta del río Yanhuitlán	37
3.1 <i>Clima</i>	38
3.2 <i>Geología</i>	39
3.3 <i>Suelos</i>	41
3.4 <i>Vegetación y uso de suelo</i>	41
3.5 <i>Geomorfología</i>	42
Capítulo 4. Metodología	51
4.1 <i>Trabajo de gabinete</i>	51
4.1.1 <i>Selección de la zona de estudio</i>	51
4.1.2 <i>Interpretación de imágenes de alta resolución y elaboración de cartografía geomorfológica</i>	51
4.2.1 <i>Selección de los sitios de muestreo</i>	52
4.2 <i>Trabajo de campo</i>	52
4.2.1 <i>Recorridos de campo</i>	52
4.2.2 <i>Descripción de suelos</i>	53
4.2.3 <i>Extracción de núcleos dendrocronológicos</i>	53
4.2.4 <i>Levantamiento de perfil longitudinal de sistema de lamabordos</i>	53

4.2.5 Vuelo de dron	53
<i>4.3 Procesamiento de información y trabajo de laboratorio</i>	<i>54</i>
4.3.1 Evaluación edafocológica de los suelos	54
4.3.2 Cálculo de tasa de erosión laminar y en surcos	54
4.3.3 Clasificación de suelos	54
4.3.4 Preparación de muestras de suelo	55
4.3.5 Determinación del contenido de materia orgánica	55
4.3.6 Fechamiento 14 C de fragmentos de carbón	55
4.3.7 Construcción de perfil longitudinal y modelo tridimensional del sistema Panteón	56
4.3.8 Cálculo del volumen de cárcava y masa y volumen de suelo desalojado del lamabordo	56
4.3.9 Montado de virutas y conteo de anillos	56
Capítulo 5. Resultados	57
<i>5.1 Evaluación ecológica de los suelos en terrazas y laderas adyacentes</i>	<i>57</i>
5.1.1 Sistema Tooxi	58
5.1.2 Sistema Pozoltepec	62
5.1.3 Sistema Ichiyodo	64
5.1.4 Sistema Panteón	70
<i>5.2 Contenido de carbono</i>	<i>72</i>
<i>5.3 Clasificación de suelos</i>	<i>78</i>
<i>5.4 Fechamiento de carbón</i>	<i>92</i>
<i>5.5 Erosión laminar y en surcos, USLE</i>	<i>93</i>
<i>5.6 Cálculo de erosión en cárcavas</i>	<i>98</i>
<i>5.7 Abandono y recolonización de terrazas abandonadas</i>	<i>99</i>
Capítulo 6. Discusión	102
<i>6.1 Influencia del material parental y edad en algunas características de los suelos en los lamabordos</i>	<i>102</i>
<i>6.2 Suelo en la terraza vs suelo en el resto de la cuenca</i>	<i>104</i>
<i>6.3 El sistema de clasificación de la WRB frente a suelos de origen antrópico</i>	<i>107</i>
<i>6.4 Degradación del suelo de las terrazas y erosión</i>	<i>108</i>
<i>6.5 Otro escenario posible frente al abandono de terrazas agrícolas: colonización natural del bosque</i>	<i>112</i>

Capítulo 7. Conclusiones	114
7.1 <i>Consideraciones finales</i>	117
Bibliografía	121
Anexo: Descripción de perfiles de suelo	130

Introducción

La construcción de terrazas agrícolas en Mesoamérica es una estrategia a través de la cual los habitantes de esta región han adaptado la escarpada topografía de la región para desarrollar la agricultura en espacios poco aptos para tal actividad, no sólo por lo irregular del terreno sino por regímenes de precipitación escasa o con una marcada época seca, dado que las terrazas son adaptaciones locales para preservar y aprovechar la humedad residual del suelo.

En el presente estudio se abordan las características de un sistema agrícola de amplia distribución y de larga data en la región Mixteca Alta en el noroccidente del estado de Oaxaca en el sureste de México. Se trata de terrazas agrícolas de fondo de valle o transversales al cauce, conocidas localmente como camellones o arenales y referidas en la literatura especializada como lamabordos. Se trata de muros (bordos) que se construyen en el fondo de valles para retener el sedimento y el coluvión de las laderas (lama, o suelo) para conformar nuevas superficies planas destinadas a la agricultura.

De acuerdo con algunos autores, probablemente se trata del método más primigenio de construcción de terrazas, y las de la Mixteca Alta son unas de las más antiguas en la región mesoamericana y muy probablemente también del continente americano. En estos nuevos espacios se acumula humedad, materia orgánica y nutrientes que son aprovechados por cultivos como maíz, frijol, calabaza y ejote y por la vegetación secundaria que eventualmente llega a establecerse en estas superficies.

El trabajo se llevó a cabo en las cabeceras de los ríos Verde, Papaloapan y Balsas, en el territorio que comprende los municipios de San Bartolo Soyaltepec, Santo Domingo Tonaltepec, Santo Domingo Yanhuitlán y San Juan Teposcolula, que conforman cinco de los nueve municipios incluidos en el Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta y se centra en uno de los elementos del geopatrimonio que sintetiza las relaciones entre los elementos geológicos y geomorfológicos con la cultura en esta región.

Objetivo general

Esta investigación busca aportar información relativa a las características de los suelos en las terrazas agrícolas de tipo lamabordo en función de los materiales parentales que los constituyen y del tiempo transcurrido desde su conformación, así como las tendencias en su evolución después de que son abandonadas.

Objetivos particulares

- Comentar y contrastar las ideas en torno a la agricultura de terrazas en la región.
- Identificar y cartografiar los sistemas de lamabordos en la zona y desarrollar una tipología de los mismos basada en el tipo de roca que conforma sus suelos y la antigüedad de los sistemas.
- Determinar las características de los suelos en los lamabordos y la influencia que tienen los distintos materiales parentales y el tiempo en sus características particulares.
- Comparar los suelos de los lamabordos frente a los que se desarrollan en las laderas.
- Identificar qué características de los suelos de los lamabordos están relacionadas con la degradación de las terrazas agrícolas en los sistemas de lamabordos.

Estructura del trabajo

El trabajo se organiza en siete apartados, en el primero se exponen algunas ideas entorno al desarrollo de la agricultura y las técnicas agrícolas desarrolladas en Mesoamérica; así mismo se abordan las particularidades de la cultura Mixteca y su relación con la agricultura en terrazas de la Mixteca Alta. En el segundo apartado se refieren las características de las terrazas agrícolas desde el punto de vista edafológico, así como su dinámica geomorfológica.

En el tercer capítulo se refieren las características de la zona de estudio en términos del tipo de clima, geología, suelos, vegetación, uso de suelo y geomorfología. En el cuarto apartado se detalla la metodología empleada en cada una de las fases del desarrollo de la investigación, que comprenden el trabajo de gabinete para la selección de los sitios de muestreo, recorridos de campo, procesamiento de la información recabada y análisis de laboratorio.

En el quinto apartado se presentan los resultados de la evaluación ecológica de los sitios descritos, determinación de carbono, clasificación de suelos de acuerdo con la WRB, fechamiento de carbón, cálculo de la erosión laminar y en surcos de acuerdo con la *Universal Soil Loss Equation (USLE)* y cálculo de erosión por una cárcava en un lamabordo.

En el sexto apartado se discute la influencia del efecto del material parental y la edad en las características de los suelos de los lamabordos, se comparan las condiciones que en éstos se observan frente a los suelos desarrollados en las laderas adyacentes a los sistemas de terrazas, se reflexiona entorno a los criterios de clasificación propuestos por la WRB para la suelos de origen antrópico, se presentan los rasgos asociados con la degradación de las terrazas descritas y se señalan otras posibilidades en la evolución de éstas después de su abandono.

En la séptima sección se exponen algunas consideraciones relativas a las tareas que quedan pendientes al cierre de esta investigación, así como nuevas líneas de trabajo que permitan comprender el funcionamiento de esta técnica agrícola. El último apartado es el anexo con la descripción completa de cada uno de los perfiles de suelo, esta descripción comprende información sobre la localidad en términos de localización, forma del terreno, unidad de paisaje, inclinación y exposición de la ladera y uso de suelo, información pormenorizada de cada horizonte en el perfil y la interpretación de procesos pedogénéticos y las características ecológicas de los suelos.

Capítulo 1. Agricultura y civilización

El presente apartado posee dos ejes temáticos, el primero refiere al surgimiento de la agricultura y a la estrecha relación que este proceso guardó con el desarrollo de la civilización en el área de Mesoamérica. El segundo se enfoca a la cultura Mixteca, sus orígenes, las fases del desarrollo de su cultura y los cambios en su dinámica poblacional después de la conquista española. Finalmente se exponen las ideas sobre la agricultura en terrazas de tipo lamabordo en la Mixteca Alta.

1.1 Agricultura y civilización en Mesoamérica

Mesoamérica es un área que se definió en principio en función de los grupos lingüísticos de los habitantes de esta región así como los rasgos culturales que diversos grupos compartían en el momento de la Conquista (Kirchhoff, 1960). Ésta se extiende desde los 10 a los 22° de latitud norte en el continente americano y comprende la región central y sur de México, Istmo de Tehuantepec, Península de Yucatán, Guatemala, Belice, El Salvador, parte de Honduras, Nicaragua y Costa Rica (fig. 1). Mesoamérica, junto con la zona centroandina, constituyó la llamada "América nuclear", una región en la que tuvieron su esplendor las civilizaciones prehispánicas en el continente americano (Palerm & Wolf, 1992).

Se trata de un área que se localiza dentro de la franja del Trópico de Cáncer, pero que debido a la influencia de los diferentes sistemas orográficos posee climas fríos, templados y subcálidos. Sus límites no están bien definidos puesto que su frontera norte fue altamente cambiante y la frontera sur dividía a grupos con diferentes tradiciones culturales y de distinto desarrollo sociopolítico y económico (Palerm & Wolf, 1992).

Los grupos prehispánicos de esta área basaron sus actividades económicas en la agricultura, la cual fue el eje a través del que organizaron sus modos de vida por lo que el estudio de esta actividad permite conocer aspectos que van más allá de la agricultura en sí misma, proporcionando información referente al nivel de organización sociopolítica de los grupo, las relaciones al interior de éstos y su situación frente otros (García Cook, 1985).

Existen varias teorías respecto al origen de la agricultura y la domesticación temprana de especies vegetales en México basadas en las ideas de la ecología cultural; desarrollada en

los Estados Unidos, y Flannery (1985) enuncia brevemente los principales puntos de cada una. La primera teoría manifiesta que la agricultura fue resultado de un descubrimiento fortuito.

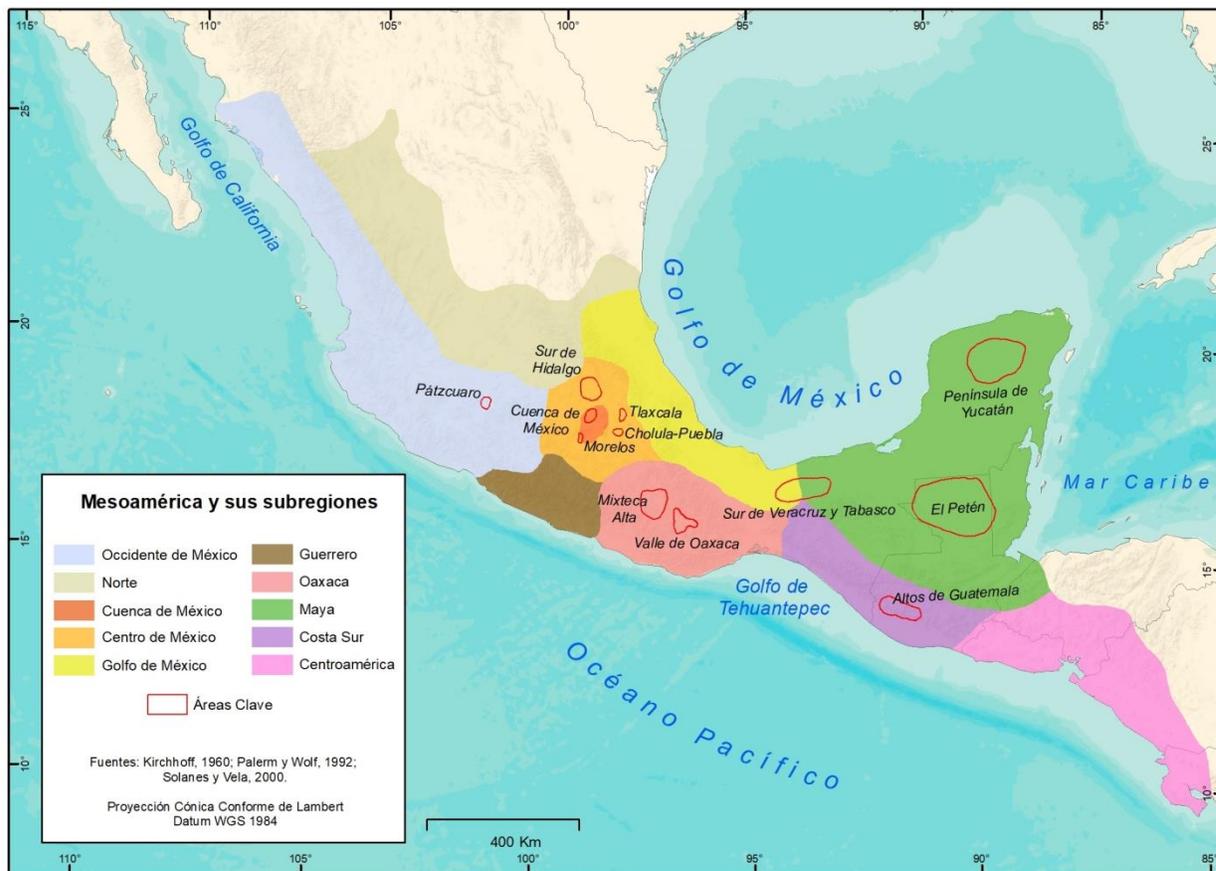


Figura 1.1 Mesoamérica, subregiones y áreas clave. Elaborado a partir de Kirchoff, 1960; Palerm & Wolf, 1992; Solanes & Vela, 2000.

Otra teoría propone que la agricultura surgió como una alternativa de subsistencia en un momento en que cambios en las condiciones climáticas derivaron en la extinción de gran cantidad de animales y plantas que eran la base de la alimentación (Flannery, 1985).

Una más expresa que la agricultura surgió como una respuesta al crecimiento demográfico de los grupos, dado que las plantas silvestres y los animales disponibles fueron insuficientes para mantener a estas poblaciones (Flannery, 1985).

Otra teoría se basa en el estudio del grupo Pueblo en Nuevo México (Ford, 1968); quien señala que los grupos humanos buscaron hacer más predecible a la naturaleza, y por ello

desarrollaron estrategias como la agricultura, que les permitiera reducir las variaciones de los productos silvestres que recolectaban en los años secos y en los húmedos (Flannery, 1985).

Una vez expuestas las ideas sobre el origen de la agricultura surge la pregunta: ¿en dónde y en qué momento tuvo lugar? A este respecto MacNeish (1962) señala que para hablar de sus orígenes es preciso definir el del maíz. Hasta antes de 1950 se especulaba que podría encontrarse en México, Sudamérica o incluso en el sureste asiático. El primer hallazgo que arrojó un poco de luz en este tema fueron muestras paleobotánicas de maíz encontradas en *Bat Cave* en Nuevo México y en la Cueva de La Perra en Tamaulipas, gracias a las cuales se establecieron edades relativas de alrededor del 2 500 a.C. (MacNeish, 1964).

Más adelante, MacNeish continuó sus trabajos en el Valle de Tehuacán, y una edad de hasta 4 000 a.C. para las mazorcas ahí encontradas (MacNeish, 1964). Estudios recientes como los de Piperno *et al.* (2009) y Vielle Calzada *et al.* (2015) ofrecen más información al respecto y proponen una edad de hasta 7 000 a.C. para los restos más antiguos de maíz, de acuerdo con muestras paleobotánicas colectadas en el Valle de Iguala en Guerrero.

A la fecha no existe un consenso respecto al momento preciso de la domesticación de maíz, así como de en dónde tuvo lugar, pero se puede afirmar con relativa certeza que ésta ocurrió en Mesoamérica durante el Holoceno.

El desarrollo de la agricultura en la región tuvo múltiples implicaciones en la organización social de los grupos que la practicaron. De acuerdo con García Cook (1985) los primeros grupos sedentarios (1500 - 1200 a.C.) se establecieron en las superficies agrícolas más fértiles, como planicies y confluencias de ríos. Posteriormente (1200 - 800 a.C.) se conformaron asentamientos de mayor tamaño y se introdujeron técnicas como canales de riego y terrazas. Finalmente, entre 800 a.C. y 1521, la población dependía mayoritariamente de los productos agrícolas, se estableció un fuerte control del recurso agua a través del diseño de canales de desagüe y riego, así como la construcción de depósitos de almacenaje y represas; es en este periodo cuando se registra la mayor construcción de terrazas de cultivo y de complejos sistemas de riego.

Fue en este último periodo que tuvo lugar el florecimiento de actividades como la producción de alfarería y orfebrería, y el intercambio de productos, ideas y avances tecnológicos con grupos de otras regiones, además del desarrollo de estructuras sociales más complejas como los estados y los señoríos (García Cook, 1985).

Es necesario señalar que el desarrollo de las antiguas civilizaciones y el de la agricultura es una historia compartida. En este sentido, Palerm & Wolf (1954a, 1954b, 1957, 1961, 1992) manifiestan que el surgimiento de la civilización y las formas de organización social en Mesoamérica están en estrecha relación con el desarrollo de las técnicas de intensificación de la agricultura.

Sanders (1985) señala que los principales efectos de la transición entre la recolección de alimentos y su producción fueron de carácter demográfico, llevando a los grupos al sedentarismo y al desarrollo de estrategias más eficaces de abastecimiento. Esto permitió producir alimentos para un sector de no productores y constituyó la base para el desarrollo sociopolítico, así como la diversificación de grupos especializados económica y socialmente. Lo anterior finalmente derivó en sistemas de tenencia de la tierra más específicos que hicieron el acceso a ésta cada vez más desigual, estableciéndose así la base de una sociedad estratificada con sistemas sociopolíticos cada vez más complejos.

Respecto a la consolidación de los sistemas culturales en Mesoamérica, una de las ideas angulares de Palerm & Wolf (1992) refiere la existencia de sistemas de control hidráulico en la agricultura y su relación con la consolidación de los centros urbanos hasta el surgimiento de Estados, el aumento de militarismo y el establecimiento de los imperios en la región.

Los autores argumentan que fue gracias al sistema de cultivo con regadío que se fundaron asentamientos que con el tiempo crecieron y se hicieron más complejos socialmente, puesto que aquél impuso la permanencia de la habitación y la concentración de los pobladores a lo largo de las áreas irrigadas (Palerm & Wolf, 1992).

Además, sostienen que las mayores concentraciones de regadíos, así como las obras hidráulicas más importantes coinciden con las zonas con mayor población, los centros

urbanos más importantes, así como con los núcleos de poder político y militar en Mesoamérica, lo que ellos denominan "áreas clave".

Las áreas clave fueron zonas de concentrado poder económico y demográfico en las que se encontraron las formas más desarrolladas de urbanismo, así como eficientes sistemas de explotación del suelo, comunicaciones y transporte. A su vez fueron producto de la compleja interacción entre el medio natural y las tecnologías desarrolladas para su aprovechamiento. Además, fueron el centro de una red de relaciones con otras áreas dependientes (Palerm & Wolf, 1992).

Como áreas clave en Mesoamérica, los autores señalan las siguientes: en el área del Altiplano Central lo fueron la cuenca de México, el sur de Hidalgo, la región Cholula-Puebla, Tlaxcala y Pátzcuaro; al sur, Morelos, la Mixteca Alta y el Valle de Oaxaca; en el sureste los Altos de Guatemala; en el Golfo la región sur de Veracruz y Tabasco; el Petén y el norte de la Península de Yucatán (Palerm & Wolf, 1992; fig. 1.1).

Por otro lado, Sanders (1985) señala que si bien los anteriores argumentos son útiles para explicar el proceso de evolución cultural, por sí mismos no son suficientes para explicar la gran variedad de sistemas culturales y sociales en Mesoamérica. Las principales críticas a esta postura, basada en las ideas de Childe (1946), Childe & Daniel (1951) y Wittfogel & Presedo (1966), son expuestas por Palerm Viqueira (1995) quien recupera las contra respuestas teóricas al modelo de evolución de las sociedades hidráulicas en Mesoamérica, y cita el trabajo de Maass & Anderson (1978), quienes argumentan que la construcción y operación de los sistemas de control hidráulico de la agricultura no requieren; necesariamente, de estados despóticos con una rígida estructura social piramidal para funcionar.

1.2 Desarrollo de las civilizaciones prehispánicas en Oaxaca

Winter (1985) plantea una serie de etapas del desarrollo de las civilizaciones prehispánicas en los valles de Oaxaca. Las primeras, la lítica y la aldeana, abarcan del 10 000 a.C. al 500 a.C. contemplando desde la llegada de los primeros grupos humanos y la domesticación de las plantas, hasta la conformación de asentamientos.

En la etapa de los centros urbanos (500 a.C. – 750 d.C.) se conformaron los primeros asentamientos de grandes dimensiones, como Monte Albán en los Valles Centrales, así como Diquiyú, Huamelulpan y Yucuita en la Mixteca Alta. Esta etapa se caracterizó por la construcción de grandes edificios, el uso del calendario, la escritura, así como por la diferenciación de estatus entre familias y el desarrollo de una jerarquía en los tipos de asentamientos (Winter, 1985).

La etapa de los señoríos (750 – 1520) fue el momento en el que se establecieron en varias regiones una serie de reinos autónomos ligados entre sí mediante una red de alianzas matrimoniales y políticas. Las sedes de éstos fueron Mitla, Yagul y Zaachila en los Valles Centrales y Tilantongo y Yanhuitlán en la Mixteca Alta (Winter, 1985).

En este periodo la sociedad se estructuraba en dos niveles, por un lado, los nobles (reyes y principales) y por el otro los *macehuales* (comuneros). Es en este momento que florecen la arquitectura y la elaboración de cerámica y orfebrería, sin embargo no se llega al punto de construir grandes centros ceremoniales como en la etapa anterior (Winter, 1985).

Dentro del territorio oaxaqueño el Mixteco fue uno de los grupos culturales más importantes, tanto por el extenso territorio sobre el que se asentaron como por las relaciones políticas y comerciales que establecieron con otros grupos en áreas distantes.

1.3 Los Mixtecos

Las ideas en torno al origen del pueblo Mixteco, los periodos de desarrollo de su cultura, los sitios arqueológicos más importantes y su crecimiento demográfico se desarrollan a continuación.

1.3.1 Orígenes

Junto con el Zapoteco, el Mixteco es el grupo más antiguo de la región sureste. De acuerdo con Josserand (1983) alrededor del año 4 000 a.C. las lenguas protomangueses mixteca y zapoteca se dividieron por lo que desde ese momento ya es posible hablar de ambos grupos como tales. Pero como Dahlgreen (1990) señala, lo que en la actualidad se comprende como grupo el Mixteco no se conformó sino hasta mucho después de este momento.

La región *Ñu Ñudzahui*; Tierra de las Nubes, más conocida como Mixteca, comprende la zona noroccidental del estado de Oaxaca, el sur del Puebla y la margen oriental de Guerrero. Ésta se divide en tres partes, la Alta (*Ñu Dzahui Ñuhu*) en la porción central y este, la Baja (*Ñuiñe*) en el norte y noroeste de la región, y finalmente la Mixteca Costa (*Ñundehui*) en el suroeste y el sur. Cabe señalar que el desarrollo cultural más importante de este grupo tuvo lugar en la Mixteca Alta (Spores, 2007; fig. 1.2).

Tal desarrollo se llevó a cabo durante los periodos Clásico y Posclásico, pero tanto sus habitantes como sus instituciones no sólo permanecieron y ejercieron su influencia en la región Mixteca sino que se extendieron hacia el valle de Oaxaca e incluso hacia la zona del Istmo de Tehuantepec (Spores, 2007).

Sin embargo, en el desarrollo de la civilización Mixteca no se llegaron a conformar grandes centros urbanos y monumentales como lo son Tenochtitlán-Tlatelolco-Teotihuacán por los culhuamexicas o de Monte Albán por los zapotecos. El componente característico de la sociedad Mixteca fue el alto grado de sofisticación cultural y artística que adquirieron, el cual se distinguió especialmente en la elaboración de códices y de orfebrería (Spores, 1967).

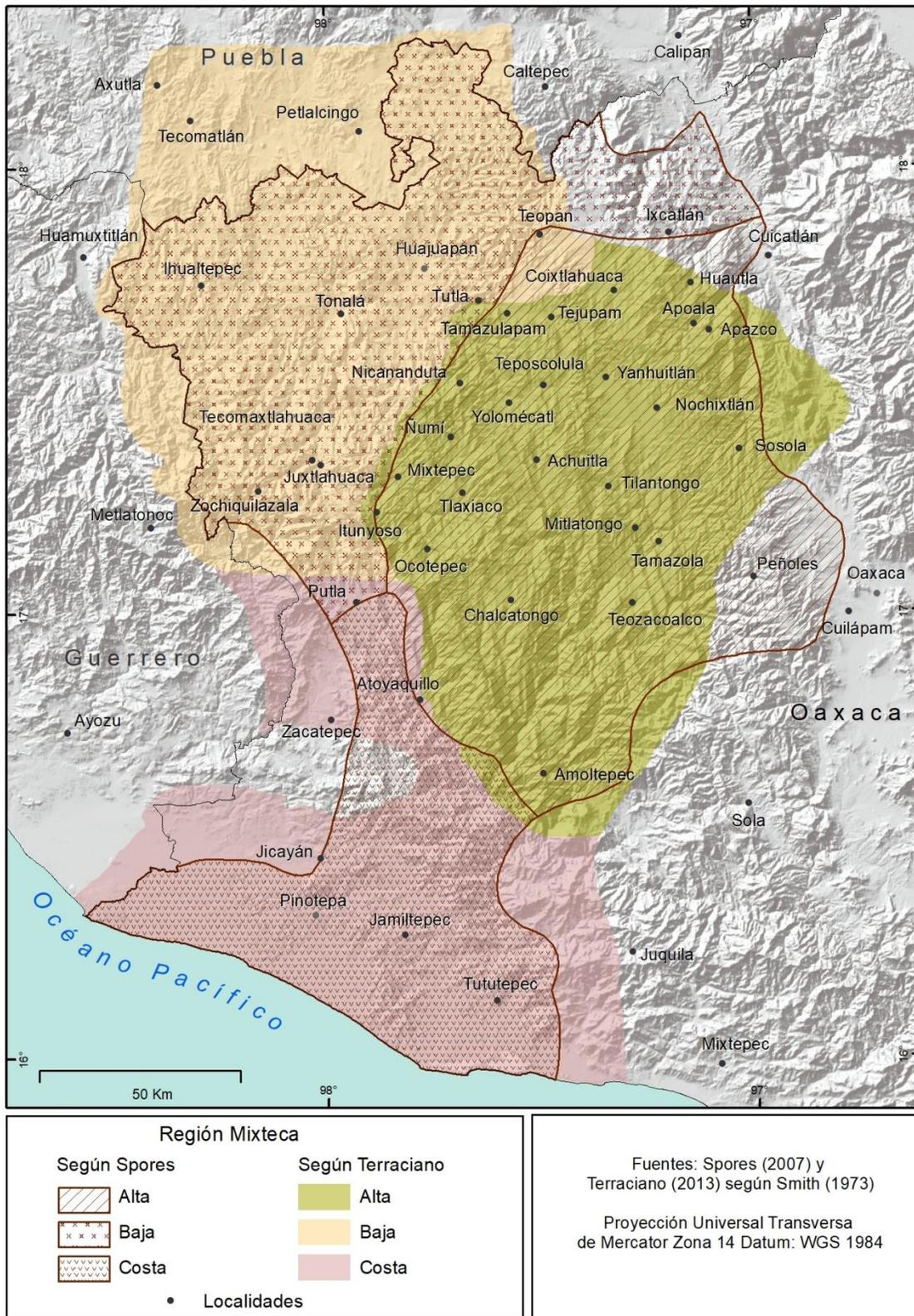


Figura 1.2 Mapa de la Mixteca y sus subregiones. Elaborado a partir de Spores (2007) y Terraciano (2013) según M. E. Smith (1973).

La sociedad mixteca se estructuraba en una pirámide en cuya cima se encontraba un grupo integrado por el gobernador y sus parientes más próximos, seguido de un contingente menos numeroso de nobles; después se encontraba un gran número de *macehuales* o comuneros, y finalmente en la base, los agricultores, sirvientes y esclavos (Spores, 1967).

1.3.2 Fases culturales en la Mixteca

En la cronología prehispánica de la Mixteca se distinguen cinco fases que comprenden del 8 000 a.C. hasta la conquista española: Tierras Largas (8 000 – 1 500 a.C.), Cruz (1500 – 400 a.C.), Ramos (400 a.C. – 300 d.C.), Las Flores (300 – 900) y Natividad (900 – 1520) (Spores, 1969).

Fase Tierras Largas (8 000 - 1500 a.C.). Son pocas las evidencias de ocupación humana anterior al desarrollo de la agricultura en la Mixteca y los escasos restos que así lo atestiguan se localizaron en Yucuñudahui y en Yucuita en los valles de Yanhuitlán-Nochixtlán. Lo anterior indica la presencia de grupos de cazadores y recolectores en la región durante el periodo Precerámico, hacia el 7 000 a.C. (Spores, 1984, 2007). Es durante esta fase, entre el 8 000 y 5 000 a.C., que los habitantes de esta área incorporaron gradualmente especies vegetales en su dieta como la calabaza y el maíz (Flannery & Spores, 2003).

Es en este momento que los mixtecos desarrollaron un amplio conocimiento de los hábitos y del hábitat de los animales, de la temporalidad y ciclos de crecimiento de las plantas. En este punto, los ancestros de los mixtecos y zapotecos construyeron los principios básicos de la clasificación sistemática de plantas y animales (Flannery & Spores, 2003).

Por otro lado, también fue significativo el legado tecnológico de esta fase. Se desarrollaron los equipamientos necesarios para poder subsistir de la recolección de la flora y de la caza de fauna silvestre. Entre éstos se encuentran el *atlatl*¹, los pozos de maguey, cestas, bolsas de red, piedras para moler como metates, molcajetes, tejolotes, entre otros, tenazas, lazos y demás menesteres para la caza y la recolección (Marcus, Flannery, & Spores, 2003).

¹ Los *atlatls* fueron eficaces armas mesoamericanas para lanzar dardos (Whittaker, 2015).

En los inicios de la Fase Cruz (1350 - 400 a.C.) se reconocen algunos asentamientos tempranos a lo largo del valle de Nochixtlán, de los cuales los más importantes fueron los de Yucuita y Etlatongo (Spores, 2007). El patrón de ocupación de estos sitios se disponía a lo largo de las lomas bajas, las estribaciones del piedemonte erosivo, en las confluencias de los ríos y en las márgenes de los valles. Se trata de una fase más compleja que la anterior que bien podría subdividirse en dos o tres subfases (Spores, 2003a).

Desde este momento ya se reconocían contactos y relaciones económicas entre los distintos sitios en la Mixteca, así como con otras regiones de Mesoamérica. Notable es el caso de Etlatongo, donde se identifica la presencia de elementos artísticos e ideológicos olmecas entre 1000 y 700 a.C. (Spores, 2007).

Es durante la Fase Ramos (400 a.C. - 300 d.C.) que se gesta una transformación urbana de la sociedad en la Mixteca, principalmente en el valle de Nochixtlán. Se dio el auge del Estado, la transformación de un sistema social igualitario hacia uno estratificado, aumentó el nivel de población y surgieron importantes tradiciones regionales (Spores, 2007).

Lo anterior dio paso a la transición de una ciudad de pequeñas villas hacia una civilización urbana, en esta etapa los principales vínculos en el valle eran redes de carácter socioeconómico. El número y tamaño de los asentamientos aumentó, además de que se conformó un centro urbano diversificado, Yucuita (Spores, 2003c).

De acuerdo con Spores (2003a), cuando se habla de Yucuita como un centro urbano, éste debe ser entendido como una serie de asentamientos muy similares relacionados entre sí. Los grandes centros como Yucuita dependían, además de sus recursos propios, de los bienes e insumos de sus vecinos de menor jerarquía.

Estos asentamientos menores dependían del centro a través de sus mercados de intercambio, ceremonias y probablemente de su protección. Dichos asentamientos se encontraban enlazados en un sistema de unidades interdependientes que desempeñaban funciones especializadas en cuanto al acceso y disponibilidad de recursos, adaptaciones locales, variedades de productos y especializaciones ocupacionales (Spores, 2003c).

Yucuita fue un punto de referencia en el florecimiento de la tradición cultural mixteca, pues se identificó como el primer centro con el suficiente poder demográfico, tecnológico, económico y político para constituir una vida urbana, integrando socioeconómicamente a la región (Spores, 2003c). Un proceso similar tuvo lugar al occidente de Yucuita en el valle de Huamelulpan, que se distingue por su temprana urbanización (Spores, 2007).

El desarrollo de la cultura Clásica en la Mixteca tuvo lugar en la Fase Las Flores (300 - 1000). A finales de la fase anterior dio inicio una serie de cambios en el número, tamaño y ubicación de los asentamientos, proliferando los centros urbanos. A diferencia de los zapotecos o los mexicas, los mixtecos no tuvieron capitales como Monte Albán o Teotihuacan, sin embargo edificaron decenas de centros de menor tamaño, ejemplo de ello lo son Yucuñudahui, Cerro Jazmín, Etlatongo y Jaltepec; todos ellos en el valle de Nochixtlán (Spores, 2007; fig. 1.3).

La creación de múltiples centros en una sola región respondió al sistema político mixteco, el cual se distinguía por la fundación de numerosos Estados de menor tamaño o señoríos (Spores, 2007).

Tal número de sitios, así como su tamaño y uso intensivo, denota que es en este momento que se expanden y ramifican las relaciones intercomunitarias en la región. Lo anterior es indicativo de que en el valle de Nochixtlán comenzó a gestarse una importante transformación demográfica. Ya en esta fase se estima una población de alrededor de 30,000 personas (Spores, 1969), lo que significó una considerable presión sobre los recursos del medio (Spores, 2003a).

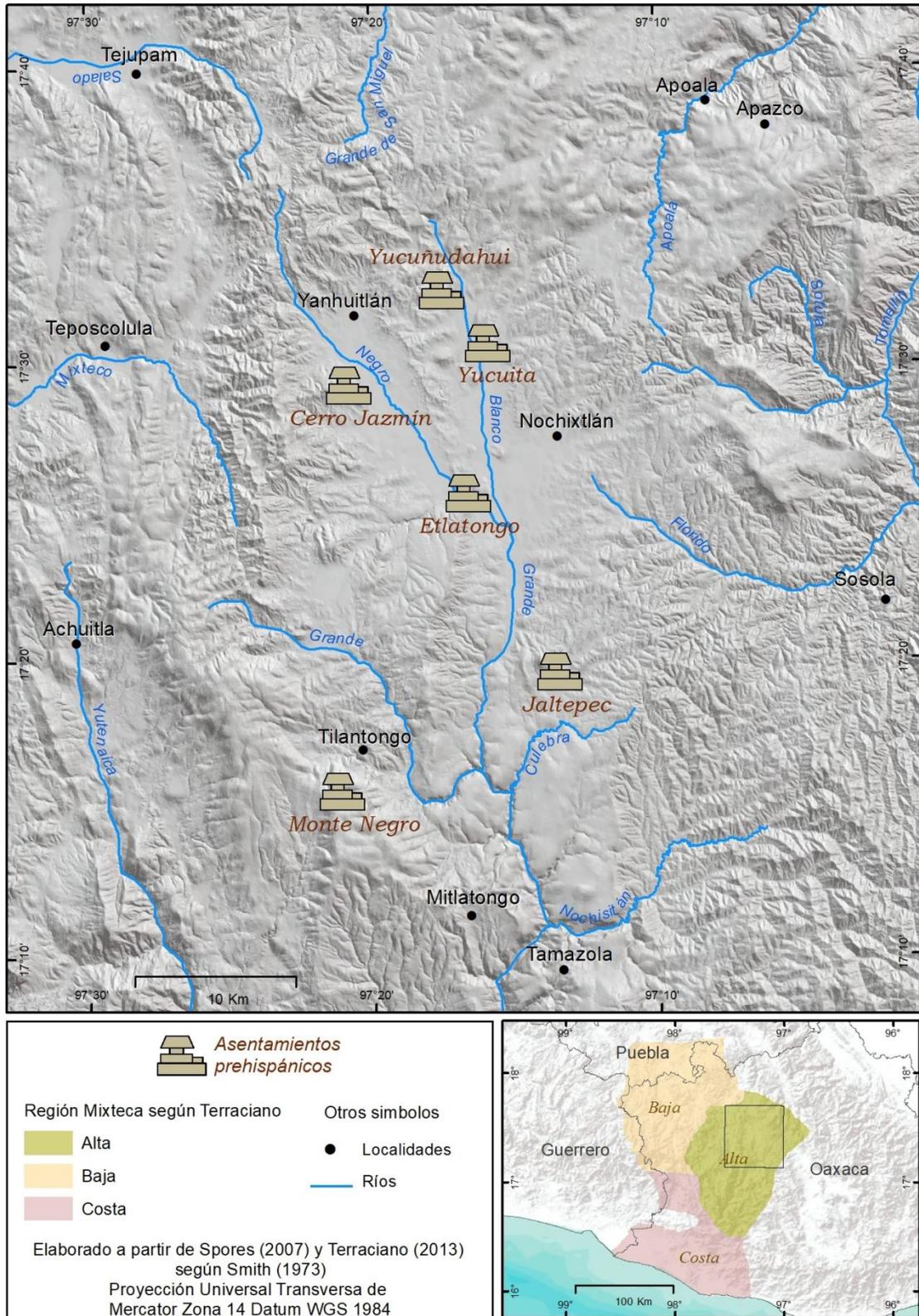


Figura 1.3 Mapa de los mayores asentamientos en la Mixteca Alta en el periodo Clásico (400 - 1000). Elaborado a partir de Spores, 2007.

Fase Natividad (1000 - 1520/1535). Es en esta fase que tuvo lugar la mayor revolución cultural y artística en la Mixteca Alta, así como la época de mayor esplendor de los señoríos. Gracias a la convergencia de la filosofía, religión, política, tecnología y sensibilidad estética es que se desarrolló el arte mixteco de los códices, la cerámica policromada, el arte lapidario, la joyería y el arte mural (Spores, 2007).

Los valles de Yanhuitlán-Nochixtlán en esta época fueron los que registraron un mayor crecimiento poblacional y aumento del poder político. También es en este periodo que se da la mayor construcción de sistemas de lamabordos como un mecanismo para elevar la productividad agrícola de los valles, como una respuesta a las crecientes necesidades de una población en aumento, así como para cumplir con las demandas de tributo impuestas por el imperio Mexica (Spores, 2003b).

El dominio de los mixtecos en la región fue tal, que hacia el año 1350 avanzaron hacia los Valles Centrales y ocuparon algunos centros ceremoniales zapotecos. Este desplazamiento fue motivado, entre otros factores, por la presión demográfica ocasionada por el aumento poblacional en la Mixteca, aunado a la inmigración de otros grupos hacia ésta, como es el caso de los chochos en la Mixteca Alta (Cook & Borah, 1968).

En las décadas previas a la conquista, la mayor parte de la Mixteca Alta y Baja quedaron sujetas a los mexicas y sus aliados (Terraciano, 2013). En el año de 1468 Yanhuitlán es hecho tributario de la Triple Alianza y en 1512 la mayor parte de la Baja y toda la Alta quedan bajo el dominio Mexica (Cook & Borah, 1968).

Como parte del tributo que pagaban a la Triple Alianza, los señoríos de Coixtlahuaca, Texupan, Tamazulapan, Yanhuitlán, Teposcolula y Nochixtlán entregaban mantas, jade, plumas de quetzal, grana cochinilla, polvo de oro y trajes guerreros a Tenochtitlán. Sin embargo, a pesar de estar sujetos a los mexicas, los estados mixtecos mantuvieron sus propios gobernantes y formas de organización social sin adoptar la identidad cultural y política de éstos (Terraciano, 2013).

Mantener esa autonomía, aún después de quedar sujetos a los estados de Tenochtitlán, Texcoco y Tlacopan, es muestra de que antes de que los mexicas consolidaran su poder ya

existía una fuerte cohesión de los señoríos mixtecos gracias a las alianzas creadas a través de matrimonios reales, la migración interregional, el comercio a larga distancia así como por el contacto con grupos de regiones culturales distintas (Terraciano, 2013).

En el momento de la conquista los españoles encontraron en la Mixteca Alta grandes asentamientos que empleaban el regadío, terrazas y la rotación de cultivos para mantener una alta productividad agrícola. Y gracias a una red de mercados circulaban gran variedad de artículos regional e interregionalmente (Terraciano, 2013).

Las grandes iglesias y conventos que más adelante se edificaron en esta región son prueba de la cantidad de recursos que los españoles encontraron a su disposición. En los primeros años del virreinato las recurrentes epidemias ocasionaron una disminución significativa de la producción en general y particularmente de la agricultura y del comercio en la región (Terraciano, 2013).

De acuerdo con la información obtenida por Cook & Borah (1989), hacia 1518 habitaban en el México prehispánico alrededor de 25.2 millones de personas y poco más de una década después esa cifra descendió a 16.8 millones y en 1548 ya eran sólo 6.3 millones. De esta manera se llegó en 1605 a la cifra de 1.07 millones de personas. En menos de un siglo, epidemias como el *cocoliztli* (o fiebre entérica; Vågene *et al.*, 2018) y las guerras cobraron la vida de cerca de 24 millones de indígenas en la Nueva España (Cook & Borah, 1989).

En la Mixteca Alta, en el momento de la conquista habitaban la región alrededor de 700,000 personas. En 1532 el número descendió a 528,000 y en 1569 a 100,000, hasta llegar en 1670 a la cifra de poco más de 22,800 habitantes (Cook & Borah, 1968).

Cook & Borah (1989) además ofrecen información más específica sobre algunas localidades dentro de los valles de Nochixtlán y Coixtlahuaca para los años de 1568 y 1646 (cuadro 1). Yanhuitlán y Coyotepec registran una pérdida de aproximadamente 14 mil habitantes en dicho periodo, Coixtlahuaca de poco menos de siete mil, pero en cada uno de los casos la población se redujo a menos de una quinta parte poco después de la Conquista.

Cuadro 1.1 Población en 1568 y 1646 en algunas localidades de los valles de Coixtlahuaca y Nochixtlán en la Mixteca Alta

Localidad	Población en 1568	Población en 1646
Coixtlahuaca*	8,250	1,780
Chachoapan	1,650	126
Nochixtlán	2,950	179
Tonaltepec y Soyaltepec*	885	180
Yanhuitlán y Coyotepec	17,160	3,062

*Localidades pertenecientes al valle de Coixtlahuaca. Fuente: Cook & Borah, 1989.

De manera particular, Spores (1969) propone que en el Valle de Nochixtlán habitaban en el momento de la conquista alrededor de 50 mil mixtecos y hacia 1600 esa cifra disminuyó a 32 mil, mientras que 1754 eran sólo 8 mil personas.

A pesar de tratarse de una zona con una larga historia de ocupación humana en la que se establecieron complejos sistemas sociales y políticos, así como centros urbanos altamente poblados, en la actualidad la Mixteca Alta sigue siendo una zona con baja densidad de población de la que continuamente emigran los pobladores por falta de oportunidades, situación que Kowalewski *et al.* (2009) han denominado como "la paradoja mixteca".

1.4 La agricultura de terrazas en la Mixteca Alta

La construcción de terrazas ha sido una estrategia que los antiguos pueblos mesoamericanos han empleado para hacer frente a la irregular topografía de la región. Además del relieve, la distribución de las terrazas ha sido condicionada por el régimen de precipitación para el desarrollo de cultivos, puesto que se trata de una técnica a través de la cual se preserva y maneja la humedad del suelo (Rojas Rabiela, 1985). En este sentido Donkin (1979) expresa que el 85 % de las terrazas en el continente americano se localizan en zonas con una marcada estación seca, de climas áridos y semiáridos, o con inviernos muy secos.

En la región se construyeron principalmente terrazas de contorno, *metepantles*, y presas filtrantes. Las terrazas de contorno se construyen de manera perpendicular a la pendiente para crear superficies amplias y planas. Los *metepantles* son bordos de piedra o setos de

magueyes, nopaleras o árboles frutales que se colocan en laderas de poca pendiente para estabilizar el suelo y poder cultivar (Borejsza, 2013; Rojas Rabiela, 1985). Las presas filtrantes; también conocidas como terrazas de fondo de valle, transversales al cauce, trincheras, atajadizos, camellones o lamabordos², son un conjunto de muros de piedra al interior de las barrancas en los que se ataja el coluvión hasta formar varias terrazas (Rojas Rabiela, 1985).

Las evidencias más antiguas de construcción de terrazas agrícolas se encuentran en los altiplanos del centro y sur de México. En el centro se reportan restos Posclásicos (900 - 1520) en Teotihuacan, Acolhuacan y en Tecaxic-Calixtlahuaca, mientras que en el sur se han documentado sistemas del Preclásico en los valles de Tehuacán y Oaxaca (a las que Donkin, 1979, asigna una antigüedad de 200 a.C.) y en Monte Negro en la Mixteca Alta (Rojas Rabiela, 2001).

Según Donkin (1979), son la efectividad y el sencillo método de configuración de las terrazas transversales al cauce lo que las hace probablemente la forma más antigua de construcción de terrazas. Lo esencial de su funcionamiento es que se trata de sistemas a través de los que se controla el agua, se conserva el suelo y se mejora la tierra (Doolittle, 2010). Mediante los bordos que se colocan a lo largo del cauce se disipa la energía del agua y se propicia que el escurrimiento se disperse de manera uniforme sobre la superficie. Al disminuir la velocidad del agua, los sedimentos se depositan tras los bordos, lo que a un tiempo nivela la superficie y aumenta la profundidad del suelo (Doolittle, 2010).

Probablemente, la prueba de que se trate del método más temprano de edificación de terrazas agrícolas es el hecho de que poseen una amplia distribución en el continente americano, además de que se asocian a diversos grupos culturales en épocas remotas

² En la Mixteca Alta este tipo de terraza es denominada localmente como camellón, arenal o jolla. El término lama-bordo fue propuesto de manera provisional por Ronald Spores en 1969 para hacer referencia explícita a la conformación de este tipo de estructuras; la lama o suelo que se acumula detrás de una barrera o bordo (Spores, comunicación personal 2016). Sin embargo, el vocablo fue adoptado rápidamente en posteriores investigaciones hasta ser empleado formalmente en los trabajos sobre la agricultura en terrazas en la Mixteca. Por tal razón, en la presente investigación se retoma el término más popular desde el punto de vista académico, sin perder de vista la pluralidad de términos locales que existen para denominar a estas terrazas.

(Whitmore & Turner, 2001). Por ejemplo, se han identificado sistemas de terrazas transversales al cauce en el suroeste de los EE. UU., noroeste, centro y sur de México, Guatemala, Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Chile y Argentina (Donkin, 1979).

En México, West (1970) y Wilken (1987) reportan este tipo de terrazas desde el occidente de Chihuahua hasta Chiapas e indican que el mayor número de evidencias se encuentran en la Sierra Ajusco en la cuenca de México, Cholula, norte de Tlaxcala (Borejsza, 2013) y Morelos, Sayula y oeste del lago de Chapala en Jalisco, en la Mixteca, Valle de Tehuacán, en la cuenca del río Balsas y en las costas de Michoacán, Guerrero y Oaxaca, en el centro y sur de las Montañas Mayas, en San Cristóbal de las Casas, Comitán y Tenam Puente en Chiapas, y en el Petén central en Guatemala.

Al sureste de México; en el centro de la región Mixteca, este tipo de terrazas están estrechamente relacionadas con el desarrollo cultural del grupo Mixteco en la época Prehispánica. Se trata de sistemas implementados desde la época Preclásica, pero no es sino hasta el siglo XVII que se recogen los primeros testimonios escritos sobre su existencia. Es Francisco de Burgoa quien en 1647 refiriéndose a éstos como camellones, expresa lo siguiente:

"Por la parte norte una serranía tan espesa de arbolada que ni cazadores la trajinan hoy, y todos los montes y barrancas están hoy señalados de camellones de arriba abajo, como escalones guarnecidos de piedras, que eran las medidas que daban los señores a los soldados y plebeyos, para la siembra de semillas, conforme la familia de cada uno y desde hasta hoy seguidos los camellones, [...] y cultivaban y labraban los riscos para sembrar y coger las semillas de que se mantenían ..." (Burgoa, 1674:Vol. 2:275).

Sin embargo, es hasta los primeros años de la segunda mitad del siglo XX que se realizan investigaciones que abordan directamente las características de esta técnica agrícola. Trabajos como los de Spores (1969), Kirkby (1972), A. V Kirkby (1973), Flannery & Marcus (2003), Pérez Rodríguez (2006), Mullen (2013) y Kowalewski *et al.* (2017) han desarrollado las ideas en torno a su funcionamiento y su relación con el desarrollo de la cultura Mixteca, cómo una técnica de manejo de los recursos hídricos (Flannery, 2003; A. V Kirkby, 1973) así

como la relación que guardaron con la organización social del grupo Mixteco (Kowalewski *et al.*, 2017; Mullen, 2013; Pérez Rodríguez, 2006).

Respecto al momento preciso en que por primera vez se implementó esta técnica en la región existen diversos puntos de vista. Por un lado, Donkin (1979), Rojas Rabiela (1985), Spores (1969) y Terraciano (2013) manifiestan que lo más probable es que haya surgido en el Preclásico, varios siglos antes de la época cristiana.

El argumento en el que se basan es que se trata de sistemas intensivos que requieren de una sólida organización social para su construcción y mantenimiento (Rojas Rabiela, 1985). Estas condiciones se reconocen en estos valles hacia los últimos años de la etapa Formativa Terminal, en la fase Cruz Tardía, entre los años 300 y 200 a.C. (Spores, 1969). Por esta razón los autores antes citados coinciden en que el origen de la técnica se sitúa aproximadamente hacia el año 300 a.C., información que coincide con las edades radiocarbono reportadas por Rincón Mautner (1999) en antiguos lamabordos en el Valle del río Culebra en Coixtlahuaca.

Por otro lado, Mueller *et al.* (2012) y Leigh *et al.* (2013) manifiestan que los ejemplares más antiguos de este tipo de terrazas poseen una edad del orden de entre 3000 (Mueller *et al.*, 2012) y 3400 años de antigüedad (Leigh *et al.*, 2013). Tales edades fueron obtenidas mediante dataciones con radiocarbono en lamabordos localizados en afluentes de los valles de Yucuita y Coixtlahuaca respectivamente.

Sin embargo, los mismos Mueller *et al.* (2012) señalan que no reconocieron asentamientos o restos cerámicos de la Fase Cruz Temprana asociados a los lamabordos por ellos datados, por lo que es complicado tratar de relacionar su contemporaneidad con sitios de la etapa Formativa en el valle. A este respecto, Spores (comunicación personal, 11 de marzo de 2017) comenta que es poco probable que la técnica se remonte a más de un milenio antes de la era cristiana, puesto que en ese periodo la densidad demográfica y la organización social y política del grupo estaban lejos de demandar la implementación de una técnica con las características y requerimientos de las terrazas de tipo lamabordo.

Si bien los métodos de datación radiométrica empleados por Mueller *et al.* (2012) y Leigh *et al.* (2013) poseen un margen de error mínimo que respalda las edades que ellos

proponen, también es importante tener en cuenta los argumentos que sostiene Spores (2017), dado que parten de las ideas que contemplan el desarrollo de la agricultura y la civilización en las sociedades prehispánicas en Mesoamérica como un proceso conjunto.

Por otro lado, Kowalewski *et al.* (2017) respaldan la idea de que el origen de estas terrazas puede encontrarse a finales del Formativo Temprano (1500 a.C.) y proponen que al implicar las labores de construcción y mantenimiento de estas terrazas la cooperación de pequeños grupos familiares, esta técnica pudo ser el resultado de la transformación de la organización social en la revolución neolítica. Argumentan que el surgimiento de esta técnica no fue el resultado de la presión demográfica después un largo periodo de agricultura extensiva, sino que fue una estrategia a través de la cual los seres humanos se adaptaron a las condiciones ambientales del territorio y una solución para enfrentar el riesgo de pérdida de sus cultivos. En consecuencia, se lograron altos rendimientos agrícolas que desencadenaron finalmente en un aumento de la fuerza de trabajo para laborar la tierra.

Ambas propuestas esgrimen sólidos argumentos relativos a la importancia de esta técnica agrícola en Mesoamérica y ponen en evidencia la complejidad de la interacción del grupo Mixteco con su medio, y de corroborarse la información propuesta por Leigh *et al.* (2013) y Kowalewski *et al.* (2017) en otras terrazas en la región, las terrazas de tipo lamabordos figurarían como las más antiguas de la región mesoamericana.

El punto en el que todos coinciden es que en el periodo Posclásico (1000 - 1520) cuando esta tecnología se implementa de manera sistemática en prácticamente toda la región Mixteca, siendo la Mixteca Alta el área en la que se origina y desde la que se difunde hacia otros territorios como una estrategia para responder a las demandas demográficas del grupo Mixteco en este periodo.

Spores (1969) apunta que en un primer momento a través de esta técnica se atrapaba el agua y el suelo que era erosionado de manera natural de las laderas de los cerros en época de lluvias. Pero que más adelante la necesidad de tierras de cultivo fue tal que los mixtecos comenzaron a favorecer intencionalmente la erosión; y con miras a configurar sistemas de lamabordos de manera más rápida, los habitantes se dieron a la tarea de retirar la capa de

caliche que protegía a un tipo de roca sumamente deleznable para aumentar la producción de coluvión con el cual configurar más terrazas transversales al cauce. Como evidencia de lo anterior Spores (1969) señala la presencia de horizontes aluviales de espesor considerable con abundantes fragmentos de cerámica de la Fase Natividad (1000 - 1520 d.C.) en todas las áreas de ocupación intensiva en el Valle de Nochixtlán, el espesor de los depósitos los asocia con pulsos en la producción de sedimentos consecuencia de dicha "erosión intencional" (Spores, 1969: 563)

Esa roca altamente deleznable es conocida como Capas Yanhuitlán (M. Kirkby, 1972) o Formación Yanhuitlán (Ferrusquía-Villafranca, 1976) y dado que es un material poco consolidado, M. Kirkby (1972) asocia directamente la construcción de las primeras terrazas transversales al cauce en el Valle de Nochixtlán con la presencia de esta roca.

El método de construcción de estas terrazas abarca tres etapas. Primero se obstruyen los cauces con ramas y hojarasca para retener el coluvión que es erosionado de las laderas en temporada de lluvias. Después de que se acumula suelo tras esta barrera se procede a colocar enfrente piedras sin ninguna argamasa hasta conformar un muro. Este primer bordo es de poca altura; de entre 30 y 50 cm, y es completamente vertical puesto que guarda un ángulo recto respecto al fondo del cauce (Pérez Rodríguez & Anderson, 2013).

De manera posterior se colocan más piedras frente al muro para configurar la base de la terraza, y en la medida en que se acumula más coluvión se apilan más piedras en la parte superior, lo que hace crecer verticalmente la terraza. Al mismo tiempo se hace retroceder el límite superior hacia el interior de la terraza para conformar un talud o muro inclinado (Pérez Rodríguez, 2016; Pérez Rodríguez & Anderson, 2013).

De acuerdo con testimonios de miembros de las agencias de Río Blanco del municipio de Santo Domingo Tonaltepec y Guadalupe Gavillera, perteneciente a San Bartolo Soyaltepec³, los diques se levantan de manera simultánea a lo largo de una barranca, ya que de lo

³ Información aportada por Jorge Rodríguez, Yadira Jiménez y Ofelia Reyes durante trabajo de campo. Junio de 2016.

contrario la fuerza del agua en época de lluvias destruye un bordo construido de manera aislada.

Las dimensiones de los diques de este tipo de terrazas son de entre uno y cuatro metros de alto por 10 a 20 m de largo (Spores, 1969) y alcanzan a configurar sistemas integrados por una sucesión de terrazas de hasta cuatro kilómetros de largo (Pérez Rodríguez, 2006).

La anterior sólo es una descripción generalizada del método de construcción de algunos sistemas de lamabordos, ya que cada uno de éstos posee una configuración particular que responde principalmente a las características del cauce en el que se edifica, en términos de su geometría, pendiente y dimensiones. Además, algunos sistemas cuentan con canales de riego que corren a lo largo del mismo en uno o en ambos márgenes de las terrazas, mientras que en otros este elemento no se reconoce.

Por otro lado, no sólo existen terrazas transversales al cauce construidas con muros de piedra, también las hay conformadas por setos vivos de árboles frutales y, las más contemporáneas, con diques de piedra y cemento.

Cabe resaltar la relevancia del estudio de estas terrazas desde diversos puntos de vista, puesto que se encuentran ligadas al desarrollo del grupo mixteco desde época prehispánica y hasta la actualidad. Lo que representa un reto considerable ya que las transformaciones culturales y sociales a las que han estado sujetos los mixtecos a lo largo de la historia también se han reflejado en cómo trabajan la tierra, particularmente en este tipo de terrazas.

Capítulo 2. Funcionamiento y dinámica geomorfológica de las terrazas agrícolas

El estudio de las terrazas como un elemento a través del cual los seres humanos han realizado la agricultura y transformado el paisaje, se ha llevado a cabo desde diversos enfoques. Para los fines de esta investigación se tomó en cuenta aquellos trabajos que se centran en abordar las características de los suelos y las modificaciones geomorfológicas derivadas de su abandono y falta de mantenimiento.

Por miles de años los seres humanos han diseñado terrazas en diferentes ambientes y con muy diversos propósitos tales como la mitigación de inundaciones, reducción de la erosión del suelo y conservación de la humedad (Wei *et al.*, 2016). En función de distintos puntos de vista se han establecido diferentes clasificaciones de terrazas que tienen en cuenta su estructura y apariencia, los materiales con que se construyen, su antigüedad, finalidad y tipo de cultivo, o su posición en el relieve (Wei *et al.*, 2016).

El principio básico detrás del funcionamiento de las terrazas es el manejo de la escorrentía y de la producción de sedimentos de las laderas o de las corrientes superficiales (Bocco Verdinielli & Napoletano, 2017). Al reducir la inclinación de la ladera dividiéndola en secciones más cortas y con pendientes más suaves las terrazas modifican el movimiento del agua a través del suelo, lo que influye en el crecimiento de las plantas y en el funcionamiento de los ciclos biogeoquímicos, lo que finalmente se traduce en la mejora de servicios ecosistémicos (Wei *et al.*, 2016).

Las terrazas juegan un papel clave en la conservación del agua ya que al modificar la topografía de la ladera se, conforman a lo largo de ésta, microcuencas que modifican la dispersión de la escorrentía superficial y la concentran en las terrazas, favoreciendo su infiltración (Wei *et al.*, 2016), razón por la que Paz-Kagan *et al.* (2017) las han denominado cómo "sistemas para la cosecha de la escorrentía" o *Runoff-harvesting systems* (RHSs).

Este tipo de estructuras ayudan a controlar la erosión puesto que al modificar la pendiente y la forma de la ladera reducen la velocidad y el flujo del agua, lo que disminuye la erosividad de la lluvia y la escorrentía superficial. Al conservar el agua de lluvia aumentan la humedad

en el suelo, lo que repercute en la disponibilidad de nutrientes y la productividad de la tierra. Se beneficia el crecimiento de las plantas y el desarrollo de una cubierta vegetal más densa que protege al suelo del impacto de las gotas de lluvia, lo que mitiga los efectos de la erosión laminar y en surcos (Wei *et al.*, 2016).

Mejoran igualmente la fertilidad del suelo y su productividad ya que, además de capturar sedimentos y concentrar la escorrentía en las terrazas, se acumulan los nutrientes provenientes de las partes más altas, por lo que en ellas el contenido de materia orgánica, N, P y K es superior a cualquier otra parte de la cuenca. Al estar disueltos en agua los nutrientes se encuentran disponibles para el aprovechamiento de las plantas, lo que se traduce en una mejor calidad de sitio y una mayor productividad primaria, situación que amplifica la fertilidad de la cuenca y mejora sus servicios ecosistémicos (Paz Kagan *et al.*, 2017; Wei *et al.*, 2016). Es por lo anterior que Paz Kagan *et al.* (2017) denominan a estos espacios como "islas fértiles" y remarcan su importancia como una técnica esencial para el mantenimiento de los servicios ecosistémicos de la cuenca.

Las terrazas juegan un papel importante en la restauración vegetal y aumento de la biodiversidad al reconstruir y mejorar algunos hábitats ya que en regiones en donde la precipitación es escasa contribuyen a disminuir la mortalidad de las plántulas y ayudan a su crecimiento gracias a la disponibilidad de agua y nutrientes (Wei *et al.*, 2016).

Las terrazas también representan una estrategia para garantizar la seguridad alimentaria en regiones en las que el agua es escasa o en las que la erosión de los suelos es acelerada, ya que éstas mitigan los efectos de las sequías al conservar la humedad y al acumular nutrientes para los cultivos, lo que incrementa su potencial productividad (Wei *et al.*, 2016). Además, en regiones como América Latina representan una estrategia de adaptación al cambio climático ya que estas estructuras han sido desarrolladas a partir del conocimiento de las condiciones locales de la variabilidad climática para disminuir el potencial riesgo de pérdida de las cosechas (Bocco Verdinielli & Napoletano, 2017).

Así mismo, las terrazas no sólo cumplen una función dentro de un ecosistema, sino que en algunas áreas los paisajes aterrazados pueden ser considerados como un patrimonio

histórico que provee de valores estéticos y culturales a un territorio (Tarolli *et al.*, 2014). Tales valores son consecuencia de los procesos de modificación y adaptación efectuados por los seres humanos y que en estos paisajes expresan la relación entre los seres humanos y el ambiente (Wei *et al.*, 2016).

Ahora bien, las terrazas además de conformar relieves antrópicos configuran nuevos materiales y superficies para la pedogénesis (Schaetzl & Anderson, 2005). Desde el punto de vista edáfico, los suelos resultado de estas modificaciones son denominados antrosoles (Woods, 2003). Dichas modificaciones comprenden no sólo la modificación de la forma del relieve, sino que contemplan la conformación de nuevos horizontes de suelo, el aporte de nuevos materiales parentales, disturbios superficiales o a profundidad en el perfil, entre otros (Dudal, 2004).

Dentro del sistema de clasificación de suelo de la *World Reference Base for Soil* se identifican varios horizontes de diagnóstico para aquellos suelos influenciados por la actividad humana (Capra *et al.*, 2015; Certini & Scalenghe, 2011). A tal conjunto de prácticas Dazzi & Lo Papa (2015) las han denominado antrosolización, término que representa un conjunto de procesos relacionados con las alteraciones en el suelo y la modificación de los procesos geomorfológicos por las actividades humanas.

Schaetzl & Anderson (2005) enlistan las modificaciones en el suelo ocasionadas por las actividades humanas (cuadro 2) y de todas éstas son de particular interés aquellas relacionadas con la manipulación de las características topográficas, dentro de las que se contemplan la construcción de terrazas y nivelación de la superficie. Los procesos observados en el suelo asociados a éstas son la disminución de la erosión, incremento en el contenido de materia orgánica, rejuvenecimiento de los procesos pedogenéticos, y alteración de las diferencias a lo largo de una catena en la ladera.

Cuadro 2. Modificaciones en el suelo derivadas de la actividad humana

Manipulación	Procesos observados en el suelo
<i>De las características topográficas:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Construcción de terrazas o nivelación del terreno • Represamiento • Drenado de humedales y minería 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de la erosión, mayor contenido de humus, rejuvenecimiento de la evolución de los procesos pedogenéticos, alteración de la catena de suelo en las laderas • Suspensión de sedimentación, ascenso del nivel freático, acumulación de sales • Subsistencia de la superficie, hundimientos
<i>De factores hidrológicos:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Drenado y descenso del nivel freático. • Inundación de cultivos • Cambios en el ciclo hidrológico por irrigación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Procesos de oxidación, formación de estructura, cambios en la permeabilidad, cambio del régimen de humedad, alteración de la saturación de bases, lixiviación de carbonatos • Régimen hydromórfico, reducción de la oxidación, gleización • Potencial incremento de lixiviación y translocación, acumulación adicional de sales solubles
<i>De factores químicos:</i>	
Irrigación con agua sódica.	<ul style="list-style-type: none"> • Adsorción de sodio, degradación de la estructura, decremento de la permeabilidad.
<i>Del uso de suelo:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Deforestación y arado en áreas templadas. • Deforestación y agricultura migratoria en áreas tropicales • Sobrepastoreo 	<ul style="list-style-type: none"> • Mezcla de los horizontes superficiales, cambio en el pH • Erosión y deshidratación de óxidos de hierro • Erosión de los horizontes superficiales y reducción de la infiltración

Fuente: modificado de Schaetzl & Anderson, 2005.

La principal finalidad de la configuración de terrazas agrícolas es proveer condiciones para el mantenimiento de humedad, así como el continuo abastecimiento de nutrientes para el crecimiento de los cultivos. Aunque como Stanchi *et al.* (2012) señalan, las características físicas y químicas de sus suelos dependen del material parental, clima, vegetación y el manejo que de éstos se haga, es posible identificar rasgos comunes en los perfiles de estas estructuras, como mezcla de materiales y artefactos resultado de la adición de desechos domésticos como cerámica, cenizas y lascas de obsidiana (Córdova & Parsons, 1997),

horizontes superficiales de espesor considerable, altos contenidos de materia orgánica, presencia de suelos sepultados (Stanchi *et al.*, 2012), así como texturas con predominancia de la fracción limosa (van Asperen *et al.*, 2014). Seeger & Ries (2008) también reportan condiciones hidromórficas en sectores de las terrazas en los que la saturación del suelo ocurre durante largos periodos de tiempo.

En cuanto al comportamiento hidrológico de sus suelos, éste es distinto a lo largo de la terraza puesto que las condiciones de saturación se alcanzan más pronto en la parte interna de la terraza lo que provoca una respuesta hidrológica rápida que puede derivar en flujos de saturación. Por otro lado, en las partes externas de la terraza las altas tasas de infiltración también pueden generar flujos subsuperficiales (Arnáez *et al.*, 2015).

Ahora bien, una de las principales causas de la degradación de este tipo de estructuras es el cambio de las actividades humanas en territorios en los que históricamente se han empleado terrazas agrícolas. Su deterioro es resultado de una compleja interacción de procesos físicos, económicos y sociales que conducen en último punto a su abandono y degradación (Inbar & Llerena, 2000).

Encontrar las razones por las cuales se abandonan estas estructuras es una tarea complicada, especialmente cuando esto ocurrió en época prehispánica, en cuyo caso tales condiciones generalmente son atribuidas a cambios en las condiciones climáticas (Bocco Verdinielli & Napoletano, 2017). Después de la conquista europea el abandono es adjudicado al descenso y reubicación de la población indígena (Bocco Verdinielli & Napoletano, 2017). En épocas recientes, dicha situación está relacionada con factores socioeconómicos en los que las migraciones campo-ciudad y la ausencia de apoyos económicos imponen grandes limitaciones para la agricultura tradicional (Bocco Verdinielli & Napoletano, 2017). Este abandono tiene como resultado no sólo la pérdida progresiva de superficie cultivable sino del patrimonio cultural e histórico asociado, así como de los elementos tradicionales que han caracterizado el paisaje de estas regiones (Preti *et al.*, 2018; Tarolli, 2018).

Una vez que las terrazas son abandonadas y dejan de cumplir sus funciones, algunas de las características esbozadas por Stanchi *et al.* (2012) y van Asperen *et al.* (2014) se invierten. Trabajos como los de Sandor *et al.* (1986a, 1986b, 1986c, 1990) desarrollados en terrazas agrícolas que datan de los años 1000 a 1500 en depósitos volcánicos en Nuevo México, evidencian desarrollo de estructura angular en bloques a masiva y compactación del suelo, colores claros asociados a la pérdida de materia orgánica, y una baja disponibilidad de nutrientes. Si además de las condiciones anteriores, se trata de suelos constituidos a partir de materiales limosos que carecen de una cubierta vegetal, las terrazas son más susceptibles a la erosión (Cerdà Bolinches, 1994; Inbar & Llerena, 2000).

García Ruiz & Lana Renault (2011) reportan cementación en el suelo de las terrazas resultado del sellado de la superficie por efecto del *splash* de la lluvia y la deposición de partículas finas que conforman una capa impermeable, así como por la disolución y precipitación de carbonatos de calcio, que asociados con altas tasas de evaporación, contribuyen al incremento del espesor y la cohesión de la capa cementada. La formación de una capa superficial endurecida en la terraza reduce la infiltración y aumenta la producción de sedimento (Arnáez *et al.*, 2015), si esta capa se encuentra a profundidad modifica la infiltración del agua provocando la formación de flujos subsuperficiales preferenciales (Preti, Guastini, *et al.*, 2018).

Otro proceso ligado al desalojo de materiales en estas estructuras es el rompimiento de los muros y la formación de cárcavas. Las razones por las que colapsa un muro son múltiples, pero se relacionan principalmente con la cohesión y cambio de volumen del suelo y con las fuerzas de tensión que se generan en el muro de la terraza (Arnáez *et al.*, 2015; Caneva *et al.*, 2009; Pallares Bou, 1994; Preti *et al.*, 2018). Las fuerzas que desestabilizan la terraza son, por un lado, las que por sí mismo ejerce el suelo no saturado y que varía en función del contenido y la capacidad de retención de agua de éste, y por el otro, la presión hidrostática generada por la acumulación de una columna de agua detrás del muro de la terraza que induce a su abultamiento e inestabilidad (Preti, Guastini, *et al.*, 2018; Preti, Errico, *et al.*, 2018)

Dependiendo de la textura del suelo y de la presencia de arcillas 2:1, ocurren procesos de expansión-contracción que alteran su volumen entre periodos húmedos y secos y es esta deformación la que contribuye a agrandar las grietas de desecación en el suelo que favorecen la rápida infiltración del agua, así como la formación de flujos subsuperficiales (Preti, Guastini, *et al.*, 2018; Arnáez *et al.*, 2015; Romero Díaz *et al.*, 2007), que más adelante pueden ocasionar asentamientos de terreno y desarrollo de socavones (Pallares Bou, 1994).

Cuando la tasa de infiltración en las terrazas es alta, el agua puede llegar rápidamente a la superficie original de la ladera o a un horizonte menos permeable, lo que favorece que ésta se comporte como un flujo subsuperficial y se acumule detrás del muro de la terraza, lo que incrementa el peso y la presión de los materiales sobre éste (Arnáez *et al.*, 2015).

En el momento en que la capacidad de campo del suelo es excedida el agua comienza a fluir hacia el muro de la terraza siguiendo la morfología del terreno como un escurrimiento superficial o como un flujo subsuperficial. O llega a filtrarse hasta las capas más profundas y se almacena conformando un nivel freático en la terraza. El tiempo que el líquido permanece en la terraza depende de la cantidad de agua y de la permeabilidad del muro; sin embargo, la columna de agua tras el muro de la terraza ejerce cierta presión que puede deformarlo y desencadenar su colapso (Preti, Errico, *et al.*, 2018).

Además de las fuerzas de tensión ya mencionadas por Arnáez *et al.* (2015) y Preti *et al.* (2018), Caneva *et al.* (2009) señala que la vegetación ejerce cierta influencia en la inestabilidad de los muros y su posterior rompimiento, ya que los taludes generalmente son contruidos con piedras sueltas de diferentes tamaños lo que ocasiona la formación de huecos entre una roca y otra. En estos espacios usualmente crecen plantas que con sus raíces ejercen presión entre los bloques y generan reacciones químicas que aceleran la degradación de las rocas, contribuyendo a la desestabilización de los muros.

Por otro lado, el abandono de la terraza también implica el abandono de los sistemas de drenaje contribuyendo al aumento de la escorrentía y de su capacidad erosiva (Arnáez *et al.*, 2015), lo que aunado al colapso de los muros y a movimientos en masa, dan paso a la formación de cárcavas. De acuerdo son Cyffka & Bock (2008), las cárcavas se desarrollan en

las terrazas de la siguiente manera: 1) después del abandono de la terraza, 2) ésta se daña y se forman huecos en su muro por falta de mantenimiento, 3) el suelo de la terraza es erosionado gradualmente y desplazado hacia la siguiente estructura, 4) las dimensiones de los huecos aumentan y pasan a formar una cárcava, 5) ésta se conecta con otra, lo que aumenta su capacidad erosiva, 6) la cárcava se extiende hacia otras terrazas y 7) de esta manera toda la ladera experimenta un daño general.

Por otro lado, resultado de la desintegración de las terrazas por el colapso de sus muros y la erosión acelerada de sus suelos se produce un pulso en la producción de sedimentos que se ve reflejada en las partes bajas de la cuenca (Borejsza *et al.*, 2008).

Otro problema en las terrazas abandonadas es la creación de túneles que conectan la escorrentía subsuperficial (Romero Díaz *et al.*, 2007), su formación se relaciona con las características químicas y físicas de los suelos así como las dimensiones de la terraza. Altos porcentajes de sodio favorecen la dispersión-defloculación de las partículas de suelo, lo que aunado a escasos contenidos de materia orgánica ocasionan la pérdida de estructura, que puede derivar en la formación de una capa cementada debajo de la cual se desencadenan procesos de tunelamiento. Por otro lado, la diferencia de altura entre el nivel de una terraza y el de otra influye en la profundidad a la que desarrolla este proceso. En muchos casos estos rasgos llegan a conformar patrones lineales o interconectados que generan una nueva red de drenaje dentro de las terrazas (Romero Díaz *et al.*, 2007).

Otros factor que condiciona la severidad de la erosión en terrazas abandonadas es el tiempo transcurrido después del abandono, ya que comúnmente se observan altas tasas de erosión en los primeros años de abandono por la ausencia o escasa presencia de una cubierta vegetal (Arnáez *et al.*, 2015). A este respecto, Brandolini *et al.* (2018) reportan que en terrazas abandonadas en un periodo inferior a 25-30 años se observan tasas de erosión dos o tres veces mayores que aquellas en las que ha transcurrido más tiempo.

Sin embargo, como Arnáez *et al.* (2011), y Homburg & Sandor (2011) advierten, los efectos del abandono de estas antiguas estructuras pueden ser variados, y van desde la degradación hasta la mejora de la calidad del suelo. Lo anterior responde a factores como las condiciones

iniciales del ecosistema, los métodos agrícolas empleados, la combinación de cultivos y la intensidad con la que se hayan efectuado, así como la "sensibilidad" ambiental de la zona y el tiempo de abandono. Si estas superficies son recolonizadas por vegetación secundaria, se modifican las tasas de infiltración, disminuye el escurrimiento superficial y subsuperficial así como la erosión del suelo y el transporte de sedimentos (García Ruiz & Lana Renault, 2011).

Capítulo 3. Condiciones ambientales de la cuenca alta del río Yanhuatlán

La zona de estudio comprende un área de aproximadamente 63 km² del sector norte de la Mixteca Alta en el estado de Oaxaca (fig. 3.1). Se trata de parte de la cuenca alta del río Yanhuatlán o Negro dentro de la cuenca del Río Verde, y en menor medida de las cuencas altas de los ríos Atoyac y Papaloapan.

Administrativamente, la zona de estudio comprende una porción de los municipios de Santo Domingo Yanhuatlán y Santo Domingo Tonaltepec del distrito de Nochixtlán, y de San Bartolo Soyaltepec y San Juan Teposcolula del distrito de Teposcolula (fig. 3.1). Y se encuentra dentro del territorio que comprende el Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta.

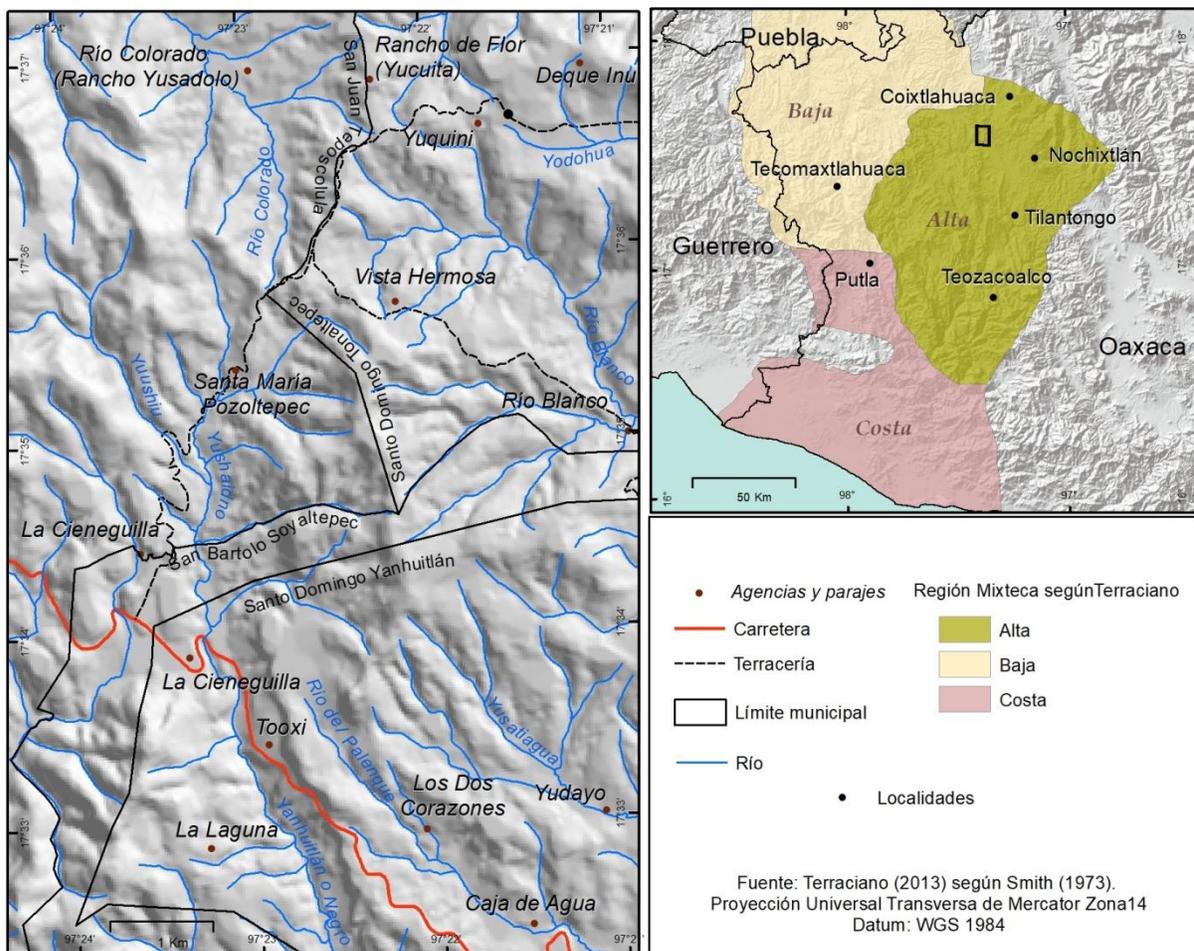


Figura 3.1. Localización de la cuenca alta del río Yanhuatlán o Negro.

3.1 Clima

Las condiciones climáticas en la cuenca alta del río Yanhuitlán o Negro son predominantemente templadas subhúmedas con lluvias en verano. Al norte se distribuye el subtipo Cw_0 y al sur poniente el Cw_1 , distinguiéndose ambos por el grado de humedad, siendo el primero el más seco de los templados y el segundo por presentar condiciones intermedias (Oropeza Orozco, Cram Heydrich, Vences Sánchez, Ortíz Pérez, & Hermann Lejarazu, 2016).

De acuerdo con información del Servicio Meteorológico Nacional (2016) de dos estaciones próximas a la zona de estudio, la temperatura anual oscila entre los 8 y los 17 °C, la época de lluvia va de mayo a octubre registrándose los picos más elevados de precipitación en los meses de junio y septiembre (fig. 3.2).

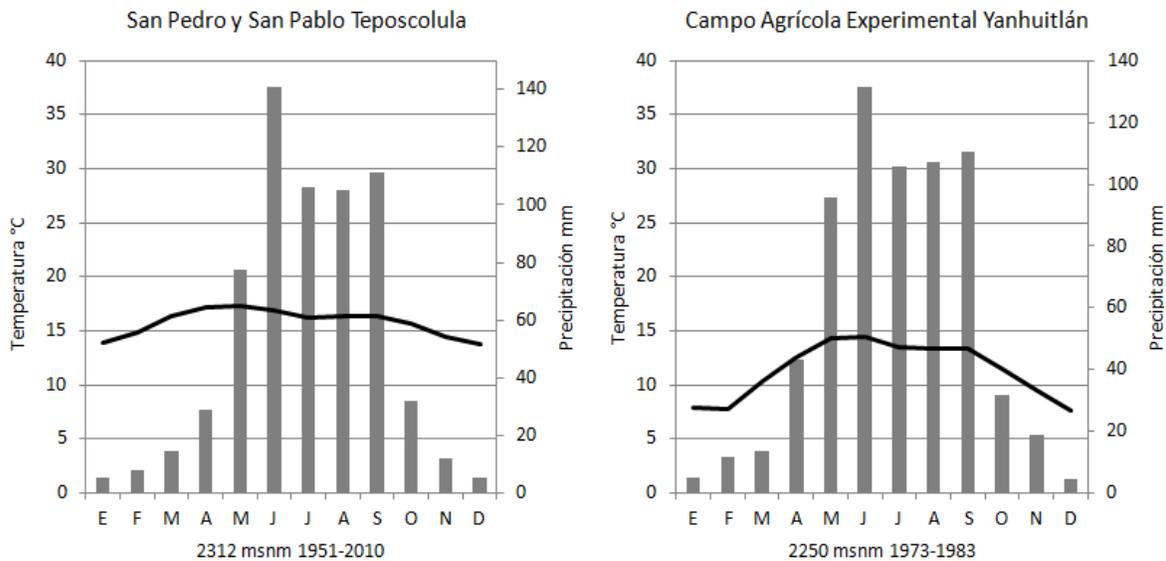


Figura 3.2. Climogramas de las estaciones meteorológicas de San Pedro y San Pablo Teposcolula y Campo Agrícola Experimental Yanhuitlán. Elaborado a partir de las normales climatológicas del SMN, 2016.

Las heladas y las sequías son los fenómenos atmosféricos que afectan principalmente a la zona, las primeras ocurren entre septiembre y marzo, y de acuerdo con los agricultores las sequías son cada vez más recurrentes (Oropeza Orozco *et al.*, 2016).

3.2 Geología

En cuanto al marco geológico, en la cuenca afloran rocas del Cenozoico como la Formación Yanhuitlán (Ya Paleoceno Tardío-Eoceno Medio), Toba Llano de Lobos (TL Oligoceno Tardío-Mioceno Temprano), Andesita Yucudaac (AY Oligoceno Tardío) y cuerpos hipabasales (HYP Eoceno Medio), así como depósitos aluviales del Cuaternario (Ferrusquía-Villafranca, 1976; Santamaría-Díaz, 2009) (fig. 3.3)

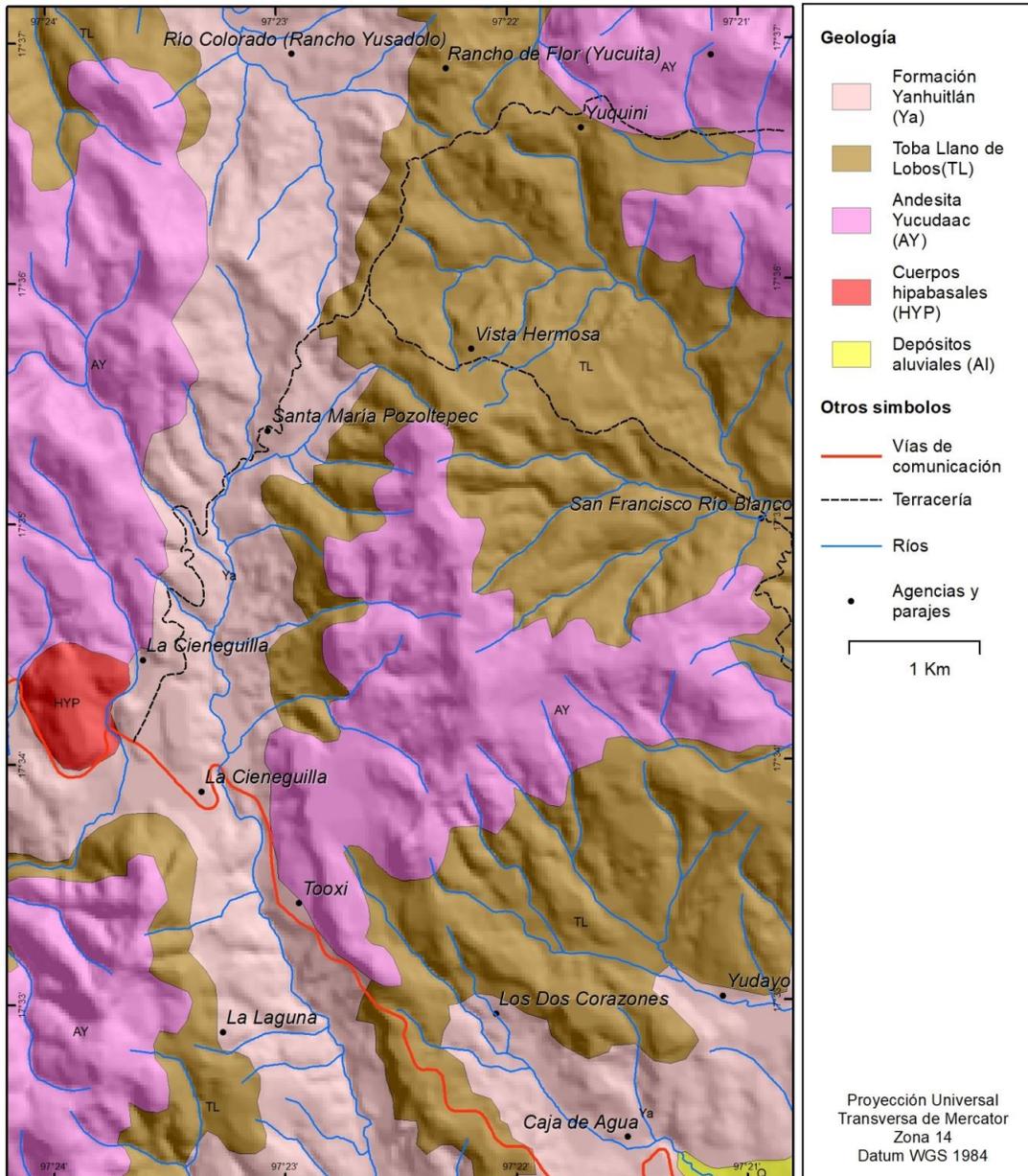


Figura 3.3 Mapa geológico de la cuenca alta del río Yanhuitlán o Negro. Elaborado con base en Oropeza Orozco *et al.*, 2016.

La Formación Yanhuitlán (Ya) es una secuencia de capas limo arcillosas poco litificadas de color rojizo que se intercalan con capas color crema de arenisca y ceniza volcánica del Paleoceno Tardío-Eoceno Medio (Sáenz Pita & López Palomino, 2008). El ambiente en que se depositaron se trató probablemente de la cuenca de un lago poco profundo en el que la oxidación subaérea favoreció la formación de las capas rojas, y episodios de inundación en los que se acumularon depósitos orgánicos que originaron las capas de color crema. Por otra parte, las cenizas denotan actividad volcánica durante el periodo de su formación. El espesor de la unidad oscila entre 300 y 600 metros (Ferrusquía-Villafranca, 1976; Sáenz Pita & López Palomino, 2008). En la zona de estudio la unidad se dispone en una franja norte-sur en la porción occidental principalmente, así como en el extremo sureste.

La Toba Llano de Lobos (TL) es una secuencia del Oligoceno Tardío-Mioceno Temprano de piroclastos de colores pálidos rosa, verde, gris y crema con intraestratificaciones de depósitos acuosos, posee un espesor de entre 300 y 350 metros (Ferrusquía-Villafranca, 1976). Esta unidad se distribuye principalmente al oriente de la zona de estudio tanto en el cuadrante norte como en el sur, y de manera aislada en los extremos noroccidente y sur occidente.

La Andesita Yucudaac (AY) es una unidad constituida por derrames lávicos de andesita de color gris oscuro del Oligoceno Tardío con un espesor aproximado de 500 metros (Santamaría-Díaz, 2009). Ésta se dispone coronando las estructuras más elevadas de la zona de estudio, tanto en la franja occidental como en la porción nororiente y en centro oriente.

Los cuerpos hipabisales (HYP) son rocas ígneas intrusivas del Eoceno Medio de composición andesítica que se emplazan en forma de diques o domos (Santamaría-Díaz, 2009). De acuerdo con el mapa, en la zona de estudio sólo aflora una de estas estructuras en la porción occidental del territorio. Sin embargo, en recorridos de campo, se ha observado que estos cuerpos poseen una distribución más amplia en el área, especialmente en el sector oriente.

Los depósitos aluviales (Al) se constituyen de grava no consolidada, limos y arcillas provenientes de las partes altas y medias de la cuenca que han sido transportados por las corrientes fluviales al fondo de los valles durante el Cuaternario, poseen un espesor de

entre 30 y 50 metros (Ferrusquía-Villafranca, 1976). En la zona de estudio sólo se expresa de manera ínfima en el extremo suroriente del área.

3.3 Suelos

La información disponible sobre los suelos en la zona de estudio, y en Oaxaca en general, es escasa, pero de acuerdo con el trabajo de Oropeza Orozco *et al.* (2016), en la mayor parte de la cuenca los suelos son someros puesto que su desarrollo se encuentra limitado por la presencia de roca continua (Leptosoles), o bien se trata de suelos jóvenes formados en materiales poco consolidados que muestran poco o ningún desarrollo del perfil (Regosoles).

Hacia las partes bajas de la cuenca los suelos son más arcillosos y presentan propiedades vérticas. Estos suelos en el valle se formaron a partir de depósitos aluviales de diferentes edades que fueron erosionados de las partes altas durante el Cuaternario, poseen horizontes superficiales con altos contenidos de arcilla y materia orgánica, así como neoformación de carbonato de calcio (Oropeza Orozco *et al.*, 2016).

3.4 Vegetación y uso de suelo

De acuerdo con Smith (1976 en Oropeza Orozco *et al.*, 2016) la vegetación original en la zona estaba constituida por bosques cerrados de encino y encino-pino, tanto en el valle como en las partes medias, mientras que en las partes más altas estos bosques eran más abiertos, y en las márgenes de los ríos se desarrollaban bosques riparios de sauces y alisos. Sin embargo, en la actualidad la vegetación natural es de tipo bosque de encino secundario, pastizal inducido, así como extensas áreas desprovistas de vegetación (Oropeza Orozco *et al.*, 2016).

Las especies más comunes dentro de la vegetación secundaria del bosque de encino son, en el estrato arbóreo *Quercus rugosa*, *Quercus castania*; en el estrato arbustivo, además de *Quercus* de talla inferior a los anteriores, *Arbutus spp.* (madroño), *Juniperus flaccida* (enebro o táscate), *Juniperus deppeana*, *Arctostaphylos pungens* (pingüica), *Rhus spp.* (zumaque), *Cercocarpus spp.*, *Condalia mexicana* (yunoyoco, espino, membrillo cimarrón), acacias y cactáceas (Oropeza Orozco *et al.*, 2016).

El pastizal inducido se localiza sobre suelos pobremente desarrollados, así como en terrenos agrícolas abandonados, asociado a éste crecen plantas herbáceas anuales como árnica, toronjil, anís, pericón y algunas cactáceas (Oropeza Orozco *et al.*, 2016).

En cuanto al uso de suelo, los principales son la agricultura de temporal y de riego, y las plantaciones forestales. La agricultura de temporal se desarrolla sobre todo en los valles de las corrientes superficiales (en lamabordos) así como en las márgenes de los valles de mayor tamaño, se practica el sistema de milpa y siembran junto con maíz cultivos de frijol, calabaza y haba. En la agricultura de riego; llevada a cabo en los valles más extensos, se siembra de manera tecnificada y con ayuda de fertilizantes cultivos como maíz, frijol, avena y cebada (Oropeza Orozco *et al.*, 2016).

Las plantaciones forestales se desarrollan por encima de los 2200 msnm en el noroeste de la cuenca, la reforestación de estas áreas dio inicio en 1993 con coníferas, particularmente *Pinus oaxacana*. Estos bosques son relativamente jóvenes y aunque abarcan áreas aisladas de poco tamaño, se han expandido gradualmente (Oropeza Orozco *et al.*, 2016).

3.5 Geomorfología

El relieve de la zona de estudio es mayoritariamente abrupto, en el que destacan las terrazas agrícolas como elementos que han reconfigurado significativamente las laderas de las montañas y el fondo de cauces de ríos y corrientes superficiales, pero a reserva de ahondar en su disposición y distribución más adelante, primero se representan y explican aquellas formas derivadas de la operación de procesos endógenos, así como del intemperismo y la erosión (fig. 3.4).

En la zona se reconocen tres grandes unidades geomorfológicas en función de la altitud, la pendiente y la geometría de las curvas de nivel. Éstas son la montaña, el piedemonte erosivo y la llanura aluvial, además de otros rasgos asociados a la operación de procesos erosivos, como la formación de barrancos y valles, campos de cárcavas o *badlands*, zonas de lavado laminar y en surcos, así como la formación de circos erosivos asociados al retroceso de la cabecera de las corrientes superficiales (fig. 3.4).

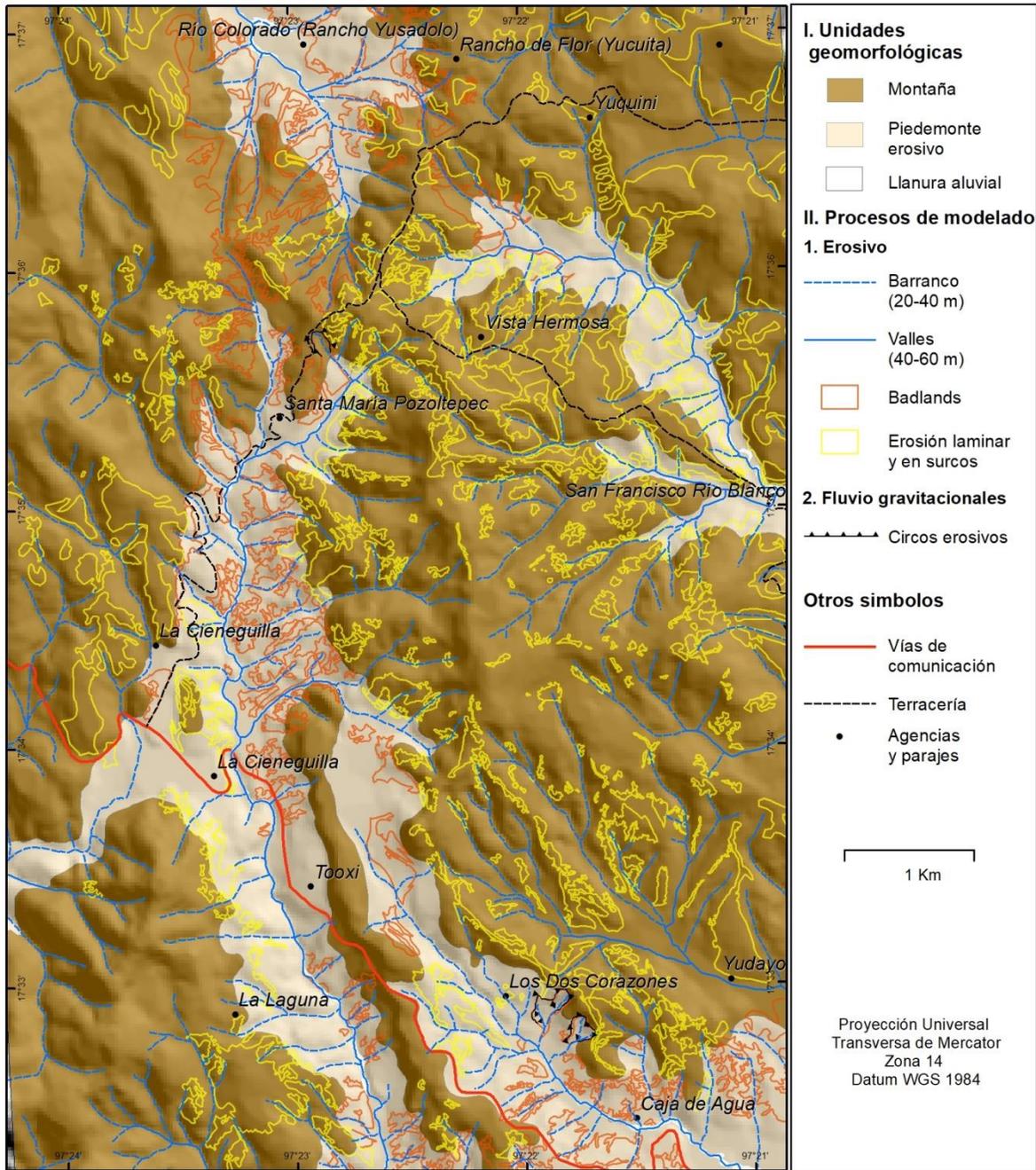


Figura 3.4 Mapa geomorfológico de la cuenca alta del río Yanhuitlán o Negro. Elaborado a partir de imágenes QuickBird (2011) y el MDE de INEGI (2013).

La montaña es la unidad que mayor área comprende en la zona de estudio al abarcar 45.57 km². De acuerdo con el mapa geológico (fig.3.3) el sustrato que la constituye son principalmente rocas volcánicas del Terciario como la Toba Llano de Lobos (TL) y la Andesita Yucudaac (AY). La altitud promedio en la unidad es de 2550 msnm, la mínima y la máxima

son 2240 y 2820 msnm respectivamente. La pendiente es abrupta y oscila entre los 30° y más de 70°. Es en esta área principalmente en la que se localizan los manchones de vegetación secundaria de bosques de *Quercus* y en la que se desarrollan las plantaciones forestales.

El piedemonte erosivo es una unidad marginal a la zona de montaña y es una zona de transición hacia la Llanura aluvial (fig. 3.5), se constituye principalmente por depósitos de la Formación Yanhuitlán en la porción oeste, Toba Llano de Lobos al noreste y por la Yanhuitlán, la Toba y la Andesita Yucudaac en el sureste. Abarca un área de 16.78 km². La pendiente en esta unidad es menor que en la anterior y comprende entre 3 y 14° de inclinación. La altura promedio es de 2350 msnm, siendo la máxima 2540 y la mínima 2160 msnm.



Figura 3.5 Vista aérea de las unidades geomorfológicas. 1 Montaña (constituida por andesitas y tobas), 2 Piedemonte erosivo (conformado por depósitos limo arcillosos), 3 Llanura aluvial. Foto: Gonzalo Martínez Fernández de Castro, camino de terracería a la agencia de Santa María Pozoltepec, San Juan Teposcolula Noviembre de 2016.

Morfogenéticamente la unidad de piedemonte fue conformada por procesos acumulativos, sin embargo, en la actualidad en esta unidad predominan los procesos de carácter erosivo, condición que es característica de ambientes áridos o con una marcada estacionalidad de la lluvia como en la zona de estudio. Condiciones morfodinámicas similares en piedemontes han sido reportadas por Bocco Verdinielli (1990) y Vázquez Selem & Zinck (1994) en donde se observa que entre el 10 y el 18% del área de superficies con una pendiente de entre 5 y 11% de inclinación se encuentran sujetas a procesos de erosión acelerada por efecto de campos de cárcavas.

La Llanura aluvial es la unidad de menor extensión en la zona, posee una pendiente de entre 0 y 3°; y comprende un área 0.74 km² con una altura promedio de 2320, máxima 2460 y mínima 2160 msnm. Es marginal al piedemonte erosivo y se emplaza en el fondo de los cauces y en época de lluvias se encuentra eventualmente ocupada por agua. Predominan en ésta los depósitos aluviales y en la actualidad posee una dinámica preferentemente erosiva que ha favorecido la incisión de los ríos. En esta unidad se emplaza la vegetación riparia.

Los procesos de modelado en la zona de estudio se clasifican en dos grupos, los erosivos y los fluvio-gravitacionales. Dentro de los erosivos se comprende la formación de barrancos, valles, así como las áreas afectadas por campos de cárcavas o *badlands* y por lavado laminar y en surcos. Dentro del grupo de los fluvio-gravitacionales figuran los circos o anfiteatros erosivos.

Los barrancos son depresiones en el terreno resultado de la erosión hídrica, que poseen una profundidad de disección de entre 20 y 40 metros. La siguiente etapa en el desarrollo de estas geoformas son la conformación de valles, los que poseen profundidades de entre 40 y 60 m. En el territorio éstos presentan un patrón de drenaje dendrítico.

Los *badlands* son extensos campos en los que la erosión en cárcavas es sumamente avanzada (fig. 3.6), en la zona de estudio este tipo de rasgos erosivos abarcan alrededor de 2.9 km², y se desarrollan principalmente sobre los depósitos de la Formación Yanhuitlán y coinciden en su mayoría con la unidad de piedemonte erosivo.

La erosión o lavado laminar remueve gradualmente partículas del tamaño de las arenas y los limos de la superficie, lo que ocasiona la pérdida gradual y no uniforme del suelo (fig. 3.7). Asociados a este proceso se reconocen rasgos de erosión en surcos que poseen una profundidad de algunas decenas de centímetros. La superficie afectada en la zona de estudio por estos procesos es mayor que la que comprenden los campos de *badlands*, abarca aproximadamente 6.5 km² y se localiza principalmente en la zona de montaña. En general, las áreas afectadas por este proceso son irregulares y discontinuas, pero en la porción occidental y nororiental comprenden superficies extensas y continuas.



Figura 3.6. Campos de cárcavas o *badlands* desarrollados en el piedemonte erosivo en la Formación Yanhuitlán, camino de terracería a la agencia de Santa María Pozoltepec, San Juan Teposcolula Noviembre de 2017.



Figura 3.7. Superficie moteada por erosión laminar en la montaña en la Toba Llano de Lobos, paraje Cerro del Sol, Santo Domingo Tonaltepec, Julio de 2015.

Dentro del grupo de los procesos fluvio-gravitacionales; asociados a la actividad erosiva y fluvial de las pequeñas escorrentías, se reconocen circos o anfiteatros erosivos, estos asemejan un medio círculo con laderas escarpadas en la cabecera de algunas corrientes. Se originan por desprendimientos y deslizamientos que hacen retroceder las cabeceras de las corrientes. En la zona de estudio se reconocen cinco estructuras de este tipo, en el sector sur oriente existen cuatro circos que en su desarrollo llegaron a coalescer asemejando un par de corazones (fig. 3.8). La otra estructura de este tipo se desarrolla al noreste de la agencia de Santa María Pozoltepec.



Figura 3.8 Coalescencia de cercos erosivos en el piedemonte erosivo en la Formación Yanhuitlán, paraje Dos Corazones, Santo Domingo Yanhuitlán, Noviembre 2015.

Dentro de las formas de relieve también se identificó aquellas estructuras derivadas de la actividad antrópica que ha alterado procesos de intemperismo, transporte y deposición. Tal es el caso de la construcción de terrazas de contorno y de tipo lamabordo (fig. 3.9) cuyo principal objetivo es el desarrollo de agricultura en superficies en las que sin intervención humana no podría efectuarse la actividad, razón por la que se ha modificado las laderas y el fondo de los cauces. Este tipo de estructuras son muy comunes no sólo en la zona de estudio sino en toda la región y tienen su origen en la época Prehispánica, momento de apogeo y esplendor del grupo Mixteco.

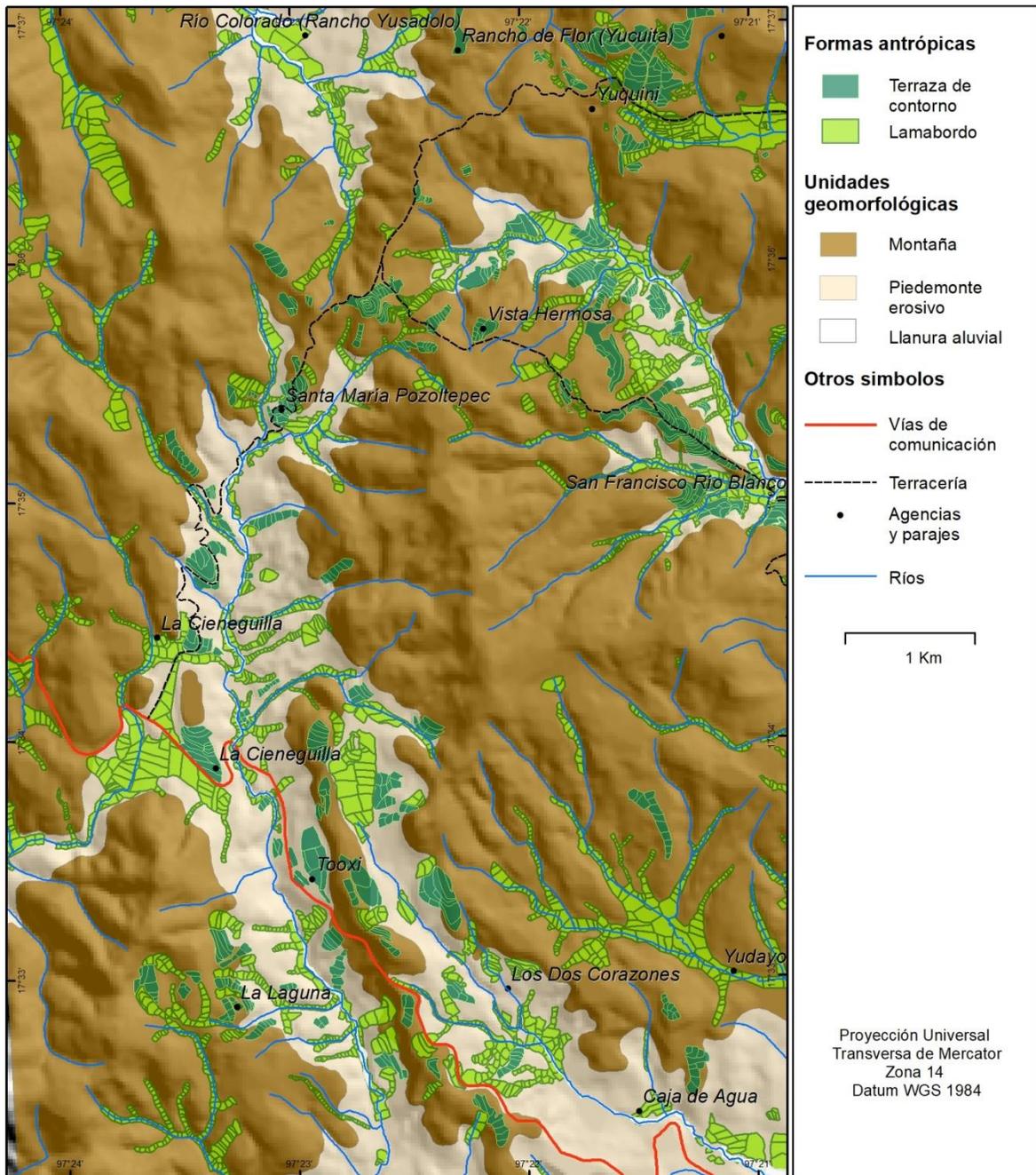


Figura 3.9 Mapa de terrazas agrícolas de contorno y lamabordo en la cuenca alta del río Negro o Yanhuitlán. Elaborado a partir de imágenes QuickBird (2011).

En el caso de las terrazas de contorno se trata de *metepantles*, bordos de piedra o setos vivos que son colocados en laderas de poca pendiente para conservar el suelo de éstas y poder cultivarlas (fig. 3.10). Los lamabordos o terrazas de fondo de valle, se construyen en los cauces para retener el coluvión de las laderas y aluvión de las corrientes hasta configurar

superficies de poca pendiente para el cultivo. La geometría de este tipo de terrazas depende de la morfología del cauce, por lo que en general poseen una forma que responde a las características de éste (fig. 12).



Figura 3.10 Vista en planta de terrazas de contorno (1) y de tipo lamabordo (2), Sistema Panteón, Santo Domingo Tonaltepec. Foto: Ricardo Garnica Peña, altura promedio del vuelo de dron: 80 m, Marzo de 2018.

Capítulo 4. Metodología

4.1 Trabajo de gabinete

4.1.1 Selección de la zona de estudio

Este trabajo de investigación forma parte de las actividades académicas desarrolladas alrededor del Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta, el cual está conformado por los municipios de San Andrés Sinaxtla, San Juan Teposcolula, San Bartolo Soyaltepec, San Juan Yucuita, San Pedro Topiltepec, Santa María Chachopán, Santiago Tillo, Santo Domingo Yanhuitlán y Santo Domingo Tonaltepec. Dentro de este territorio se eligió parte de la cuenca alta del río Yanhuitlán o Negro; que contempla una porción de los municipios de San Juan Teposcolula, San Bartolo Soyaltepec, Santo Domingo Yanhuitlán y Santo Domingo Tonaltepec, por poseer sistemas de lamabordos tanto antiguos como de construcción reciente, cuyos suelos están asociados a depósitos coluviales de distinto origen litológico.

4.1.2 Interpretación de imágenes de alta resolución y elaboración de cartografía geomorfológica

En 4 imágenes *QuickBird* de resolución 0.6 m obtenidas en 2011 se discriminó los principales rasgos geomorfológicos de la cuenca alta del río Yanhuitlán así como sistemas de terrazas agrícolas, tanto de contorno como de tipo lamabordo. En acetatos sobre un mapa a escala 1:10,000 se identificó las unidades mayores de relieve en función de la geometría de las curvas de nivel y pendiente. Los rasgos erosivos, como lavado laminar y erosión en cárcavas fueron delineados en función del tono y la textura de los elementos en las imágenes, las áreas irregulares de tonalidades color ocre con textura media se asociaron con zonas afectadas por erosión laminar, mientras que aquellas áreas de color rojizo y de textura gruesa, con campos de cárcavas. Por último se identificó las terrazas agrícolas de acuerdo con su geometría rectilínea y se distinguió entre aquellas de contorno de las de tipo lamabordo por su posición en el relieve.

Se escaneó la información vertida en los acetatos, se georeferenció en ArcGIS 10.2.2 y se digitalizaron los elementos. Se elaboraron dos mapas a escala 1:35,000, en los que se representan las unidades geomorfológicas mayores y los rasgos erosivos en el territorio (fig.

3.4), y otro en el que se hace énfasis en las terrazas agrícolas como estructuras de origen antrópico (fig. 3.9).

4.2.1 Selección de los sitios de muestreo

En función de la información aportada por los mapas se eligió de manera tentativa cuatro subcuencas, dos para sistemas de terrazas en las que el principal material que las constituye es el coluvión derivado de la Formación Yanhuitlán; y dos más en los que el coluvión es derivado de la Toba Llano de Lobos y la Andesita Yucudaac. En cada caso se buscó tanto terrazas en las que actualmente se lleva a cabo la agricultura o de reciente abandono, así como estructuras relativamente más antiguas que las anteriores.

De acuerdo con estos criterios se eligió la cuenca del río Del Palenque (o sistema Tooxi, nombre derivado de la agencia homónima) y la de Santa María Pozoltepec para terrazas asociadas a la Formación Yanhuitlán. En la primera se desarrolla un sistema en que actualmente se cultiva y en la segunda un sistema de varios cientos de años de antigüedad y otras tantas décadas de abandono. Así mismo fueron seleccionados los sistemas Panteón e Ichiyodo para terrazas asociadas con la Toba Llano de Lobos y/o Andesita Yucudaac, el primero con un par de décadas de abandono y el segundo con varios cientos de años de antigüedad en el que no se realizan prácticas agrícolas desde hace cuarenta años.

De manera adicional se describió el suelo en algunas laderas en las cuencas de los anteriores sistemas para contrastar las características de los suelos desarrollados en éstas frente a las de los desarrollados en los lamabordos.

4.2 Trabajo de campo

4.2.1 Recorridos de campo

Una vez establecidos los criterios de selección se recorrió de manera exploratoria el territorio para definir las terrazas a describir, así como la gestión de los permisos pertinentes ante las autoridades municipales y agrarias a las que compete la administración de los sitios de muestreo. Se realizaron dos temporadas de trabajo, una del 20 al 24 de noviembre de 2017 y otra del 19 al 23 de febrero de 2018.

4.2.2 Descripción de suelos

Se excavaron perfiles y se aprovecharon cortes realizados por cárcavas o caminos de terracería para describir el suelo de las terrazas y el de las laderas de sus cuencas de aporte de material. La descripción de los perfiles se basó en el "Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo" de Siebe *et al.* (2016). Primero se realizó un reconocimiento general del sitio; en el que se recabó información acerca de la localidad, coordenadas, fecha y autores de la descripción.

Después se identificó los factores que inciden en la formación del suelo, como el clima, material parental, posición en el relieve, tipo de vegetación y uso de suelo, así como la historia del paisaje; y se reconocieron evidencias de influencia humana y/o erosión.

Se estableció los límites de los distintos horizontes de suelo y se caracterizó cada uno. Los atributos descritos fueron textura al tacto, pedregosidad, color en húmedo, pH, contenido de materia orgánica, reacción al CaCO₃, humedad, estructura, estabilidad de los agregados, porosidad, densidad aparente, densidad de raíces y límite entre horizontes. En función de lo anterior se asignó preliminarmente un nombre al horizonte y se infirieron procesos pedogenéticos, y de ser el caso se especificó el tipo de mantillo. En total se describieron 20 perfiles de suelo.

4.2.3 Extracción de núcleos dendrocronológicos

En el sistema Panteón se colectaron muestras de especímenes vivos de *Juniperus flaccida* y *Pinus oaxcana* con un taladro Pressler, éstas se almacenaron y etiquetaron con información del árbol y localidad de muestreo.

4.2.4 Levantamiento de perfil longitudinal de sistema de lamabordos

Se recorrió el mismo sistema de terrazas desde el parteaguas de la cuenca hasta el bordo en la base del sistema para tomar puntos de referencia con un GPS Garmin Map 60 CSX y registrar la ubicación de cada lamabordo, y con esta información construir el perfil longitudinal del valle.

4.2.5 Vuelo de dron

En el sistema Panteón, el 17 de marzo de 2018 se realizó un vuelo con el vehículo aéreo no tripulado PHANTOM 4 PRO equipado con una cámara de 20 mega píxeles, se tomaron 492 imágenes del sistema a una altura promedio de 100 m. El vuelo estuvo a cargo del Mtro. Ricardo Garnica Peña.

4.3 Procesamiento de información y trabajo de laboratorio

4.3.1 Evaluación edafocológica de los suelos

De acuerdo con el manual de Siebe *et al.* (2016) se estimaron parámetros físicos y químicos relacionados con la espacio poroso total (VTP), capacidad de aireación (CA), capacidad de agua disponible (dCC), capacidad de campo (CC), conductividad hidráulica, estimación de la erosionabilidad, capacidad de intercambio catiónico (CIC), bases intercambiables y abastecimiento de nitrógeno y fósforo.

4.3.2 Cálculo de tasa de erosión laminar y en surcos

De acuerdo con la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE por sus siglas en inglés) se estimó la pérdida anual de suelo en el horizonte superficial de cada perfil. Se tomó en consideración la erosividad de la lluvia, la erodabilidad del suelo, algunas características del relieve como longitud y pendiente de la ladera, tipo de cobertura vegetal y prácticas de conservación (Stone & Hilbord, 2000).

4.3.3 Clasificación de suelos

De acuerdo con la IUSS Working Group WRB (2015), en función de los horizontes, propiedades y materiales de diagnóstico observados se asignó a cada perfil descrito uno de los 32 Grupos de Suelo de Referencia, así como los calificadores principales y suplementarios correspondientes. Los primeros refieren a las características derivadas de procesos pedogenéticos primarios y los segundos son resultado de cualquier proceso formador de suelos que ha afectado a los primeros. Los calificadores principales se colocaron antes del nombre del Grupo de Suelo de Referencia de derecha a izquierda en orden jerárquico y los suplementarios se colocaron entre paréntesis, de izquierda a derecha en orden alfabético.

4.3.4 Preparación de muestras de suelo

Se colectaron 78 muestras de los horizontes de suelo de 18 de los 20 perfiles descritos, las excepciones fueron los perfiles MIX 11 y MIX 14. El primero se desarrolla en una ladera en la que aflora de manera local un cuerpo hipabisal, razón por la que el aporte de coluvión que conforma el suelo de los lamabordos derivado de esta ladera es comparativamente menor respecto al aporte del resto de las laderas de la cuenca, conformadas por depósitos de la Formación Yanhuatlán. En consecuencia, las características de los suelos de las terrazas agrícolas de ese sistema están poco influenciadas por el suelo de esa ladera. En el caso del perfil MIX 14 no se recuperaron muestras dado que el perfil era sumamente somero y el suelo desarrollado en la ladera escaso.

Las muestras fueron secadas a temperatura ambiente, molidas en un mortero de porcelana y tamizadas en una criba de acero inoxidable del número 10; de éstas se seleccionó, en función de las características observadas en campo, 27 muestras para pulverizar a tamaño de partícula de talco.

4.3.5 Determinación del contenido de materia orgánica

Las 27 muestras seleccionadas fueron enviadas al Laboratorio de Edafología Ambiental del Instituto de Geología de la UNAM, en el que se determinó el porcentaje de carbono orgánico y carbono total. Se analizó por duplicado las muestras en el analizador elemental CNHS/Perkin Elmer 2400 series II en el modo CHN bajo las siguientes condiciones analíticas: helio como gas acarreador, temperatura de combustión y reducción de 980°C y 640° C respectivamente, detector de conductividad térmica, acetanilida como compuesto de calibración y LECO *soil calibration sample for CNS* como material de referencia. Los análisis fueron realizados por la Mtra. Kumiko Shimada Miyasaka.

4.3.6 Fechamiento 14 C de fragmentos de carbón

Del perfil MIX 07 en el sistema Ichiyodo se extrajo a 118 cm de profundidad un fragmento de carbón que fue enviado al laboratorio *Beta Analytic Radiocarbon Dating* para determinar su edad a través de los espectrometros de masas con aceleradores (AMS) Beta in 4 in-house NEC y 4 Thermo IRMSs.

4.3.7 Construcción de perfil longitudinal y modelo tridimensional del sistema Panteón

Los puntos colectados y el *track* gravado por el GPS en el sistema de terrazas Panteón fueron importados al programa *Google Earth* como un archivo .kmz* y a través de la opción *Show elevation profile* se obtuvo el perfil longitudinal de éste. El modelo tridimensional de alta resolución fue construido mediante el proceso de aerotriangulación al importar las fotografías capturadas por el dron al programa *ContextCapture*. El resultado de este proceso fue un archivo de extensión .s3c* que se importó al programa *Acute3D Viewer* en el que se visualiza el modelo.

4.3.8 Cálculo del volumen de cárcava y masa y volumen de suelo desalojado del lamabordo

El modelo tridimensional del sistema Panteón (archivo .s3c*) se visualizó en el programa *Acute 3D Viewer* y a través de la herramienta *Measurement* se delineó el perímetro y se calculó el área de la cárcava desarrollada en el lamabordo en la base de este sistema (L9). Se accedió a la opción *Volume* de la misma herramienta y se estableció como distancia de muestreo 1 metro para generar una la retícula que mide las diferentes alturas de la cárcava a lo largo y ancho de su área y de esta manera se obtuvo su volumen. Para conocer la masa de suelo desalojada se multiplicó el volumen de la cárcava por la densidad aparente del suelo de las terrazas (perfil MIX 10).

4.3.9 Montado de virutas y conteo de anillos

Se obtuvieron siete muestras dendrocronológicas con taladro de Pressler de cuatro árboles distintos con distintos objetivos, conteo de erosión y edad de recolonización. las virutas de los árboles fueron fijadas en bases de madera con pegamento blanco, después se pulió cada una con lijas de grano 60, 100, 300 y 400. Se realizó un conteo de los anillos partiendo de la corteza hacia el núcleo.

Capítulo 5. Resultados

5.1 Evaluación ecológica de los suelos en terrazas y laderas adyacentes

Se describieron veinte perfiles (ver anexo), de los cuales catorce se realizaron en lamabordos y seis más en las laderas adyacentes a éstos. Se agruparon en cuatro sistemas de distintas edades y constituidos por diversos sustratos, éstos son Sistema Tooxi, Pozoltepec, Ichiyodo y Panteón (fig. 5.1).

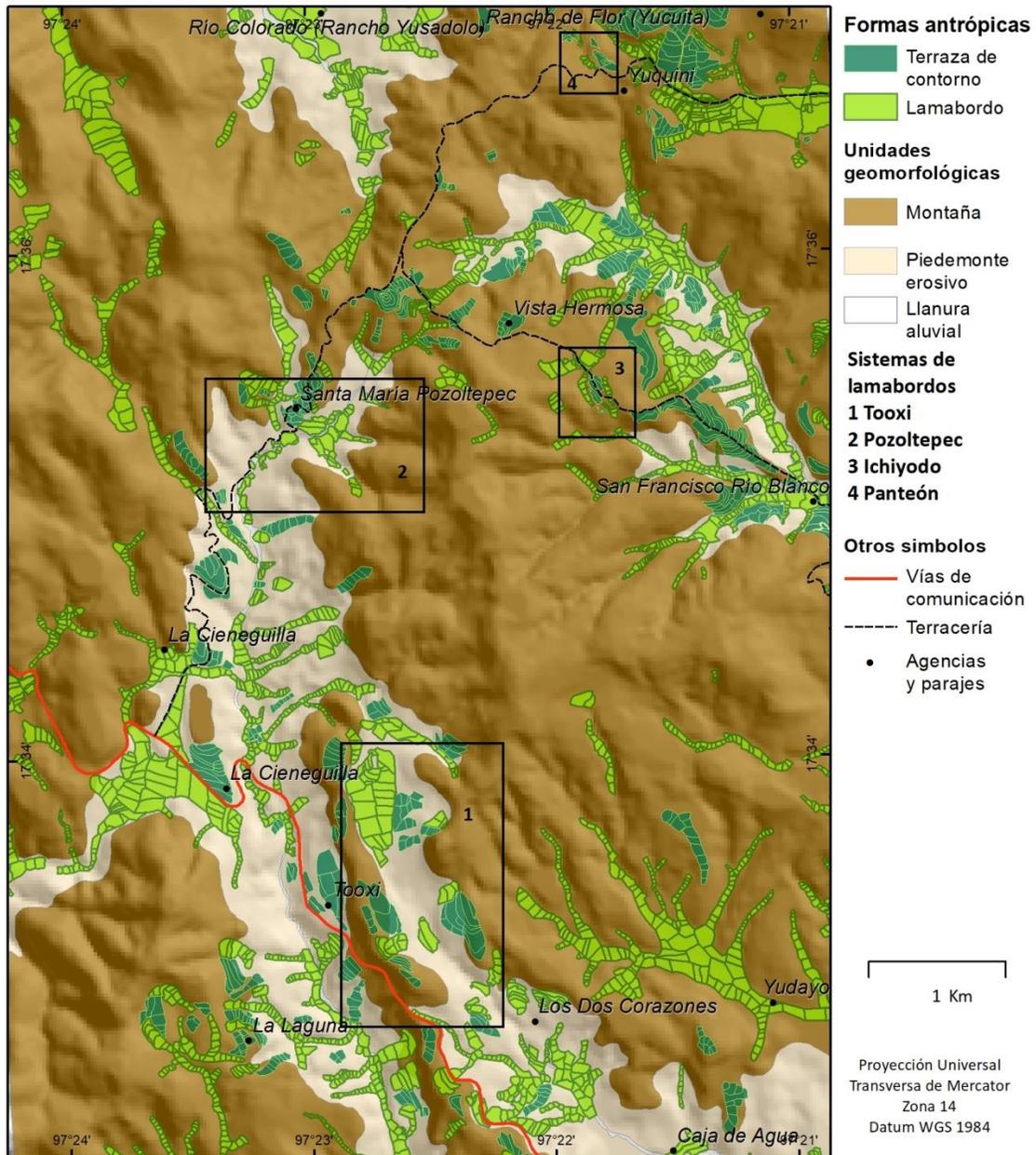


Figura 5.1 Mapa de la localización de los sistemas de lamabordos descritos.

Los principales procesos pedogenéticos observados en los suelos de las terrazas fueron, independientemente de su antigüedad o del material parental sobre el que se desarrollan, acumulación de materia orgánica y formación de estructura. Ahora bien, en función de la edad de la terraza se observó neoformación, iluviación y eluviación de arcillas, expresadas como cambios en la clase textural de los horizontes de suelo, así como recubrimientos de arcilla en las caras verticales de los agregados (MIX 06 y MIX 15); desarrollo de propiedades protovérticas expresadas como grietas a profundidad de más de medio centímetro de separación (MIX 01, MIX 07, MIX 13 y MIX 18); o incluso; si la terraza es muy antigua, disminución en el contenido de materia orgánica (MIX 07). Respecto a las diferencias observadas en relación con el material parental, se identificó la formación de propiedades y horizontes cálcicos asociados con las terrazas derivadas de la Formación Yanhuitlán.

5.1.1 Sistema Tooxi

El Sistema Tooxi se localiza en la cuenca del río Palenque en el territorio de Santo Domingo Yanhuitlán. En éste se emplazan terrazas cultivadas anualmente con maíz de cajete, frijol y calabaza, desarrollas en depósitos coluviales derivados de los cuerpos hipabisales y principalmente de la Formación Yanhuitlán (fig. 5.2). Se describió perfiles de suelo en cuatro lamabordos diferentes (MIX 01, MIX 02, MIX 03 y MIX 13) y dos perfiles en laderas adyacentes (MIX 11 y MIX 12; fig. 5.3 A).

La profundidad de los suelos en los lamabordos va desde los tres metros en los bordos localizados en la parte más alta de la cuenca (MIX 01 y MIX 13) y hasta más de 15 m en el último bordo aguas abajo en la base del sistema (MIX 03), esto por la continua acumulación de depósitos aluvio-coluviales.



Figura 5.2 Sistema Tooxi, se observa en primer plano parcelas de lamabordos en pie y en descanso en los que se cultiva frijol, calabaza y maíz de cajete. Al fondo, en la ladera adyacente, afloran por acción de la erosión en cárcavas las rocas de la Formación Yanhuitlán, Noviembre de 2017.

De acuerdo con Siebe *et al.* (2016) la totalidad del espacio poroso en el suelo se denomina como Volumen Total de Poros VPT. La Capacidad de Aireación CA refiere al espacio que ocupan a los poros gruesos que drenan por gravedad y en un tiempo breve el agua en el suelo. Los poros de menor tamaño que retienen el agua contra la gravedad, a una tensión superficial superior a pF 1.8 corresponden a la Capacidad de Campo CC y el agua que puede ser absorbida por las plantas es conocida como Agua Disponible dCC. Cada uno de estos valores fue inferido en función de la textura, el contenido de materia orgánica, la densidad aparente, la pedregosidad y el espesor de cada horizonte, ya que cada uno de éstos afecta la distribución del espacio poroso en el suelo.

En los todos los suelos descritos en este sistema el Volumen Total de Poros es mediano y oscila entre el 40 y el 50%; entre el 4 y 6% pertenece a los poros que drenan rápidamente el agua, lo que se considera como una baja Capacidad de Aireación. Esto es resultado de las texturas franco arcillosas y franco arcillo limosas. El diámetro de la gran mayoría de éstos es pequeño lo que es resultado de la predominancia de partículas entre $< 2 - 50 \mu\text{m}$ de tamaño.

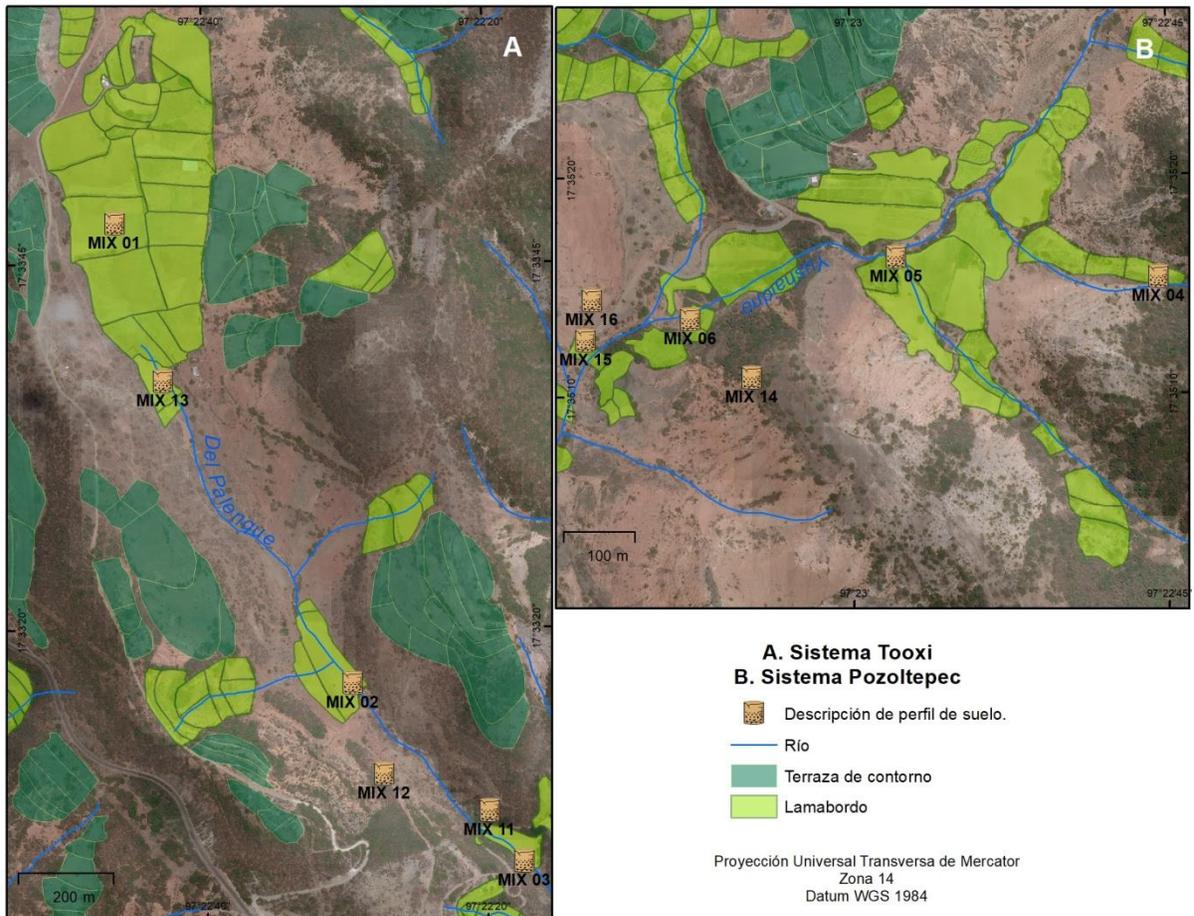


Figura 5.3. Localización de los perfiles descritos en los sistemas Tooxi y Pozoltepec.

De los 680 mm que precipitan anualmente en la zona, los suelos de los lamabordos descritos tienen la capacidad de retener contra la gravedad en promedio 250 L/m^2 , sólo en los primeros 80 cm de profundidad. Sin embargo, de acuerdo con los datos del perfil MIX 13, en el que se evaluó la capacidad de campo hasta 260 cm que comprende todo el espesor del suelo en el ápice de ese lamabordo, en el suelo quedaría retenido 603.3 L/m^2 , es decir el 89% del agua que precipita, por lo que la terraza puede almacenar la mayor parte del agua que entra en su suelo vía precipitación a lo largo del año.

De los 250 L/m^2 de agua que en promedio son retenidos como capacidad de campo en los suelos de los lamabordos en este sistema, se encuentra disponible para el aprovechamiento de las plantas en promedio 105 L/m^2 es decir, poco menos de la mitad. El resto del agua, la que no se encuentra disponible para el crecimiento de los cultivos, se queda retenida a

tensiones superficiales superiores a 1500 KPa en poros inferiores a 0.2 μm de diámetro, lo que se denomina agua muerta o punto de marchitez permanente.

Por otro lado, los suelos descritos en las laderas adyacentes al sistema de terrazas, uno desarrollado sobre un cuerpo intrusivo (MIX 11) y otro en la Formación Yanhuitlán (MIX 12), presentan notables diferencias entre sí. En MIX 11 la profundidad de desarrollo es de 46 cm en promedio mientras que en MIX 12 es de 102 cm, lo que responde tanto a lo escarpado de la pendiente (63 y 23% respectivamente) como a la resistencia de los materiales a su intemperización física y química.

En cuanto al balance hídrico de los suelos de las laderas, MIX 11 posee una capacidad de campo de 153.32 L/m^2 que se considera baja, mientras que en MIX 12 de 394.76 L/m^2 considerada alta. De esa agua se encuentra disponible para el aprovechamiento de las plantas en MIX 11, 127.11 L/m^2 de agua lo que se considera como una dCC mediana, y en MIX 12 una dCC baja, 51.36 L/m^2 . La conductividad hidráulica se refiere a la capacidad del suelo para transmitir el agua o el aire, en los suelos descritos ésta es mediana y va de 10-40 $\text{cm}/\text{día}$, tanto en las terrazas como en las laderas.

Las arcillas y la materia orgánica del suelo poseen cargas negativas en sus superficies de intercambio en las que se pueden adsorber cationes tanto de nutrientes como de contaminantes. La suma de todos los cationes intercambiables equivale a la Capacidad de Intercambio Catiónico CIC y depende del tipo de arcilla y del contenido de materia orgánica. Para estimar la CIC de la fase mineral del suelo, de acuerdo con Siebe et. al (2016), se contempló las texturas franco arcillosas y franco arcillo limosas y una mezcla de arcillas de tipo illita, caolinita y esmectita por tratarse de suelos derivados de depósitos coluviales. A la CIC del suelo mineral se suma la de la fase orgánica, que depende del contenido de materia orgánica y del pH del suelo. La CIC tanto en los suelos de los lamabordos como en las laderas de la cuenca del sistema Tooxi va de regular a mediana, entre 13 y 23 cmol_c/Kg , lo que denota una moderada habilidad para retener nutrientes en el suelo para el aprovechamiento de los cultivos y de la vegetación.

De la Capacidad de Intercambio Catiónico, la porción ocupada por los cationes de las bases intercambiables Ca, Mg, K y Na es denominada Saturación de Bases SB. La cantidad de éstas se relaciona con la acidez del suelo y se estima de acuerdo con Siebe *et al.* (2016) multiplicando la CIC por un factor dependiente del pH, del contenido de materia orgánica y textura del suelo. La Bases Intercambiables en las terrazas tienen valores entre alto y muy alto (77.9 a 356 mol_c/m²) y en las laderas van de medianamente alto a alto (74.2 a 135.6 mol_c/m²).

5.1.2 Sistema Pozoltepec

El Sistema Pozoltepec se desarrolla en la cuenca del río Yushaidno en el territorio de San Juan Teposcolula (fig. 5.4). Ahí se describió el suelo en antiguos lamabordos abandonados que se desarrollaron a partir del coluvión de la Formación Yanhuitlán (MIX 04, MIX 05, MIX 06 y MIX 15) y en las laderas adyacentes a éstos (MIX 14 y MIX 16; fig. 5.3 B).

En este sistema todos los lamabordos descritos se encuentran en un avanzado estado de erosión, pues la mayor parte del suelo original ha sido desalojado y ya sólo se reconoce los restos de algunos muros en el fondo de los cauces. De todos los sistemas de lamabordos descritos en éste se identificó un mayor desarrollo de propiedades edáficas en las terrazas; por lo que se infiere una mayor antigüedad respecto a los otros, por lo que se supone una relativa mayor estabilidad en el paisaje en épocas anteriores, lo que permitió el desarrollo de tales características.

El suelo en los lamabordos fue descrito hasta 85 cm en promedio, pero la profundidad de los depósitos es de entre 4 y 5 m. En éstos el volumen total de poros es mediano y comprende poco más de 40% del volumen del suelo, de los cuales aquellos que tienen la capacidad de drenar rápidamente los líquidos sólo comprenden entre el 3 y el 6% del volumen, lo que es considerado como bajo. La capacidad de campo promedio en los lamabordos es de 300 L/m² y el agua disponible en promedio es cercana a un tercio de la CC y es de 94.8 L/m².



Figura 5.4. Sistema Pozoltepec, lamabordos (arriba) y ladera adyacente desarrollada sobre materiales de la Formación Yanhuitlán afectados por erosión en cárcavas (abajo). Noviembre de 2017 y febrero de 2018.

Los suelos de las laderas adyacentes, ambos desarrollados en la Formación Yanhuitlán, poseen características contrastantes con las de las de las terrazas. En MIX 14 el suelo es

muy somero (16 cm) condicionado por la escarpada pendiente (63 %) y el avanzado estado de erosión de la ladera, lo que repercute en la cantidad de agua que puede almacenar (77.75 L/m²) y la que está disponible para ser aprovechada (24.53 L/m²).

Mientras que MIX 16 es un suelo localizado en una ladera baja, con una pendiente sustancialmente menor (35%), por lo cual muestra marcadas evidencias de desarrollo pedogénético como acumulación iluvial de arcillas. Es medianamente profundo (75 cm), con una mediana capacidad de retener el agua contra la gravedad (301 L/m²) y mediana disponibilidad de agua (93.6 L/m²). Sin embargo, el avanzado estado de erosión en los alrededores ha hecho que este suelo sea un relictos del suelo original en la ladera.

La capacidad de intercambio catiónico, tanto en el suelo en las terrazas como en las laderas adyacentes, fue de regular a mediana. La saturación de bases es de regular a mediana, mientras que el contenido de bases intercambiables es en general alto: 156.2 mol_c/m² en MIX 04; 98.8 mol_c/m² en MIX 05; 124.8 mol_c/m² en MIX 06; 115.3 mol_c/m² en MIX 15; 43.7 mol_c/m² en MIX 14 y 152.6 mol_c/m² en MIX 16; y mediana en el caso del perfil más somero: 43.7 mol_c/m² en MIX 14.

5.1.3 Sistema Ichiyodo

El Sistema Ichiyodo (fig. 5.5), se localiza en uno de los afluentes del río Blanco en Santo Domingo Tonaltepec. Ahí se describió el suelo en lamabordos probablemente prehispánicos, es decir, de por lo menos años de 500 de antigüedad. Tal presunción se basa en varias observaciones. Por un lado, una alta densidad de fragmentos de cerámica y lascas de pedernal asociadas a bloques de calcedonia alóctonos a la región (fig. 5.6) que evidencian la presencia de un taller de talla de pedernal, material cuya manufactura se efectuó principalmente en época prehispánica y que cayó en desuso después de la conquista española en el siglo XVI (Spores, comunicación personal 2016). Así mismo en una ladera se observa una roca labrada para extender y secar barro para la elaboración de cerámica (fig. 5.7). Así como un horno para su cocción (fig. 5.8). También se encuentra en el lugar una pila de agua tallada en un bloque de roca (fig. 5.9). Todos estos elementos se distribuyen en un área de aproximadamente 3000 m²



Figura 5.5. Sistema Ichiyodo, lamabordos constituidos por depósitos coluviales asociados a materiales volcánicos derivados de la Toba Llano de Lobos. En primer plano se observa anegamiento en terraza de contorno adyacente al sistema, en la ladera del fondo se desarrolla un bosque abierto de encino. Junio de 2016.

Estas terrazas se desarrollan en depósitos coluviales no asociados a la Formación Yanhuitlán, sino a la unidad Toba Llano de Lobos (perfiles MIX 07, MIX 08 y MIX 18). Los suelos en las laderas contiguas a las terrazas se han desarrollado directamente sobre rocas de ésta última formación (MIX 17; fig. 5.10 C).

El espesor del suelo en las terrazas de este sistema es de un par de metros de profundidad. Aprovechando los cortes efectuados por la acción de las cárcavas se describió en promedio los primeros 100 cm del suelo. El total del espacio poroso fue mediano en los suelos, cercano al 50 %; a excepción del perfil MIX 18 que mostraba evidencias de compactación por lo que el porcentaje era bajo. La proporción de los poros gruesos, que pueden transmitir el rápidamente el agua, es baja, entre el 5 y 6.5 %.



Figura 5.6 (A) Mezcla de fragmentos de cerámica de diferentes temporalidades y de lascas de pedernal. (B) Bloques y lascas de calcedonia asociados a un taller de talla de este material en ladera adyacente a lamabordos del sistema Ichoyido (fotos: noviembre, 2017 y octubre, 2018).

En la capacidad de campo se observaron diferencias notables en los distintos lamabordos descritos. En el bordo más cercano a la cabecera de la cuenca (MIX 18) ésta fue baja (182.3 L/m^2), mientras que hacia la parte media fue muy alta (534.6 L/m^2) y en la base del sistema, mediana (380.8 L/m^2), siendo éstos últimos dos lamabordos los que más agua aprovechable poseen (171.61 y 129.5 L/m^2 respectivamente). Comparativamente el suelo de la ladera,

bajo un bosque abierto de encino, posee un mayor volumen total de poros, una mayor capacidad de aireación y una capacidad de campo y de agua disponible equiparable a la de las terrazas; sin embargo la pérdida del suelo por erosión es un severo problema, ya que la mayor parte de la ladera está desprovista de éste o bien ha perdido el primer horizonte.



Figura 5.7 Bloque de roca sobre el cual se labró una concavidad para extender y secar barro para la elaboración de piezas de cerámica. Ladera adyacente a lamabordos del sistema Ichiyodo. Octubre 2018.



Figura 5.8 Restos de horno para cocción de piezas de barro localizado en la ladera adyacente a las terrazas del sistema Ichiyodo. Octubre 2018.

Los valores calculados de capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables incrementan notablemente hacia los lamabordos más bajos del sistema, yendo de $110.37 \text{ mol}_c/\text{m}^2$ en el más alto (MIX 18) a $188.5 \text{ mol}_c/\text{m}^2$ en el intermedio (MIX 07) y a $222.13 \text{ mol}_c/\text{m}^2$ en el más bajo (MIX 08). En la ladera el contenido de bases el más bajo ($88.9 \text{ mol}_c/\text{m}^2$), debido en parte al relativo menor espesor del solum (MIX 17).



Figura 5.9 Poza para almacenar agua labrada en un bloque de roca en la ladera adyacente al sistema de lamabordos Ichiyodo. Octubre 2018.

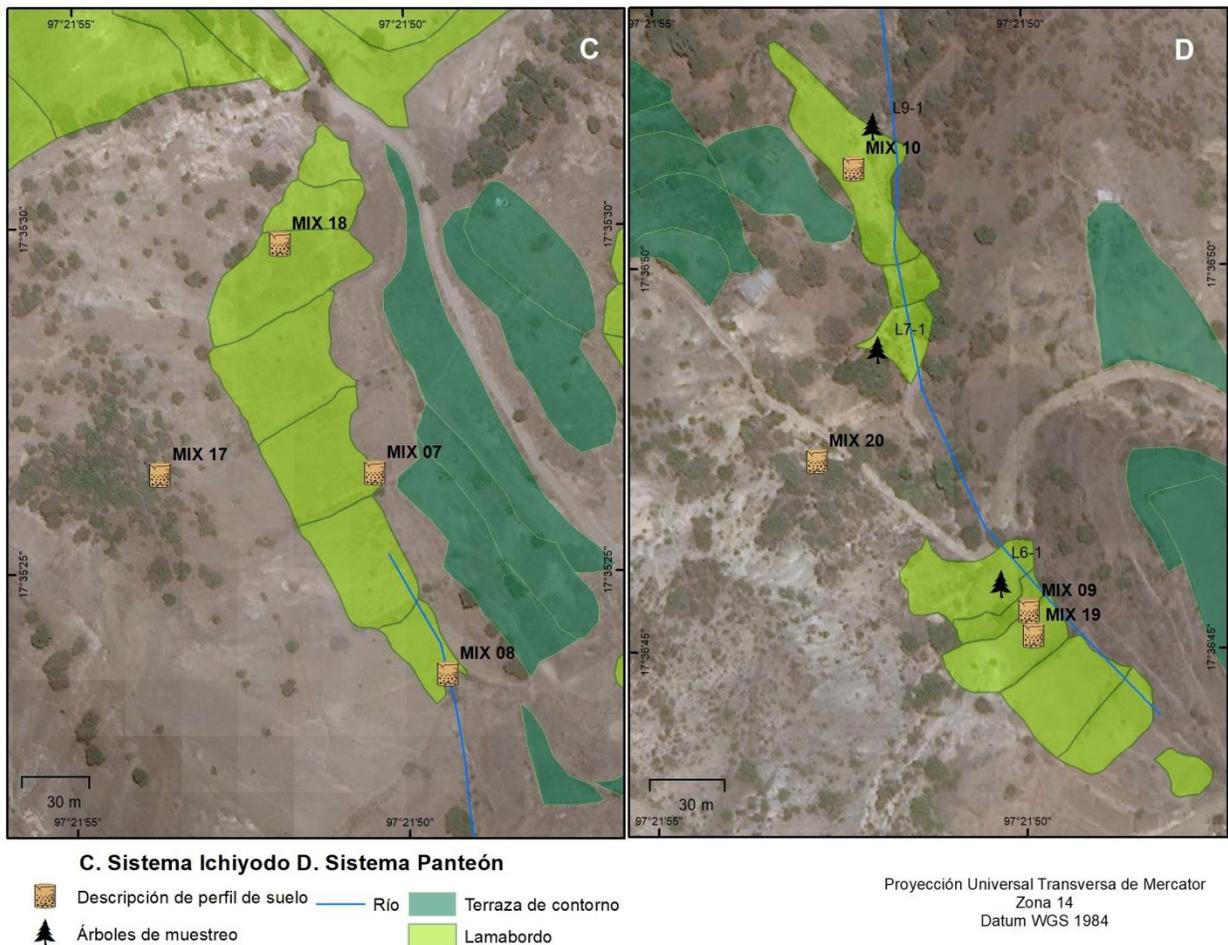


Figura 5.10 Localización de los perfiles descritos y árboles muestreados en los sistemas Ichiyodo (C) y Panteón (D).

5.1.4 Sistema Panteón

En el Sistema Panteón (fig. 5.11) se describieron tres perfiles de suelo en terrazas de reciente abandono, desarrolladas en depósitos coluviales derivados de la Toba Llano de Lobos (MIX 09, MIX 10 y MIX 19) y uno más en una ladera de la cuenca en la que aflora la misma formación geológica (MIX 20; fig. 5.10 D). Se describió los primeros 70 a 120 cm del suelo en los lamabordos, pero la profundidad de éstos es mayor y va de 2 a 5 metros. La edad de estas terrazas, de acuerdo con información aportada por personas de la comunidad, es superior a 100 años.



A



B

Figura 5.11 (A) Lamabordo del sistema Panteón afectado por erosión cárcavas, en las laderas se observan encinos. (B) Ladera adyacente al sistema Panteón de terrazas agrícolas sujeta a erosión laminar y en surcos por la escasa y dispersa cubierta vegetal. Noviembre 2017.

Entre 36 y 49 % del volumen total del suelo está ocupado por el espacio poroso. El volumen comprendido por los poros de mayor tamaño es entre 4 y 9.5%, lo que se considera como una capacidad de aireación de baja a mediana. La capacidad de campo es mediana en el suelo de los lamabordos con un ligero incremento hacia la parte más baja, siendo de 261.7 L/m² en el perfil más próximo al parteaguas (MIX 19), 324.7 L/m² en el intermedio (MIX 09), y de 384.5 L/m² en el lamabordo de la base (MIX 10). Lo mismo ocurre con el agua disponible, la cual es mediana en las terrazas más altas con 97.9 L/m² (MIX 19) y 119.32 L/m² (MIX 09), y alta en el suelo de la terraza más baja, con 173.7 L/m² (MIX 10).

El suelo de la ladera frente al de las terrazas muestra claras limitaciones en su balance hídrico, con una muy baja capacidad de campo 86.8 L/m² y muy baja disponibilidad de agua 33.4 L/m², lo que está condicionado por la somera profundidad de desarrollo y los procesos erosivos circundantes.

A diferencia del sistema anterior, en éste la capacidad de intercambio catiónico y el contenido de bases intercambiables disminuyen a medida que nos aproximamos a la base del sistema. En MIX 19, el lamabordo más alto, la CIC es regular con un contenido de bases intercambiables de 118.2 mol_c/m², pasando a 107.7 mol_c/m² en MIX 09 y a 83.4 mol_c/m² en MIX 10. En la ladera adyacente se calcula 64.1 mol_c/m².

5.2 Contenido de carbono

La materia orgánica está compuesta por una mezcla de todos los materiales orgánicos que se encuentran en el suelo. De ella dependen algunas de sus propiedades, así como la operación y magnitud de algunos procesos. Actúa como reservorio de energía metabólica y fuente de macronutrientes, estimula o inhibe la actividad enzimática y el crecimiento microbiano, estabiliza la estructura del suelo, favorece la retención de agua y regulación de la temperatura a través de las colores oscuros que otorga al suelo, aumenta la capacidad de intercambio catiónico, la capacidad amortiguadora, regula el pH, entre otras (Baldock & Nelson, 2000).

Medir directamente la cantidad de materia orgánica es difícil y para determinarla algunos métodos calculan el contenido de carbono orgánico y lo multiplican por un factor de

conversión para obtenerla. Este factor se determina de acuerdo con el contenido de carbono orgánico, sin embargo, éste es variable y un mismo factor no es válido para todos los suelos; razón por la que es preferible determinar y reportar el contenido de carbono orgánico (Baldock & Nelson, 2000).

El contenido de carbono en el suelo está en función del balance entre la tasa de deposición de residuos vegetales y su tasa de mineralización, y depende a su vez de factores como clima, material parental, biota, topografía y las prácticas de manejo (Baldock & Nelson, 2000).

En el caso de los suelos descritos en la zona de estudio, se hizo énfasis en el material parental y la posición topográfica para explicar el contenido de carbono. En el caso de materiales parentales ricos en CaCO_3 éstos tienden a estabilizar la materia orgánica al impedir su mineralización. Además, la presencia de cationes multivalentes como Ca^{2+} y Mg^{2+} influye en el comportamiento de las arcillas y la floculación de la materia orgánica. Por otro lado, las partículas del tamaño de las arcillas contribuyen también a la estabilización biológica del carbono orgánico a través de su encapsulamiento y formación de agregados, ya que actúan como una barrera física entre la materia orgánica y los organismos que la descomponen, limitan el movimiento de agua y oxígeno hacia sitios de potencial actividad de descomposición, y en función del tamaño de los poros en el suelo sólo algunos microorganismos pueden acceder a éstos para descomponer el carbono (Baldock & Nelson, 2000).

Respecto a la posición topográfica, los suelos en las partes bajas frecuentemente son más húmedos y de clases texturales más finas que aquellos en las partes más altas de la ladera. Mayores contenidos de carbono orgánico en las partes bajas están relacionados con el movimiento ladera abajo de éste. Por otro lado, un drenaje deficiente en depresiones topográficas puede favorecer condiciones anaerobias por anegamiento y una indirecta preservación del carbono orgánico en comparación con ambientes mejor drenados (Baldock & Nelson, 2000).

En los suelos descritos en la zona de estudio, se analizó el porcentaje de Carbono total (Ct), el de Carbono orgánico total (COt) y el de Nitrógeno total (Nt) en suelos asociados a distintos materiales parentales y diferente posición topográfica. Se diferenció entre suelos ligados a un sustrato rico en carbonatos de calcio y no influenciados por éstos; y entre suelos en terrazas de tipo lamabordo y suelos desarrollados en laderas adyacentes a lamabordos.

Los suelos de los perfiles MIX 01, MIX 02 y MIX 06 corresponden a lamabordos conformados con materiales ricos en CaCO_3 ; derivados de los carbonatos presentes en la Formación Yanhuitlán (fig. 5.12), mientras que los perfiles MIX 12 y MIX 16 corresponden a suelos en las laderas adyacentes que aportan coluvión de la misma Formación a estos lamabordos (fig. 5.13).

Los perfiles MIX 07 (fig. 5.14) y MIX 10 (fig. 5.15) representan a suelos en lamabordos no influenciados por carbonatos de calcio derivados de la Formación Yanhuitlán. Corresponden a suelos desarrollados en materiales coluviales derivados de rocas volcánicas como la Andesita Yucudaac o la Toba Llano de Lobos. El perfil MIX 20 (fig. 5.16) es un ejemplo de suelo desarrollado en laderas sobre la Toba Llano de Lobos adyacentes a lamabordos.

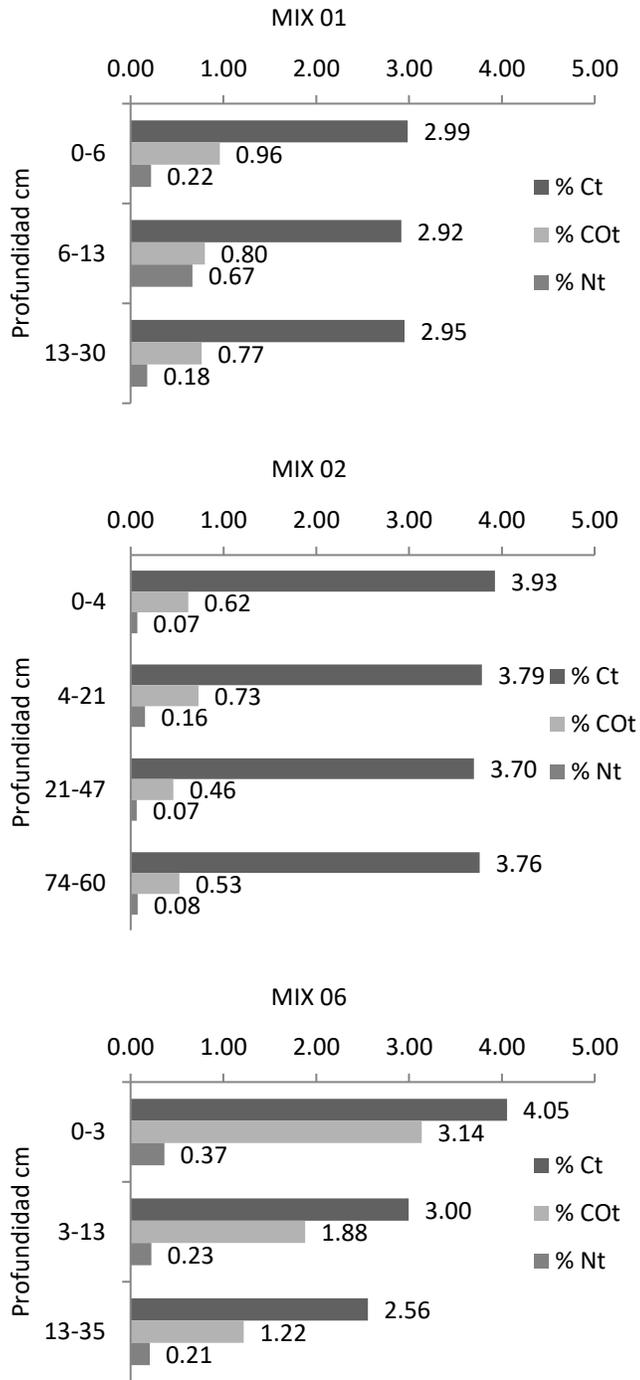


Figura 5.12 Porcentaje de Carbono, Carbono orgánico y Nitrógeno totales en suelos de lamabordos asociados a materiales parentales con elevados contenidos de CaCO_3 (Formación Yanhuitlán).

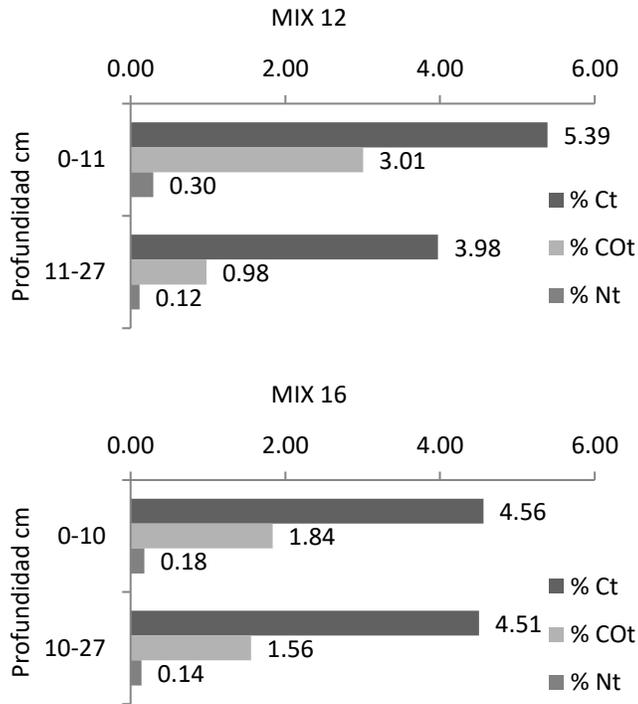


Figura 5.13 Porcentaje de Carbono, Carbono orgánico y Nitrógeno totales laderas asociadas a materiales parentales con elevados contenidos de CaCO_3 (Formación Yanhuatlán).

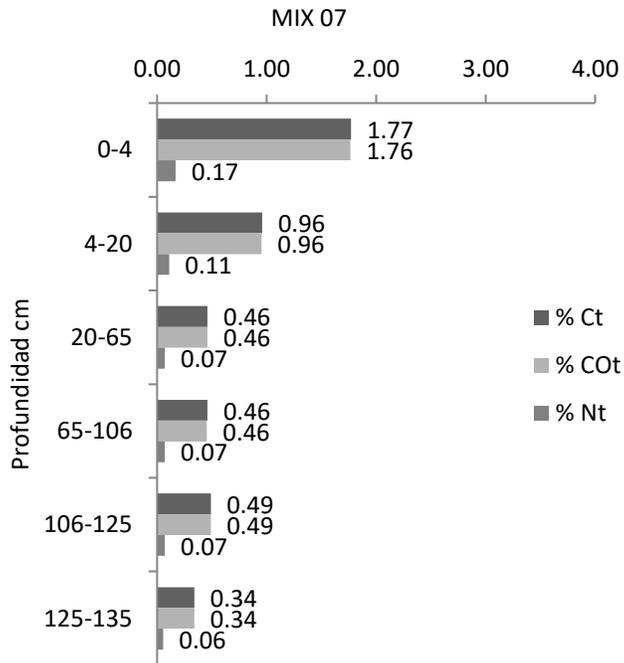


Figura 5.14 Porcentaje de Carbono, Carbono orgánico y Nitrógeno totales en suelo de un lamabordo antiguo asociado a materiales parentales derivados de rocas volcánicas (Toba Llano de Lobos).

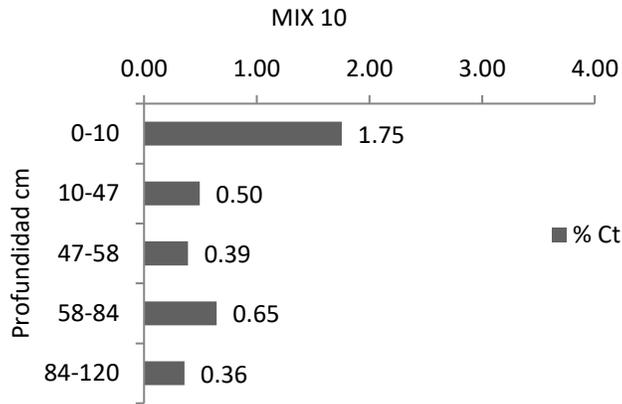


Figura 5.15 Porcentaje de Carbono total en lamabordo recientemente abandonado cuyo suelo es derivado de depósitos coluviales asociados a rocas volcánicas (Toba Llano de Lobos).

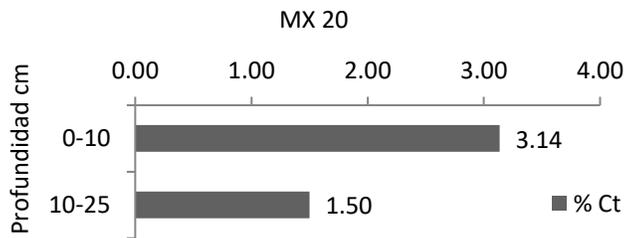


Figura 5.16 Porcentaje de Carbono total del suelo desarrollado en ladera de materiales volcánicos (Toba Llano de Lobos).

De acuerdo con los resultados de laboratorio, los suelos asociados a la Formación Yanhuitlán poseen elevados contenidos de Carbono total. Sin embargo, sólo una fracción pertenece al Carbono orgánico total que es el que, de acuerdo con Baldock & Nelson (2000), cumple funciones biológicas, físicas y químicas en el suelo, el resto pertenece al Carbono inorgánico. En el caso de los suelos de laderas y lamabordos asociados a las formaciones Andesita Yucudaac y Toba Llano de Lobos, el porcentaje de Carbono orgánico es igual que el de carbono total, de lo que se infiere que la cantidad de carbono inorgánico presente es suficientemente baja como para no ser detectada.

Un ejemplo de lo anterior es el caso del suelo en los lamabordos MIX 02 y MIX 07, el primero pertenece al sistema Tooxi, formado en el coluvión de la Formación Yanhuitlán, y el segundo a Ichiyodo, formado en el coluvión de Toba Llano de Lobos. El primero posee en promedio alrededor de 3% de Ct aunque únicamente 0.58 % CO, mientras que en MIX07 el promedio de Ct es de 0.75% y prácticamente todo corresponde a COt.

De acuerdo con Baldock & Nelson (2000), al encontrarse los lamabordos en la parte baja de las laderas, éstos deberían poseer mayor contenido de carbono orgánico tanto por el movimiento de éste desde las partes altas y su acumulación en las zonas bajas, como por temporales anegamientos que producen condiciones anaerobias que impiden la actividad microbiana. Sin embargo, de acuerdo con las determinaciones de laboratorio, el porcentaje de COt en las laderas es; en la mayoría de los casos, superior al que hay en lamabordos.

Aunque los suelos en las laderas poseen altos contenidos de COt, el porcentaje que cubren de la superficie de éstas es reducido debido a que la erosión hídrica remueve anualmente cientos de toneladas de material por hectárea. De acuerdo con (Fernández de Castro Martínez *et al.* (2018), en el caso de las laderas asociadas a la Formación Yanhuitlán la tasa de erosión promedio es de 800 ton/ha/año y para las tobas y las andesitas 164 y 167 ton/ha/año respectivamente.

Frente a la acelerada dinámica erosiva los lamabordos representan reservorios de suelo, nutrientes y humedad, y de acuerdo con sus características, éstos pueden considerarse; de igual manera que los *runoff-harvesting systems* estudiados por Paz-Kagan *et al.* (2017), como "islas fértiles" en medio de condiciones ambientales contrastantes. Un ejemplo de lo anterior son los suelos de lamabordos en los perfiles MIX06 y MIX 07, que poseen altos contenidos de Carbono orgánico total; 2.08 y 0.76 % respectivamente.

5.3 Clasificación de suelos

Los veinte perfiles de suelo fueron clasificados de acuerdo con la IUSS Working Group WRB (2015). De acuerdo con las características observadas, los grupos de referencia identificados son Phaeozem, Cacisol, Luvisol, Cambisol, Fluvisol y Regosol, así como distintos calificadores principales y suplementarios asociados a cada uno (cuadro 5.1).

Cuadro 5.1 Clasificación de los suelos descritos de acuerdo con la WRB, versión 2015.

Clave	Posición	Clasificación WRB
MIX 01	T	Calcaric Colluvic Regosol (Loamic, Aric, Escalic, Ochric, Protovertic)
MIX 02	T	Calcaric Colluvic Regosol (Loamic, Escalic, Ochrich) Hypostagnic
MIX 03	T	Calcaric Colluvic Regosol (Loamic, Aric, Escalic, Ochric) Protostagnic
MIX 04	T	Calcaric Colluvic Regosol (Loamic, Escalic, Ochric)
MIX 05	T	Calcaric Colluvic Regosol (Loamic, Densic, Escalic, Ochric)
MIX 06	T	Haplic Luvisol (Loamic, Colluvic, Cutanic, Escalic, Humic) Calcaric, Protovertic, Hypostagnic
MIX 07	T	Eutric Colluvic Regosol (Endoclayic, Epiloamic, Escalic, Humic, Technic, Protovertic) Protostagnic
MIX 08	T	Eutric Cambisol (Colluvic, Endoloamic, Epiclayic, Escalic, Humic)
MIX 09	T	Eutric Colluvic Regosol (Loamic, Escalic, Ochric)
MIX 10	T	Eutric Colluvic Regosol (Loamic, Escalic, Ochric)
MIX 11	L	Haplic Phaeozem (Loamic)
MIX 12	L	Cambic Calcisol (Loamic, Ochric)
MIX 13	T	Calcaric Fluvisol (Loamic, Protocalcic, Ochric, Protovertic) Escalic
MIX 14	L	Eutric Leptic Regosol (Loamic, Ochric)
MIX 15	T	Calcaric Cambisol (Loamic, Colluvic, Escalic, Humic)
MIX 16	L	Haplic Luvisol (Clayic, Cutanic, Hypereutric, Ochric) Prototechnic, Protocalcic
MIX 17	L	Eutric Regosol (Loamic, Ochric)
MIX 18	T	Eutric Colluvic Regosol (Epiloamic, Endoclayic, Densic, Escalic, Ochric, Protovertic)
MIX 19	T	Eutric Colluvic Regosol (Loamic, Escalic, Ochric)
MIX 20	L	Eutric Regosol (Loamic, Ochric)

T: perfil descrito en **terrazza** de tipo lamabordo, L: perfil descrito en **laderas** adyacentes.

De los cuatro perfiles descritos en los lamabordos del Sistema Tooxi, tres clasificaron dentro del grupo de referencia Regosol y uno más dentro del grupo Fluvisol (fig. 5.17). Aunque los grupos Regosol y Fluvisol corresponden a suelos que no expresan significativamente

desarrollo de procesos pedogenéticos o en los que aún se observa estratificación obvia (IUSS Working Group WRB, 2015); el horizonte 2C en MIX 13 y el horizonte C en MIX 02 (fig. 5.18), en los suelos de las terrazas de esta cuenca se observan rasgos; además de desarrollo de estructura o acumulación de materia orgánica, que evidencian pedogénesis en los diferentes perfiles.

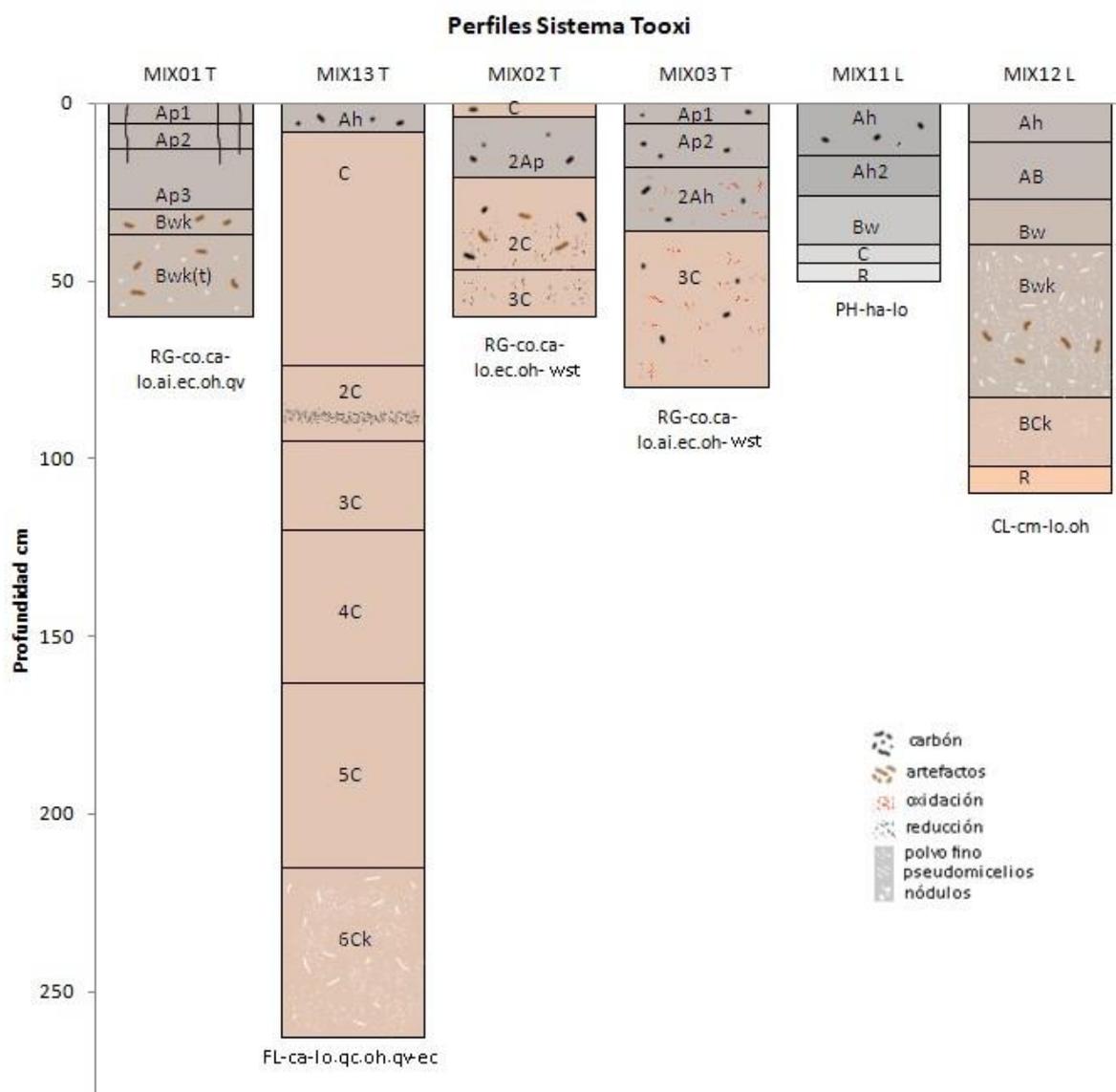


Figura 5.17 Espesor de horizontes, principales rasgos morfológicos y clasificación de los perfiles del sistema Tooxi.



Figura 5.18 Estratificación obvia de los depósitos franco arcillo limosos acumulados en la superficie durante la estación lluviosa de 2017 en el perfil MIX 07, lamabordo del sistema Tooxi.

En este sistema la mayoría de los lamabordos se cultivan en la actualidad por lo que se reconocieron horizontes asociados a capas de arado hasta 25 cm de profundidad (Ap1, Ap2, Ap3 y 2Ap) en los perfiles MIX 01, MIX 02 y MIX 03 (fig. 5.17). En este sistema el suelo que denota un mayor desarrollo edafogénico es el del perfil MIX 01, en el que se identificaron los horizontes Bwk y Bwk(t). Ambos denotan alteraciones en el color del material o mayor contenido de arcilla respecto a los otros horizontes.

Derivado de su origen antrópico, en los suelos de las terrazas se reconocieron fragmentos de carbón de entre 5 y 15 mm de diámetro y artefactos como cerámica. En la terraza más alta se observó fragmentos de cerámica después de los 40 cm de profundidad, en la siguiente sólo se identificó carbón en la capa superficial de suelo. En las dos últimas se encontró carbón a lo largo de todo el perfil (fig. 5.17).

Asociada a la posición topográfica de la terraza (fig. 5.19), se observó acumulación de carbonatos de calcio en forma de nódulos (MIX 01), polvo fino y pseudomicelios (MIX 13) en terrazas en la parte alta de la cuenca. En la base del sistema se presentan coloraciones grisáceas (MIX 02) y rojizas (MIX 03) que denotan estancamiento del agua en el perfil, lo

que deriva en periódicas condiciones anaerobias que favorecen procesos de óxido reducción en el suelo, razón por la que se añadió el calificador protostagnic (stw) a la clasificación de los perfiles.

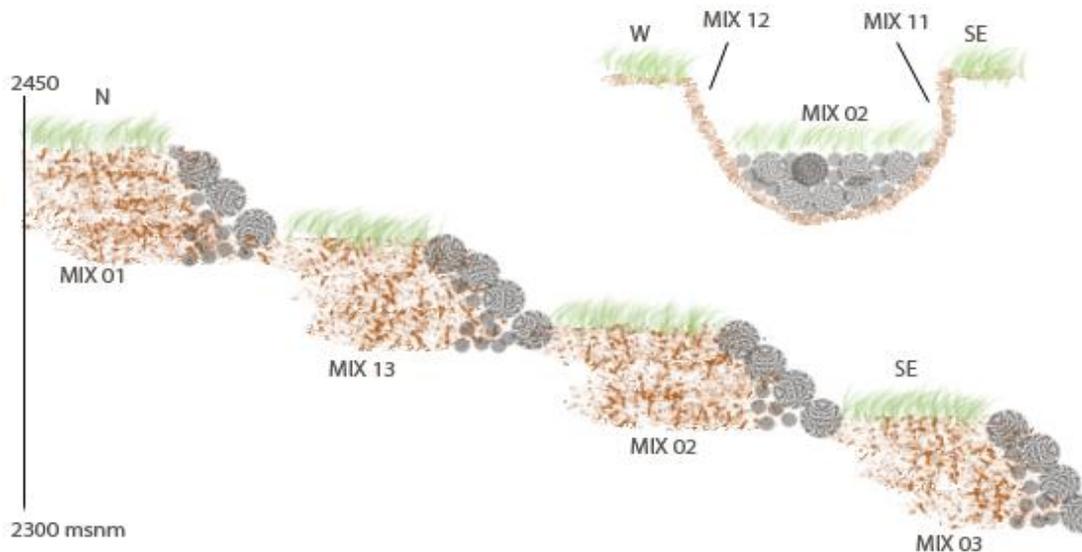


Figura 5.19 Perfil longitudinal y transversal del sistema Tooxi.

MIX 01 es una parcela que en el momento de la descripción se encontraba en descanso, en ésta se observaron grietas de expansión y contracción de más de 0.5 cm de separación en superficie, asociadas al cambio de las condiciones de humedad en el suelo, por lo que se le asignó el calificador protovertic (qv). El que no se hayan reconocido estos rasgos en las otras terrazas se debe al hecho de que la labranza rompió la estructura original del suelo.

A los perfiles descritos en las laderas de la cuenca se les asignó los grupos de referencia Phaeozem (MIX 11) y Calcisol (MIX 12). El primero se desarrolla sobre un cuerpo hipabisal que aflora en el sector sur oriente de la cuenca y el segundo sobres las rocas de la Formación Yanhuitlán.

En MIX 11; formado en rocas hipabisales, el espesor de los horizontes orgánicos (Ah1 y Ah2) comprende hasta 26 cm de profundidad, seguidos de un horizonte Bw con mayor desarrollo de estructura, textura más fina y color más oscuro que los del horizonte que le subyace (C). Se trata de un Phaeozem, suelo que posee un horizonte superficial de color oscuro, con alto

contenido de materia orgánica y una alta saturación de bases intercambiables (IUSS Working Group WRB, 2015).

En MIX 12 la profundidad del horizonte Ah es de once centímetros, entre este horizonte orgánico y el mineral Bw hay un horizonte de transición (AB) en el que se reconocen tanto acumulación de materia orgánica como alteración edafogenética expresada en un color más rojizo que el horizonte que le suprayace. Los horizontes Bwk y Bck se caracterizan por la acumulación de carbonatos de calcio, en el primero en forma de pseudomicelios y nódulos, y en el segundo como polvo fino en las caras y en el interior de los agregados. Se trata de un Calcisol, un suelo que acumulado en uno de sus horizontes concreciones de CaCO_3 en forma de vetas, pseudomicelios o nódulos.

Respecto a la influencia antrópica; además de la acelerada erosión del suelo en las laderas, en MIX 11 se encontró fragmentos de carbón en el horizonte superficial y en MIX 12 artefactos como cerámica en el horizonte Bwk.

En el sistema Pozoltepec se describieron cuatro perfiles en lamabordos, dos clasificaron como Regosoles, uno como Cambisol y otro como Luvisol, éstos últimos son suelos en los que se reconoció múltiples rasgos de alteración edáfica. En el caso particular del Luvisol se observó revestimientos o cutanes de arcilla en las caras de los agregados, grietas de expansión contracción que evidencian la presencia de arcillas del 2:1, manchas de óxido reducción, acumulación de carbonatos secundarios en forma de polvo fino y agregados de tipo angular. De los suelos descritos en las laderas uno clasificó como Luvisol; suelo en que se observó neoformación y traslocación de arcillas en el perfil, y el otro como Regosol. Los suelos de este sistema, al igual que la mayor parte del anterior, están asociados a materiales parentales derivados de las rocas de la Formación Yanhuitlán (fig. 5.20).

En los lamabordos de este sistema la expresión de procesos pedogenéticos en sus perfiles fue más clara que en los de Tooxi. Ejemplo de ello es la secuencia de horizontes de MIX 06 en donde seguido de dos horizontes orgánicos y uno de transición (Ah, Ah2 y AB) continúa un horizonte Bw(t) en el que se observa una coloración más rojiza que los anteriores y recubrimientos de arcilla en las caras verticales de los agregados. Subyacente a este último

continúa el horizonte Bt en el que se reconoce desarrollo de estructura tipo angular acumulación iluvial de arcillas expresada como revestimientos en las caras verticales y horizontales de los agregados y en los canales de raíces (fig. 5.21). Una secuencia similar se observó en MIX 15, en la que se reconoció bajo un horizonte orgánico Ah tres horizontes minerales con alteración edafogénica (Bw1, Bw2 y Bw3).

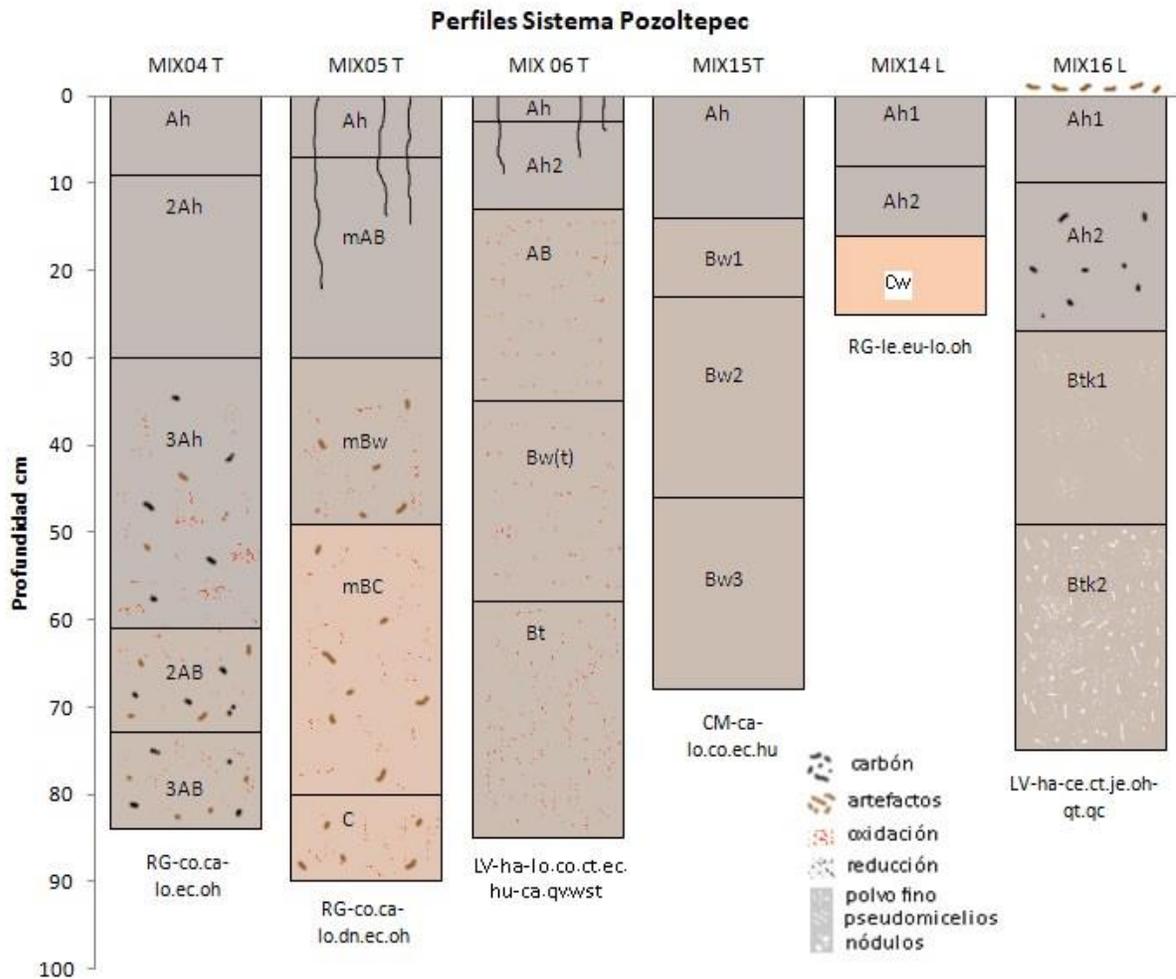


Figura 5.20 Espesor de horizontes, principales rasgos morfológicos y clasificación de los perfiles del sistema Pozoltepec.



Figura 5.21 Cutanes de arcilla en caras verticales y horizontales de agregados angulares en el perfil MIX 06, horizonte Bt (entre 58-85 cm de profundidad).

Asociado a la posición topográfica de las terrazas (fig. 5.22) se observó que los lamabordos con mayor expresión de procesos edafogénicos se localizan en la parte más baja del sistema (MIX 06 y MIX 15). Por otro lado, los lamabordos con mayor contenido de artefactos se localizan en la parte alta, en MIX 04 se encontraron fragmentos de carbón y lascas de pedernal a partir de los 30 cm de profundidad, en MIX 05 se encontró fragmentos de cerámica y lascas de pedernal por debajo de los 30 cm.

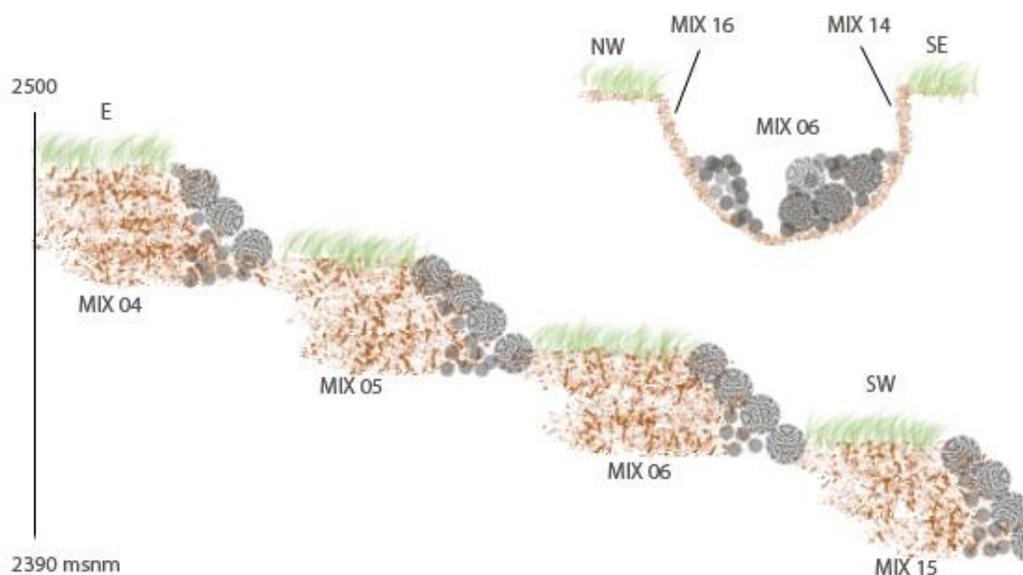


Figura 5.22 Perfil longitudinal y transversal del sistema Pozoltepec.

Se observó manchas rojizas resultado de condiciones reductoras en los perfiles MIX 04, MIX 05 y MIX 06, y a este último se le añadió el calificador complementario protostagnic (wst). En MIX 05 el suelo de la terraza presentaba rasgos de compactación y altas densidades aparentes por lo que se le asignó el calificador complementario densic (dn).

De los cuatro sistemas descritos, los suelos en los lamabordos de este sistema son lo que expresan mayor desarrollo o tiempo de evolución de los procesos pedogenéticos en las terrazas. Sin embargo; derivado de la falta de mantenimiento, cada una de las terrazas descritas se encuentra en un estado de erosión avanzado, sólo se conservan pequeños restos de su superficie original (y del muro o bordo de piedra) como resultado de la excavación vertical y lateral del arroyo en el lamabordo original.

Los perfiles en las laderas adyacentes al sistema de lamabordos Pozoltepec se desarrollan ambos sobre rocas de la Formación Yanhuitlán. Las marcadas diferencias de profundidad y desarrollo de pedogénesis están en función de la inclinación del terreno. En MIX 14, con una pendiente 63 %, sólo se observaron dos horizontes orgánicos (Ah1 y Ah2) hasta una profundidad de desarrollo de apenas 16 cm, razón por la que fue clasificado como Regosol y se le asignó el calificador principal leptic (le). En contraparte, con una inclinación de 35 % en MIX 16 se reconoció una secuencia de horizontes A y B de hasta 75 cm de profundidad.

En este perfil los horizontes A se desarrollan hasta 30 cm y se observaron fragmentos de carbón de hasta 3 cm de diámetro a lo largo del mismo. En los horizontes B se reconoció aumento del contenido de arcilla expresado como revestimientos de cutanes de arcilla en caras de agregados que cumple con los requisitos de un horizonte de diagnóstico árgico, lo que permitió clasificar al perfil como Luvisol al que se le añadió el calificador suplementario cutanic (ct); debido a una saturación de bases muy alta le corresponde además el calificador hypereutric (je). De manera adicional se añadieron los calificadores prototechnic (qt) y protocalcic (qc) por poseer artefactos como carbón y fragmentos de cerámica en superficie y a lo largo del perfil, y por acumulación de CaCO_3 en forma de polvo fino, nódulos y pseudomicelios en canales de raíces y caras verticales de agregados (fig. 5.23).



Figura 5.23 Acumulación de carbonato de calcio en forma de nódulos y polvo fino en agregado de suelo en el perfil MIX 16, horizonte Btk2 (55 a 76 cm de profundidad).

Los siguientes dos sistemas, Ichiyodo y Panteón, se desarrollan entre laderas en las que no afloran las rocas carbonatadas de la Formación Yanhuitlán de lo que deriva que algunas de las características de los suelos sean distintas a los de los anteriores.

En el sistema Ichiyodo se describieron los perfiles en tres lamabordos (MIX 07, MIX 08 y MIX 18) y uno más en una ladera contigua a éstos en dónde aflora la Toba Llano de Lobos (MIX 17, fig. 5.24). Un perfil clasificó como Cambisol y el resto dentro del grupo de referencia Regosol.

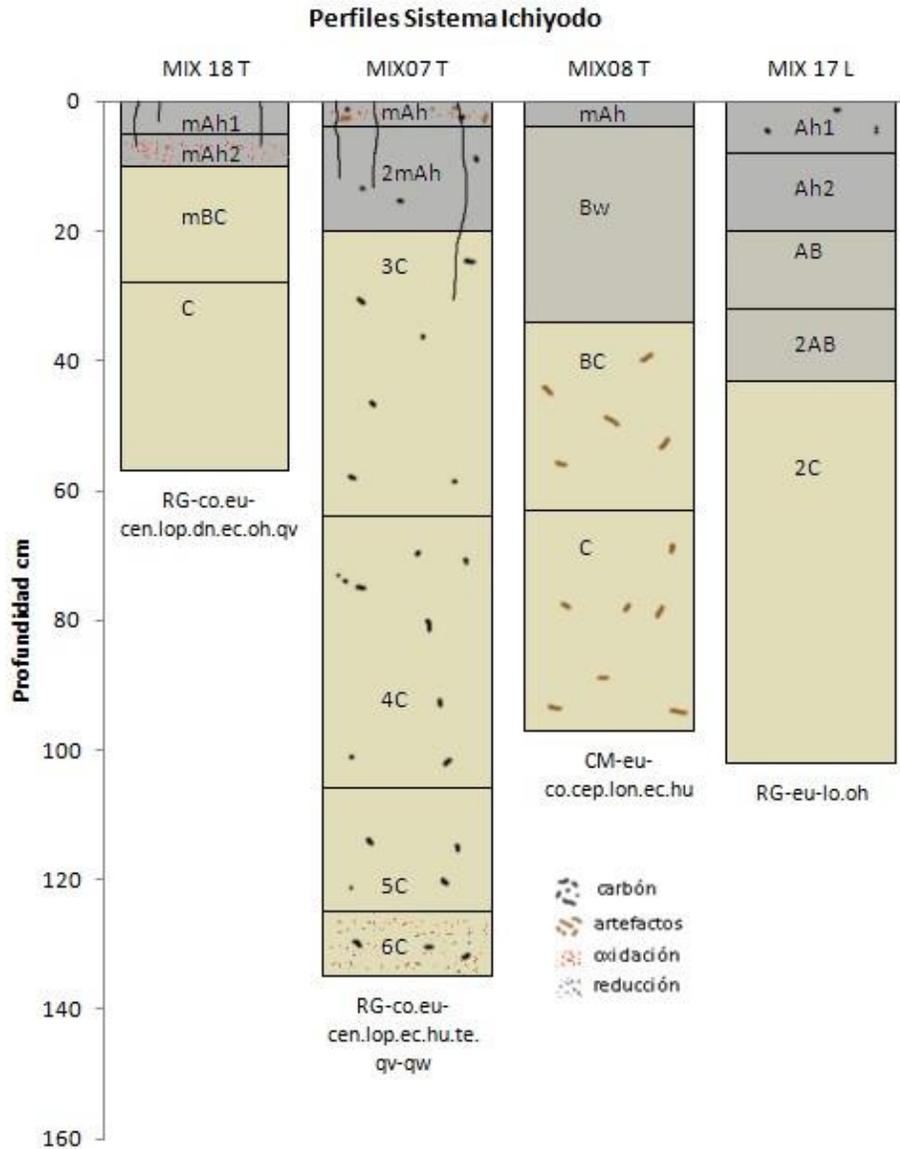


Figura 5.24 Espesor de horizontes, principales rasgos morfológicos y clasificación de los perfiles del sistema Ichiyodo.

A excepción de MIX 08; en dónde se reconoce un horizonte mineral Bw que refleja mayores alteraciones pedogenéticas, que permiten clasificarlo como un Cambisol en el resto de los perfiles se observaron secuencias de horizontes orgánicos (Ah) seguidos por horizontes minerales poco transformados (BC o C), rasgos que llevan a clasificarlos como -Regosoles.

En las terrazas más altas de esta serie (MIX 18 y MIX 07, fig. 5.25) se observó grietas de más de medio centímetro de separación en superficie por lo que se añadió en la clasificación el

calificador protovertic (qv). Se identificaron rasgos de compactación y pérdida de estructura en los horizontes más próximos a la superficie, lo que se traduce en una lenta traslocación del agua en el perfil en época de lluvias, estancándose y favoreciendo periodos de condiciones anaerobias que desencadenen procesos de oxidación y se reflejan en el perfil como manchas de color rojizo. En la terraza MIX 07 también se reconocieron tales rasgos a más de 125 cm de profundidad, razón por la que se agregó el calificador protostagnic (qw) en su clasificación.

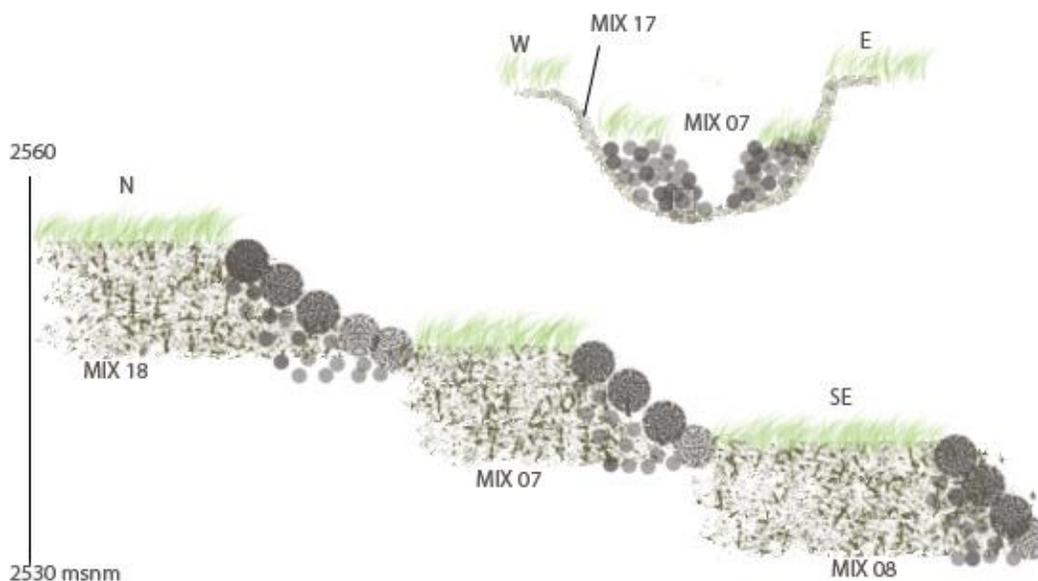


Figura 5.25. Perfil longitudinal y transversal del sistema Ichiyodo.

En MIX 07 se encontró artefactos como cerámica en el horizonte superficial y fragmentos de carbón a lo largo de todo el perfil y se le asignó el calificador technic (te). En MIX 08 se observó fragmentos de cerámica en los dos horizontes más profundos del perfil.

Se reconocieron diferencias texturales de acuerdo con la posición de la terraza dentro de la secuencia de lamabordos, en aquellas más cercanas al parteaguas de la cuenca las clases texturales fueron franco limosas en superficie (epiloamic; lop) y arcillosas a profundidad (endoclayic; cen), mientras que, en el bordo en la parte más baja del sistema la textura en

los horizontes más próximos a la superficie fue arcillosa (epiclayic; cep) y a mayor profundidad fue franco limosa (endoloamic; lon).

Se describió otro perfil en la ladera adyacente a los lamabordos, con una secuencia de horizontes Ah1, Ah , y AB que cubren a un suelo sepultado con una secuencia 2AB, 2C, todo ello con espesor de 100 cm. Aunque no se reconocen con claridad, es probable que haya estructuras como terrazas de contorno en toda la ladera. Hay una cubierta vegetal de bosque de encino abierto, con una pendiente de 70 % y sujeta a procesos erosivos y de remoción en masa. Aun así se desarrolla; en algunas partes, un suelo las características descritas.

En el sistema Panteón, desarrollado sobre depósitos deleznales de la -toba Llano de Lobos, se describieron cuatro perfiles, tres en lamabordos (MIX 09, MIX10 y MIX 19) y uno en la ladera (MIX 20) fuertemente afectada por erosión laminar y cárcavas incipientes y de la que se desprenden abundantes materiales coluviales hacia los lamabordos. Todos clasificaron dentro del grupo de referencia Regosol (fig. 5.26). En los perfiles de suelo de las terrazas se reconocieron secuencias de horizontes humificados (Ah, Ah1 y Ah2), de transición (AC y BC) y horizontes de desarrollo incipiente (C). En el suelo de la ladera se describió una secuencia de horizontes (Ah1 y Ah2) seguidos de roca saprolizada (Cw).

En las primeras dos terrazas en esta secuencia (fig. 5.27) se observó compactación en los horizontes superficiales. En MIX 09 se encontró fragmentos de cerámica entre 18 y 90 cm de profundidad. En la terraza más baja de este sistema (MIX 10) no se identificaron rasgos morfológicos notables que la distingan de las anteriores. En el perfil de la ladera se observó fragmentos de carbón en el primero horizonte.

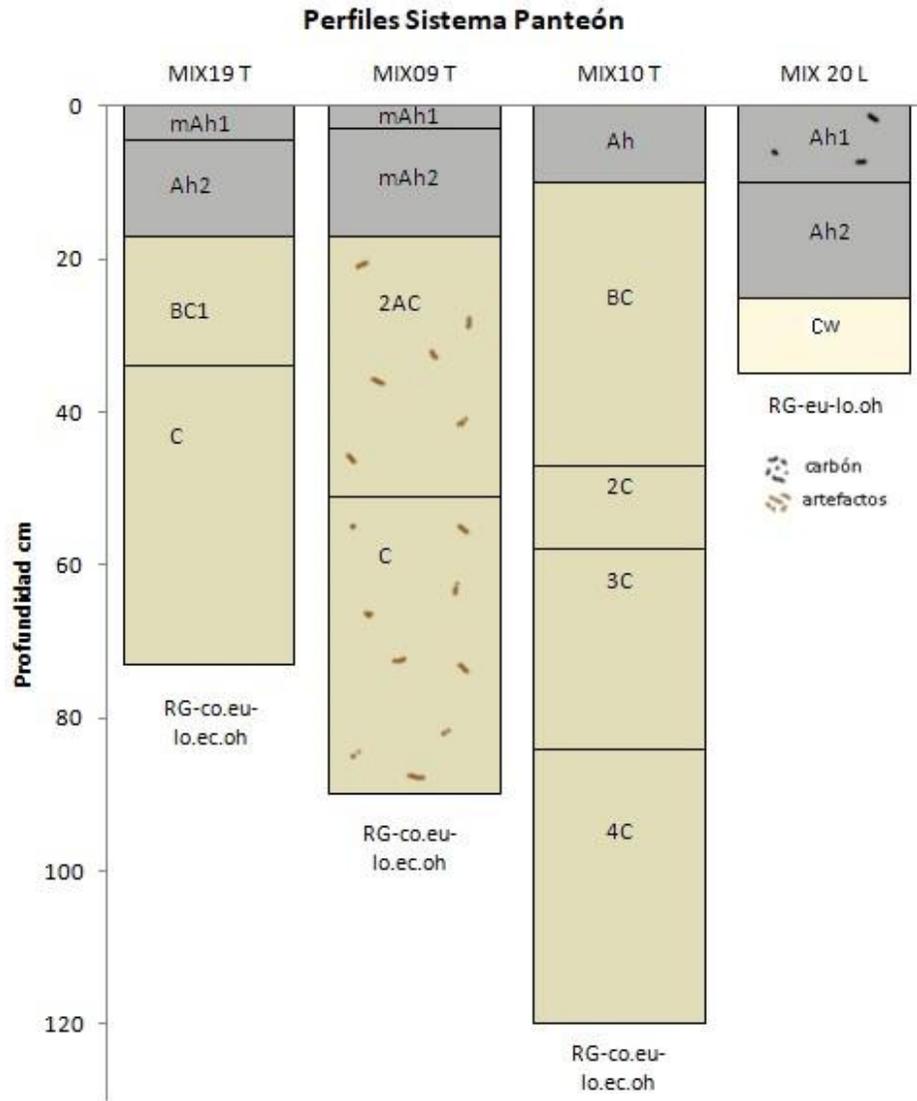


Figura 5.26 Espesor de horizontes, principales rasgos morfológicos y clasificación de los perfiles del sistema Panteón.

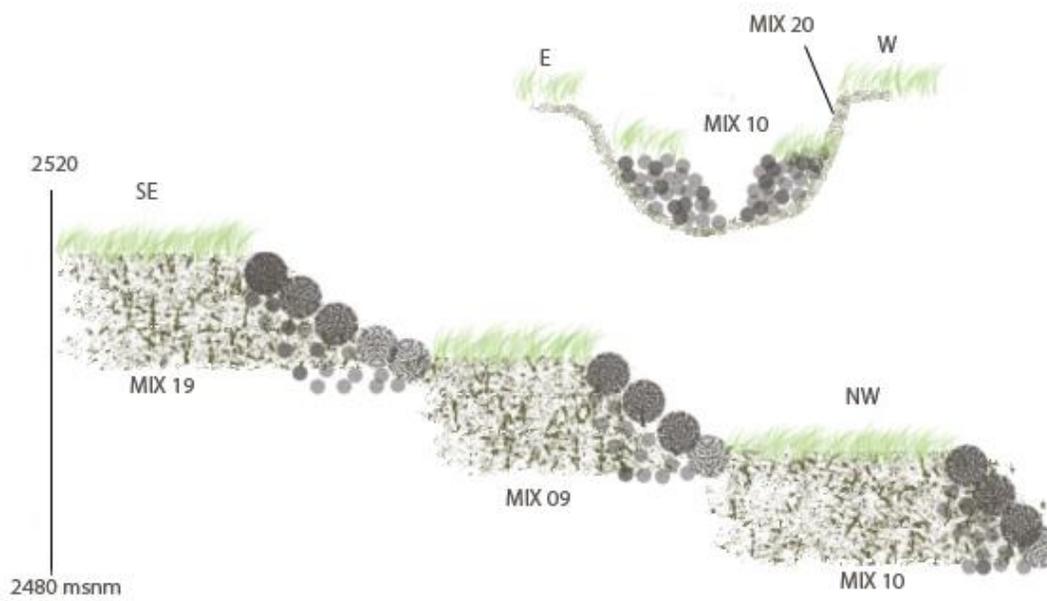


Figura 5.27 Perfil longitudinal y transversal del sistema Panteón.

5.4 Fechamiento de carbón

En el sistema Ichiyodo en el perfil MIX 07 se obtuvo una muestra de carbón a 118 cm de profundidad a la que se le determinó la edad mediante el método de radiocarbono. Los resultados reportados arrojan una edad convencional de 100 +/- 30 BP. A través de *High Probability Density HPD: INTCAL 13* se determinó la edad calibrada de la muestra para una y dos desviaciones estándar (fig. 5.28).

La edad calibrada $\pm 1\sigma$ tiene un rango muy amplio, que va de 1694 a 1918 cal D.C. Para $\pm 2\sigma$ el rango es de 1682-1935 ca D.C., si bien hay 68.3% de probabilidad de que la edad caiga entre 1805 y 1935 A.D., y 27.1% de probabilidad de que caiga entre 1682 y 1736 A.D.

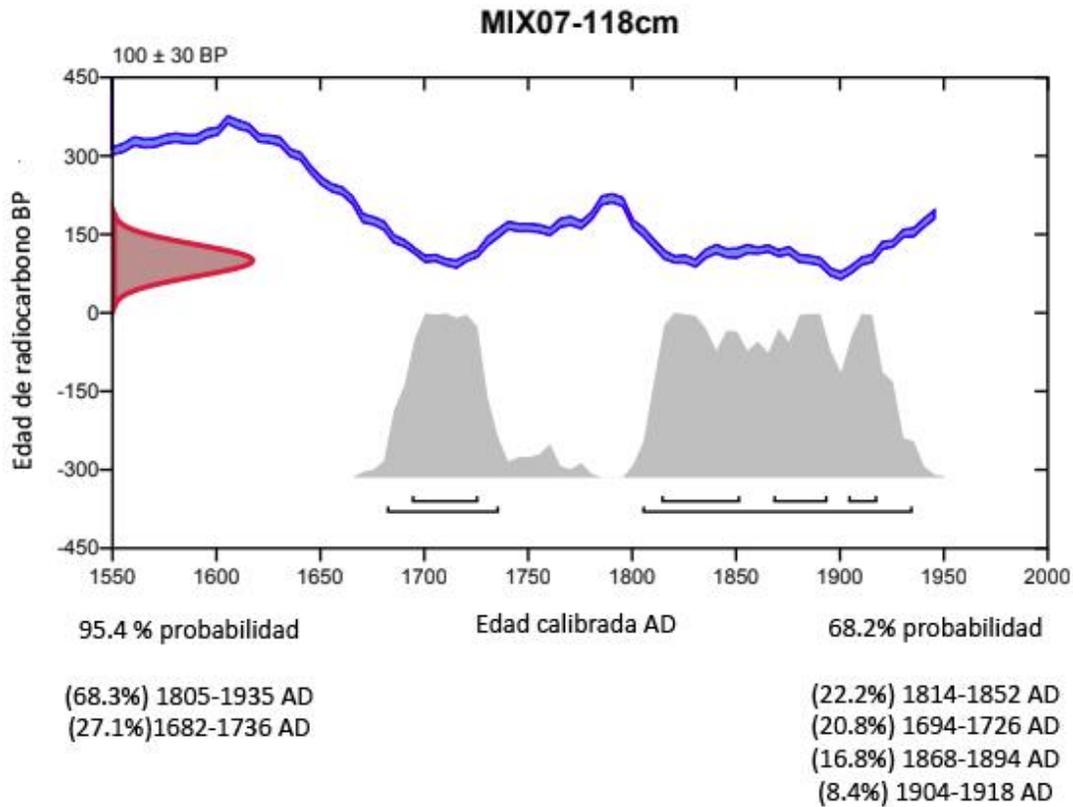


Figura 5.28 Edad radiocarbono y calibrada de fragmento de carbón encontrado en el perfil MIX 07 a 118 cm de profundidad.

5.5 Erosión laminar y en surcos, USLE

El cálculo de la pérdida de suelo por erosión laminar y en surcos en el horizonte superficial de los perfiles descritos se estimó a través de la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE, por sus siglas en inglés). Ésta considera el régimen de precipitación, características de suelo, topografía, sistema de cultivo y prácticas de manejo (Stone & Hilbord, 2000). A cada uno de los factores anteriores le es asignado un valor numérico en función de las condiciones que determinan la erosión y se expresa mediante la ecuación:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

En dónde:

A = pérdida potencial anual de suelo en toneladas por hectárea por año

R = factor de precipitación y escurrimiento de acuerdo con localización geográfica

K = erodabilidad del suelo

LS = gradiente de longitud

C = tipo de cultivo o vegetación

P = prácticas de manejo

El factor precipitación o erosividad de la lluvia (R) se calculó mediante el Índice Modificado de Fournier (MFI, por sus siglas en inglés) que expresa lo siguiente:

$$MFI = \sum_{i=1}^{12} \frac{p^2}{P_t}$$

En dónde:

MFI = Índice Modificado de Fournier = erosividad de la lluvia (R)

p = precipitación media mensual

P_t = precipitación total anual

La erodabilidad (K) se estimó de acuerdo con Siebe *et al.* (2016) quienes toman en cuenta el contenido de materia orgánica del horizonte superficial, su clase textural, la estabilidad de los agregados y la conductividad hidráulica. El resultado es un valor que se ajusta en función de un factor de corrección que toma en cuenta la pedregosidad en dicho horizonte.

Para el cálculo del gradiente de longitud de la ladera de (LS) se empleó la "Ecuación para calcular LS " propuesta por Stone & Hilbord (2000) expresada como:

$$LS = [0.065 + 0.0456(L) + 0.006541(L)^2] \left(\frac{LL}{C}\right)^{NN}$$

En dónde:

LS = gradiente de longitud de la ladera

L = inclinación de la ladera (%)

LL = longitud de la ladera (m)

C = constante 22.1

NN = para una pendiente superior a 5 % el valor empleado es 0.5

El factor tipo de cultivo y manejo de vegetación (C) es empleado para determinar la efectividad del suelo y el manejo de los cultivos para prevenir la erosión. Este factor es una proporción que compara la pérdida de suelo de una ladera bajo un cultivo y sistema de manejo específico. Los valores empleados son los propuestos por González Arqueros (2014) y Prado-Hernández *et al.* (2017) para distintos tipos de cobertura vegetal. En el caso del cultivo de maíz de temporal en los lamabordos se empleó el valor 0.5, para las superficies abandonadas se consideró 0.07; que corresponde a pastizales forestales erosionados, y para algunas laderas se utilizó 0.04, contemplado para bosques y matorral de encino.

EL factor de práctica de manejo (P) refleja el efecto potencial de prácticas que podrían reducir la cantidad y velocidad de la esorrentía del agua, así como la erosión. Los valores empleados se retomaron de González Arqueros (2014) quien propone un valor de 0.5 para terrazas agrícolas y de 1 para superficies en las que no se lleva a cabo ninguna práctica de manejo, como lo son los lamabordos abandonados o las laderas adyacentes a los sistemas.

El resultado de multiplicar cada uno de los factores es la estimación de la pérdida potencial promedio anual de suelo por hectárea en toneladas. Para convertir esta masa en unidades de volumen se calcula la proporción entre la masa y la densidad aparente del suelo mediante la siguiente ecuación:

$$V = A \times \rho$$

En dónde:

V = volumen de pérdida de suelo $m^3/ha/año$

A = pérdida anual promedio de suelo $Ton/ha/año$

ρ = densidad aparente del suelo g/cm^3

Los resultados de aplicar la ecuación en cada uno de los perfiles descritos se expresan en el cuadro 5.2, en el que se muestran los valores de la pérdida potencial anual de suelo en

toneladas por hectárea por año (A) y el volumen que eso representaría en m³. Es notorio que los valores más altos, hasta 7.9 toneladas de suelo potencialmente erosionables, pertenecen a los perfiles ubicados en las laderas, situación que está directamente relacionada con la inclinación del terreno, así como la longitud de las laderas.

Cuadro 5.2 Potencial pérdida anual de suelo por erosión laminar y en surcos. calculada a través de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE)

Perfil	Pendiente %	longitud d m	R	K	LS	C	P	A Ton/ha/año	Volumen m ³ /año
MIX 01	3	122	95.58	0.32	0.31	0.55 ¹	0.50 ^a	2.61	1.727
MIX 02	1	200	95.58	0.25	0.17	0.55 ¹	0.50 ^a	1.12	0.930
MIX 03	0	148	95.58	0.31	0.07	0.55 ²	0.50 ^a	0.53	0.378
MIX 04	0	55	95.58	0.35	0.07	0.07 ²	0.50 ^a	0.08	0.054
MIX 05	0	137	95.58	0.37	0.07	0.07 ²	0.50 ^a	0.08	0.057
MIX 06	8	30	95.58	0.23	0.50	0.07 ²	0.50 ^a	0.39	0.301
MIX 07	5	44.5	95.58	0.31	0.36	0.07 ²	0.50 ^a	0.38	0.252
MIX 08	1	9	95.58	0.11	0.11	0.07 ²	0.50 ^a	0.04	0.035
MIX 09	1	6.3	95.58	0.14	0.11	0.07 ²	0.50 ^a	0.05	0.034
MIX 10	0	50.9	95.58	0.3	0.07	0.07 ²	0.50 ^a	0.07	0.047
MIX 11	63	124.5	95.58	0.17	5.26	0.04 ³	1.00 ^b	3.76	3.186
MIX 12	25	315	95.58	0.19	3.54	0.04 ³	1.00 ^b	2.83	2.278

MIX 13	0	199	95.58	0.36	0.07	0.07 ²	0.50 ^a	0.08	0.076
MIX 14	63	145.1	95.58	0.26	5.64	0.07 ²	1.00 ^b	9.96	8.030
MIX 15	8	45.7	95.58	0.27	0.54	0.07 ²	0.50 ^a	0.49	0.474
MIX 16	35	67	95.58	0.28	2.36	0.04 ³	1.00 ^b	2.77	2.236
MIX 17	70	100	95.58	0.21	5.33	0.04 ³	0.50 ^a	2.35	2.064
MIX 18	1	28	95.58	0.29	0.12	0.07 ²	0.50 ^a	0.12	0.085
MIX 19	10	14	95.58	0.25	0.56	0.07 ²	0.50 ^a	0.48	0.302
MIX 20	45	297	95.58	0.31	6.07	0.04 ³	1.00 ^b	7.92	5.498

La pendiente de la ladera (S) se expresa en porcentaje y su longitud (L) en metros; R: erosividad de la lluvia; K: erodabilidad del suelo, LS: longitud-pendiente de la ladera, C: cultivo y tipo de labranza: ¹maíz de temporal, ²pastizal forestal erosionado, ³bosque-matorral de encino; P: práctica de manejo: ^aterrazza, ^bsin prácticas de manejo; A: promedio anual de pérdida de suelo por hectárea.

En el caso de la pendiente, las laderas más pronunciadas son las de los perfiles MIX 11, 12, 14, 16, 17 y 20 con inclinaciones de 63, 25, 63, 35, 70 y 45% respectivamente, y son estos mismos perfiles en los que la pérdida potencial de suelo es mayor. La longitud de la ladera también es un factor que condiciona la remoción de suelo por acción de la escorrentía superficial. En el cuadro 2 se observa que en casos como el de MIX 20, en donde a pesar de que la pendiente es menor que la de perfiles como MIX 17, la erosión potencial se duplica porque la longitud de la ladera es tres veces la de MIX 17. En los lamabordos la erosión laminar es considerablemente menor que la erosión en las laderas debido a que estas terrazas no sólo nivelan la superficie, sino que reducen la longitud de la ladera y con ello la capacidad erosiva de la escorrentía superficial. De hecho, son áreas que en general captan sedimentos en lugar de perderlos. En los lamabordos de MIX 01 y MIX 02, la pérdida de suelo es mayor que en el resto de las terrazas por dos razones: en el primer caso la longitud de la parcela es de 122 m y su inclinación es de 3%, lo que se traduce en un mayor potencial

de erosión; en MIX 02, a pesar de que la inclinación es de 1%, la longitud de la parcela es mayor que la anterior (200 m).

Sin embargo, en las laderas y en las terrazas no sólo la escorrentía superficial interviene en la erosión de suelos y roca. Es principalmente a través del desarrollo de cárcavas que se exporta un volumen mayor de materiales en esta región.

5.6 Cálculo de erosión en cárcavas

En el lamabordo de la base del Sistema Panteón (L9) se calculó el volumen de suelo desalojado por una cárcava. Las dimensiones de ésta; medidas en el modelo de alta resolución generado a partir de las fotografías obtenidas con un dron, fueron 174.7 m de perímetro y 567.7 m² de área. A través del software Acute 3DViewer se determinó que el volumen de ésta fue de 1394.9 m³. La masa del suelo perdido por acción de la cárcava se calculó a través de la siguiente fórmula:

$$M = V \times \rho$$

En dónde:

M = masa de suelo erosionado en Kg

V = volumen de la cárcava en m³

ρ = densidad aparente del suelo en Kg/m³

Para calcular la masa se consideró el promedio de las densidades aparentes del suelo en la terraza, que fue de 1.44 g/cm³. El resultado es 2,008,785.6 Kg o 2008.78 ton, que representan la masa total de suelo erosionado por la cárcava en ese lamabordo.

La tasa anual de pérdida de material por acción de la cárcava se calculó tomando en cuenta la respuesta observada en los anillos de crecimiento de un ejemplar de *Juniperus flaccida* que se estableció inmediatamente aguas abajo del muro del lamabordo. Después de la rotura del muro la cárcava desencadenó la puesta en movimiento y desalojo del suelo en la terraza. Estos, junto con la escorrentía concentrada generada por la cárcava, se tradujo en condiciones de estrés para el crecimiento del árbol que se ven reflejadas en la supresión en el desarrollo de los últimos trece anillos.

Considerando que en climas templados el crecimiento de los anillos es anual, se estableció que la rotura del muro del lamabordo ocurrió 13 años antes del momento de la descripción, es decir, en el año 2005. Este dato es consistente con la información aportada por la comunera dueña de la terraza, quién indicó que el rompimiento había ocurrido hacía doce o quince años.

Con esta información se determinó la tasa de erosión por una cárcava en una terraza tipo lamabordo de 50 m de longitud con una pendiente de 0%, que es 154.5 ton/año. Para calcular el volumen de la masa del suelo removido por la cárcava se dividió la tasa anual entre la densidad aparente del suelo, lo que representa 107.2 m³/año de suelo.

El volumen teórico de suelo del lamabordo erosionado anualmente por efecto de la esorrentía difusa y en surcos es ínfimo (0.01 ton/ha/año en el perfil MIX 10), en comparación con el volumen removido por una cárcava (145.5 ton/ha/año) excavada en el mismo lamabordo y en el mismo periodo de tiempo.

5.7 Abandono y recolonización de terrazas abandonadas

Hace trece años se rompió el muro del lamabordo en la base de la secuencia de terrazas del sistema Panteón, pero ese no fue el momento en el que se dejó de llevar a cabo la agricultura en este sistema. Existe un periodo entre el punto en el que se abandona una terraza y en el que su estructura colapsa consecuencia de la falta de mantenimiento.

Una manera de determinar ese periodo de tiempo se encuentra en las comunidades vegetales que se establecen en un espacio después de ser abandonado. En este sistema ejemplares de *Pinus oaxacana* recolonizaron la superficie de las terrazas, su edad fue estimada a través del conteo del número de verticilos en el tronco de los árboles (cuadro 5.3) y a través del conteo de los anillos de crecimiento en virutas extraídas de algunos ejemplares (fig. 5.29) en diferentes lamabordos del mismo sistema Panteón (fig. 5.30).

Cuadro 5.3. Número de verticilos en ejemplares de *Pinus oaxacana* en lamabordos del sistema Panteón.

Clave lamabordo	Verticilos por árbol
L1	9
L2	5,7,4,1,7
L3	9,5,4,1,5,5,4,5,8
L4	4,7,6,7,7,9,10,13
L5	7,4,6,18
L6	6,10,5,7
L7	9,10,6,9,7,10,12,11,9,10,8
L8	10



Figura 5.29 Virutas de *Pinus oaxacana* colectadas en el sistema de lamabordos Panteón.

En esta recolonización natural la edad de la mayoría de los individuos oscila entre 4 y 7 años, aunque los más antiguos poseían edades entre 17 y 18 años en el momento del muestreo, siendo estos últimos ejemplares los primeros en establecerse en las superficies abandonadas. En función de estos datos la edad mínima del abandono de los lamabordos va de entre los 4 y 18 años. Sin embargo, cabe resaltar que es probable que estas terrazas no hayan sido abandonadas al mismo tiempo, de ahí la diferencia en la distribución de las edades de los ejemplares de *Pinus*.

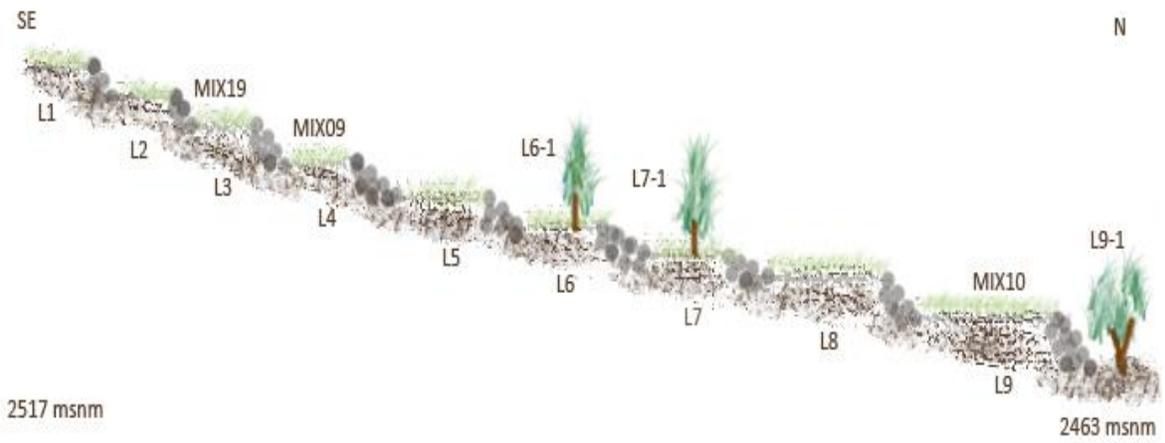


Figura 5.30 Perfil longitudinal del sistema de terrazas Panteón conformado por nueve lamabordos (L1-L9) y árboles muestreados, *Pinus oaxacana*: L6-1 y L7-1, *Juniperus flaccida*: L9-1.

Capítulo 6. Discusión

6.1 Influencia del material parental y edad en algunas características de los suelos en los lamabordos

Los mayores niveles de CO fueron observados en antiguas terrazas constituidas principalmente por materiales derivados de la Formación Yanhuitlán; MIX 06, 3.14 %, mientras que en terrazas más jóvenes asociadas a estos mismos materiales generalmente está por debajo del 1 %. Notables también son los elevados contenidos de carbono inorgánico C derivados del material parental, en las terrazas más jóvenes, por ejemplo, en MIX 01 y MIX 02 el contenido de carbono inorgánico se encuentra en el orden de 3.3 y 2%.

En las terrazas constituidas por materiales volcánicos como la Toba Llano de Lobos y la Andesita Yucudaac el carbono total reportado se constituye únicamente por carbono orgánico, es decir no se observa influencia alguna del material parental en la conformación de carbono inorgánico en el suelo. En función de la edad, se esperaría que las terrazas más antiguas descritas en estas condiciones, que corresponden a las del sistema Ichiyodo, poseyeran los niveles más altos de COt. Sin embargo, se observó que el contenido es similar al de las terrazas más recientes en el sistema Panteón, 1.77 y 1.75% respectivamente, situación que puede relacionarse, precisamente, con la ausencia de carbonatos de calcio que quelaten la materia orgánica en el suelo estabilizándola y reduciendo su tasa de mineralización, por lo que con el tiempo en las terrazas abandonadas del sistema Ichiyodo se observa pérdida de carbono orgánico, tal y cómo lo reportan Sandor *et al.* (1986b).

Respecto al balance hídrico, los suelos de las terrazas en general poseen una baja capacidad de campo y una mediana capacidad de agua disponible, con excepción de los suelos de las terrazas de los sistemas Ichiyodo y Panteón en los que tales parámetros son ligeramente superiores. Si se tiene en cuenta la edad de los sistemas, los más antiguos (Pozoltepec asociado a la formación Yanhuitlán e Ichiyodo a depósitos volcánicos) son aquellos que poseen una mayor capacidad de retención de agua contra la gravedad, así como de agua disponible para el aprovechamiento de las plantas (fig. 6.1). Las bases intercambiables también son mayores en los suelos de los lamabordos de los sistemas más antiguos; Pozoltepec e Ichiyodo, aunque es marcadamente superior en este último.

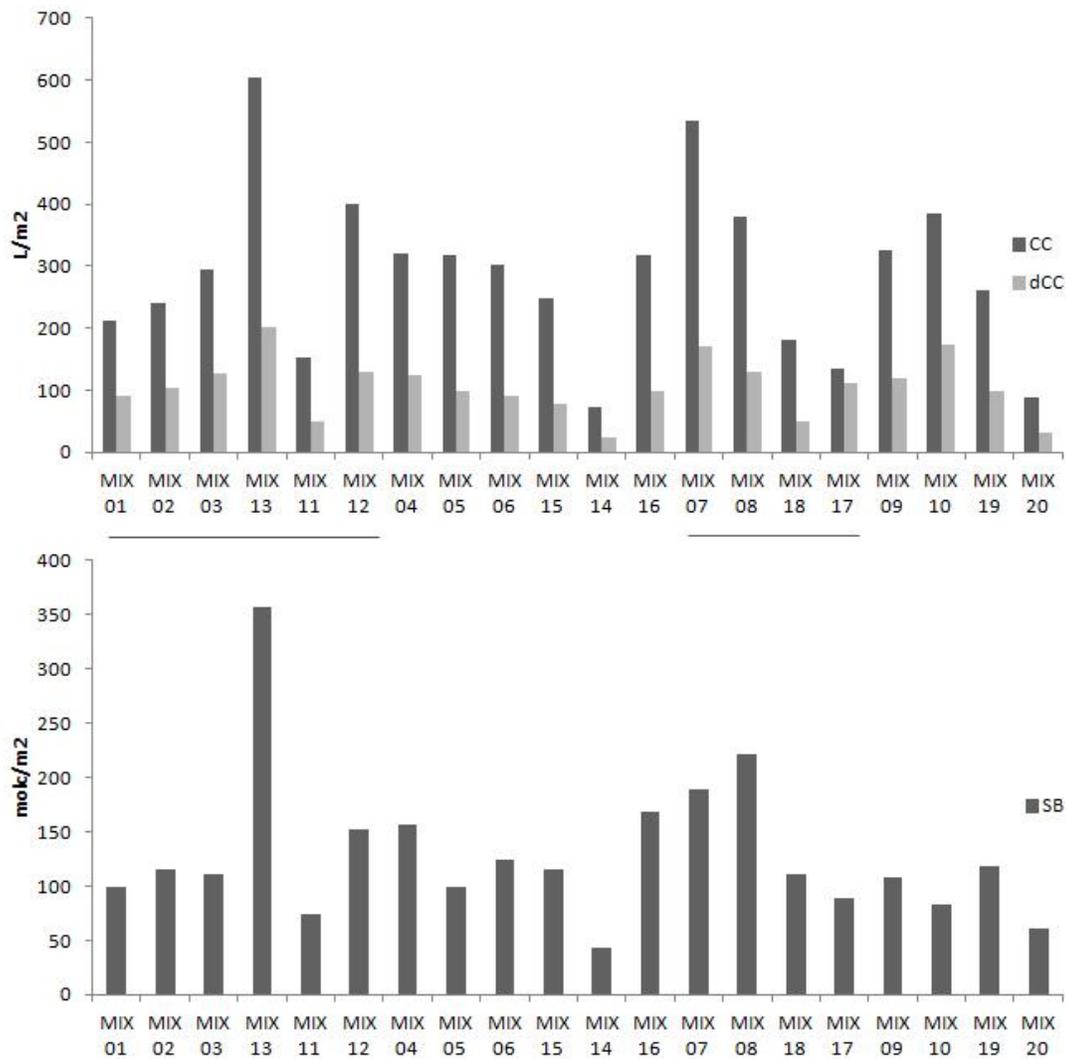


Figura 6.1 (arriba) Capacidad de campo (CC) y capacidad de agua disponible (dCC) de los suelos descritos. (abajo) Bases intercambiables de los suelos descritos. De izquierda a derecha. Sistema Tooxti: lamabordos (MIX 01,02,03,13) y laderas (MIX 11, 12). Sistema Pozoltepec: lamabordos (MIX 04,05,06,15) y laderas (MIX 14, 16). Sistema Ichiyodo: lamabordos (MIX 07,08,18) y ladera (MIX 17). Sistema Panteón: lamabordos (MIX 09,10, 19) y ladera (MIX 20).

En cuanto a la reserva de nitrógeno (Nt) y la cantidad que está disponible (Nd) para el aprovechamiento de la vegetación, los niveles más altos se observan preferentemente en las laderas, con excepción de los suelos en MIX 06 y MIX 10 en lamabordos (fig. 6.2). La cantidad de fósforo movilizable por la mineralización de la materia orgánica (Pmo) también es superior en los suelos de terrazas más antiguas, aunque son marcadamente más elevadas en los suelos asociados a la toba y la andesita como los del sistema Ichiyodo (fig. 35).

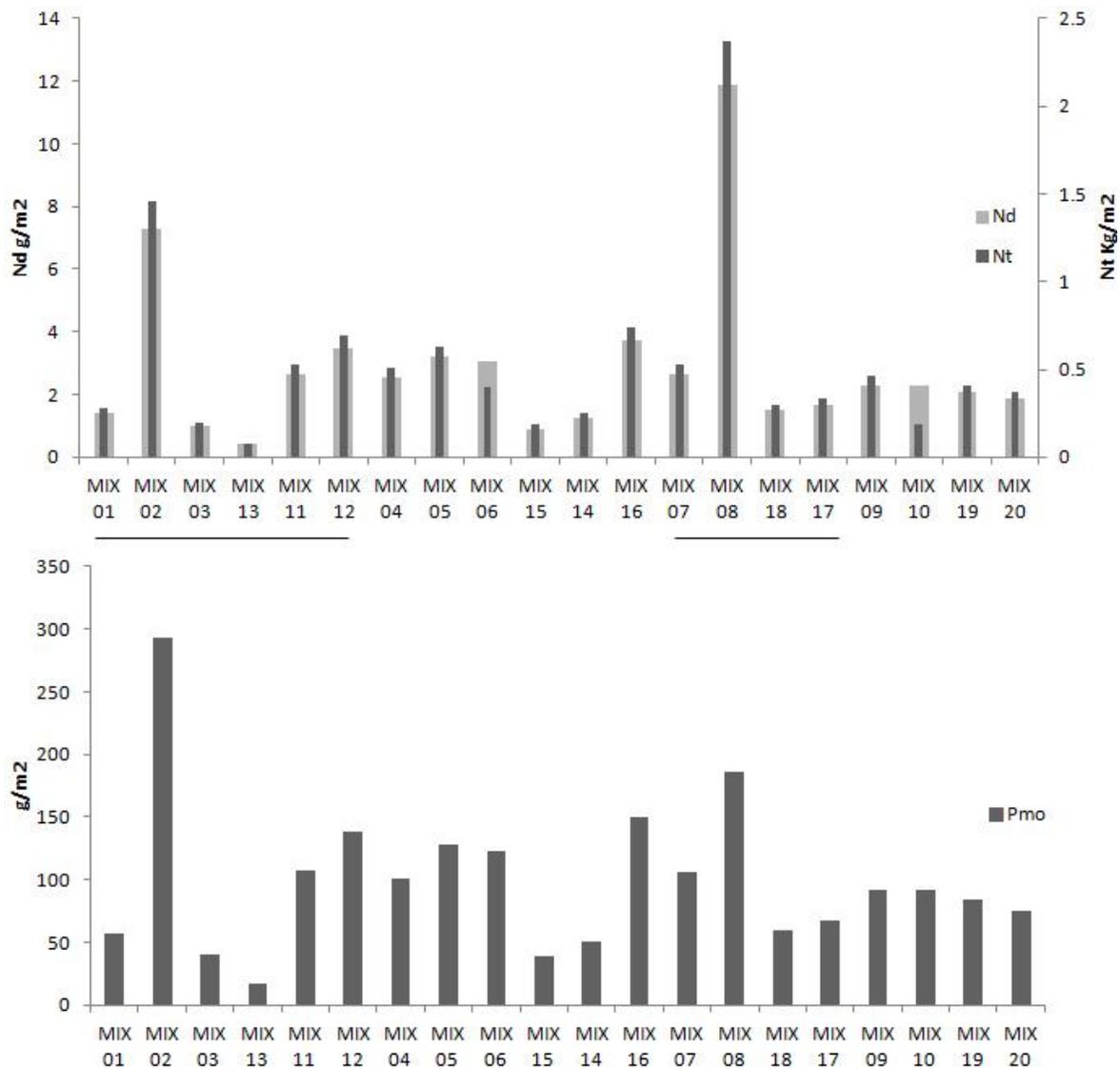


Figura 6.2 Gráfica superior: Nitrógeno total (Nt) y disponible (Nd) de los suelos descritos. Gráfica inferior: fósforo movilizable por mineralización de la materia orgánica (Pmo) de los suelos descritos. De izquierda a derecha. Sistema Tooxi: lamabordos (MIX 01,02,03,13) y laderas 8MIX 11, 12). Sistema Pozoltepec: lamabordos (MIX 04,05,06,15) y laderas (MIX 14, 16). Sistema Ichiyodo: lamabordos (MIX 07,08,18) y ladera (MIX 17). Sistema Panteón: lamabordos (MIX 09,10, 19) y ladera (MIX 20).

6.2 Suelo en la terraza vs suelo en el resto de la cuenca

De acuerdo con las observaciones realizadas en campo, el suelo en las laderas posee mayores contenidos de carbono orgánico y es más evidente la expresión de procesos pedogénéticos que en los lamabordos. En los casos en los que estas características se encuentran mejor expresadas en los lamabordos, esto responde a la geometría y a lo

pronunciado de las laderas, lo que las convierte en superficies inestables su desarrollo, tal es el caso de MIX 11 y MIX 14.

Sin embargo, una excepción a estas circunstancias es caso de los perfiles MIX 16 y MIX 17. El primero es un suelo desarrollado en una ladera con una pendiente de 35% con una secuencia de horizontes A-B de una profundidad de desarrollo de 75 cm fue clasificado como Luvisol por la presencia de revestimientos de arcilla en las caras de los agregados y un marcado aumento de la fracción arcilla en los horizontes más profundos, lo que denota acumulación en éstos por su eluviación de los horizontes superficiales. En MIX 17 a pesar de encontrarse en una superficie con una pendiente del 70% tiene una profundidad de desarrollo de poco más de 100 cm y en el que se observa una sucesión de horizontes Ah-AB-C Una posible explicación a estas condiciones es que; a pesar de que no se reconocen claramente por la presencia de un bosque de Quercus, existan en esta ladera terrazas de contorno que han contribuido a estabilizar la superficie y propiciado el desarrollo de los procesos edafológicos.

Ahora bien, es cierto que en las laderas existen suelos más desarrollados y con mejor estructura; puesto que son suelos que desarrollaron a lo largo de varios miles de años y que responden a la historia ambiental del paisaje de la región. Sin embargo, el porcentaje que éstos cubren en la cuenca es bajo ya que se encuentran sujetos a procesos de erosión acelerada por la esorrentía superficial y en surcos, y principal y más severamente por la acción de cárcavas. Lo que va en detrimento de los servicios ecosistémicos que éstos ofrecen al funcionamiento de las cuencas.

Frente a este escenario encontramos que, dependiendo el material parental y el tiempo transcurrido después de la conformación de los lamabordos, es posible que se desarrollen suelos que manifiestan alteraciones edafológicas que los llevan a ser considerados como Cambisoles o, incluso, Luvisoles. En el caso de los Regosoles; que es el grupo de referencia bajo el cual fueron clasificados la mayoría del suelo de estas terrazas agrícolas, su descripción refiere a suelos que no expresan clara o suficientemente procesos de pedogenéticos; como lo ponen en evidencia Solis & Bocco Verdinielli (2018) quienes

manifiestan que de acuerdo con estudios micromorfológicos más que características de suelos en los depósitos en las terrazas predominan rasgos sedimentarios. Sin embargo, aunque de manera incipiente, se están llevando a cabo procesos de desarrollo de suelo que mejoran los servicios ecosistémicos de las cuencas en las que desarrollan, ya que finalmente son estas estructuras las que fungen como los reservorios de humedad y nutrientes en el ecosistema.

En tanto que se habla de estas terrazas agrícolas como reservorios de humedad y nutrientes, surge el siguiente cuestionamiento: ¿Qué cantidad de suelo se encuentra "almacenado" por los lamabordos en las cuencas altas? En la zona de estudio éstos abarcan una superficie de alrededor de 8 Km², y presentan un espesor que va en promedio de los 2 a los 10 m, esto teniendo en consideración la altura promedio de los muros en los sistemas descritos (Tooxi ~ 10 m, Pozoltepec ~ 5 m, Ichiyodo y Panteón ~ 2 m). Para estos tres espesores promedio se calculó volúmenes y masas mínimas y máximas considerando 1.37 g/cm³ como la densidad aparente promedio de los 14 perfiles descritos en lamabordos (cuadro 6.1).

Cuadro 6.1 Masa y volumen de suelo almacenado en lamabordos en la zona de estudio.

Superficie de lamabordos (m ²)	Espesor promedio	Masa (ton)	Volumen (m ³)
8028099.72	2 m	21,996,993.2	16,056,199.4
	5 m	54,992,483.08	40,140,498.6
	10 m	109,984,966.2	80,280,997.2

Con esta base, es posible proponer que entre 21,996,993 y 109,984,966 toneladas de material de suelo-sedimento, que representan un volumen entre 16,056,199 y 80,280,997 m³, se encuentran almacenados por efecto de los lamabordos en la zona de estudio. Redondeando cifras, se propone que entre 22 y 110 millones de toneladas (es decir, entre 16 y 80 millones de m³) de suelo-sedimento están retenidas en los lamabordos de la zona estudiada. De no ser por la acción de dichos lamabordos, la severa erosión por efecto

principalmente de las cárcavas, probablemente ya habrían exportado y redepositado tal masa de material fuera de esta zona.

6.3 El sistema de clasificación de la WRB frente a suelos de origen antrópico

Los grupos de referencia designados para suelos de origen antrópico según la WRB (2015) son Antrosoles y Tecnosoles, cuyos criterios de clasificación responden a condiciones particulares resultado de la prolongada adición de abonos orgánicos, fertilizantes, aguas negras, carbón vegetal, así como prácticas agrícolas como labranza profunda o inundada, o bien, un elevado contenido de artefactos que comprenden desde restos cerámicos hasta basura y cascajo. Adicionalmente, cada una de las anteriores condiciones debe ser expresada en, por lo menos, medio metro de espesor a lo largo del perfil.

Teniendo esta información en cuenta, todos los perfiles descritos en los lamabordos están lejos de clasificar dentro de algún grupo de referencia que indique explícitamente su origen antrópico. La única manera de expresarlo fue a través del calificador "Escalic" el cual alude de manera general a que se trata de suelos desarrollados en una terraza agrícola, o bien a través de la adición del sufijo "proto" al calificador "Technic" para indicar una elevada presencia de artefactos, aunque no en la cantidad establecida por la WRB para asignarlo.

Sin embargo, dada la superficie que abarcan los lamabordos; no sólo en la zona de estudio o en la región Mixteca sino en los territorios montañosos en general, es pertinente señalar la necesidad de criterios de clasificación más exhaustivos en lo que a suelos construidos por los seres humanos respecta. En el caso particular de la zona delimitada en este estudio, de los 63.2 Km² que el área comprende, 10.59 Km² de esta superficie se encuentra aterrizada, ya sea por terrazas de contorno o de tipo lamabordo, lo que representa aproximadamente 17% de la zona.

Por otro lado, es preciso señalar que la génesis de suelo ocurre más rápidamente en superficies antrópicas como los lamabordos, en comparación con las laderas o cualquier otra superficie. Porta *et al.* (1994) reportan que en función de factores como el material parental, la pendiente y las condiciones climáticas, la tasa de formación es 1 cm de suelo por 100 - 400 años. Considerando la edad radiocarbono del fragmento de carbón colectado

a 118 cm de profundidad en el perfil MIX 07 del sistema de lamabordos Ichiyodo, y considerando los límites inferiores para 1σ (1694 A.D.) y 2σ (1682 A.D.) de dicha edad, es posible suponer que a finales del siglo XVII (entre 1682 y 1694 A.D.) ese punto era la superficie de la terraza sobre la que se depositó dicho fragmento y que en los posteriores 323 a 335 años fue gradualmente sepultado por 118 cm de coluvión, y que en el mismo periodo de tiempo se desarrollaron diversos procesos pedogénéticos que permiten clasificarlo como Eutric Colluvic Regosol (Endoclayic, Epiloamic, Escalic, Humic, Technic, Protovertic) Protostagnic.

Es decir, que en poco más de 300 años por efecto de la acumulación coluvial y la pedogénesis se desarrolló un suelo de más de 1 m de espesor. De manera aventurada, es posible proponer una tasa de formación de suelo de 1 cm cada 2.73 a 2.83 años. En comparación con los 100 o 400 años que se requieren para el desarrollo de 1 cm de suelo no influenciado por las actividades antrópicas, los suelos en las terrazas agrícolas de tipo lamabordo poseen tasas de formación considerablemente más rápidas, si bien éstas se deben primordialmente a la acumulación coluvial.

6.4 Degradación del suelo de las terrazas y erosión

En la degradación de las terrazas intervienen múltiples factores que en resumen engloban la susceptibilidad de los materiales a ser erosionados, el cambio de la respuesta hidrológica de suelo en la terraza y el desarrollo de procesos de erosión acelerada como *piping* y cárcavas. En el caso de la susceptibilidad del material, los rasgos observados en el suelo de los lamabordos fueron la escasa materia orgánica (o pérdida de ésta) y la débil estructura o degradación de la misma; en cuanto a la modificación del movimiento del agua se identificó baja conductividad hidráulica y compactación.

Relacionado con la respuesta hidrológica de la terraza se notaron cambios de textura y densidad aparente de un horizonte a otro, presencia de grietas de decenas de milímetros de separación (fig. 6.3), así como capas de estructura laminar a profundidad, factores que influyen en la formación de flujos subsuperficiales que pueden socavar y formar túneles paralelos o interconectados, proceso conocido como *piping* (fig. 6.4), que desencadenan asentamientos diferenciales de la superficie de la terraza (fig. 6.5). En la desestabilización y

rompimiento de los muros de los lamabordos se observó que puede influir el crecimiento de arbustos en los huecos entre las rocas que los conforman (fig. 6.6). Esto favorece el desarrollo de cárcavas en el suelo de las terrazas, sobre todo cuando ocurre *piping*.



Figura 6.3 Presencia de grietas de expansión contracción en superficie (izq., MIX 02) y a profundidad (der., MIX 18).



Figura 6.4 Formación de socavones asociados a tunelamiento subsuperficial en lamabordo del sistema Tooxi, MIX 03.



Figura 6.5 Asentamientos de terreno en lamabordos del sistema Panteón (izq., MIX 09.) e Ichiyodo (der. MIX 08)



Figura 6.6 Colonización de arbustos en muros de lamabordos de los Panteón, Tooxi e Ichiyodo (en el sentido de las manecillas del reloj, MIX 07, MIX 10, MIX 08 y MIX 13).

En todos los perfiles de suelo descritos en lamabordos se identificó uno o varios de los anteriores rasgos descritos. En el sistema Tooxi, en MIX 01 y 02, se observó grietas de expansión-contracción y en el último, además, una capa de un par de centímetros de espesor de estructura laminar en superficie. En MIX 03 se observó la formación de socavones asociados al proceso de tunelamiento subsuperficial. En MIX 13 el muro de la terraza colapsó y la acción de una cárcava expuso los materiales. Las características observadas en el perfil asociadas a la degradación son pérdida de estructura, baja estabilidad de agregados, una capa de estructura laminar a profundidad y en la base del perfil se describió un horizonte de coloración, estructura, textura, densidad y agregación contrastantes a las características del resto de los materiales que aparentemente limitan la infiltración del agua y favorecen el flujo subsuperficial (Figura 6.7).



Figura 6.7 Horizontes de suelo con diferentes características que condicionan la respuesta hidrológica y de desarrollo de flujos subsuperficiales en el lamabordo del sistema Tooxi, MIX 13. En la figura de la izquierda se observa el contacto del suelo de la base del lamabordo con el suelo original de la ladera, la textura del primero es franco arcillosa (CR) y del segundo es arcillo limosa (RL). A la derecha se observa un agregado del suelo original, de estructura prismática y angular, con recubrimientos de arcilla en las caras verticales y dentro de los agregados

En el sistema Pozoltepec, los muros de todos los lamabordos descritos estaban colapsados y sus materiales se encontraban afectados por erosión en cárcavas. En MIX 04 y 05 se reconocieron rasgos de compactación en los primeros horizontes, altas densidades aparentes, así como bajas conductividades hidráulicas. En MIX 06 y MIX 15 se observó grietas de expansión-contracción, pérdida de estructura y altas densidades aparentes.

En el sistema Ichiyodo, a excepción de un par de lamabordos emplazados hacia la parte más alta de la cuenca, el resto está afectado por cárcavas y sus muros de retención colapsados. Se observa en sus suelos grietas, compactación, pérdida de estructura, altas densidades aparentes, bandas de estratificación laminar y asentamientos del terreno. Condiciones similares se observaron también en el sistema Panteón, en el que se reconocieron rasgos de compactación y asentamiento del terreno en el lamabordo del perfil MIX 09, así como erosión acelerada por el colapso del muro y acarreamiento del suelo del lamabordo del perfil MIX 10.

6.5 Otro escenario posible frente al abandono de terrazas agrícolas: colonización natural del bosque

Después del abandono de las terrazas, dependiendo de las características ambientales de la cuenca, su capacidad de resiliencia y el tiempo transcurrido, pueden presentarse diversos escenarios en su evolución. Comúnmente ocurre degradación por erosión. Sin embargo, también es posible que estos espacios sean colonizados naturalmente por nuevas especies (*Pinus oaxacana*, en este caso), lo que a la larga se traduce en una mejora de los servicios ecosistémicos de la cuenca.

Dicha situación se observó particularmente en el sistema Panteón, en el que, si bien la erosión en cárcavas ha afectado severamente o ha amenazado a varios lamabordos, en sus superficies se han desarrollado de manera natural árboles y vegetación herbácea (fig. 6.8). Y cabe señalar que, aunque a lo largo del trabajo de campo realizado para este estudio sólo en este sistema se reconoció tales características, eso no significa que sea el único en el que los lamabordos hayan sido colonizados naturalmente por especies vegetales.



Figura 6.8 Vista aérea de lamabordos recolonizados por vegetación herbácea y arbórea de diferentes edades en el sistema Panteón. Foto: Ricardo Garnica, el norte de la imagen se indica con una flecha. Marzo de 2018.

Condiciones similares han sido reportadas hacia el suroeste de la zona de estudio, en sistemas de lamabordos en la agencia de San Pedro Añañe, en el municipio de San Bartolo Soyaltepec.

Capítulo 7. Conclusiones

El objetivo principal de este trabajo era aportar información que nos permitiera conocer las características de los suelos de los lamabordos teniendo en consideración los diferentes materiales parentales que los constituyen y su antigüedad y determinar las tendencias en su evolución toda vez que estas estructuras son abandonadas.

En torno a las ideas del desarrollo de la agricultura de terrazas en la región, los lamabordos en la Mixteca Alta representan uno de los métodos más antiguos de construcción de terrazas agrícolas en zonas montañosas, y no sólo eso, sino que se trata, probablemente, de los sistemas agrícolas más antiguos de este tipo en la región mesoamericana.

Lo anterior es relevante puesto que se encuentra en consonancia con los replanteamientos del paradigma en torno a las ideas del origen de la agricultura y el desarrollo de las civilizaciones en Mesoamérica en época prehispánica. La construcción y el desarrollo de los sistemas de terrazas de tipo lamabordo poseen ciertas características que los diferencian de las obras de control hidráulico que permitieron el desarrollo y consolidación del poderío de civilizaciones como la Mexica en el centro del México y la Maya en la península de Yucatán.

Se trata más bien de estructuras que precisan de un pormenorizado conocimiento de los ciclos agrícolas, de la respuesta hidrológica y de la morfología de las corrientes superficiales en las que se emplazan, así como de la participación colectiva de la comunidad en los procesos de construcción y continuo mantenimiento; lo que actualmente se denomina como "tequio" y que es un trabajo que se lleva a cabo en beneficio de la comunidad sólo por el hecho de pertenecer a ella.

Y es en función de dichas ideas que de manera reciente algunos trabajos han señalado que esta técnica pudo ser resultado de la transformación social en la revolución neolítica y no una estrategia de producción emanada de una sociedad-estado con una rígida estructura piramidal en cuya cima se encontraba el gobernante del grupo.

Es a través de estas terrazas agrícolas que los habitantes de la Mixteca Alta se adaptan a las condiciones ambientales (alta susceptibilidad a la erosión de las laderas, precipitación

pluvial relativamente escasa), hacen frente a la variabilidad del rendimiento de los cultivos y modifican y modelan su territorio. Así, escrito en presente, ya que en la actualidad siguen cultivado y construyendo lamabordos, y así como el grupo Mixteco se ha transformado social y culturalmente a lo largo de la historia también lo ha hecho la manera en cómo trabajan la tierra y los lamabordos.

Por otro lado, en este trabajo se reconoce no sólo la importancia de estas terrazas como un patrimonio histórico y cultural en el que se expresan las relaciones entre los seres humanos y el ambiente, sino que se ha hecho énfasis en las implicaciones ecológicas que este tipo de estructuras tienen en las cuencas altas, particularmente en el territorio que comprende la zona de estudio.

En la zona de estudio se observó que, aunque existen rasgos comunes en todos los perfiles descritos en lamabordos, cómo acumulación de materia orgánica, predominancia de la fracción limosa en sus texturas, mezcla de artefactos como carbón, pedernal y cerámica, hay características claramente asociadas al material parental que los constituye y a la antigüedad de la terraza.

Para el caso del material parental, se distinguió entre aquellos sistemas asociados a los depósitos limo arcillosos de origen lacustre de la Formación Yanhuitlán de los constituidos por coluvión derivado de la ceniza volcánica de la Toba Llano de Lobos. En el primer escenario se observó acumulación de carbonatos de calcio secundarios en el suelo en forma de nódulos, polvo fino y pseudomicelios, y asociado a la presencia de CaCO_3 se registró altos contenidos de Carbono, inorgánico y orgánico. En los sistemas más antiguos descritos en estas condiciones se observó la conformación de horizontes con acumulación iluvial de arcilla, expresado como recubrimientos brillantes en las caras verticales de los agregados de suelo.

En el caso de las terrazas asociadas a depósitos de la Toba Llano de Lobos, se observó acumulación de Carbono orgánico, y dado que este material no se encuentra influenciado por la presencia de CaCO_3 no se registró la presencia de Carbono inorgánico que establezca la materia orgánica impidiendo su mineralización, situación que está relacionada con un

bajo contenido de ésta en el suelo de los perfiles en terrazas antiguas como las del sistema Ichiyodo.

De acuerdo con las características de los suelos descritos en las laderas adyacentes a cada uno de los sistemas de lamabordos, el suelo que se desarrolla de manera "natural" en la cuenca posee rasgos que evidencian un mayor desarrollo de procesos pedogenéticos en comparación con los suelos en las terrazas, tales como desarrollo de horizontes superficiales de espesor considerable y con un elevado contenido de materia orgánica, acumulación de carbonatos de calcio, iluviación de arcillas, entre otros.

Sin embargo, el porcentaje de la superficie de las laderas que actualmente presenta estos suelos es escaso y se encuentra sujeto a una constante disminución debido a la acelerada erosión hídrica. Aunque se trata de suelos evolucionados, éstos ya no cumplen con las funciones ecológicas que otrora desempeñaran en la cuenca.

Los lamabordos son "Islas fértiles" que mejoran los servicios ecosistémicos en las cuencas puesto que constituyen reservorios de humedad para el aprovechamiento de las plantas y los cultivos en época de estiaje, son almacenes de materia orgánica y macronutrientes como N, P, K Ca y Mg, y a su vez constituyen una reserva de varias decenas de millones de toneladas de suelo en las partes altas. En aproximadamente 13% de la superficie de la zona de estudio se encuentran retenidas entre 22 y 110 millones de toneladas (es decir, entre 16 y 80 millones de m³) de suelo-sedimento en los lamabordos de la zona, lo que es particularmente relevante en una región severamente afectada por las distintas manifestaciones de la erosión hídrica, laminar, en surcos y cárcavas, principalmente a través de esta última.

Ahora bien, los acelerados procesos erosivos no sólo han afectado las laderas de las cuencas. Los lamabordos también han estado sujetos a dichas dinámicas, lo que se ha traducido en un daño generalizado en la mayoría de los sistemas. La principal causa de la degradación de las terrazas es el cambio de las actividades humanas de los territorios en los que históricamente se han empleado estas estructuras, lo que se traduce en una reducción del número de personas dedicadas a trabajarlas y darles continuo mantenimiento. En caso

de la zona de estudio ésta ha estado sujeta a un continuo despoblamiento que en época virreinal derivó de las epidemias que diezmaron a la población originaria, y en épocas recientes por los intensos flujos migratorios hacia la capital del estado, la Ciudad de México o los Estados Unidos.

En los sistemas descritos los principales rasgos de degradación observados en las terrazas agrícolas fueron compactación y pérdida de estructura, asentamientos de terreno asociados a la formación de flujos subsuperficiales, tunelamiento o *piping*, erosión laminar y sellado de la superficie, colapso de los muros de rocas por efecto de las distintas fuerzas de tensión que lo deforman y desestabilizan como los cambios de volumen en función del contenido de humedad del suelo y el crecimiento de arbustos en los huecos entre una roca y otra. Lo anterior lleva en último caso al rompimiento de los bordos y a la formación de cárcavas en la terraza, las cuales tienen la capacidad de desalojar cientos de toneladas de suelo por hectárea en un año. En uno de los sistemas de lamabordos estudiados (Panteón) se cuantificó el volumen de suelo-sedimento removido por la erosión en cárcavas y a partir de ella se estimó una tasa de erosión de 154.5 Ton/ha/año lo que representa 107.2 m³/año. Determinar la tasa de erosión por efecto de las cárcavas en la zona de estudio es relevante dado que la región, y en general la Mixteca Alta, es un territorio severamente afectado por procesos erosivos.

Empero, después del abandono de las terrazas agrícolas, no todas se comportan de la manera antes descrita. Dependiendo de las características de la cuenca y la capacidad de resiliencia del sistema, algunos llegan a ser colonizados por vegetación arbustiva y arbórea, lo que lleva a estabilizar la superficie de las terrazas y las protege de la erosión acelerada, lo que a la larga contribuye a la restauración ecológica de la cuenca.

7.1 Consideraciones finales

A lo largo de esta investigación surgieron nuevas interrogantes alrededor de las terrazas agrícolas de tipo lamabordo, quedaron tareas pendientes y se avistaron nuevas líneas de investigación que permitirían acercarnos a conocer con mayor detalle el funcionamiento de esta técnica agrícola.

En primer lugar, quedó el siguiente cuestionamiento sin una respuesta definitiva: ¿De qué manera es posible establecer precisamente la edad de las terrazas? Siguiendo el ejemplo de algunos de los trabajos realizados en otros lamabordos se obtuvo la edad radiocarbón de un fragmento de carbón en una terraza agrícola presumiblemente antigua (sistema Ichiyodo, perfil MIX 07). Sin embargo, el resultado obtenido (100 ± 30 BP) no es consecuente con la información que nos aportan los elementos a su alrededor y que ponen de manifiesto su mayor antigüedad. Tal inconsistencia se puede deber a varias razones.

Por un lado, la edad de un fragmento de carbón no representa necesariamente el momento en que este se depositó en una superficie, es decir que existe la posibilidad de subestimación o sobreestimación de las edades de los horizontes de suelo. Existe la posibilidad de que por efecto de la apertura de grietas de expansión-contracción que van desde la superficie y se prolongan a profundidad, un fragmento de carbón conformado en años recientes caiga en una de esas grietas y sea redepositado a mayor profundidad, lo que llevaría a subestimar la edad del horizonte en el que se encuentre. Este fenómeno es conocido como peloturbación y es la razón por la que es posible encontrar altos contenidos de materia orgánica a profundidad en suelos de tipo Vertisol. Si bien no se describió ningún Vertisol en algún lamabordo, sí se observaron propiedades protovérticas, que refieren precisamente a la presencia de grietas de expansión-contracción en el suelo en diferentes perfiles en las terrazas, incluida aquella de la que se obtuvo la muestra de carbón (perfil MIX 07).

Por otro lado, una edad ^{14}C relativamente joven como la obtenida puede implicar que la sedimentación coluvial en el lamabordo estuvo activa hasta décadas recientes, aunque haya iniciado en época prehispánica como sugieren los elementos arqueológicos de las laderas adyacentes.

El suelo es un cuerpo dinámico que está en constante transformación, aporta vasta información acerca de las condiciones ambientales en las que desarrolla, desde su entorno climático hasta su historia geomorfológica. Sin embargo, si lo que se busca es conocer la

edad de un rasgo como una terraza agrícola, es necesario considerar otros elementos que nos permitan aproximarnos con mayor precisión a ese dato.

En este sentido, la liquenometría y la dendrocronología son dos disciplinas que, a través de la determinación de la tasa de crecimiento de líquenes sobre diferentes superficies, como las rocas que conforman los muros de las terrazas, y de la datación de los anillos de crecimiento anual de árboles, que en algunos casos llegan a establecerse frente a los muros de éstas, pueden aportar información sobre la edad de los lamabordos. Sin embargo, aún faltan muchas especies de líquenes por identificar, así como de establecer sus tasas de crecimiento en Oaxaca, y tampoco existen cronologías de referencia para los árboles de la región que permitan comparar y datar dichos anillos.

Otra opción para aproximarnos a conocer la edad de las terrazas es mediante la datación de los diferentes horizontes de suelo a través de la Luminiscencia Estimulada Ópticamente (*OSL Optically Stimulated Luminescence*). Esta mide las alteraciones que ciertos minerales registran por efecto de su exposición a la radiación solar, lo que origina una señal que se puede determinar en laboratorio. Sin embargo, el requisito fundamental para aplicar esta técnica es que tales materiales hayan estado expuestos a la luz solar antes de depositarse.

En el caso de los lamabordos, sus suelos no sólo están constituidos por sedimentos que fueron transportados por una corriente, más adelante depositados en una superficie y expuestos al sol, también están conformados por depósitos coluviales provenientes de las laderas que pudieron moverse en masa hacia la terraza, lo que conformaría un volumen heterogéneo en el que, dada la velocidad y las características de su transporte, no todos los materiales habrían sido expuestos a la radiación solar.

En suma, determinar un método apropiado de datación de estas terrazas continúa siendo una tarea pendiente. La relevancia de resolver esta cuestión radica en que, por una parte, permitiría aportar más información que sustente o discuta las diferentes tesis acerca de la antigüedad de estos sistemas, así como sus implicaciones en la elaboración de las diferentes propuestas que explican el desarrollo de la agricultura y la organización social de los Mixtecos en época prehispánica.

Por otra parte, dicha información también es relevante para establecer la tasa de deposición de los materiales en la terraza, lo que a su vez permitiría conocer las fluctuaciones en la producción de coluvión y sedimentos en las cuencas en las que se emplazan los sistemas de lamabordos, y de esta manera reconstruir la historia ambiental del sitio. Además, sería posible aproximarse a medir la tasa de transformación pedogenética de suelos derivados de la actividad antrópica.

Finalmente, después de una primera aproximación a la obtención de imágenes a través de vehículos aéreos no tripulados para la elaboración de modelos de relieve de alta resolución, fue evidente que esta herramienta ofrece un amplio espectro de posibilidades para realizar análisis detallados de las terrazas agrícolas, activas o abandonadas, y su evolución en el tiempo. Esto es relevante ya que los lamabordos están sujetos a una dinámica geomorfológica que los transforma constantemente y es de sumo interés conocer cómo y en qué medida tienen lugar tales cambios.

Bibliografía

- Arnáez, J., Lana Renault, N., Lasanta, T., Ruiz Flaño, P., & Castroviejo, J. (2015). Effects of farming terraces on hydrological and geomorphological processes. A review. *Catena*, 128, 122–134. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.01.021>
- Arnáez, J., Lasanta, T., Errea, M. P., & Ortigosa, L. (2011). Land abandonment, landscape evolution, and soil erosion in a Spanish Mediterranean mountain region: The case of Camero Viejo. *Land Degradation and Development*, 22(6), 537–550. <https://doi.org/10.1002/ldr.1032>
- Baldock, J. A., & Nelson, P. N. (2000). Soil Organic Matter. En P. M. Huang, Y. Li, & M. E. Sumner (Eds.), *Handbook of Soil Science* (1a ed., pp. 1–63). Florida, USA: CRC Press. <https://doi.org/10.1002/9780470034590.emrstm1345>
- Bocco Verdinielli, G. (1990). *Gully Erosion Analysis using Remote Sensing and GIS*. University of Amsterdam.
- Bocco Verdinielli, G., & Napoletano, B. M. (2017). The prospects of terrace agriculture as an adaptation to climate change in Latin America. *Geography Compass*, 11(10), 1–13. <https://doi.org/10.1111/gec3.12330>
- Borejsza, A. (2013). Village and field abandonment in post-Conquest Tlaxcala: A geoarchaeological perspective. *Anthropocene*, 3(2013), 9–23. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2014.02.001>
- Borejsza, A., Rodríguez López, I., Frederick, C. D., & Bateman, M. D. (2008). Agricultural slope management and soil erosion at La Laguna, Tlaxcala, Mexico. *Journal of Archaeological Science*, 35(7), 1854–1866. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2007.11.024>
- Brandolini, P., Cevasco, A., Capolongo, D., Pepe, G., Lovergine, F., & Del Monte, M. (2018). Response of Terraced Slopes to a Very Intense Rainfall Event and Relationships with Land Abandonment: a Case Study from Cinque Terre (Italy). *Land Degradation & Development*, 29, 630–642. <https://doi.org/10.1002/ldr.2672>
- Burgoa, F. de. (1674). *Geográfica descripción de la parte septentrional del polo ártico de la América y nueva iglesia de las Indias Occidentales y sitio astronómica de esta Provincia de Predicadores de Antequera, Valle de Oaxaca (Vol. 2)*. México: Editorial Porrúa.
- Caneva, G., Galotta, G., Cancellieri, L., & Savo, V. (2009). Tree roots and damages in the Jewish catacombs of Villa Torlonia (Roma). *Journal of Cultural Heritage*, 10(1), 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2008.04.005>
- Capra, G. F., Ganga, A., Grilli, E., Vacca, S., & Buondonno, A. (2015). A review on anthropogenic soils from a worldwide perspective. *Journal of Soils and Sediments*, 15(7), 1602–1618. <https://doi.org/10.1007/s11368-015-1110-x>
- Cerdà Bolinches, A. (1994). Arroyada superficial en terrazas de cultivo abandonadas. El

- caso del País Valenciano. *Cuadernos de Geografía*, 56, 135–154.
- Certini, G., & Scalenghe, R. (2011). Anthropogenic soils are the golden spikes for the Anthropocene. *The Holocene*, 21(8), 1269–1274.
<https://doi.org/10.1177/0959683611408454>
- Childe, G. V. (1946). *What happened in history*. Baltimore: Penguin Books.
- Childe, G. V., & Daniel, G. E. (1951). *Man makes himself*. New York, USA.
- Cook, S., & Borah, W. (1968). *The population of the Mixteca Alta, 1520-1960*. Berkely: University of California Press.
- Cook, S., & Borah, W. (1989). *El pasado de México: aspectos socioedmográficos*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Córdova, C. E., & Parsons, J. R. (1997). Geoarchaeology of an Aztec dispersed village on the Texcoco piedmont of Central Mexico. *Geoarchaeology*, 12(3), 177–210.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-6548\(199705\)12:3<177::AID-GEA1>3.0.CO;2-#](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6548(199705)12:3<177::AID-GEA1>3.0.CO;2-#)
- Cyffka, B., & Bock, M. (2008). Degradation of field terraces in the Maltese Islands - Reasons, processes and effects. *Geografía Física e Dinámica Cuaternaria*, 31(2), 119–128.
- Dahlgreen, B. (1990). *La Mixteca: su cultura e historia prehispánicas* (4a ed.). México: UNAM.
- Dazzi, C., & Lo Papa, G. (2015). Anthropogenic soils: general aspects and features. *Ecocycles*, 1(1), 3–8. <https://doi.org/10.19040/ecocycles.v1i1.23>
- Donkin, R. (1979). *Agricultural terracing in the aboriginal New World*. Viking Fund publications in anthropology. Tucson, Arizona: The Wenner-Gren Foundation for Anthropological Research.
- Doolittle, W. E. (2010). Traditional Uses of Check Dams: A Global and Historical Introduction. En L. M. Garcia CC (Ed.), *Check Dams, Morphological Adjustments, and Erosion Control in Torrential Streams* (pp. 1–10). Nueva York: Nova Science Publishers.
- Dudal, R. (2004). The sixth factor of soil formation. En *International Conference on Soil Classification 2004* (Vol. 38, pp. 1–13). Petrozavodsk, Rusia. Recuperado a partir de http://apps.isiknowledge.com.offcampus.lib.washington.edu/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=2&SID=3A6k1mamE3djD77BCal&page=1&doc=4%5Cnhttp://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-33644537387&partnerID=tZ0tx3y1
- Fernández de Castro Martínez, G., Vázquez Selem, L., Palacio Prieto, J. L., Peralta Higuera, A., & García Romero, A. (2018). Geomorfometría y cálculo de erosión hídrica en diferentes litologías a través de fotogrametría digital con drones Geomorphometry and water erosion rates in different lithologies through digital photogrammetry with

- drones. *Investigaciones Geográficas*, (96), 1–17.
<https://doi.org/dx.doi.org/10.14350/rig.59548>
- Ferrusquía-Villafranca, I. (1976). *Estudios geológico-paleontológicos en la región Mixteca, Pt. 1: geología del área Tamazulapán-Teposcolula-Yanhuitlán, Mixteca Alta, estado de Oaxaca, México*. México: Instituto de Geología, UNAM.
- Flannery, K., & Marcus, J. (Eds.). (2003). *The Cloud People. Divergent Evolution of the Zapotec and Mixtec Civilization*. Nueva York: Percheron Press.
- Flannery, K. V. (1985). Los orígenes de la agricultura en México: las teorías y las evidencias. En S. W. Rojas Rabiela Teresa (Ed.), *de la agricultura Época prehispánica-siglo XVI, Tomo I* (pp. 237–266). México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Flannery, K. V. (2003). Precolumbian Farming in the Valleys of Oaxaca, Nochixtlán, Tehuacán, and Cuicatlán: A comparative Study. En K. J. Flannery Marcus (Ed.), *The Cloud People. Divergent evolution of the Zapotec and Mixtec civilizations* (pp. 323–339). Nueva York: Percheron Press.
- Flannery, K. V., & Spores, R. (2003). Excavated Sites of the Oaxaca Preceramic. En M. J. Flannery Kent (Ed.), *The Cloud People. Divergent evolution of the Zapotec and Mixtec civilizations* (pp. 20–26). Nueva York: Percheron Press.
- Ford, R. (1968). Jemez Cave and Its Place in an Early Horticultural Settlement Pattern. En *33rd Annual Meeting of Society of American Archaeology* (pp. 1–15). Santa Fe, Nuevo Mexico.
- García Cook, Á. (1985). Historia de la tecnología agrícola en el altiplano central desde el principio de la agricultura hasta el siglo XIII. En S. W. Rojas Rabiela Teresa (Ed.), *Historia de la agricultura, Época prehispánica-siglo XVI, Tomo II* (pp. 7–76). México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- García Ruiz, J. M., & Lana Renault, N. (2011). Hydrological and erosive consequences of farmland abandonment in Europe, with special reference to the Mediterranean region - A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 140(3–4), 317–338.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.003>
- González Arqueros, M. de L. (2014). *Dinámica de la Erosión/Sedimentación en la Época Prehispánica y Periodo Colonial. Reconstrucción de las Condiciones Paleoambientales en el Valle de Teotihuacán (Estado de México, México)*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Homburg, J. A., & Sandor, J. A. (2011). Anthropogenic effects on soil quality of ancient agricultural systems of the American Southwest. *Catena*, 85(2), 144–154.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.08.005>
- Inbar, M., & Llerena, C. A. (2000). Erosion Processes in High Mountain Agricultural Terraces in Peru. *Mountain Research and Development*, 20(1), 72–79.
[https://doi.org/10.1659/0276-4741\(2000\)020\[0072:EPIHMA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1659/0276-4741(2000)020[0072:EPIHMA]2.0.CO;2)

- INEGI. (2013). Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0). Recuperado a partir de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/continuoelevaciones.aspx>
- IUSS Working Group WRB. (2015). *Base referencial mundial del recurso suelo 2014 Sistema internacional de clasificación de suelos. World Soil Resources Reports No. 106*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura.
- Josserand, K. (1983). *Mixtec Dialect History proto-Mixtec and Modern Text*. University Microfilms International, Michigan.
- Kirchhoff, P. (1960). *Mesoamérica sus Límites Geográficos Composición Étnica y Características Culturales*. México: Al Fin Liebre Ediciones Digitales 2009.
- Kirkby, M. (1972). *The Physical Environment of the Nochixtlan Valley, Oaxaca*. Nashville Tennessee: Vanderbilt University Publications in Anthropology.
- Kirkby, A. V. (1973). Water Use Techniques and Their Distribution. En K. V Flannery (Ed.), *The use of land and water resources in the past and present Valley of Oaxaca, Mexico* (pp. 35–47). Ann Arbor: University of Michigan.
- Kowalewski, S. A., Balkansky, A. K., Walsh, A. K., Pluckhahn, T. J., Chamblee, J. F., Pérez Rodríguez, V., & Smith, C. (2009). *Origins of the Ñuu: Archaeology in the Mixteca Alta, Mexico*. University Press of Colorado.
- Kowalewski, S. A., Brannan, S. P., Cortés Vilchis, M. Y., Diego Luna, L., García Ayala, G., López Zárate, J. L., ... Vepretskiy, S. (2017). Regional Archaeology and Local Interests in Coixtlahuaca, Oaxaca. *Latin American Antiquity*, 28(3), 353–372. <https://doi.org/10.1017/laq.2017.19>
- Leigh, D. S., Kowalewski, S. A., & Holdridge, G. (2013). 3400 years of agricultural engineering in Mesoamerica: Lama-bordos of the Mixteca Alta, Oaxaca, Mexico. *Journal of Archaeological Science*, 40(11), 4107–4111. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.05.009>
- Maass, A., & Anderson, R. L. (1978). *...and the desert shall rejoice: conflict, growth, and justice in arid environments*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press. Recuperado a partir de <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19796729091>
- MacNeish, R. (1964). *El origen de la civilización mesoamericana visto desde Tehuacán. Departamento de Prehistoria*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Marcus, J., Flannery, K. V, & Spores, R. (2003). The Cultural Legacy of the Oaxacan Preceramic. En K. V Flannery & J. Marcus (Eds.), *The Cloud People. Divergent evolution of the Zapotec and Mixtec civilizations* (pp. 36–39). Nueva York: Percheron Press.
- Mueller, R. G., Joyce, A. A., & Borejsza, A. (2012). Alluvial archives of the Nochixtlan valley, Oaxaca, Mexico: Age and significance for reconstructions of environmental change.

Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 321–322, 121–136.
<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2012.01.025>

- Mullen, K. L. (2013). *The Anthropogenic Landscape: Terrace Construction in the Mixteca Alta Region of Oaxaca, Mexico*. Northern Arizona University.
- Oropeza Orozco, O., Cram Heydrich, S., Vences Sánchez, D. A., Ortiz Pérez, M. A., & Hermann Lejarazu, M. (2016). Caracterización del medio natural de la cuenca de Yanhuitlán. En M. Hermann Lejarazu (Ed.), *Configuraciones territoriales en la Mixteca. Vol. II. Estudios de geografía y arqueología* (pp. 39–81). México: Publicaciones de la Casa Chata-CIESAS.
- Palerm, Á., & Wolf, E. (1954a). El desarrollo del área clave del imperio texcocano. *Revista Mexicana de Estudios Antropológicos*, 14, 337–350.
- Palerm, Á., & Wolf, E. (1954b). La distribución del regadío en el área central de Mesoamérica. *Ciencias sociales*, 5(25).
- Palerm, Á., & Wolf, E. (1957). Ecological potential and cultural development in Mesoamerica. *Pan American Union Social Science Monograph*, 3, 1–37.
- Palerm, Á., & Wolf, E. (1961). sistemas de regadío prehispánico en Teotihuacán y en el Pedregal de San Ángel. *Revista Interamericana de Ciencias Sociales*, 2(1).
- Palerm, Á., & Wolf, E. (1992). *Agricultura y Civilización en Mesoamérica*. (Gernika, Ed.) (2a ed.). México.
- Palerm Viqueira, J. (1995). Sistemas hidráulicos y organización social: La polémica y los sistemas de riego del Acolhuacan septentrional. *Mexican Studies/Estudios Mexicanos*, 11(2), 163–178.
- Pallares Bou, J. (1994). Procesos que conducen a la rotura de muros en terrazas de cultivo (Norte Castellon). *Cuaternario y Geomorfología*, 8(3–4), 23–36.
- Paz Kagan, T., Ohana Levi, N., Shachak, M., Zaady, E., & Karnieli, A. (2017). Ecosystem effects of integrating human-made runoff-harvesting systems into natural dryland watersheds. *Journal of Arid Environments*, 147, 133–143.
<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.07.015>
- Pérez Rodríguez, V. (2006). *Sociedades complejas y paisajes agrícolas: un estudio regional de asentamientos y terrazas en la Mixteca Alta, Oaxaca, México. La aplicación de los SIG en la arqueología del paisaje*. Servicio de Publicaciones.
- Pérez Rodríguez, V. (2016). Terrace Agriculture in the Mixteca Alta Region, Oaxaca, Mexico: Ethnographic and Archeological Insights on Terrace Construction and Labor Organization. *Culture, Agriculture, Food and Environment*, 38(1), 18–27.
<https://doi.org/10.1111/cuag.12062>
- Pérez Rodríguez, V., & Anderson, K. C. (2013). Terracing in the Mixteca Alta, Mexico: Cycles of Resilience of an Ancient Land-Use Strategy. *Human Ecology*, 41(3), 335–349.

<https://doi.org/10.1007/s10745-013-9578-8>

- Piperno, D. R., Ranere, A., Holst, I., Iriarte, J., & Dickau, R. (2009). Starch grain and phytolith evidence for early ninth millennium B.P. maize from the Central Balsas River Valley, Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *106*(13), 5019–5024. <https://doi.org/10.1073/pnas.98.4.2101>
- Porta, J., López Acevedo, M., & Roquero, C. (1994). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Prado Hernández, J. V., Rivera Ruiz, P., León Mojarro, B. de, Carrillo García, M., & Martínez Ruiz, A. (2017). Calibración de los modelos de pérdidas de suelo USLE y MUSLE en una cuenca forestal de México: caso El Malacate. *Agrociencia*, *51*(3), 265–284. Recuperado a partir de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000300265&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Preti, F., Errico, A., Caruso, M., Dani, A., & Guastini, E. (2018). Dry-stone wall terrace monitoring and modelling. *Land Degradation and Development*, *29*(6), 1806–1818. <https://doi.org/10.1002/ldr.2926>
- Preti, F., Guastini, E., Penna, D., Dani, A., Cassiani, G., Boaga, J., ... Tarolli, P. (2018). Conceptualization of Water Flow Pathways in Agricultural Terraced Landscapes. *Land Degradation and Development*, *29*(3), 651–662. <https://doi.org/10.1002/ldr.2764>
- QuickBird. (2011). Imágenes de alta resolución.
- Rincón Mautner, C. A. (1999). *Man and the Environment in the Coixtlahuaca Basin of Northwestern Oaxaca, Mexico: Two Thousand Years of Historical Ecology*. The University of Texas at Austin.
- Rojas Rabiela, T. (1985). La tecnología agrícola mesoamericana en el siglo XVI. En T. Rojas Rabiela & W. Sanders (Eds.), *Historia de la agricultura, Época prehispánica-siglo XVI, Tomo I* (pp. 129–232). México: Biblioteca del INAH.
- Rojas Rabiela, T. (2001). La tecnología agrícola. En L. Manzanilla & L. López Luján (Eds.), *Historia Antigua de México. Volumen IV: Asepectos fundamentales de la tradición cultural mesoamericana* (pp. 13–68). México: Instituto Nacional de Antropología e Historia-UNAM. Recuperado a partir de https://www.academia.edu/28873169/021._La_tecnologia_agricola.pdf?campaign=upload_email
- Romero Díaz, A., Marín Sanleandro, P., Sánchez Soriano, A., Belmonte Serrato, F., & Faulkner, H. (2007). The causes of piping in a set of abandoned agricultural terraces in southeast Spain. *Catena*, *69*(3), 282–293. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2006.07.008>
- Sáenz Pita, M., & López Palomino, I. (2008). Tamazulapan , Conglomerado Cretácico Tardío (Maastrichtiano) - Paleógeno (Eoceno Tardío). *Léxico Estratigráfico de México*.

- Sanders, W. (1985). Tecnología agrícola, economía y política: una introducción. En T. Rojas Rabiela & W. Sanders (Eds.), *Historia de la agricultura, Época prehispánica-siglo XVI, Tomo I* (pp. 9–52). México: Colección Biblioteca del INAH.
- Sandor, J. A., Gersper, P. L., & Hawley, J. W. (1986a). Soils at prehistoric agricultural terracing sites in New Mexico: I. Site Placement, Soil Morphology, and Clasificación. *Soil Science Society of America Journal*, 50(1), 166–173.
- Sandor, J. A., Gersper, P. L., & Hawley, J. W. (1986b). Soils at prehistoric agricultural terracing sites in New Mexico: II. Organic matter and bulk density changes. *Soil Science Society of America Journal*, 50(1), 173–177.
- Sandor, J. A., Gersper, P. L., & Hawley, J. W. (1986c). Soils at prehistoric agricultural terracing sites in New Mexico: III. Phosphorus, Selected Micronutrients and pH. *Soil Science Society of America Journal*, 50(1), 177–180.
- Sandor, J. A., Gersper, P. L., & Hawley, J. W. (1990). Prehistoric agricultural terraces and soils in the Mimbres area, New Mexico. *World Archaeology*, 22(1), 70–86. <https://doi.org/10.1080/00438243.1990.9980130>
- Santamaría-Díaz, A. (2009). *Influencia de la falla de basamento no expuesta en la deformación Cenozoica: la falla de Caltepec en la región de Tamazulapam, en el sur de México*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Schaetzl, R. J., & Anderson, S. (2005). *Soils: Genesis and Geomorphology*. Nueva York: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.2136/vzj2007.0030br>
- Seeger, M., & Ries, J. B. (2008). Soil Degradation and Soil Surface Process Intensities on Abandoned Fields in Mediterranean Mountain Environments. *Land Degradation and Development*, 19(April), 488–501. <https://doi.org/10.1002/ldr>
- Siebe, C., Jahn, R., & Stahr, K. (2016). *Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en campo* (3a ed.). México: Instituto de Geología, UNAM.
- Smith, E. (1976). *Modern Vegetation and Ancient Plant Remains of the Nochixtlán Valley, Oaxaca*. Nashville Tennessee: Vanderbilt University Publications in Anthropology.
- Smith, M. E. (1973). *Picture Writing from Ancient Southern Mexico: Mixtec Place Sings and Maps*.
- SMN, S. M. N. (2016). Normales Climatológicas. Recuperado a partir de <http://smn.cna.gob.mx/es/component/content/article?id=42>
- Solanes, M., & Vela, E. (2000). Atlas del México Prehispánico. *Arqueología mexicana*.
- Solis, B., & Bocco Verdinielli, G. (2018). Terraces and landscape in Mixteca Alta , Oaxaca , Mexico : Micromorphological indicators. *Spanish Journal of Soil Science*, 8(2), 194–213. <https://doi.org/10.3232/SJSS.2018.V8.N2.05>
- Spoers, R. (1967). *The Mixtec kings and their people*. University of Oklahoma Press.

- Spores, R. (1969). Settlement, farming technology, and environment in the Nochixtlan Valley. *Science*, 166(3905), 557–569.
- Spores, R. (1984). *The Mixtecs in ancient and colonial times*. Estado Unidos de América: University of Oklahoma Press.
- Spores, R. (2003a). Middle and Late Formative Settlement Patterns in the Mixteca Alta. En K. V Flannery & J. Marcus (Eds.), *The Cloud People. Divergent evolution of the Zapotec and Mixtec civilizations* (pp. 72–74). Nueva York: Percheron Press.
- Spores, R. (2003b). Postclassic Settlement Patterns in the Nochixtlán Valley. En K. V Flannery & J. Marcus (Eds.), *The Cloud People. Divergent evolution of the Zapotec and Mixtec civilizations* (pp. 246–248). Nueva York: Percheron Press.
- Spores, R. (2003c). Ramos Phase Urbanization in the Mixteca Alta. En K. V Flannery & J. Marcus (Eds.), *The Cloud People. Divergent evolution of the Zapotec and Mixtec civilizations* (pp. 120–123). Nueva York: Percheron Press.
- Spores, R. (2007). *Nuu Nudzahui: La Mixteca de Oaxaca: la evolución de la cultura mixteca desde los primeros pueblos preclásicos hasta la Independencia*. México: Instituto Estatal de Educación Pública de Oaxaca.
- Stanchi, S., Freppaz, M., Agnelli, A., Reinsch, T., & Zanini, E. (2012). Properties, best management practices and conservation of terraced soils in Southern Europe (from Mediterranean areas to the Alps): A review. *Quaternary International*, 265, 90–100. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.09.015>
- Stone, R., & Hilbord, D. (2000). Universal Soil Loss Equation (USLE). *Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs*, 1081–1082. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4399-4_43
- Tarolli, P. (2018). Agricultural Terraces Special Issue Preface. *Land Degradation & Development*, 29(10), 3544–3548. <https://doi.org/10.1002/ldr.3129>
- Tarolli, P., Preti, F., & Romano, N. (2014). Terraced landscapes: From an old best practice to a potential hazard for soil degradation due to land abandonment. *Anthropocene*, 6, 10–25. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2014.03.002>
- Terraciano, K. (2013). *Los mixtecos de la Oaxaca colonial. La historia ñudzahui del siglo XVI al XVIII*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Vågene, Å. J., Herbig, A., Campana, M., Robles García, N., Warinner, C., Sabin, S., ... Krause, J. (2018). Salmonella enterica genomes from victims of a major sixteenth-century epidemic in Mexico. *Nature Ecology and Evolution*, 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0446-6>
- van Asperen, H. L., Bor, A. M. C., Sonneveld, M. P. W., Bruins, H. J., & Lazarovitch, N. (2014). Properties of anthropogenic soils in ancient run-off capturing agricultural terraces in the Central Negev desert (Israel) and related effects of biochar and ash on

crop growth. *Plant and Soil*, 374(1–2), 779–792. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1901-z>

Vázquez Selem, L., & Zinck, A. J. (1994). Modelling gully distribution on volcanic terrains in the Huasca area, central Mexico. *ITC Journal*, 3, 238–251.

Vielle Calzada, J., Vallebuena, M., Padilla Calzada, J., Mejía, C., Martínez, J., García Cook, Á., & Montiel, R. (2015). Paleogenómica en la cueva de San Marcos y su contribución al entendimiento del origen del maíz. *Arqueología*, 49, 7–20.

Wei, W., Chen, D., Wang, L., Daryanto, S., Chen, L., Yu, Y., ... Feng, T. (2016). Global synthesis of the classifications, distributions, benefits and issues of terracing. *Earth-Science Reviews*, 159, 388–403. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.06.010>

West, R. (1970). Population densities and agricultural practices in pre-Columbian Mexico, with special emphasis on semi-terracing. *Verhandlungen des XXXVIII Internationalen Amerikanistenkongresses*, 2, 361–369.

Whitmore, T., & Turner, B. (2001). *Cultivated Landscapes of Middle America on the eve of the Conquest*. (G. Clark, A. Goudie, & C. Peach, Eds.), *Environmental Studies*. Nueva York: Oxford University Press.

Whittaker, J. C. (2015). The Aztec Atlatl in the British Museum. *Ancient Mesoamerica*, 26(1), 69–79. <https://doi.org/10.1017/S0956536115000036>

Wilken, G. C. (1987). *Good Farmers, Traditional Agricultural Resource Management in Mexico and Central America*. Estado Unidos de América: University of California Press.

Winter, M. (1985). Los Altos de Oaxaca. En T. Rojas Rabiela & W. Sanders (Eds.), *Historia de la agricultura, Época prehispánica-siglo XVI, Tomo II* (pp. 77–124). México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Wittfogel, K. A., & Presedo, F. (1966). *Despotismo oriental: estudio comparativo del poder totalitario*. Madrid: Guadarrama.

Woods, W. I. (2003). Development of Anthrosol Research. En J. Lehmann, D. Kern, B. Glaser, & W. Woods (Eds.), *Amazonian Dark Earths Origin Properties and Management* (pp. 3–14). Dordrecht: Kluwer Academic. https://doi.org/10.1007/1-4020-2597-1_1

Anexo: Descripción de perfiles de suelo

MIX 01



I. Información acerca de la localidad

- Número de perfil: MIX 01
- Sitio: Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca
- Clasificación del suelo: Calcaric Colluvic Regosol (Loamic, Aric, Escalic, Ochric, Protovertic)
- Fecha de la descripción: 21 de noviembre de 2017
- Autores: Norma López Castañeda, Lorenzo Vázquez Selem, Estefanía Roldán Nicolau, Ana Karen Romero, Miguel Ángel Ramírez, Víctor Cruz López
- Localización: Tooxi, parcela del Sr Casimiro
- Coordenadas UTM(m): (x) 671980 (y) 1942508
- Altitud (msnm): 2450
- Forma del terreno: L-L, Plana rectilínea
- Unidad del paisaje: Piedemonte erosivo
- Pendiente: pendiente sencilla, ligeramente inclinada (3%)
- Exposición: SW
- Uso del suelo o vegetación: Agricultura de temporal con cultivos de maíz, frijol, trigo y calabaza. *Quercus rugosa*, *Quercus castania*, *Juniperus Deppeana*, *Juniperus flácida*, *Cipresus spp.*, acahuals, chamizo y carrizo
- Clima: Templado subhúmedo con lluvias en verano Cw_1
- Temperatura media anual (°C): 11.4
- Precipitación media anual (mm): 679.8
- Estado del tiempo: ET 3-5 Sin precipitación en las últimas 24 horas
- Condiciones meteorológicas al momento de la descripción: soleado

II. Información general acerca del suelo

- Material parental: depósitos coluviales de la Formación Yanhuitlán
- Drenaje natural: moderado
- Condiciones de humedad en el perfil: seco en superficie y húmedo a profundidad
- Profundidad del manto freático: desconocida

- Presencia de rocas superficiales: pocas
- Evidencia de erosión: laminar
- Presencia de sales o soda: no determinada
- Influencia humana: terraza agrícola en descanso, parcelas de maíz alrededor

III. Descripción breve del perfil

Perfil medianamente profundo (60 cm), de textura franco arcillosa en superficie y franco arcillo limosa y franco limosa fina en el resto del perfil, de color rojizo y uniforme en apariencia, con drenaje natural moderado, descrito en un pozo cavado en la superficie de la terraza. La pedregosidad es ligeramente mayor en el primer horizonte y disminuye en los horizontes más profundos. El perfil muestra desarrollo de estructura de tipo prismática que rompe en subangular en bloques en los tres primeros horizontes y tiende hacia masiva que rompe en subangular a profundidad. Poros comunes a lo largo del perfil, de forma tubular, intersticial y vesicular de tamaño fino a muy fino. Se observaron grietas desde la superficie hasta 20 cm de profundidad. La densidad de raíces finas fue alta en el primer horizonte (0 - 6 cm) y mediana y baja en los siguientes.

IV. Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ap1	0 a 6	Color 5YR 4/4 en húmedo, textura franco arcillosa CR, contenido de materia orgánica de 2.98* %, moderadamente ácido (pH 6 en agua), entre 10-25 % de CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (seco, pF: 4), estructura tipo prismática que rompe en subangular en bloques, muy grande de grado fuerte, moderada estabilidad de agregados, pedregosidad del 3%, con poros comunes intersticiales y tubulares finos y muy finos, alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.51 g/cm ³ , límite claro y ondulado.
Ap2	6 a 13	Color 5 YR 4/3 en húmedo, textura franco arcillosa con un ligero incremento de la fracción arcilla respecto al horizonte anterior CR (+), contenido de materia orgánica de 2.91* %, ligeramente ácido (pH 6 en agua), entre 10-25 % de CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura tipo prismática que rompe en subangular en bloques, gruesa y de grado moderado, moderada estabilidad de agregados, pedregosidad del 1 %, con poros comunes tubulares y pocos intersticiales finos y muy finos, mediana densidad de raíces, densidad aparente de 1.51 g/cm ³ , límite uniforme y difuso.

Ap3	13 a 30	Color 7.5 YR 4/3 en húmedo, textura franco arcillosa CR, 2.95* % de materia orgánica, ligeramente ácido (pH 6.5 en agua), entre 10-25 % de CaCO ₃ , contenido regular de humedad (húmedo, pF: 2), estructura prismática que rompe en subangular en bloques, gruesa de grado mediano, moderada estabilidad de agregados, pedregosidad del 1%, con poros comunes intersticiales finos y pocos vesiculares medianos, mediana densidad de raíces, densidad aparente de 1.31 g/cm ³ , límite uniforme y difuso. Cútanos delgados con forma de manchas en caras verticales de los agregados y canales de raíces. Presencia de cerámica.
BwK	30 a 37	Color 7.5 YR 4/4 en húmedo, textura franco arcillo limosa CRL, ligeramente ácido (pH 6.5 en agua), entre 0.5-2 % de CaCO ₃ , moderado contenido de humedad (húmedo, pF: 2), estructura subangular en bloques grandes y medianos de grado débil, moderada estabilidad de agregados, pedregosidad del 1%, con poros comunes intersticiales finos, pocos tubulares finos y vesiculares pocos muy finos, baja densidad de raíces finas, con densidad aparente de 1.4 g/cm ³ , límite uniforme y difuso. Cútanos delgados quebrados en caras verticales de los agregados. Presencia de cerámica.
Bwk(t)	37 a 60	Color 7.5 YR 4/3 en húmedo, textura franco limosa fina CLf, ligeramente ácido (pH 6 en agua), entre 2-10 % de CaCO ₃ , moderado contenido de humedad (húmedo, pF: 2), estructura masiva que rompe en subangular en bloques medianos de grado moderado, moderada estabilidad de agregados, pedregosidad del 1%, con poros comunes intersticiales finos, muy pocos tubulares muy finos y muy pocos vesiculares muy finos, baja densidad de raíces, densidad aparente de 1.7 g/cm ³ . Cútanos delgados quebrados en caras verticales de los agregados. Concreciones inferiores a 2 mm de CaCO ₃ en un 1 % del horizonte. Presencia de cerámica.

*Datos de laboratorio

V. Interpretación de las características del suelo

Procesos pedogenéticos dominantes

Se observó acumulación de materia orgánica de 12.17 kg/m² en los primeros tres horizontes (Ap1, Ap2 y Ap3) y formación de estructura prismática y subangular en bloques. Asociado a la expansión y contracción de las arcillas se han formado grietas de 20 cm de profundidad, que en época de estiaje se abren y permiten que la materia orgánica de los horizontes superficiales sea mezclada e incorporada en los infrayacentes (peloturbación). Se observó una fuerte reacción al CaCO₃ en los tres primeros horizontes dado que el material en que se desarrolla este suelo es rico en carbonatos. La clasificación de este suelo como Calcaric Colluvic Regosol (Loamic, Aric, Escalic, Ochric, Protovertic) se basó; para el grupo de referencia Regosol, en el que los procesos pedogenéticos no están muy claramente expresados; para los calificadores principales Calcaric y Colluvic, del material calcárico que deriva en una alta saturación de bases (> 50%) y en la naturaleza coluvial del depósito. Y para los calificadores suplementarios Loamic, Aric, Escalic, Ochric y Protovertic en sus texturas franco arcillosa y franco arcillo limosa a más de 30 cm de profundidad (37 cm), en que muestras señales de arado a más de 20 cm de profundidad, por tratarse de terrazas antrópicas, por poseer

más del 0.2% de carbono orgánico en los primeros 10 cm y por presentar grietas de expansión contracción de más de 0.5 cm en superficie.

Características ecológicas

La terraza es un sitio dinámico construido por los agricultores en 1940 que acumula material anualmente, de poca pendiente y en el que se reconocen rasgos de erosión laminar. Es una parcela de agricultura de temporal en la que debido a su posición en la cuenca posee un continuo abastecimiento de humedad, lo que permite iniciar el cultivo de maíz antes de la temporada de lluvias.

Se trata de un suelo profundo (se excavó a 60 cm, pero el depósito es de más de 130 cm), con un drenaje natural deficiente en los primeros horizontes puesto que muestra evidencias de compactación por el arado así como altas densidades aparentes, y con capacidad de aireación (CA) baja por las mismas razones. Lo anterior se expresa en el perfil como cutánes en forma de manchas delgadas en las caras verticales de los agregados y en los canales de raíces a partir del tercer horizonte.

De los casi 680 mm de lluvia que precipitan anualmente, el suelo de la terraza tiene la capacidad de retener casi una tercera parte del agua contra la gravedad ($211.24 \text{ L/m}^2 \text{ CC}$) de la cual cerca de la mitad se encuentra disponible para el aprovechamiento de las plantas ($92.06 \text{ L/m}^2 \text{ dCC}$) mientras que el resto se retiene a altas tensiones superficiales por partículas del tamaño de las arcillas. La conductividad hidráulica del suelo es de baja a mediana porque el porcentaje de poros que drenan rápidamente el agua (CA) es bajo a lo largo de todo el perfil.

De los cationes intercambiables disponibles la porción ocupada por bases intercambiables es 99.52 mol/m^2 y se denomina como alta, posee una reserva de nitrógeno mediana ($\text{Nt } 0.28 \text{ kg/m}^2$) y el que está disponible es bajo ($\text{Ndis } 1.42 \text{ g/m}^2$) y un abastecimiento de fósforo bajo ($\text{Pmo } 56.64 \text{ g/m}^2$).

De acuerdo con la USLE, en función del uso de suelo actual, la pendiente del terreno y un factor K de 0.451, la pérdida de suelo en el horizonte superficial por erosión laminar y en surcos es de 0.526 ton/ha/año , lo que en volumen representa $0.348 \text{ m}^3/\text{año}$ o $348.9 \text{ cm}^3/\text{año}$.

MIX 02



I. Información acerca de la localidad

- Número de perfil: MIX 02
- Sitio: Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca
- Clasificación del suelo: Calcaric Colluvic Regosol (Loamic, Aric, Escalic, Hypostagnic, Ochric)
- Fecha de la descripción: 21 de noviembre de 2017
- Autores: Norma López Castañeda, Lorenzo Vázquez Selem, Estefanía Roldán Nicolau, Ana Karen Romero, Miguel Ángel Ramírez, Víctor Cruz López
- Localización: Tooxi, parcela del Sr Casimiro
- Coordenadas UTM(m): (x) 672475 (y) 1946310
- Altitud (msnm): 2398
- Forma del terreno: L-L, Plana rectilínea
- Unidad del paisaje: Piedemonte erosivo
- Pendiente: pendiente sencilla, casi plana (1%)
- Exposición: E
- Uso del suelo o vegetación: Agricultura de temporal con cultivos de maíz, frijol, trigo y calabaza. *Quercus rugosa*, *Quercus castania*, *Tagetes erecta*, acahuales
- Clima: Templado subhúmedo con lluvias en verano Cw_1
- Temperatura media anual (°C): 11.4
- Precipitación media anual (mm): 679.8
- Estado del tiempo: ET 3-5 Sin precipitación en las últimas 24 horas
- Condiciones meteorológicas al momento de la descripción: soleado

II. Información general acerca del suelo

- Material parental: depósitos coluviales de la Formación Yanhuitlán
- Drenaje natural: moderado
- Condiciones de humedad en el perfil: seco en superficie y húmedo a profundidad
- Profundidad del manto freático: desconocida
- Presencia de rocas superficiales: pocas
- Evidencia de erosión: laminar y en cárcavas
- Presencia de sales o soda: no determinada
- Influencia humana: terraza agrícola con cultivos de maíz en pie

III. Descripción breve del perfil

Perfil medianamente profundo (60 cm), de textura franco arcillosa limosa (CRL), de color rojizo y uniforme en apariencia, con drenaje natural moderado, descrito en un pozo cavado en la superficie de la terraza. La pedregosidad es nula. El perfil muestra desarrollo de estructura de tipo laminar y subangular en bloques en el primer horizonte y tiende de subangular en bloques a masiva a profundidad. Poros comunes a lo largo del perfil, de forma tubular e intersticial de tamaño fino y mediano. La densidad de raíces finas fue baja en el primer horizonte (0-4 cm) y muy alta y alta en los siguientes (4-21, 21-47).

IV. Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
C	0 a 4	Color 5YR 5/4 en húmedo, textura franco arcillo limosa CRL, contenido de materia orgánica de 3.92 %*, moderadamente ácido (pH 5.5 en agua), entre 2-10 % de CaCo ₃ , bajo contenido de humedad (seco, pF: 4), estructura tipo laminar obvia muy fina que rompe en subangular en bloques, medianos de grado débil, muy baja estabilidad de agregados, pedregosidad del 0 %, con poros comunes intersticiales y pocos tubulares muy finos y grietas verticales, baja densidad de raíces, densidad aparente de 1.2 g/cm ³ , límite abrupto y ondulado. Presencia de carbón.
2Ap	4 a 21	Color 5 YR 4/4 en húmedo, textura franco arcillo limosa CRL, contenido de materia orgánica de 3.78 %*, ligeramente ácido (pH 6 en agua), entre 2-10 % de CaCo ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura tipo subangular en bloques medianos de grado débil, muy baja estabilidad de agregados, pedregosidad del 0 %, con poros comunes tubulares y comunes intersticiales medianos y muy finos, muy alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.4 g/cm ³ , límite gradual y uniforme. Presencia de carbón.
2C	21 a 47	Color 5 YR 5/4 en húmedo, textura franco arcillo limosa CRL, contenido de materia orgánica de 3.70 %* neutro (pH 7 en agua), entre 2-10 % de CaCo ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura subangular en bloques, mediana de grado débil, muy baja estabilidad de agregados, nula pedregosidad, poros comunes intersticiales muy finos y comunes tubulares medianos, alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.2 g/cm ³ , límite gradual y uniforme. Manchas y motas grises en las caras de los agregados. Presencia de cerámica y carbón.

3C	47 a 60	Color 5 YR 5/4 en húmedo, textura franco arcillo limosa CRL, contenido de materia orgánica de 3.76 %* neutro (pH 7 en agua), entre 2-10 % de CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura masiva que rompe en subangular en bloques, fina de grado débil, muy baja estabilidad de agregados, nula pedregosidad, poros comunes intersticiales muy finos y muy pocos tubulares finos, muy baja densidad de raíces, densidad aparente de 1.4 g/cm ³ . Manchas y motas grises en las caras de los agregados.
----	---------	--

*Datos de laboratorio

V. Interpretación de las características del suelo

Procesos pedogenéticos dominantes

Se observó acumulación de materia orgánica de 29.26 kg/m² en los a lo largo de todo el perfil y formación de estructura subangular en bloques.

Se observó una fuerte reacción al CaCO₃ a lo largo de todo el perfil puesto que el suelo se desarrolla en materiales ricos en carbonatos (Formación Yanhuitlán).

La clasificación de este suelo como Calcaric Colluvic Regosol (Loamic, Aric, Escalic, Hypostagnic, Ochric) se basó; para el grupo de referencia Regosol, en que los procesos pedogenéticos no están muy claramente expresados; para los calificadores principales Calcaric y Colluvic, en el material calcárico de que deriva una alta saturación de bases (> 50%) y en la naturaleza coluvial del depósito. Y para los calificadores suplementarios Loamic, Aric, Escalic, Hypostagnic, Ochric en su textura franco arcillo limosa de más de 30 cm de profundidad (60 cm), en que muestras señales de arado a más de 20 cm de profundidad, por tratarse de terrazas antrópicas, por presentar incipientes colores redutomórficos asociados a condiciones reductoras en los últimos horizontes y por poseer más del 0.2 % de carbono orgánico en los primeros 10 cm de suelo.

Características ecológicas

La terraza es un sitio dinámico construido por los agricultores en 1940 que acumula material anualmente; razón por la que en el primer horizonte (C) se observa estructura de tipo laminar obvia asociada a la deposición del material, posee poca pendiente y se reconocen rasgos de erosión laminar y en cárcavas. Es una parcela de agricultura de temporal en la que debido a su posición en la cuenca posee un continuo abastecimiento de humedad, lo que permite iniciar el cultivo de maíz antes de la temporada de lluvias.

Se trata de un suelo profundo (se excavó a 60 cm pero el depósito es de varios metros espesor puesto que la cortina de piedra de la terraza mide entre 8 y 10 metros de altura), con un drenaje natural excesivo a lo largo de todo el perfil puesto que muestra una muy buena penetrabilidad de raíces, densidades aparentes bajas y muy alto volumen total de poros, y con capacidad de aireación (CA) m lo que se expresa en el perfil como cutánes en forma de manchas delgadas en las caras verticales de los agregados y en los canales de raíces a partir del tercer horizonte.

De los casi 680 mm de lluvia que precipitan anualmente, el suelo de la terraza tiene la capacidad de retener casi una tercera parte del agua contra la gravedad (240 L/m² CC) de la cual menos de la mitad se encuentra disponible para el aprovechamiento de las plantas (105 L/m² dCC) mientras que el resto se retiene a altas tensiones superficiales por partículas del tamaño de las arcillas. La conductividad hidráulica del suelo mediana porque el porcentaje de poros que drenan rápidamente el agua (CA) es mediano a lo largo de todo el perfil.

De los cationes intercambiables disponibles la porción ocupada por bases intercambiables es 114.98 mol/m² y se denomina como alta, posee una reserva de nitrógeno alta (Nt 1.46 kg/m²) y el que está disponible es media ata (Ndis 7.3 g/m²) y un abastecimiento de fósforo muy alto (Pmo 292.65 g/m²).

De acuerdo con la USLE, en función del uso de suelo actual, la pendiente del terreno y un factor K de 0.33, la pérdida de suelo en el horizonte superficial por erosión laminar y en surcos es de 0.073 ton/ha/año, lo que en volumen representa 0.060 m³/año o 60.95 cm³/año.

MIX 03



I. Información acerca de la localidad

- Número de perfil: MIX 03
- Sitio: Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca
- Clasificación del suelo: Calcaric Colluvic Regosol (Loamic, Aric, Escalic, Hypostagnic, Ochric)
- Fecha de la descripción: 22 de noviembre de 2017
- Autores: Norma López Castañeda, Lorenzo Vázquez Selem, Estefanía Roldán Nicolau, Ana Karen Romero, Miguel Ángel Ramírez, Víctor Cruz López
- Localización: Tooxi, parcela del Sr Ignacio
- Coordenadas UTM(m): (x) 672841 (y) 1941266
- Altitud (msnm): 2300
- Forma del terreno: L-L, Plana rectilínea
- Unidad del paisaje: Piedemonte erosivo
- Pendiente: pendiente sencilla, plana (0%)
- Exposición: E
- Uso del suelo o vegetación: Agricultura de temporal con cultivos de maíz, frijol, trigo y calabaza. *Quercus rugosa*, *Quercus castania*, pingüica, jarilla, ramonal y acahuales
- Clima: Templado subhúmedo con lluvias en verano Cw_1
- Temperatura media anual (°C): 11.4
- Precipitación media anual (mm): 679.8
- Estado del tiempo: ET 3 Sin precipitación en las últimas 24 horas
- Condiciones meteorológicas al momento de la descripción: soleado

II. Información general acerca del suelo

- Material parental: depósitos coluviales de la Formación Yanhuitlán, Toba Llano de Lobos e Hipabisales
- Drenaje natural: moderado
- Condiciones de humedad en el perfil: seco en superficie y húmedo a profundidad
- Profundidad del manto freático: desconocida
- Presencia de rocas superficiales: pocas
- Evidencia de erosión: laminar y tunelamiento.
- Presencia de sales o soda: no determinada
- Influencia humana: terraza agrícola con cultivos de maíz en pie

III. Descripción breve del perfil

Perfil profundo (80 cm), de textura franco arcillosa (CR) en el primer horizonte y franco arcillosa limosa (CRL) a profundidad, de color rojizo y uniforme en apariencia, con drenaje natural moderado, descrito en un pozo cavado en la superficie de la terraza. La pedregosidad es nula. El perfil muestra desarrollo de estructura subangular en bloques en el primer horizonte y tiende de subangular en bloques a masiva a profundidad. Poros comunes a lo largo del perfil, de forma tubular e intersticial de tamaño fino y mediano. La densidad de raíces finas fue muy alta en el primer y segundo horizonte (0 a 18 cm) y mediana en los siguientes (18 a 80 cm) Presencia de carbón en todo el perfil.

IV. Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ap1	0 a 6	Color 5YR 4/5 en húmedo, textura franco arcillosa CR, contenido de materia orgánica de 1.6 %, moderadamente ácido (pH 6 en agua), entre 2-10 % de CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura tipo subangular en bloques que rompe en subangular en bloques de gruesos a medianos de grado moderado, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 0 %, con poros comunes intersticiales finos y comunes tubulares medianos, muy alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.4 g/cm ³ , límite claro y ondulado. Presencia de carbón.
Ap2	6 a 18	Color 5 YR 4/4 en húmedo, textura franco arcillo limosa CRL, contenido de materia orgánica de 1.6 %, ligeramente ácido (pH 6 en agua), entre 2-10 % de CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura tipo subangular en bloques gruesos que rompe en subangular en bloques medianos de grado débil, moderada estabilidad de agregados, pedregosidad del 0 %, con poros comunes tubulares y comunes intersticiales muy finos y finos, media densidad de raíces, densidad aparente de 1.4 g/cm ³ , límite gradual e irregular. Presencia de carbón.
2Ah	18 a 36	Color 5 YR 4/4 en húmedo, textura franco arcillo limosa CRL, ligeramente ácido (pH 6 en agua), entre 2-10 % de CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura subangular en bloques, gruesa de grado moderado que rompe en migajón fino de grado moderado, moderada estabilidad de agregados, nula pedregosidad, poros comunes intersticiales muy finos y comunes tubulares finos, mediana densidad de raíces, densidad aparente de 1.2 g/cm ³ , límite gradual e irregular. Oxidación en paredes de raíces. Presencia de carbón.

3C	36 a 80	Color 5 YR 4/4 en húmedo, textura franco arcillo limosa CRL, ligeramente ácido (pH 6 en agua), entre 2-10 % de CaCO ₃ , moderado contenido de humedad (húmedo, pF: 2), estructura masiva que rompe en subangular en bloques medianos de grado débil, de moderada a baja estabilidad de agregados, nula pedregosidad, poros pocos intersticiales muy finos y pocos tubulares muy finos, media densidad de raíces, densidad aparente de 1.2 g/cm ³ . Oxidación en paredes de raíces. Presencia de carbón.
----	---------	---

V. Interpretación de las características del suelo

Procesos pedogenéticos dominantes

Se observó acumulación de materia orgánica de 4.032 kg/m² en los primeros dos horizontes (Ao1 y Ap2) y formación de estructura subangular en bloques.

Se observó una fuerte reacción al CaCO₃ a lo largo de todo el perfil puesto que el suelo se desarrolla en materiales ricos en carbonatos (Formación Yanhuítlán).

La clasificación de este suelo como Calcaric Colluvic Regosol (Loamic, Aric, Escalic, Hypostagnic, Ochric) se basó; para el grupo de referencia Regosol, en que los procesos pedogenéticos no están muy claramente expresados; para los calificadores principales Calcaric y Colluvic, en el material calcárico de que deriva una alta saturación de bases (> 50%) y en la naturaleza coluvial del depósito. Y para los calificadores suplementarios Loamic, Aric, Escalic e Hypostagnic en su textura franco arcillo limosa de más de 30 cm de profundidad (60 cm), en que muestras señales de arado a más de 20 cm de profundidad, por tratarse de terrazas antrópicas, por presentar incipientes colores redutomórficos asociados a condiciones reductoras en el penúltimo horizonte y por poseer más del 0.2% de carbono orgánico en los primeros 10 cm.

Características ecológicas

La terraza es un sitio dinámico construido por los agricultores en 1940 que acumula material anualmente, de poca pendiente y en el que se reconocen rasgos de erosión laminar y tunelamiento. Es una parcela de agricultura de temporal en la que debido a su posición en la cuenca posee un continuo abastecimiento de humedad, lo que permite iniciar el cultivo de maíz antes de la temporada de lluvias.

Se trata de un suelo profundo (se excavó a 80 cm, pero el depósito es de varios metros espesor puesto que la cortina de piedra de la terraza mide entre 14 y 15 metros de altura), con un drenaje natural deficiente a lo largo de todo el perfil muy buena penetrabilidad de raíces, densidades aparentes moderadas y mediano volumen total de poros.

De los casi 680 mm de lluvia que precipitan anualmente, el suelo de la terraza tiene la capacidad de retener poco menos de la mitad del agua contra la gravedad (293.7 L/m² CC) de la cual poco más de dos quintas partes se encuentra disponible para el aprovechamiento de las plantas (127.4 L/m² dCC) mientras que el resto se retiene a altas tensiones superficiales por partículas del tamaño de las arcillas. La conductividad hidráulica del suelo mediana porque el porcentaje de poros que drenan rápidamente el agua (CA) es bajo a lo largo de todo el perfil.

De los cationes intercambiables disponibles la porción ocupada por bases intercambiables es 110.38 mol/m² y se denomina como alta, posee una reserva de nitrógeno mediana (Nt 0.20 kg/m²) y el que está disponible es bajo (Ndis 1.0 g/m²) y un abastecimiento de fósforo bajo (Pmo 40.32 g/m²).

De acuerdo con la USLE, en función del uso de suelo actual, la pendiente del terreno y un factor K de 0.34, la pérdida de suelo en el horizonte superficial por erosión laminar y en surcos es de 0.021 ton/ha/año, lo que en volumen representa 0.015 m³/año o 15.53 cm³/año.

MIX 04



I. Información acerca de la localidad

- Número de perfil: MIX 04
- Sitio: San Juan Teposcolula, Oaxaca
- Clasificación del suelo: Calcaric Colluvic Regosol (Loamic, Escalic, Ochric)
- Fecha de la descripción: 22 de noviembre de 2017
- Autores: Norma López Castañeda, Lorenzo Vázquez Selem, Estefanía Roldán Nicolau, Ana Karen Romero, Miguel Ángel Ramírez, Víctor Cruz Díaz
- Localización: agencia de Santa María Pozoltepec, terrenos del Sr Filemón
- Coordenadas UTM(m): (x) 671983 (y) 1945295
- Altitud (msnm): 2493
- Forma del terreno: L-L, Plana rectilínea
- Unidad del paisaje: Piedemonte erosivo
- Pendiente: pendiente sencilla, plana (0%)
- Exposición: E
- Uso del suelo o vegetación: terraza agrícola abandonada. Bosque secundario de *Pinus oaxacana*, *Pinus pseudostrobus*, *Quercus rugosa* y *Quercus castania*
- Clima: Templado subhúmedo con lluvias en verano Cw_1
- Temperatura media anual (°C): 11.4
- Precipitación media anual (mm): 679.8
- Estado del tiempo: ET 3 Sin precipitación en las últimas 24 horas
- Condiciones meteorológicas al momento de la descripción: soleado

II. Información general acerca del suelo

- Material parental: depósitos coluviales de la Formación Yanhuitlán, Toba Llano de Lobos e Hipabisales
- Drenaje natural: moderado
- Condiciones de humedad en el perfil: seco en superficie y húmedo a profundidad
- Profundidad del manto freático: desconocida
- Presencia de rocas superficiales: pocas
- Evidencia de erosión: laminar y en cárcavas
- Presencia de sales o soda: no determinada

- Influencia humana: terraza agrícola abandonada construida hace más de 100 años por la familia del Sr. Filemón. Pastoreo de ovejas en los alrededores

III. Descripción breve del perfil

Perfil profundo (84 cm), de textura franco limosa fina (CLf) en el primer horizonte y franco arcillosa limosa (CRL) a profundidad, de color rojizo y amarillento, con drenaje natural moderado, descrito en una cárcava que expone los materiales de la terraza. La pedregosidad disminuye a profundidad. El perfil muestra desarrollo de estructura subangular en bloques gruesos y medianos. Poros comunes a lo largo del perfil, de forma tubular e intersticial de tamaño fino y muy fino. La densidad de raíces finas fue alta en los primeros dos horizontes (0 a 30 cm) y mediana y baja en los siguientes (30 a 84 cm) Presencia de carbón en todo el perfil. Presencia de fragmentos de carbón y lascas de pedernal a partir de los 30 cm y en el resto del perfil.

IV. Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ah	0 a 9	Color 5YR 4/2 en húmedo, textura franco limosa fina (CLf), contenido de materia orgánica de 2.5 %, moderadamente ácido (pH 6 en agua), entre 2-10 % de CaCo ₃ , muy bajo contenido de humedad (seco, pF: 4), estructura tipo subangular en bloques medianos de grado fuerte, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 7 %, con poros comunes intersticiales muy finos y pocos tubulares finos, muy alta densidad de raíces, densidad parente 1.42 g/cm ³ , límite claro y ondulado.
2Ah	9 a 30	Color 7.5 YR 4/2 en húmedo, textura franco arcillo limosa CRL, contenido de materia orgánica de 2.9 %, ligeramente ácido (pH 6 en agua), entre 2-10 % de CaCo ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura tipo subangular en bloques medianos que rompe en subangular en bloques finos de grado débil, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 3 %, con poros comunes tubulares y comunes intersticiales finos y muy finos, alta densidad de raíces, densidad aparente 1.21 g/cm ³ , límite gradual y uniforme.
3Ah	30 a 61	Color 7.5 YR 4/2 en húmedo, textura franco arcillo limosa CRL, contenido de material orgánica de 2.9%, ligeramente ácido (pH 6 en agua), entre 2-10 % de CaCo ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura subangular en bloques, gruesa de grado fuerte que rompe en subangular en bloques medianos de grado fuerte, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 5 %, poros comunes intersticiales muy finos y pocos tubulares muy finos, mediana densidad de raíces, densidad aparente 1.21 g/cm ³ límite abrupto y uniforme. Oxidación en paredes de raíces. Carbón y lascas de pedernal

2AB	61 a 73	<p>Color 7.5 YR 3/2 en húmedo, textura franco arcillo limosa CRL, contenido de materia orgánica de 2.5 %, ligeramente ácido (pH 6 en agua), entre 2-10 % de CaCO₃, bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura subangular en bloques, gruesa de grado moderado que rompe en subangular en bloques medianos de grado moderado, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 3 %, poros comunes intersticiales muy finos y pocos tubulares muy finos, mediana densidad de raíces, densidad aparente 1.21 g/cm³ límite gradual y uniforme. Oxidación en paredes de raíces. Carbón y lascas de pedernal</p>
3AB	73 a 84	<p>Color 5 YR 4/4 en húmedo, textura franco arcillo limosa CRL, contenido de materia orgánica de 2.9%, ligeramente ácido (pH 6 en agua), entre 2-10 % de CaCO₃, bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura subangular en bloques medianos de grado moderado que rompe en subangular en bloques finos de grado moderado, muy alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 1 %, poros comunes intersticiales muy finos y pocos tubulares muy finos, media a baja densidad de raíces y densidad aparente 1.21 g/cm³. Oxidación en paredes de raíces. Carbón y lascas de pedernal.</p>

V. Interpretación de las características del suelo

Procesos pedogenéticos dominantes

Se observó acumulación de materia orgánica de 10.81 kg/m² a lo largo de todo el perfil (Ah, 2Ah, 2AB, 3Ah y 3AB) y formación de estructura subangular en bloques con una alta estabilidad de los agregados gracias al elevado contenido de materia orgánica.

Se observó una fuerte reacción al CaCO₃ a lo largo de todo el perfil puesto que el suelo se desarrolla en materiales ricos en carbonatos (Formación Yanhuítlán).

La clasificación de este suelo como Calcaric Colluvic Regosol (Loamic, Escalic, Ochric) se basó; para el grupo de referencia Regosol, en que los procesos pedogenéticos no están muy claramente expresados; para los calificadores principales Calcaric y Colluvic, en el material calcárico de que deriva una alta saturación de bases (> 50%) y en la naturaleza coluvial del depósito. Y para los calificadores suplementarios Loamic, Escalic, Ochric en su textura franco arcillo limosa de más de 30 cm de profundidad (60 cm), por tratarse de terrazas antrópicas y por poseer más del 0.2 % de carbono orgánico en los primeros 10 cm de profundidad.

Características ecológicas

La terraza es un sitio dinámico construido por los agricultores hace más de 100 años que acumulaba material anualmente, de poca pendiente y en el que se reconocen rasgos de erosión laminar y cárcavas, sin embargo, hace tiempo que el muro de rocas se rompió lo que dio paso al desalojo de sus materiales. Es una parcela de agricultura abandonada en la que se ha establecido vegetación secundaria.

Se trata de un suelo profundo (se limpió el corte hasta 80 cm, pero el depósito es más profundo), con un drenaje natural moderado a lo largo de todo el perfil. El primer horizonte muestra rasgos de compactación por lo que posee una densidad aparente alta, baja conductividad hidráulica, media penetrabilidad de raíces y baja capacidad de aireación.

El resto del perfil muestra buena penetrabilidad de raíces, densidades aparentes moderadas y mediano volumen total de poros, y con mediana capacidad de aireación (CA).

De los casi 680 mm de lluvia que precipitan anualmente, el suelo de la terraza tiene la capacidad de retener la mitad de esa agua contra la gravedad ($319.53 \text{ L/m}^2 \text{ CC}$) de la cual poco más de la tercera parte se encuentra disponible para el aprovechamiento de las plantas ($123.44 \text{ L/m}^2 \text{ dCC}$) mientras que el resto se retiene a altas tensiones superficiales por partículas del tamaño de las arcillas. La conductividad hidráulica del suelo es regular debido a que el porcentaje de poros que drenan rápidamente el agua (CA) es bajo en el primero horizonte y mediano en el resto del perfil.

De los cationes intercambiables disponibles la porción ocupada por bases intercambiables es 156.23 mol/m^2 y se denomina como alta, posee una reserva de nitrógeno media-alta ($\text{Nt } 0.51 \text{ kg/m}^2$) y el que está disponible es mediano ($\text{Ndis } 2.53 \text{ g/m}^2$) y un abastecimiento de fósforo bajo ($\text{Pmo } 101.19 \text{ g/m}^2$).

De acuerdo con la USLE, en función del uso de suelo actual, la pendiente del terreno y un factor K de 0.39, la pérdida de suelo en el horizonte superficial por erosión laminar y en surcos es de $0.0008 \text{ ton/ha/año}$, lo que en volumen representa $0.0005 \text{ m}^3/\text{año}$ o $0.594 \text{ cm}^3/\text{año}$.

MIX 05



I. Información acerca de la localidad

- Número de perfil: MIX 05
- Sitio: San Juan Teposcolula, Oaxaca
- Clasificación del suelo: Calcaric Colluvic Regosol (Loamic, Escalic, Ochric)
- Fecha de la descripción: 23 de noviembre de 2017
- Autores: Norma López Castañeda, Lorenzo Vázquez Selem, Estefanía Roldán Nicolau, Ana Karen Romero, Miguel Ángel Ramírez, Víctor Cruz López, Tomasa Bautista
- Localización: agencia de Santa María Pozoltepec, terrenos del Sr Filemón
- Coordenadas UTM(m): (x) 671616 (y) 1945321
- Altitud (msnm): 2459
- Forma del terreno: L-L, Plana rectilínea
- Unidad del paisaje: Piedemonte erosivo
- Pendiente: pendiente sencilla, plana (0%)
- Exposición: E
- Uso del suelo o vegetación: terraza agrícola abandonada. Bosque secundario de *Pinus oaxacana*, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus greggii*, *Juniperus flaccida* y *Buddleia cordata* y pastos
- Clima: Templado subhúmedo con lluvias en verano Cw_1
- Temperatura media anual (°C): 11.4
- Precipitación media anual (mm): 679.8
- Estado del tiempo: ET 3 Sin precipitación en las últimas 24 horas
- Condiciones meteorológicas al momento de la descripción: soleado

II. Información general acerca del suelo

- Material parental: depósitos coluviales de la Formación Yanhuitlán, Toba Llano de Lobos e Hipabisales
- Drenaje natural: moderado
- Condiciones de humedad en el perfil: seco en superficie y húmedo a profundidad
- Profundidad del manto freático: desconocida
- Presencia de rocas superficiales: pocas
- Evidencia de erosión: laminar y en cárcavas
- Presencia de sales o soda: no determinada

- Influencia humana: terraza agrícola abandonada construida hace 100 años por los tatarabuelos del Sr. Filemón. Pastoreo de ovejas en los alrededores

III. Descripción breve del perfil

Perfil profundo (90 cm), de textura franco limosa fina (CLf) en el primer horizonte y franco arcillosa (CR) a profundidad, de color marrón y amarillento, con drenaje natural bueno, descrito en una cárcava que expone los materiales de la terraza. La pedregosidad aumenta a profundidad. El perfil muestra desarrollo de estructura prismática y subangular en bloques gruesos y medianos. Poros comunes a lo largo del perfil, de forma tubular e intersticial de tamaño fino y muy fino. La densidad de raíces finas fue muy alta en los primeros dos horizontes (0 a 35 cm) y mediana alta y baja en los siguientes (30 a 90 cm) Presencia de lascas de pedernal a lo largo de todo el perfil.

IV. Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ah	0 a 7	Color 10YR 4/2 en húmedo, textura franco limosa fina CLf, contenido de materia orgánica de 2.8 %, moderadamente ácido (pH 6 en agua), entre 10 - 25 % de CaCo ₃ , muy bajo contenido de humedad (seco, pF: 4), estructura tipo subangular en bloques medianos de grado fuerte que rompe en subangular en bloques finos de grado fuerte, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 1 %, con poros comunes intersticiales muy finos y pocos tubulares muy finos, muy alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.44 g/cm ³ , límite claro y ondulado. Presencia de grietas de entre 3 y 4 mm.
mAB	7 a 35	Color 10 YR 4/2 en húmedo, textura franco arcillosa CR, contenido de materia orgánica de 2.9 %, ligeramente ácido (pH 6 en agua), entre 2-10 % de CaCo ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura tipo prismática gruesa de grado fuerte que rompe en subangular en bloques medianos que rompe en subangular en bloques finos de grado fuerte, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 1 %, con poros comunes tubulares y comunes intersticiales muy finos y muy pocos tubulares finos, alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.61 g/cm ³ , límite gradual e irregular. Grietas entre prismas de entre 3 y 4 mm.
mBw	35 a 49	Color 10 YR 4/2.5 en húmedo, textura franco arcillosa CR, ligeramente ácido (pH 6 en agua), entre 2-10 % de CaCo ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura subangular en bloques, gruesa de grado fuerte que rompe en subangular en bloques medianos de grado moderado, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 2 %, poros comunes intersticiales muy finos y comunes tubulares muy finos, mediana a alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.4 g/cm ³ , límite claro e irregular. Oxidación en paredes de raíces. Presencia de lascas de pedernal.

mBC	49 a 80	Color 10 YR 4/3 en húmedo, textura de franco arcillosa CR a franco arcillo limosa CRL, ligeramente ácido (pH 6 en agua), entre 2-10 % de CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura subangular en bloques, gruesa de grado moderado que rompe en subangular en bloques medianos de grado moderado, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 5 %, poros comunes intersticiales muy finos y pocos tubulares muy finos, mediana a alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.4 g/cm ³ , límite claro e irregular. Oxidación en paredes de raíces. Presencia de lascas de pedernal.
C	80 a 90	Color 10 YR 4/3 en húmedo, textura franco arcillo limosa CRL, ligeramente ácido (pH 6 en agua), entre 2-10 % de CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura masiva que rompe en subangular en bloques finos de grado moderado, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 30 %, poros comunes intersticiales muy finos y pocos tubulares muy finos, baja densidad de raíces, densidad aparente de 1.4 g/cm ³ . Oxidación en paredes de raíces. Presencia de lascas de pedernal.

V. Interpretación de las características del suelo

Procesos pedogenéticos dominantes

Se observó acumulación de materia orgánica de 16.57 kg/m² en los dos primeros horizontes (Ah y mAB) y formación de estructura subangular en bloques con una alta estabilidad de los agregados gracias al elevado contenido de materia orgánica.

Se observó una fuerte reacción al CaCO₃ a lo largo de todo el perfil puesto que el suelo se desarrolla en materiales ricos en carbonatos (Formación Yanhuitlán).

La clasificación de este suelo como Calcaric Colluvic Regosol (Loamic, Escalic, Ochric) se basó; para el grupo de referencia Regosol, en que los procesos pedogenéticos no están muy claramente expresados; para los calificadores principales Calcaric y Colluvic, en el material calcárico de que deriva una alta saturación de bases (> 50%) y en la naturaleza coluvial del depósito. Y para los calificadores suplementarios Loamic, Escalic, Ochric en su textura franco arcillosa y franco limosa de más de 30 cm de profundidad, por tratarse de terrazas antrópicas y por poseer más del 0.2% de carbono orgánico en los primeros 10 cm.

Características ecológicas

La terraza es un sitio dinámico construido por los agricultores hace más de 100 años que acumulaba material anualmente, de poca pendiente y en el que se reconocen rasgos de erosión laminar y cárcavas, sin embargo, hace tiempo que el muro de rocas se rompió lo que dio paso al desalojo de sus materiales. Es una parcela de agricultura abandonada en la que se ha establecido vegetación secundaria.

Se trata de un suelo profundo (se limpió el corte hasta 80 cm, pero el depósito es más profundo), con un drenaje natural bueno a lo largo de todo el perfil. A partir del segundo horizonte se reconocen rasgos de compactación por lo que se le asignó a la nomenclatura de los horizontes el prefijo "m" para denotar su carácter masivo.

La penetrabilidad de raíces; a excepción del primer horizonte que es buena, es de mediana a baja, las densidades aparentes son de altas a moderadas, de mediano volumen total de poros, y con baja capacidad de aireación (CA).

De los casi 680 mm de lluvia que precipitan anualmente, el suelo de la terraza tiene la capacidad de retener la mitad de esa agua contra la gravedad ($318.85 \text{ L/m}^2 \text{ CC}$) de la cual poco menos de la tercera parte se encuentra disponible para el aprovechamiento de las plantas ($97.62 \text{ L/m}^2 \text{ dCC}$) mientras que el resto se retiene a altas tensiones superficiales por partículas del tamaño de las arcillas. La conductividad hidráulica del suelo es de regular a mediana debido al bajo porcentaje de poros que drenan rápidamente el agua (CA) en el perfil.

De los cationes intercambiables disponibles la porción ocupada por bases intercambiables es 98.79 mol/m^2 y se denomina como alta, posee una reserva de nitrógeno media-alta ($\text{Nt } 0.63 \text{ kg/m}^2$) y el que está disponible es mediano ($\text{Ndis } 3.19 \text{ g/m}^2$) y un abastecimiento de fósforo de mediano a alto ($\text{Pmo } 127.94 \text{ g/m}^2$).

De acuerdo con la USLE, en función del uso de suelo actual, la pendiente del terreno y un factor K de 0.35, la pérdida de suelo en el horizonte superficial por erosión laminar y en surcos es de $0.0008 \text{ ton/ha/año}$, lo que en volumen representa $0.000525 \text{ m}^3/\text{año}$ o $0.525 \text{ cm}^3/\text{año}$.

MIX 06



I. Información acerca de la localidad

- Número de perfil: MIX 06
- Sitio: San Juan Teposcolula, Oaxaca
- Clasificación del suelo: Haplic Luvisol (Loamic, Colluvic, Cutanic, Escalic, Humic) Calcaric, Prptoveritic, Protostagnic
- Fecha de la descripción: 23 de noviembre de 2017
- Autores: Norma López Castañeda, Lorenzo Vázquez Selem, Estefanía Roldán Nicolau, Ana Karen Romero, Miguel Ángel Ramírez, Víctor Cruz López, Tomasa Bautista
- Localización: agencia de Santa María Pozoltepec
- Coordenadas UTM(m): (x) 671327 (y) 1945233
- Altitud (msnm): 2428
- Forma del terreno: L-L, Plana rectilínea
- Unidad del paisaje: Piedemonte erosivo
- Pendiente: pendiente sencilla, (moderadamente inclinado, 8 %)
- Exposición: SW
- Uso del suelo o vegetación: terraza agrícola abandonada. Bosque secundario de *Juniperus flaccida* y *Quercus castania*, *Casuarina esquitifolia*, chamizo, agave y pasto
- Clima: Templado subhúmedo con lluvias en verano Cw_1
- Temperatura media anual (°C): 11.4
- Precipitación media anual (mm): 679.8
- Estado del tiempo: ET 3 Sin precipitación en las últimas 24 horas
- Condiciones meteorológicas al momento de la descripción: soleado

II. Información general acerca del suelo

- Material parental: depósitos coluviales y aluviales de la Formación Yanhuiatlán, Toba Llano de Lobos e Hipabisales
- Drenaje natural: de bueno a moderado
- Condiciones de humedad en el perfil: seco en superficie y húmedo a profundidad
- Profundidad del manto freático: desconocida
- Presencia de rocas superficiales: pocas
- Evidencia de erosión: laminar y en cárcavas
- Presencia de sales o soda: no determinada

- Influencia humana: terraza agrícola abandonada construida hace 100 años. Pastoreo de ovejas en los alrededores

III. Descripción breve del perfil

Perfil profundo (85 cm), de textura franco arcillosa (CR), de color marrón, con drenaje natural de bueno a moderado, descrito en un barranco que expone los materiales de la terraza. La pedregosidad es variable a profundidad. El perfil muestra desarrollo de estructura prismática, angular y subangular en bloques gruesos y medianos de grado fuerte. Poros comunes a lo largo del perfil, de forma tubular e intersticial de tamaño fino y muy fino, así como grietas entre prismas. La densidad de raíces finas fue muy alta en todo el perfil. Presencia de cutánes de arcilla en canales de raíces y caras verticales y horizontales de los agregados a partir del tercer horizonte.

IV. Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ah	0 a 3	Color 7.5 YR 4/2 en húmedo, textura franco arcillosa CR, contenido de materia orgánica de 4.05 %*, moderadamente ácido (pH 5.5 en agua), entre 10 - 25 % de CaCO ₃ , muy bajo contenido de humedad (seco, pF: 4), estructura tipo subangular en bloques finos de grado fuerte que rompe en granular fina de grado fuerte, muy alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 3 %, con poros comunes intersticiales muy finos y muy pocos tubulares muy finos, muy alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.3 g/cm ³ , límite claro y ondulado. Presencia de grietas de entre 3 y 4 mm.
Ah2	3 a 13	Color 7.5 YR 4/3 en húmedo, textura franco arcillosa CR, contenido de materia orgánica de 2.99 %*, ligeramente ácido (pH 5.5 en agua), entre 2-10 % de CaCO ₃ , muy bajo contenido de humedad (seco, pF: 4), estructura tipo prismática gruesa de grado fuerte que rompe en subangular en bloques medianos de grado fuerte, muy alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 5 %, con poros pocos tubulares muy finos y comunes intersticiales gruesos y muy finos, comunes vesiculares finos y pocas grietas, muy alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.3 g/cm ³ , límite gradual y uniforme. Grietas entre prismas de entre 3 y 4 mm.
AB	13 a 35	Color 7.5 YR 3.5/3 en húmedo, textura franco arcillosa CR, contenido de materia orgánica de 2.55 %*, ligeramente ácido (pH 6 en agua), entre 2-10 % de CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura prismática gruesa de grado fuerte que rompe en subangular en bloques medianos de grado fuerte, muy alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 5 %, poros comunes intersticiales gruesos y muy finos y comunes tubulares finos y pocas grietas, muy alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.3 g/cm ³ , límite claro y ondulado. Oxidación en paredes de raíces. Manchas de cutánes delgados de arcilla en canales de raíces.

Bw(t)	35 a 58	Color 7.5 YR 4/4 en húmedo, textura franco arcillosa CR, ligeramente ácido (pH 6 en agua), entre 2-10 % de CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura subangular en bloques, gruesa de grado fuerte, muy alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 1 %, poros comunes intersticiales medianos y muy finos, pocos tubulares finos y pocas grietas, muy alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.3 g/cm ³ , límite claro y uniforme. Oxidación en paredes de raíces. Cutánes delgados y quebrados de arcilla en caras verticales de agregados.
Bt	58 a 85	Color 7.5 YR 4/3 en húmedo, textura franco arcillosa CR, ligeramente ácido (pH 6 en agua), entre 2-10 % de CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura angular gruesa que rompe en angular mediana de grado fuerte, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 2 %, poros comunes intersticiales muy finos y pocos tubulares muy finos, muy alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.5 g/cm ³ . Oxidación en paredes de raíces. Cutánes delgados y quebrados de arcilla en caras verticales y horizontales de agregados y canales de raíces.

*Datos de laboratorio

V. Interpretación de las características del suelo

Procesos pedogenéticos dominantes

Se observó acumulación de materia orgánica de 12.83 kg/m² en los tres primeros horizontes (Ah, Ah2 y AB) y formación de estructura prismática, angular y subangular en bloques con muy alta estabilidad de los agregados gracias al elevado contenido de materia orgánica. Se observó neoformación de minerales en el cuarto horizonte, así como iluviación de arcillas.

Se observó una fuerte reacción al CaCO₃ a lo largo de todo el perfil puesto que el suelo se desarrolla en materiales ricos en carbonatos (Formación Yanhuitlán).

La clasificación de este suelo como Haplic Luvisol (Loamic, Colluvic, Cutanic, Escalic, Humic) Calcaric, Prptoveritic, Protostagnic; se basó para el grupo de referencia Luvisol, en que éste posee un horizonte de diagnóstico árgico (Bt) que comienza a < 100 cm de la superficie del suelo y se caracteriza por poseer más arcilla que el horizonte suprayacente lo que se denota en una diferencia textural por iluviación o neoformación de arcillas; para el calificador principal Haplic en que posee una expresión típica de ciertos rasgos en el sentido de que no hay una caracterización adicional; Y para los calificadores suplementarios Loamic, Colluvic, Cutanic, Escalic, Humic en su textura franco arcillosa de más de 30 cm de profundidad, en la naturaleza coluvial del depósito, por poseer cutánes de arcilla en las caras verticales de los agregados, por tratarse de terrazas antrópicas y por poseer más del 1 % de carbono orgánico en los primeros 50 cm. Se añadió una serie de calificadores suplementarios que aunque no figuran dentro de los propuestos para tal grupo de referencia, sí se observaron a lo largo del perfil, Calcaric en referencia al material calcárico del que deriva una alta saturación de bases (> 50%), Protovértic por la presencia de grietas de expansión contracción en superficie y a profundidad, e Hypostagnic por la presencia de manchas oximórficas a profundidad.

Características ecológicas

La terraza es un sitio dinámico construido por los agricultores hace más de 100 años que acumulaba material anualmente, de poca pendiente y en el que se reconocen avanzados rasgos de erosión en cárcavas y barrancos, hace tiempo que el muro de rocas se rompió lo que dio paso al desalojo de

sus materiales. Es una parcela de agricultura abandonada en la que se ha establecido vegetación secundaria.

Se trata de un suelo profundo (se limpió el corte hasta 85 cm, pero el depósito es más profundo), con un drenaje natural bueno a moderado a lo largo de todo el perfil. A partir del tercer horizonte se observan recubrimientos de arcilla en los agregados y en el cuarto y quinto horizonte iluviación de las mismas.

La penetrabilidad de raíces es muy alta, las densidades aparentes son moderadas, de mediano volumen total de poros, y con baja capacidad de aireación (CA).

De los casi 680 mm de lluvia que precipitan anualmente, el suelo de la terraza tiene la capacidad de retener poco menos de la mitad de esa agua contra la gravedad ($301.74 \text{ L/m}^2 \text{ CC}$) de la cual poco menos de la tercera parte se encuentra disponible para el aprovechamiento de las plantas ($90.43 \text{ L/m}^2 \text{ dCC}$) mientras que el resto se retiene a altas tensiones superficiales por partículas del tamaño de las arcillas. La conductividad hidráulica del suelo es de muy baja a mediana debido a que el porcentaje de poros que drenan rápidamente el agua (CA) es bajo en todo el perfil, condición que se refleja en colores oximórficos en los canales de raíces.

De los cationes intercambiables disponibles la porción ocupada por bases intercambiables es 124.83 mol/m^2 y se denomina como alta, posee una reserva de nitrógeno mediana ($\text{Nt } 0.40 \text{ kg/m}^2$) y el que está disponible es mediana ($\text{Ndis } 3.06 \text{ g/m}^2$) y un abastecimiento de fósforo medio alto ($\text{Pmo } 122.54 \text{ g/m}^2$).

De acuerdo con la USLE, en función del uso de suelo actual, la pendiente del terreno y un factor K de 0.21, la pérdida de suelo en el horizonte superficial por erosión laminar y en surcos es de 0.093 ton/ha/año , lo que en volumen representa $0.072 \text{ m}^3/\text{año}$ o $72.17 \text{ cm}^3/\text{año}$.

MIX 07



I. Información acerca de la localidad

- Número de perfil: MIX 07
- Sitio: Santo Domingo Tonaltepec, Oaxaca
- Clasificación del suelo: Eutric Colluvic Regosol (Endoclayic, Epiloamic, Escalic, Humic, Technic, Protovertic) protostagnic
- Fecha de la descripción: 23 de noviembre de 2017
- Autores: Norma López Castañeda, Lorenzo Vázquez Selem, Estefanía Roldán Nicolau, Ana Karen Romero, Miguel Ángel Ramírez, Víctor Cruz López
- Localización: paraje de Ichiyodo
- Coordenadas UTM(m): (x) 673599 (y) 1945650
- Altitud (msnm): 2542
- Forma del terreno: L-L, Plana rectilínea
- Unidad del paisaje: Piedemonte erosivo
- Pendiente: pendiente sencilla, ligeramente inclinada (5%)
- Exposición: SW
- Uso del suelo o vegetación: terraza agrícola abandonada con pastos, tejocote, zapotal, chamizo, agaves, opuntia y otras herbáceas. Bosque secundario de *Quercus rugosa* en las laderas
- Clima: Templado subhúmedo con lluvias en verano Cw₁
- Temperatura media anual (°C): 11.4
- Precipitación media anual (mm): 679.8
- Estado del tiempo: ET 3 Sin precipitación en las últimas 24 horas
- Condiciones meteorológicas al momento de la descripción: soleado

II. Información general acerca del suelo

- Material parental: depósitos coluviales de la Toba Llano de Lobos y Andesita Yucudaac
- Drenaje natural: moderado
- Condiciones de humedad en el perfil: seco en superficie y húmedo a profundidad
- Profundidad del manto freático: desconocida
- Presencia de rocas superficiales: pocas
- Evidencia de erosión: laminar, cárcavas y asentamientos de terreno
- Presencia de sales o soda: no determinada

- Influencia humana: terraza agrícola abandonada construida hace más de 100 años. Alta densidad de lascas de pedernal en superficie. Pastoreo de ovejas en los alrededores

III. Descripción breve del perfil

Perfil profundo (135 cm), de textura franco arcillosa (CR) en los primeros horizontes y arcillo arenosa (RA) a profundidad, de color negro parduzco, con drenaje natural moderado, descrito en la cabecera de cárcava que expone los materiales de la terraza. La pedregosidad es variable a profundidad. El perfil muestra desarrollo de estructura prismática y subangular en bloques gruesos y medianos. Poros comunes a lo largo del perfil, de forma tubular e intersticial de tamaño fino y muy fino y grietas. La densidad de raíces finas fue alta en los primeros dos horizontes (0 a 20 cm) y mediana en los siguientes (20 a 135 cm) Presencia de lascas de pedernal en el primer horizonte y carbón a lo largo de todo el perfil (118 cm muestra para fechamiento).

IV. Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
mAh	0 a 4	Color 10YR 3/2 en húmedo, textura franco arcillosa CR, contenido de materia orgánica de 1.77 %*, moderadamente ácido (pH 5.5 en agua), sin reacción al CaCO ₃ , muy bajo contenido de humedad (seco, pF: 4), estructura tipo prismática muy gruesa y gruesa de grado fuerte y laminar mediana de grado fuerte, muy alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 2 %, con poros comunes intersticiales muy gruesos y muy finos y pocos tubulares muy finos y muy pocas grietas, alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.5 g/cm ³ , límite claro y uniforme. Motas rojas y naranjas en canales de raíces. Se observan rasgos de compactación. Presencia de lascas de pedernal y carbón.
2mAh	4 a 20	Color 10 YR 3/2 en húmedo, textura franco arcillosa CR, contenido de materia orgánica de 0.83 %*, ligeramente ácido (pH 5.5 en agua), sin reacción al CaCO ₃ , muy bajo contenido de humedad (fresco, pF: 4), estructura tipo masiva que rompe en prismática muy gruesa y gruesa de grado fuerte que rompe en subangular en bloques gruesos de grado moderado, muy alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 3 %, con poros comunes intersticiales muy gruesos y muy finos, pocos tubulares muy finos y pocas grietas, alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.5 g/cm ³ , límite gradual y uniforme. Presencia de carbón.
3C	20 a 65	Color 10 YR 4/3 en húmedo, textura franco arcillosa CR, contenido de materia orgánica de 0.45 %*, ligeramente ácido (pH 6 en agua), sin reacción al CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura masiva que rompe en subangular en bloques, gruesa de grado moderado, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 3 %, poros comunes intersticiales medianos y muy finos, pocos tubulares finos y muy finos y pocas grietas, mediana densidad de raíces, densidad aparente de 1.5 g/cm ³ , límite difuso y uniforme. Presencia de carbón

4C	65 a 106	Color 10 YR 4/2 en húmedo, textura arcillo arenosa RA, contenido de materia orgánica de 0.44 %*, ligeramente ácido (pH 5.5 en agua), sin reacción al CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura masiva que rompe en subangular en bloques gruesos de grado moderado, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 1 %, poros comunes intersticiales muy finos y pocos tubulares finos y muy finos, mediana densidad de raíces, densidad aparente de 1.5 g/cm ³ , límite difuso y uniforme. Presencia de carbón.
5C	106 a 125	Color 10 YR 4/2 en húmedo, textura arcillo arenosa RA, contenido de materia orgánica de 0.46 %* ligeramente ácido (pH 5.5 en agua), sin reacción al CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura masiva de grado simple, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 3 %, poros comunes intersticiales muy finos y pocos tubulares finos y muy finos, media densidad de raíces, densidad aparente de 1.5 g/cm ³ , límite difuso y uniforme. Presencia de carbón.
6C	125 a 135	Color 10 YR 4/2 en húmedo, textura arcillo arenosa RA, contenido de materia orgánica de 0.34 %*, ligeramente ácido (pH 5.5 en agua), sin reacción al CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura masiva de grado simple, muy alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 1 %, poros comunes intersticiales muy finos y pocos tubulares muy finos y vesiculares finos, media densidad de raíces, densidad aparente de 1.5 g/cm ³ . Oxidación en paredes de raíces. Motas rojas y naranjas, manchas grises por oxido reducción. Presencia de carbón.

*Datos de laboratorio

V. Interpretación de las características del suelo

Procesos pedogenéticos dominantes

Se observó acumulación de materia orgánica de 10.60 kg/m² a lo largo de todo el perfil y formación de estructura prismática y subangular en bloques con una muy alta estabilidad de los agregados gracias al elevado contenido de materia orgánica.

No se observó reacción al CaCO₃ dado que el suelo se desarrolla en materiales no influenciados por carbonatos como la Toba Llano de Lobos y la Andesita Yucudaac.

La clasificación de este suelo como Eutric Colluvic Regosol (Endoclayic, Epiloamic, Escalic, Ochric, Technic, Protovertic) protostagnic se basó; para el grupo de referencia Regosol, en que los procesos pedogenéticos no están suficientemente expresados; para los calificadores principales Eutric y Colluvic, en una alta saturación de bases (> 50%) y en la naturaleza coluvial del depósito. Y para los calificadores suplementarios Endoclayic Epiloamic, Escalic, Humic, Technic y Protovertic en su textura arcillosa arenosa a profundidad, en su textura franco arcillosa en los primeros tres horizontes, por tratarse de terrazas antrópicas, por poseer más del 1 % de carbono orgánico en los primeros 50 cm de suelo, por la presencia de artefactos como carbón y por presentar grietas de expansión contracción de más de 5 mm en la superficie. Y como calificador suplementario se añadió protostagnic por presentar coloraciones reductomorficas tanto en el primer horizonte como en el último.

Características ecológicas

La terraza es un sitio dinámico construido por los agricultores hace más de 100 años que acumula material anualmente, de poca pendiente y en el que se reconocen rasgos de erosión laminar, cárcavas y asentamientos de terreno razones por las que el muro de rocas se rompió lo que ha dado paso al desalojo de sus materiales. Es una parcela agrícola abandonada en la que se ha establecido pastos y otras herbáceas.

Se trata de un suelo profundo (se limpió el corte hasta 135 cm, pero el depósito es más profundo), con un drenaje natural moderado a lo largo de todo el perfil. Se reconocen rasgos de compactación en los primeros dos horizontes.

La penetrabilidad de raíces; es buena a mediana, las densidades aparentes son altas, de mediano volumen total de poros, y con baja capacidad de aireación (CA).

De los casi 680 mm de lluvia que precipitan anualmente, el suelo de la terraza tiene la capacidad de retener más de tres cuartas partes de esa agua contra la gravedad (534.64 L/m² CC) de la cual poco menos de la tercera parte se encuentra disponible para el aprovechamiento de las plantas (171.61 L/m² dCC) mientras que el resto se retiene a altas tensiones superficiales por partículas del tamaño de las arcillas. La conductividad hidráulica del suelo es mediana debido a que el porcentaje de poros que drenan rápidamente el agua (CA) es mediano en todo el perfil.

De los cationes intercambiables disponibles la porción ocupada por bases intercambiables es 188.51 mol/m² y se denomina como alta, posee una reserva de nitrógeno muy alta (Nt 0.53 kg/m²) y el que está disponible es mediana (Ndis 2.64 g/m²) y un abastecimiento de fósforo medio alto (Pmo 106.07 g/m²).

De acuerdo con la USLE, en función del uso de suelo actual, la pendiente del terreno y un factor K de 0.29, la pérdida de suelo en el horizonte superficial por erosión laminar y en surcos es de 0.037 ton/ha/año, lo que en volumen representa 0.025 m³/año o 25.01 cm³/año.

MIX 08



I. Información acerca de la localidad

- Número de perfil: MIX 08
- Sitio: Santo Domingo Tonaltepec, Oaxaca
- Clasificación del suelo: Eutric Cambisol (Colluvic, Endoloamic, Epiclayic, Escalic, Humic)
- Fecha de la descripción: 24 de noviembre de 2017
- Autores: Norma López Castañeda, Lorenzo Vázquez Selem, Ana Karen Romero
- Localización: paraje de Ichiyodo
- Coordenadas UTM(m): (x) 673632 (y) 1945560
- Altitud (msnm): 2532
- Forma del terreno: L-L, Plana rectilínea
- Unidad del paisaje: Piedemonte erosivo
- Pendiente: pendiente sencilla, casi plana (1%)
- Exposición: E
- Uso del suelo o vegetación: terraza agrícola abandonada con pastos, tejocote, chamizo, agaves, opuntia y otras herbáceas. Bosque secundario de *Quercus rugosa* en las laderas
- Clima: Templado subhúmedo con lluvias en verano Cw_1
- Temperatura media anual (°C): 11.4
- Precipitación media anual (mm): 679.8
- Estado del tiempo: ET 3 Sin precipitación en las últimas 24 horas
- Condiciones meteorológicas al momento de la descripción: soleado

II. Información general acerca del suelo

- Material parental: depósitos coluviales de la Toba Llano de Lobos y Andesita Yucudaac
- Drenaje natural: moderado
- Condiciones de humedad en el perfil: seco en superficie y húmedo a profundidad
- Profundidad del manto freático: desconocida
- Presencia de rocas superficiales: pocas
- Evidencia de erosión: laminar, cárcavas y asentamientos de terreno
- Presencia de sales o soda: no determinada
- Influencia humana: terraza agrícola abandonada construida hace más de 100 años. Alta densidad de lascas de pedernal en superficie. Pastoreo de ovejas en los alrededores

III. Descripción breve del perfil

Perfil profundo (97 cm), de textura arcillo limosa (RL) en los primeros horizontes y franco arcillo limosa (CRL) a profundidad, de color negro parduzco, con drenaje natural moderado, descrito en la cabecera de cárcava que expone los materiales de la terraza. La pedregosidad aumenta a profundidad y se asocia a la proximidad del muro de la terraza. El perfil muestra desarrollo de estructura prismática y subangular en bloques gruesos y medianos. Poros comunes a lo largo del perfil, de forma tubular e intersticial de tamaño fino y muy fino y grietas. La densidad de raíces finas fue muy alta en los primeros dos horizontes (0 a 34 cm) y alta y mediana en los siguientes. Presencia de lascas de pedernal a partir del tercer horizonte.

IV. Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
mAh	0 a 4	Color 10YR 3/2 en húmedo, textura arcillosa limosa RL, contenido de materia orgánica de 4 %, moderadamente ácido (pH 5.5 en agua), sin reacción al CaCo ₃ , muy bajo contenido de humedad (seco, pF: 4), estructura tipo laminar mediana de grado fuerte y subangular en bloques finos de grado fuerte, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 0 %, con poros comunes intersticiales finos y muy finos, muy alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.2 g/cm ³ , límite claro y uniforme.
Bw	4 a 34	Color 10 YR 3/2 en húmedo, textura franco arcillosa CR, contenido de materia orgánica de 4 %, ligeramente ácido (pH 5.5 en agua), sin reacción al CaCo ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura tipo prismática muy gruesa y gruesa de grado fuerte que rompe en subangular en bloques gruesos de grado fuerte, muy alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 1 %, con poros comunes intersticiales muy finos, pocos tubulares muy finos y pocas grietas, muy alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.4 g/cm ³ , límite claro y uniforme.
BC	34 a 63	Color 10 YR 3/2 en húmedo, textura entre arcillo limosa RL y franco arcillo limosa CRL, contenido de materia orgánica de 3.8 %, ligeramente ácido (pH 6 en agua), sin reacción al CaCo ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura masiva que rompe en subangular en bloques, gruesa de grado moderado, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 3 %, poros comunes intersticiales muy finos, pocos tubulares muy finos y pocas grietas, alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.3 g/cm ³ , límite gradual y uniforme. Presencia de lascas de pedernal.

C	63 a 97	Color 10 YR 3/2 en húmedo, textura franco arcillosa CR, contenido de materia orgánica de 4 % ligeramente ácido (pH 5.5 en agua), sin reacción al CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura masiva, moderada estabilidad de agregados, pedregosidad del 15 %, poros comunes intersticiales muy finos y pocos tubulares finos, mediana densidad de raíces, densidad aparente de 1.3 g/cm ³ . Presencia de lascas de pedernal.
---	---------	--

V. Interpretación de las características del suelo

Procesos pedogenéticos dominantes

Se observó acumulación de materia orgánica de 47.47 kg/m² a lo largo de todo el perfil y formación de estructura prismática y subangular en bloques con una muy alta estabilidad de los agregados gracias al elevado contenido de materia orgánica.

No se observó reacción al CaCO₃ dado que el suelo se desarrolla en materiales no influenciados por carbonatos como la Toba Llano de Lobos y la Andesita Yucudaac.

La clasificación de este suelo como Eutric Cambisol (Colluvic, Endoloamic, Epiclayic, Escalic, Humic) se basó; para el grupo de referencia Cambisol, en que muestra alteración edafogenética expresado en un avanzado desarrollo de estructura en el suelo; para el calificador principal Eutric, en una alta saturación de bases (> 50%). Y para los calificadores suplementarios Colluvic, Endoloamic Epiclayic, Escalic, Humic en la naturaleza coluvial del depósito, en su textura franco arcillosa a profundidad, en su textura arcillo limosa en los primeros dos horizontes, por tratarse de terrazas antrópicas y por poseer más del 1 % de carbono orgánico a más de 50 cm de profundidad.

Características ecológicas

La terraza es un sitio dinámico construido por los agricultores hace más de 100 años que acumula material anualmente, de poca pendiente y en el que se reconocen rasgos de erosión laminar, cárcavas y asentamientos de terreno, razones por las que el muro de rocas se rompió lo que ha dado paso al desalojo de sus materiales. Es una parcela agrícola abandonada en la que se ha establecido pastos y otras herbáceas.

Se trata de un suelo profundo (se limpió el corte hasta 97 cm, pero el depósito es más profundo), con un drenaje natural moderado a lo largo de todo el perfil. Se reconocen rasgos de compactación en el primer horizonte.

La penetrabilidad de raíces es de muy buena a muy buena, las densidades aparentes son moderadas, de mediano volumen total de poros, y con baja capacidad de aireación (CA).

De los casi 680 mm de lluvia que precipitan anualmente, el suelo de la terraza tiene la capacidad de retener más de la mitad de esa agua contra la gravedad (380.81 L/m² CC) de la cual poco más de la tercera parte se encuentra disponible para el aprovechamiento de las plantas (129.52 L/m² dCC) mientras que el resto se retiene a altas tensiones superficiales por partículas del tamaño de las arcillas. La conductividad hidráulica del suelo es mediana debido a que el porcentaje de poros que drenan rápidamente el agua (CA) es mediano en todo el perfil.

De los cationes intercambiables disponibles la porción ocupada por bases intercambiables es 222.14 mol/m² y se denomina como muy alta, posee una reserva de nitrógeno muy alta (Nt 2.37 kg/m²) y el que está disponible es media alta (Ndis 11.86 g/m²) y un abastecimiento de fósforo alto (Pmo 185.52 g/m²).

De acuerdo con la USLE, en función del uso de suelo actual, la pendiente del terreno y un factor K de 0.11, la pérdida de suelo en el horizonte superficial por erosión laminar y en surcos es de 0.0008 ton/ha/año, lo que en volumen representa 0.060 m³/año o 0.00068 cm³/año.

MIX 09



I. Información acerca de la localidad

- Número de perfil: MIX 09
- Sitio: Santo Domingo Tonaltepec, Oaxaca
- Clasificación del suelo: Eutric Colluvic Regosol (Loamic, Escalic, Ochric)
- Fecha de la descripción: 24 de noviembre de 2017
- Autores: Norma López Castañeda, Lorenzo Vázquez Selem, Ana Karen Romero
- Localización: Panteón.
- Coordenadas UTM(m): (x) 673594 (y) 1948080
- Altitud (msnm): 2501
- Forma del terreno: L-L, Plana rectilínea
- Unidad del paisaje: Montaña
- Pendiente: pendiente sencilla, casi plana (1%)
- Exposición: N
- Uso del suelo o vegetación: Parcela abandonada, pastos, *Quercus rugosa*, *Quercus castania*, agaves, chamizo
- Clima: Templado subhúmedo con lluvias en verano Cw_1
- Temperatura media anual (°C): 11.4
- Precipitación media anual (mm): 679.8
- Estado del tiempo: ET 3-5 Sin precipitación en las últimas 24 horas
- Condiciones meteorológicas al momento de la descripción: soleado

II. Información general acerca del suelo

- Material parental: depósitos coluviales de la Toba Llano de Lobos y Andesita Yucudaac
- Drenaje natural: moderado
- Condiciones de humedad en el perfil: seco en superficie y húmedo a profundidad
- Profundidad del manto freático: desconocida
- Presencia de rocas superficiales: pocas
- Evidencia de erosión: laminar, cárcavas y asentamiento del terreno
- Presencia de sales o soda: no determinada
- Influencia humana: terraza agrícola, pastoreo de ovejas al rededor

III. Descripción breve del perfil

Perfil profundo (90 cm), de textura arcillo arenosa RA a franco arcillosa CR, de color negro parduzco, con drenaje natural moderado, descrito en el corte de una cárcava. La pedregosidad es variable a profundidad. El perfil muestra desarrollo de estructura de tipo prismática y subangular en bloques gruesa y mediana de grado fuerte a débil. Poros comunes a lo largo del perfil, de forma tubular e intersticial de tamaño fino y muy fino. Muy alta densidad de raíces finas.

IV. Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
mAh1	0 a 3	Color 10 YR 3/2 en húmedo, textura arcillo arenosa RA, contenido de materia orgánica de 3.9 %, moderadamente ácido (pH 5.5 en agua), sin reacción al CaCO ₃ , muy bajo contenido de humedad (seco, pF: 4), estructura tipo subangular en bloques, medianos y finos de grado fuerte, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 5 %, con poros comunes intersticiales muy finos y finos y pocos tubulares finos, muy alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.58 g/cm ³ , límite claro y uniforme.
mAh2	3 a 17	Color 10 YR 3/2 en húmedo, textura franco arcillosa CR, contenido de materia orgánica de 3.9 %, ligeramente ácido (pH 5.5 en agua), sin reacción al CaCO ₃ , muy bajo contenido de humedad (seco, pF: 4), estructura tipo prismática mediana de grado fuerte que rompe en subangular en bloques gruesos y medianos de grado fuerte, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 1 %, con poros comunes intersticiales medianos y muy finos, pocos tubulares muy finos y pocas grietas, muy alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.38 g/cm ³ , límite gradual y uniforme.
2AC	17 a 51	Color 10 YR 4/2 en húmedo, textura franco arcillosa CR, ligeramente ácido (pH 5.5 en agua), sin reacción al CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura prismática mediana de grado moderado que rompe en subangular en bloques mediana de grado moderado, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 3 %, poros comunes intersticiales finos y muy finos y pocos tubulares muy finos y pocas grietas, alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.3 g/cm ³ , límite gradual y uniforme. Presencia de cerámica.
C	51 a 90	Color 10 YR 3/2 en húmedo, textura franco arcillo limosa CRL, ligeramente ácido (pH 6 en agua), sin reacción al CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura masiva que rompe en subangular en bloques medianos de grado débil, mediana estabilidad de agregados, pedregosidad del 3 %, poros comunes intersticiales muy finos y muy pocos tubulares muy finos, mediana densidad de raíces, densidad aparente de 1.4 g/cm ³ , Presencia de cerámica.

V. Interpretación de las características del suelo

Procesos pedogenéticos dominantes

Se observó acumulación de materia orgánica de 9.99 kg/m^2 en los primeros dos horizontes (mAh1 y mAh2) y formación de estructura prismática y subangular en bloques.

La clasificación de este suelo como Eutric Colluvic Regosol (Loamic, Escalic, Ochric) se basó; para el grupo de referencia Regosol, en que los procesos pedogenéticos no están muy claramente expresados; para los calificadores principales Eutric y Colluvic en una alta saturación de bases (> 50%) y en la naturaleza coluvial del depósito. Y para los calificadores suplementarios Loamic, Escalic, y Ochric en su textura franco arcillo limosa de más de 30 cm de profundidad (60 cm), por tratarse de terrazas antrópicas y por poseer más del 0.2% de carbono orgánico en los primeros 10.

Características ecológicas

La terraza es un sitio dinámico construido por los agricultores hace más de 100 años, de poca pendiente y en el que se reconocen rasgos de erosión laminar, en cárcavas y asentamientos de terreno, razones por las que el muro de rocas se rompió lo que ha dado paso al desalojo de sus materiales. Es una parcela agrícola abandonada en la que se ha establecido pastos y otras herbáceas. Se trata de un suelo profundo (se limpió a 90 cm, pero el depósito es más profundo), con un drenaje natural moderado. Se reconocen rasgos de compactación en los dos primeros horizontes.

La penetrabilidad de raíces es mediana, las densidades aparentes son moderadamente altas, de bajo volumen total de poros, y baja capacidad de aireación (CA).

De los casi 680 mm de lluvia que precipitan anualmente, el suelo de la terraza tiene la capacidad de retener poco menos de la mitad de esa agua contra la gravedad ($324.72 \text{ L/m}^2 \text{ CC}$) de la cual poco más de la tercera parte se encuentra disponible para el aprovechamiento de las plantas ($119.32 \text{ L/m}^2 \text{ dCC}$) mientras que el resto se retiene a altas tensiones superficiales por partículas del tamaño de las arcillas. La conductividad hidráulica del suelo es muy baja debido a que el porcentaje de poros que drenan rápidamente el agua (CA) también es bajo en todo el perfil.

De los cationes intercambiables disponibles la porción ocupada por bases intercambiables es 107.73 mol/m^2 y se denomina como alta, posee una reserva de nitrógeno media alta ($Nt \text{ } 0.46 \text{ kg/m}^2$) y el que está disponible es mediana ($Ndis \text{ } 2.30 \text{ g/m}^2$) y un abastecimiento de fósforo medio ($Pmo \text{ } 92.15 \text{ g/m}^2$).

De acuerdo con la USLE, en función del uso de suelo actual, la pendiente del terreno y un factor K de 0.14, la pérdida de suelo en el horizonte superficial por erosión laminar y en surcos es de $0.0010 \text{ ton/ha/año}$, lo que en volumen representa $0.00066 \text{ m}^3/\text{año}$ o $0.664 \text{ cm}^3/\text{año}$.

MIX 10



I. Información acerca de la localidad

- Número de perfil: MIX 10
- Sitio: Santo Domingo Tonaltepec, Oaxaca
- Clasificación del suelo: Eutric Colluvic Regosol (Loamic, Escalic, Ochric)
- Fecha de la descripción: 24 de noviembre de 2017
- Autores: Norma López Castañeda, Lorenzo Vázquez Selem, Ana Karen Romero
- Localización: Panteón
- Coordenadas UTM(m): (x) 673532 (y) 1948258
- Altitud (msnm): 2469
- Forma del terreno: L-L, Plana rectilínea
- Unidad del paisaje: Montaña
- Pendiente: pendiente sencilla, plana (0 %)
- Exposición: N
- Uso del suelo o vegetación: Parcela abandonada, pastos, *Buddleja cordata*, *Pinus Greggii*, *Juniperus Flaccida*, *Quercus rugosa*, *Quercus castania*, agaves, chamizo
- Clima: Templado subhúmedo con lluvias en verano Cw_1
- Temperatura media anual (°C): 11.4
- Precipitación media anual (mm): 679.8
- Estado del tiempo: ET 3-5 Sin precipitación en las últimas 24 horas
- Condiciones meteorológicas al momento de la descripción: soleado

II. Información general acerca del suelo

- Material parental: depósitos coluviales de la Toba Llano de Lobos y Andesita Yucudaac
- Drenaje natural: bueno
- Condiciones de humedad en el perfil: seco en superficie y húmedo a profundidad
- Profundidad del manto freático: desconocida
- Presencia de rocas superficiales: pocas
- Evidencia de erosión: laminar, cárcavas y asentamiento del terreno
- Presencia de sales o soda: no determinada
- Influencia humana: terraza agrícola abandonada, pastoreo de ovejas al rededor

III. Descripción breve del perfil

Perfil profundo (120 cm), de textura franco arcillo limosa CRL a franco limosa fina CLf, de color negro parduzco, con drenaje natural bueno, descrito en el corte de una cárcava. La pedregosidad aumenta a profundidad. El perfil muestra desarrollo de estructura de tipo subangular en bloques gruesa y mediana de grado fuerte a moderado. Poros comunes a lo largo del perfil, de forma tubular e intersticial de tamaño fino y muy fino. Muy alta a baja densidad de raíces finas.

IV. Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ah	0 a 10	Color 10 YR 4/2 en húmedo, textura de franco arcillo limosa CRL a franco arcillosa CR, contenido de materia orgánica de 1.76* %, moderadamente ácido (pH 6.5 en agua), entre 0.5 y 2 % de CaCo ₃ , muy bajo contenido de humedad (seco, pF: 4), estructura tipo laminar mediana de grado fuerte y subangular en bloques, gruesos y medianos de grado fuerte, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 2 %, con poros comunes intersticiales muy finos y finos y pocos tubulares finos, muy alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.4 g/cm ³ , límite claro y uniforme.
BC	10 a 45/49	Color 10 YR 4/3 en húmedo, textura franco limosa fina CLf, contenido de materia orgánica de 0.49 %*, ligeramente ácido (pH 6 en agua), entre 0.5 y 2 % de CaCo ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura tipo subangular en bloques medianos que rompe en subangular en bloques finos de grado moderado, moderada estabilidad de agregados, pedregosidad del 5 %, con poros comunes intersticiales muy finos y pocos tubulares finos, alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.5 g/cm ³ , límite abrupto y ondulado.
2C	45/49 a 54/62	Color 10 YR 4/3 en húmedo, textura franco limosa fina CLf, contenido de materia orgánica de 0.39 %*, ligeramente ácido (pH 6.5 en agua), entre 0 y 0.5 % de CaCo ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura subangular en bloques gruesos que rompe en medianos de grado moderado, baja estabilidad de agregados, pedregosidad del 7 %, poros comunes intersticiales finos y muy finos y pocos tubulares finos y muy finos, mediana densidad de raíces, densidad aparente de 1.5 g/cm ³ , límite abrupto y ondulado.
3C	54/62 a 84	Color 10 YR 4/2 en húmedo, textura arcillo arenosa RA, contenido de materia orgánica de 0.64 %*, ligeramente ácido (pH 6 en agua), entre 0.5 y 2 % de CaCo ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura subangular en bloques gruesa que rompe en mediana de grado fuerte y moderado, mediana estabilidad de agregados, pedregosidad del 7 %, poros comunes intersticiales muy finos y pocos tubulares finos y muy finos, baja densidad de raíces, densidad aparente de 1.4 g/cm ³ , límite abrupto y ondulado.

4C	84 a 120	Color 10 YR 4/3 en húmedo, textura franco arcillo limosa CRL, contenido de materia orgánica de 0.36* %, ligeramente ácido (pH 6 en agua), entre 0 y 0.5 % de CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura masiva que rompe en subangular en bloques medianos de grado débil, moderada estabilidad de agregados, pedregosidad del 20 %, poros comunes intersticiales muy finos y muy pocos tubulares medianos y finos, baja densidad de raíces, densidad aparente de 1.4 g/cm ³ .
----	----------	--

*Datos de laboratorio

V. Interpretación de las características del suelo

Procesos pedogenéticos dominantes

Se observó acumulación de materia orgánica de 9.24 kg/m² a lo largo de todo el perfil y formación de estructura subangular en bloques.

La clasificación de este suelo como Eutric Colluvic Regosol (Loamic, Escalic, Ochric) se basó; para el grupo de referencia Regosol, en que los procesos pedogenéticos no están muy claramente expresados; para los calificadores principales Eutric y Colluvic en una alta saturación de bases (> 50%) y en la naturaleza coluvial del depósito. Y para los calificadores suplementarios Loamic, Escalic, y Ochric en su textura franco arcillo limosa de más de 30 cm de profundidad (60 cm), por tratarse de terrazas antrópicas y por poseer más del 0.2% de carbono orgánico en los primeros 10 cm.

Características ecológicas

La terraza es un sitio dinámico construido por los agricultores hace 100 años, de poca pendiente y en el que se reconocen rasgos de erosión laminar, en cárcavas y asentamientos de terreno, razones por las que el muro de rocas se rompió hace 12 o 15 años lo que ha dado paso al desalojo de sus materiales. Es una parcela agrícola abandonada en la que se ha establecido pastos y otras herbáceas. Se trata de un suelo profundo (se limpió a 120 cm, pero el depósito es más profundo), con un drenaje natural bueno. La penetrabilidad de raíces es buena en superficie y mediana a deficiente a profundidad, las densidades aparentes son moderadamente altas, de mediano a bajo volumen total de poros, y baja capacidad de aireación (CA).

De los casi 680 mm de lluvia que precipitan anualmente, el suelo de la terraza tiene la capacidad de retener más de la mitad de esa agua contra la gravedad (384.5 L/m² CC) de la cual poco menos de la mitad se encuentra disponible para el aprovechamiento de las plantas (173.74 L/m² dCC) mientras que el resto se retiene a altas tensiones superficiales por partículas del tamaño de las arcillas. La conductividad hidráulica del suelo es mediana debido a que el porcentaje de poros que drenan rápidamente el agua (CA) es mediano en todo el perfil.

De los cationes intercambiables disponibles la porción ocupada por bases intercambiables es 83.47 mol/m² y se denomina como medianamente alta, posee una reserva de nitrógeno baja (Nt 0.19 kg/m²) y el que está disponible es baja (Ndis 2.31 g/m²) y un abastecimiento de fósforo mediano (Pmo 92.40 g/m²)

De acuerdo con la USLE, en función del uso de suelo actual, la pendiente del terreno y un factor K de 0.26, la pérdida de suelo en el horizonte superficial por erosión laminar y en surcos es de 0.056 ton/ha/año, lo que en volumen representa 0.040 m³/año o 40.13 cm³/año.

MIX 11



I. Información acerca de la localidad

- Número de perfil: MIX 11
- Sitio: Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca
- Clasificación del suelo: Haplic Phaeozem (Loamic)
- Fecha de la descripción: 19 de febrero de 2018
- Autores: Norma López Castañeda, Lorenzo Vázquez Selem, Alejandra Franco Corona, Miguel Ángel Ramírez, Víctor Cruz López
- Localización: Tooxi
- Coordenadas UTM(m): (x) 673532 (y) 1948258
- Altitud (msnm): 2469
- Forma del terreno: Plana-convexa LV
- Unidad del paisaje: Montaña
- Pendiente: pendiente sencilla, muy escarpado (63%)
- Exposición: SW
- Uso del suelo o vegetación: Bosque de *Quercus rugosa*, *Quercus castania*, *Juniperus flácida*, jarilla, agaves y bromelias.
- Clima: Templado subhúmedo con lluvias en verano Cw_1
- Temperatura media anual (°C): 11.4
- Precipitación media anual (mm): 679.8
- Estado del tiempo: ET 1 Sin precipitación en los últimos 30 días
- Condiciones meteorológicas al momento de la descripción: soleado

II. Información general acerca del suelo

- Material parental: Hipabisales
- Drenaje natural: moderado
- Condiciones de humedad en el perfil: seco en superficie y húmedo a profundidad
- Profundidad del manto freático: desconocida
- Presencia de rocas superficiales: pocas
- Evidencia de erosión: laminar
- Presencia de sales o soda: no determinada
- Influencia humana: parcelas de cultivo en una posición topográfica inferior

III. Descripción breve del perfil

Perfil medianamente profundo (entre 42 y 48 cm), de textura franco arcillosa de color marrón oscuro y uniforme en apariencia, con drenaje natural moderado, descrito en un pozo cavado en una ladera adyacente terrazas de tipo lamabordo. La pedregosidad es relativamente alta a lo largo de todo el perfil y aumenta en el penúltimo horizonte. El perfil muestra desarrollo de estructura de tipo migajón y subangular en bloques. Poros comunes a lo largo del perfil, de forma tubular e intersticial de tamaño fino a muy fino. La densidad de raíces finas fue muy alta en los primeros dos horizontes y mediana en los siguientes.

IV. Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ah	0 a 15	Color 10YR 3/2 en húmedo, textura franco arcillosa CR, contenido de materia orgánica de 4.1 %, moderadamente ácido (pH 6 en agua), sin reacción al CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (seco, pF: 4), estructura tipo migajón y subangular en bloques, fina y mediana de grado fuerte, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 15 %, con poros comunes intersticiales muy finos y finos, y muy pocos tubulares finos, muy alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.18 g/cm ³ , límite gradual y ondulado. Fragmentos de carbón.
Ah2	15 a 26	Color 10YR 3/2 en húmedo, textura franco arcillosa, contenido de materia orgánica de 4.1 %, ligeramente ácido (pH 6 en agua), sin reacción al CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura tipo subangular en bloques gruesa que rompe en subangular en bloques medianos de grado fuerte, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 15 %, con poros comunes intersticiales finos (grietas) y muy finos, y pocos tubulares finos, muy alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.18 g/cm ³ , límite claro y ondulado.
Bw	26 a 40	Color 10 YR 3/2 en húmedo, textura franco arcillosa CR, 4.1 % de materia orgánica, ligeramente ácido (pH 6 en agua), sin reacción al CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura subangular en bloques gruesa que rompe en subangular en bloques medianos y finos de grado moderado y fuerte, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 30 %, con poros comunes intersticiales finos (grietas) y muy finos y muy pocos tubulares medianos, mediana densidad de raíces, densidad aparente de 1.18 g/cm ³ , límite claro y ondulado.

BC	40 a 42/48	Color 10 YR 3/2 en húmedo, textura franco arcillosa CR, ligeramente ácido (pH 6 en agua), sin reacción al CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 2), estructura subangular en bloques grandes que rompe en medianos y finos de grado fuerte, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 15 %, con poros pocos intersticiales muy finos (grietas), y muy pocos tubulares finos y muy finos, mediana densidad de raíces finas, densidad aparente de 1.3 g/cm ³ , límite abrupto y ondulado.
R	42/48 a más	Roca

V. Interpretación de las características del suelo

Procesos pedogenéticos dominantes

Se observó acumulación de materia orgánica de 10.69 kg/m² en los primeros tres horizontes (Ah1, Ah2 y Bw) y formación de estructura subangular en bloques. Se observó una fuerte reacción al CaCO₃ en los tres primeros horizontes dado que el material en que se desarrolla este suelo es rico en carbonatos.

La clasificación de este suelo como Halpic Phaeozem (Loamic) se basó; para el grupo de referencia Phaeozem, en que éste posee un horizonte de diagnóstico móllico (Ah y Ah2) caracterizado por poseer más de 0.6 % de carbono orgánico, un value ≤ 3 en húmedo y ≤ 5 en seco y un chroma ≤ 3 en húmedo, una saturación de bases ≥ 50 % y un espesor ≥ 20 cm; para el calificador principal Haplic en que posee una expresión típica de ciertos rasgos en el sentido de que no hay una caracterización adicional. Y para el calificador suplementario Loamic en sus texturas franco arcillosa a más de 30 cm de profundidad (40/48 cm).

Características ecológicas

Se trata de una ladera escarpada relativamente estable en la que se acumula hojarasca de encino. El tipo de mantillo es Mull-Moder en el que el horizonte Oh va de 0 a +0.5 cm, el Of de 0.5 a 2.5 cm y el horizonte L de 2.5 a 8.5/10.5 cm, se reconocen rasgos de erosión laminar.

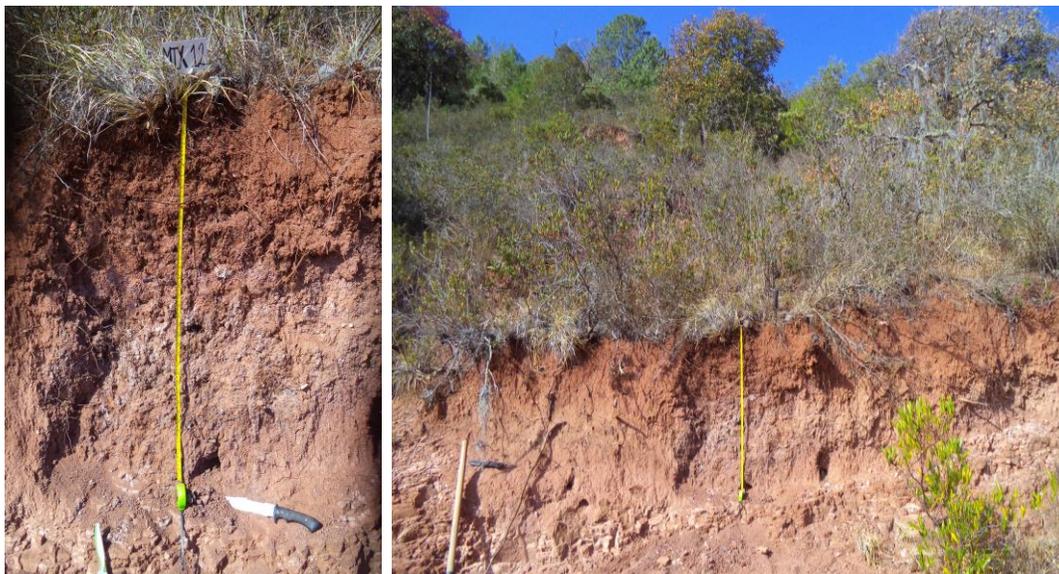
Se trata de un suelo no muy profundo, con un drenaje natural de bueno a moderado puesto que posee una mediana conductividad hidráulica (10 a 40 cm/d), volumen total de poros mediano (48.5 %) y densidades aparentes medianas. El súbito aumento de la pedregosidad en el horizonte Bw (30 %) y la disminución en el siguiente (BC 15%) sugiere que sugiere que se trata de un depósito posterior que sepulto al suelo original, sin embargo, la textura y el color son uniformes.

De los casi 680 mm de lluvia que precipitan anualmente, el suelo de la esta ladera tiene la capacidad de retener menos de una cuarta parte de esa agua contra la gravedad (153.32 L/m² CC) de la cual sólo un tercio se encuentra disponible para el aprovechamiento de las plantas (50.35 L/m² dCC) mientras que el resto se retiene a altas tensiones superficiales por partículas del tamaño de las arcillas. El porcentaje de poros que drenan rápidamente el agua en el perfil es bajo (5.5 % CA) es bajo a lo largo de todo el perfil.

La capacidad de intercambio catiónico es de mediana a regular (18-23 cmolc/kg) en todo el perfil. De los cationes intercambiables disponibles la porción ocupada por bases intercambiables es 74.23 mol/m² y se denomina como medianamente alta, posee una reserva de nitrógeno media a alta (Nt 0.53 kg/m²) y el que está disponible es mediana (Ndis 2.67 g/m²) y un abastecimiento de fósforo mediano (Pmo 106.91 g/m²).

De acuerdo con la USLE, en función del uso de suelo actual, la pendiente del terreno y un factor K de 0.19, la pérdida de suelo en el horizonte superficial por erosión laminar y en surcos es de 1.056 ton/ha/año, lo que en volumen representa 0.895 m³/año o 895.65 cm³/año.

MIX 12



I. Información acerca de la localidad

- Número de perfil: MIX 12
- Sitio: Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca
- Clasificación del suelo: Cambic Calcisol (Loamic, Ochric)
- Fecha de la descripción: 20 de febrero de 2018
- Autores: Norma López Castañeda, Lorenzo Vázquez Selem, Alejandra Franco Corona, Miguel Ángel Ramírez, Víctor Cruz López
- Localización: Toox
- Coordenadas UTM(m): (x) 672771 (y) 1941370
- Altitud (msnm): 2464
- Forma del terreno: Plana-convexa LV
- Unidad del paisaje: Montaña
- Pendiente: pendiente sencilla, fuertemente inclinado (25 %)
- Exposición: NE
- Uso del suelo o vegetación: Bosque de *Quercus rugosa*, *Quercus castania*, *Servutus*, *Pinus Oxacana*, *Opuntia*, *Mammillaria*, jarilla, bromelias y gramíneas
- Clima: Templado subhúmedo con lluvias en verano Cw_1
- Temperatura media anual (°C): 11.4
- Precipitación media anual (mm): 679.8
- Estado del tiempo: ET 1 Sin precipitación en los últimos 30 días
- Condiciones meteorológicas al momento de la descripción: soleado

II. Información general acerca del suelo

- Material parental: Formación Yanhuitlán
- Drenaje natural: moderado
- Condiciones de humedad en el perfil: seco en superficie y a profundidad
- Profundidad del manto freático: desconocida
- Presencia de rocas superficiales: pocas
- Evidencia de erosión: laminar y en cárcavas
- Presencia de sales o soda: no determinada
- Influencia humana: perfil expuesto por el corte de una terracería

III. Descripción breve del perfil

Perfil profundo (102 cm), de textura franco arcillosa, de color marrón rojizo oscuro y uniforme en apariencia, con drenaje natural moderado, descrito en un corte de camino en ladera adyacente terrazas de tipo lamabordo. La pedregosidad es baja a lo largo de todo el perfil. El perfil muestra desarrollo de estructura de tipo migajón y subangular en bloques. Poros comunes a lo largo del perfil, de forma tubular e intersticial de tamaño fino a muy fino y gruesos (madrigueras). La densidad de raíces finas fue muy alta en los primeros tres horizontes y mediana en los siguientes.

IV. Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ah	0 a 11	Color 5 YR 3/3 en húmedo, textura franco arcillosa CR, contenido de materia orgánica de 5.39 %*, neutro (pH 7 en agua), 2-10 % de CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (seco, pF: 4), estructura tipo migajón fina y muy fina y subangular en bloques, fina de grado fuerte, alta estabilidad de agregados, sin pedregosidad, con poros comunes intersticiales muy finos y finos, y pocos tubulares finos, muy alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.04 g/cm ³ , límite claro y uniforme.
AB	11 a 27	Color 5YR 3/4 en húmedo, textura franco arcillosa, contenido de materia orgánica de 3.97 %*, neutro (pH 6 en agua), 2-10% de CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (seco, pF: 4), estructura tipo subangular en bloques gruesa que rompe en subangular en bloques medianos de grado moderado, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 2 %, con poros comunes intersticiales finos (grietas) y muy finos, y pocos tubulares muy finos, muy alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.24 g/cm ³ , límite claro y uniforme.
Bw	27 a 40	Color 5 YR 3/4 en húmedo, textura franco arcillosa CR, neutro (pH 7 en agua), 2-10 % de al CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (seco, pF: 4), estructura subangular en bloques gruesa que rompe en subangular en bloques medianos y finos de grado moderado, moderada estabilidad de agregados, pedregosidad del 2 %, con poros comunes intersticiales muy finos y muy pocos tubulares muy finos, muy alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.1 g/cm ³ , límite abrupto y uniforme.
Bwk	40 a 83	Color 5 YR 3/3 en húmedo, textura franco arcillosa CR, neutro (pH 7 en agua), 2-10 % de CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (seco pF: 4), estructura subangular en bloques gruesos que rompe en medianos y finos de grado moderado, moderada estabilidad de agregados, pedregosidad del 2 %, con poros comunes intersticiales muy finos, muy pocos tubulares finos y muy pocos tubulares muy gruesos (madrigueras), mediana densidad de raíces finas, densidad aparente de 1.3 g/cm ³ , límite gradual y uniforme. 30 % de talco y manchas blancas de forma irregular de CaCO ₃ en caras e interior de los agregados. Presencia de tepalcates.

BCK	83 a 102	Color 5 YR 3/3 en húmedo, textura franco arcillosa CR, ligeramente ácido (pH 6 en agua), 2-10 % de CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (seco pF: 4), estructura subangular en bloques gruesos que rompe en medianos y finos de grado fuerte, baja estabilidad de agregados, pedregosidad del 1 %, con poros comunes intersticiales muy finos, muy pocos tubulares finos y muy pocos tubulares muy gruesos (madrigueras), mediana densidad de raíces finas, densidad aparente de 1.3 g/cm ³ , límite abrupto y uniforme. 15 % de talco y manchas blancas de forma irregular de CaCO ₃ en caras e interior de los agregados.
R	> 102	Roca

*Datos de laboratorio

V. Interpretación de las características del suelo

Procesos pedogenéticos dominantes

Se observó acumulación de materia orgánica de 13.88 kg/m² en los primeros dos horizontes (Ah, AB) y formación de estructura subangular en bloques. Se observó una fuerte reacción al CaCO₃ a lo largo de todo el perfil dado que el material en que se desarrolla este suelo es rico en carbonatos. Además, se observó neoformación de carbonatos de calcio expresado como talco, manchas blancas irregulares en las caras y dentro de los agregados en los dos últimos horizontes (BwK y BCK).

La clasificación de este suelo como Cambic Calcisol (Loamic, Ochric) se basó; para el grupo de referencia Calcisol, en que éste posee un horizonte de diagnóstico cálcico (Bwk y BCK) que comienza a < 100 cm de la superficie del suelo y caracterizado por acumular carbonato de calcio secundario en forma difusa o en concentraciones discontinuas, posee un contenido de CaCO₃ ≥ 15% en la fracción de tierra fina, ≥ 5 % en volumen de carbonatos secundarios y un espesor ≥ 15 cm; para el calificador principal Cambic en que posee un horizonte cámbico antes de 50 cm de la superficie del suelo (Bw) que muestra alteración edafogenética y posee una textura más fina que la franco arenosa (CA), ausencia de estructura de roca en ≥ 50 % y un color Munsell con un chroma de ≥1 de unidad más alto en húmedo que la capa directamente inferior. Y para los calificadores suplementarios Loamic y Ochric en su textura franco arcillosa a más de 30 cm de profundidad (102 cm) y por poseer más del 0.2% de carbono orgánico en los primeros 10 cm.

Características ecológicas

Se trata de una ladera fuertemente inclinada poco estable puesto que está afectada por una cárcava activa que desarrolla a un costado del perfil, ésta mide 30 m desde la cabecera hasta su base, además, se observan rasgos de erosión laminar en el sitio.

Se trata de un suelo moderadamente profundo, con un drenaje natural de bueno a moderado puesto que posee una conductividad hidráulica mediana (10 a 40 cm/d), volumen total de poros mediano (42 a 48.5 %) y densidades aparentes medianas.

De los casi 680 mm de lluvia que precipitan anualmente, el suelo de la esta ladera tiene la capacidad de retener más de la mitad de esa agua contra la gravedad (401.34 L/m² CC) de la cual sólo un tercio se encuentra disponible para el aprovechamiento de las plantas (129.86 L/m² dCC) mientras que el resto se retiene a altas tensiones superficiales por partículas del tamaño de las arcillas. El porcentaje de poros que drenan rápidamente el agua en el perfil es bajo (5.5 % CA) es bajo a lo largo de todo el perfil.

La capacidad de intercambio catiónico es de mediana a regular (18-24.5 cmolc/kg) en todo el perfil. De los cationes intercambiables disponibles la porción ocupada por bases intercambiables es 152.66 mol/m² y se denomina como alta, posee una reserva de nitrógeno media alta (Nt 0.69 kg/m²) y el

que está disponible es baja (Ndis 3.47 g/m²) y un abastecimiento de fósforo medio alto (Pmo 138.85 g/m²).

De acuerdo con la USLE, en función del uso de suelo actual, la pendiente del terreno y un factor K de 0.21, la pérdida de suelo en el horizonte superficial por erosión laminar y en surcos es de 0.268 ton/ha/año, lo que en volumen representa 0.216 m³/año o 216.52 cm³/año.

MIX 13



I. Información acerca de la localidad

- Número de perfil: MIX 13
- Sitio: Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca
- Clasificación del suelo: Eutric Calcaric Fluvisol (Loamic, Protocalcic, Ochric, Protovertic)
- Fecha de la descripción: 20 de febrero de 2018
- Autores: Norma López Castañeda, Lorenzo Vázquez Selem, Alejandra Franco Corona, Miguel Ángel Ramírez, Víctor Cruz López
- Localización: Tooxi
- Coordenadas UTM(m): (x) 672083 (y) 1942272
- Altitud (msnm): 2463
- Forma del terreno: Plana-recta LL
- Unidad del paisaje: Piedemonte erosivo
- Pendiente: pendiente sencilla, casi plano (0 %)
- Exposición: SW
- Uso del suelo o vegetación: terraza abandonada, jarilla, agaves, árnica y gramíneas

- Clima: Templado subhúmedo con lluvias en verano Cw₁
- Temperatura media anual (°C): 11.4
- Precipitación media anual (mm): 679.8
- Estado del tiempo: ET 1 Sin precipitación en los últimos 30 días
- Condiciones meteorológicas al momento de la descripción: soleado

II. Información general acerca del suelo

- Material parental: materiales coluviales de la Formación Yanhuítlán, Toba Llano de Lobos, Andesita Yucudaac e Hipabisales
- Drenaje natural: moderado
- Condiciones de humedad en el perfil: seco en superficie y húmedo a profundidad
- Profundidad del manto freático: desconocida
- Presencia de rocas superficiales: pocas
- Evidencia de erosión: laminar y en cárcavas
- Presencia de sales o soda: no determinada
- Influencia humana: perfil expuesto por el desalojo de materiales por una cárcava en una terraza agrícola

III. Descripción breve del perfil

Perfil muy profundo (263 cm), de textura franco arcillosa CR y franco arcillo limosa CRL, de color marrón oscuro en superficie y rojo amarillento a profundidad, con drenaje natural moderado, descrito en una pared expuesta por el desalojo de materiales por una cárcava en una terraza de tipo lamabordo. La pedregosidad es relativamente baja a lo largo de todo el perfil, pero muestra variaciones en el contenido a profundidad. El perfil muestra desarrollo de estructura de tipo migajón, prismática y subangular en bloques. Poros comunes a lo largo del perfil, de forma tubular e intersticial de tamaño fino a muy fino y gruesos (grietas). La densidad de raíces finas fue muy alta en los primeros horizontes y disminuye gradualmente a profundidad. En la base del perfil, subyaciendo a la roca, se observó una capa de suelo de alrededor de 15 cm de espesor de color oscuro, de estructura subangular en bloques de grado fuerte, alta estabilidad de agregados de color oscuro que probablemente se trata del suelo original en esta ladera y que se desarrolló antes de la construcción del lamabordo.

IV. Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ah	0 a 8	Color 7.5 YR 4/6 en húmedo, textura franco arcillosa CR, contenido de materia orgánica de 2.1 %, ligeramente ácido (pH 6 en agua), 2-10 % de CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (seco, pF: 4), estructura tipo migajón fina y muy fina y subangular en bloques, gruesos, medianos y muy finos de grado débil, baja estabilidad de agregados, pedregosidad del 2 %, con poros muy pocos intersticiales medianos (grietas) y comunes intersticiales finos, muy alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.04 g/cm ³ , límite claro y uniforme. Presencia de fragmentos de carbón.

C	8 a 74	Color 7.5YR 4/6 en húmedo, textura franco arcillosa CR, ligeramente ácido (pH 6 en agua), 2-10% de CaCo ₃ , bajo contenido de humedad (seco, pF: 4), estructura tipo masiva que rompe en prismática muy gruesa y subangular en bloques gruesa de grado débil, baja estabilidad de agregados, pedregosidad del 5 %, con poros muy pocos intersticiales medianos (grietas) y comunes muy finos, y muy pocos tubulares finos, alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.3 g/cm ³ , límite abrupto y uniforme.
2C	74 a 95	Color 7.5 YR 4/6 en húmedo, textura de franco arcillosa CR a franco arcillo limosa CRL, ligeramente ácido (pH 6 en agua), 10-25 % de al CaCo ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura tipo masiva que rompe en prismática muy gruesa y subangular en bloques mediana de grado débil, muy baja estabilidad de agregados, pedregosidad del 2 %, con poros muy pocos intersticiales medianos (grietas) y comunes intersticiales muy finos, y pocos tubulares muy finos y finos, alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.3 g/cm ³ , límite gradual y uniforme. Presencia de una capa de estructura laminar con estratificación de cantos finos a 80 cm.
3C	95 a 120	Color 7.5 YR 4/6 en húmedo, textura de franco arcillosa CR a franco arcillo limosa CRL, ligeramente ácido (pH 6 en agua), 2-10 % de CaCo ₃ , bajo contenido de humedad (fresco pF: 3), estructura masiva que rompe en prismas muy gruesos de grado débil, baja estabilidad de agregados, pedregosidad del 5 %, con poros pocos intersticiales finos (grietas) y comunes intersticiales muy finos, y pocos tubulares muy finos, alta densidad de raíces finas, densidad aparente de 1.3 g/cm ³ , límite claro y uniforme.
4C	120 a 163	Color 7.5 YR 4/6 en húmedo, textura franco arcillosa CR, ligeramente ácido (pH 6 en agua), 2-10 % de CaCo ₃ , bajo contenido de humedad (fresco pF:3), estructura masiva que rompe en prismas muy gruesos de grado débil, muy baja estabilidad de agregados, pedregosidad del 1 %, con poros muy pocos intersticiales finos (grietas) y comunes intersticiales muy finos, y comunes tubulares muy finos, mediana densidad de raíces finas, densidad aparente de 1.3 g/cm ³ , límite claro y uniforme.
5C	163 a 215	Color 5 YR 4/6 en húmedo, textura franco arcillo limosa CRL, ligeramente ácido (pH 6 en agua), 2-10 % de CaCo ₃ , bajo contenido de humedad (fresco pF:3), estructura masiva que rompe en prismas muy gruesos de grado débil, muy baja estabilidad de agregados, pedregosidad del 1 %, con poros muy pocos intersticiales finos (grietas) y comunes intersticiales muy finos, y pocos tubulares muy finos, baja densidad de raíces finas, densidad aparente de 1.5 g/cm ³ , límite claro y uniforme.

6Ck 215 a 263

Color 5 YR 4/6 en húmedo, textura franco arcillosa CR, ligeramente ácido (pH 6 en agua), 2-10 % de CaCO₃, bajo contenido de humedad (fresco pF:3), estructura masiva, baja estabilidad de agregados, pedregosidad del 1 %, con poros comunes intersticiales muy finos, y muy pocos tubulares muy finos, muy baja densidad de raíces finas, densidad aparente de 1.3 g/cm³, límite abrupto e irregular. 10 % de manchas blancas de CaCO₃ de entre 1 y 2 mm en forma de pseudomicelios en canales de raíces.

V. Interpretación de las características del suelo

Procesos pedogenéticos dominantes

Se observó acumulación de materia orgánica de 1.71 kg/m² en el primer horizonte (Ah) y formación de estructura prismática y subangular en bloques. Se observó una fuerte reacción al CaCO₃ a lo largo de todo el perfil dado que el material en que se desarrolla este suelo es rico en carbonatos. Además, se observó formación de carbonatos de calcio secundario expresado como pseudomicelios en canales de raíces en el último horizonte (6Ck).

La clasificación de este suelo como Eutric Fluvisol (Loamic, Protocalcic, Ochric, Protovertic) se basó; para el grupo de referencia Fluvisol, en que éste posee material de diagnóstico fluvico ≥ 50 cm de la superficie que refiere a sedimentos que reciben material y muestran estratificación obvia en ≥ 25 % del volumen del suelo además de variaciones en la textura; para el calificador principales Eutric en que posee una saturación de bases ≥ 50 %. Y para los calificadores suplementarios Loamic, Protocalcic, Ochric, Protovertic en su textura franco arcillosa a más de 30 cm de profundidad, en que posee una capa con propiedades protocálcicas resultado de la acumulación de carbonato de calcio y ocupan ≥ 5 % del volumen del suelo y forman filamentos permanentes (pseudomicelios), por poseer más del 0.2% de carbono orgánico en los primeros 10 cm y en que posee propiedades protoverticas expresadas como grietas en superficie de más de 0.5 cm de diámetro.

Características ecológicas

Se trata de una terraza agrícola abandonada en la que ha colapsado varios sectores del muro y en la que varias cárcavas han desalojado un volumen considerable de suelo. Se trata de un suelo muy profundo (263 cm), con un drenaje natural de bueno a moderado puesto que posee una conductividad hidráulica de muy baja a mediana (<1 a 40 cm/d), volumen total de poros de bajo a alto (36 a 53 %) y densidades aparentes medianas.

De los casi 680 mm de lluvia que precipitan anualmente, el suelo de la terraza tiene la capacidad de retener poco menos de la totalidad del agua contra la gravedad (603.34 L/m² CC) de la cual un tercio se encuentra disponible para el aprovechamiento de las plantas (201.74 L/m² dCC) mientras que el resto se retiene a altas tensiones superficiales por partículas del tamaño de las arcillas. El porcentaje de poros que drenan rápidamente el agua en el perfil es bajo (4-5.5 % CA) es bajo a lo largo de todo el perfil.

La capacidad de intercambio catiónico es de regular a mediana (15 - 23 cmolc/kg) en todo el perfil. De los cationes intercambiables disponibles la porción ocupada por bases intercambiables es 356.42 mol/m² y se denomina como muy alta, posee una reserva de nitrógeno baja (Nt 0.08 kg/m²) y el que está disponible es bajo (Ndis 0.42 g/m²) y un abastecimiento de fósforo bajo (Pmo 17.12 g/m²).

De acuerdo con la USLE, en función del uso de suelo actual, la pendiente del terreno y un factor K de 0.32, la pérdida de suelo en el horizonte superficial por erosión laminar y en surcos es de 0.069 ton/ha/año, lo que en volumen representa 0.066 m³/año o 66.49 cm³/año.

MIX 14



I. Información acerca de la localidad

- Número de perfil: MIX 14
- Sitio: San Juan Teposcolula, Oaxaca
- Clasificación del suelo: Eutric Leptic Regosol (Loamic, Ochric)
- Fecha de la descripción: 20 de febrero de 2018
- Autores: Norma López Castañeda, Lorenzo Vázquez Selem, Alejandra Franco Corona, Miguel Ángel Ramírez, Víctor Cruz López
- Localización: agencia de Santa María Pozoltepec
- Coordenadas UTM(m): (x) 671413 (y) 1945152
- Altitud (msnm): 2505
- Forma del terreno: convexa-convexa VV
- Unidad del paisaje: Montaña
- Pendiente: pendiente sencilla, muy escarpado (63 %)
- Exposición: SW
- Uso del suelo o vegetación: Bosque de *Arbutus*, *Pinus Oxacana*, *Juniperus depeana*, ramonal, tronadora y gramíneas
- Clima: Templado subhúmedo con lluvias en verano Cw_1
- Temperatura media anual (°C): 11.4
- Precipitación media anual (mm): 679.8
- Estado del tiempo: ET 1 Sin precipitación en los últimos 30 días
- Condiciones meteorológicas al momento de la descripción: soleado

II. Información general acerca del suelo

- Material parental: Formación Yanhuitlán
- Drenaje natural: moderado
- Condiciones de humedad en el perfil: seco
- Profundidad del manto freático: desconocida
- Presencia de rocas superficiales: pocas
- Evidencia de erosión: laminar y en cárcavas
- Presencia de sales o soda: no determinada
- Influencia humana: pastoreo de borregos en los alrededores, polígono de reforestación

III. Descripción breve del perfil

Perfil somero (16 cm), de textura franco arcillosa, de color marrón oscuro y uniforme en apariencia, con drenaje natural moderado, descrito en un corte expuesto por una cárcava en una ladera adyacente terrazas de tipo lamabordo. La pedregosidad es relativamente alta lo largo de todo el perfil. El perfil muestra desarrollo de estructura de tipo migajón y subangular en bloques. Poros comunes a lo largo del perfil, de forma tubular e intersticial de tamaño fino a muy fino. La densidad de raíces finas fue muy alta en los dos horizontes.

IV. Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ah1	0 a 8	Color 7.5 YR 3/4 en húmedo, textura franco arcillosa CR, contenido de materia orgánica de 2.4 %, ligeramente ácido (pH 6 en agua), sin reacción al CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (seco, pF: 4), estructura tipo migajón fina y subangular en bloques mediana de grado débil y moderado, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 1%, con poros comunes intersticiales muy finos y finos, y pocos tubulares muy finos, muy alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.24 g/cm ³ , límite claro y uniforme.
Ah2	8 a 16	Color 7.5YR 3/4 en húmedo, textura franco arcillosa CR, contenido de materia orgánica de 2.4 %, ligeramente ácido (pH 6 en agua), sin reacción al CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (seco, pF: 4), estructura tipo migajón fina y subangular en bloques fina de grado débil y moderado, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 10 %, con poros comunes intersticiales muy finos, y pocos tubulares muy finos, muy alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.24 g/cm ³ , límite claro y abrupto.
Cw	16 a 60	Roca, color 2.5 YR 5/4, alta densidad de raíces.

V. Interpretación de las características del suelo

Procesos pedogenéticos dominantes

Se observó acumulación de materia orgánica de 5.03 kg/m² en los dos horizontes (Ah y Ah2) y formación de estructura de tipo migajón y subangular en bloques.

La clasificación de este suelo como Eutric Leptic Regosol (Loamic, Ochric) se basó; para el grupo de referencia Regosol, en que los procesos pedogenéticos no están muy claramente expresados; para los calificadores principales Leptic y Eutric en que tiene roca continua que comienza a ≤ 100 cm de la superficie del suelo y en una alta saturación de bases (> 50%). Y para los calificadores suplementarios Loamic y Ochric en su textura franco arcillosa y por poseer más del 0.2% de carbono orgánico en los primeros 10 cm.

Características ecológicas

Se trata de una ladera fuertemente inclinada poco estable puesto que está afectada por varias cárcavas activas, además se observan rasgos de erosión laminar en el sitio.

Se trata de un suelo somero, con un drenaje natural de bueno a moderado puesto que posee una conductividad hidráulica mediana (10 a 40 cm/d), volumen total de poros mediano (48.5 %) y densidades aparentes medianas.

De los casi 680 mm de lluvia que precipitan anualmente, el suelo de la esta ladera tiene la capacidad de retener poco más de la décima parte de esa agua contra la gravedad ($72.75 \text{ L/m}^2 \text{ CC}$) de la cual menos de un tercio se encuentra disponible para el aprovechamiento de las plantas ($24.53 \text{ L/m}^2 \text{ dCC}$) mientras que el resto se retiene a altas tensiones superficiales por partículas del tamaño de las arcillas. El porcentaje de poros que drenan rápidamente el agua en el perfil es bajo (5.5 % CA) es bajo a lo largo de todo el perfil.

La capacidad de intercambio catiónico es mediana (24.5 cmolc/kg) en todo el perfil. De los cationes intercambiables disponibles la porción ocupada por bases intercambiables es 43.69 mol/m^2 y se denomina mediana, posee una reserva de nitrógeno media ($\text{Nt } 0.25 \text{ kg/m}^2$) y el que está disponible es baja ($\text{Ndis } 1.25 \text{ g/m}^2$) y un abastecimiento de fósforo bajo ($\text{Pmo } 50.35 \text{ g/m}^2$).

De acuerdo con la USLE, en función del uso de suelo actual, la pendiente del terreno y un factor K de 0.28, la pérdida de suelo en el horizonte superficial por erosión laminar y en surcos es de 1.557 ton/ha/año, lo que en volumen representa $1.25 \text{ m}^3/\text{año}$ o $1256.04 \text{ cm}^3/\text{año}$.

MIX 15



I. Información acerca de la localidad

- Número de perfil: MIX 15
- Sitio: San Juan Teposcolula, Oaxaca
- Clasificación del suelo: Calcaric Cambisol (Loamic, Colluvic, Escalic, Humic)
- Fecha de la descripción: 21 de febrero de 2018
- Autores: Norma López Castañeda, Lorenzo Vázquez Selem, Alejandra Franco Corona, Miguel Ángel Ramírez, Víctor Cruz López, Isabel del Rayo Estrada
- Localización: agencia de Santa María Pozoltepec
- Coordenadas UTM(m): (x) 671181 (y) 1945204
- Altitud (msnm): 2398
- Forma del terreno: Plana rectilínea L-L
- Unidad del paisaje: Piedemonte erosivo
- Pendiente: pendiente sencilla, (moderadamente inclinado, 8 %)
- Exposición: E
- Uso del suelo o vegetación: terraza agrícola abandonada. Bosque secundario de *Juniperus flaccida*, coatillo, acacia y gramíneas
- Clima: Templado subhúmedo con lluvias en verano Cw_1
- Temperatura media anual (°C): 11.4
- Precipitación media anual (mm): 679.8
- Estado del tiempo: ET 1 Sin precipitación en los últimos 30 días
- Condiciones meteorológicas al momento de la descripción: soleado

II. Información general acerca del suelo

- Material parental: depósitos coluviales y aluviales de la Formación Yanhuitlán, Toba Llano de Lobos e Hipabisales
- Drenaje natural: de bueno a moderado
- Condiciones de humedad en el perfil: seco en superficie y húmedo a profundidad
- Profundidad del manto freático: desconocida
- Presencia de rocas superficiales: pocas
- Evidencia de erosión: laminar y en cárcavas
- Presencia de sales o soda: no determinada

- Influencia humana: terraza agrícola abandonada construida hace 100 años. Pastoreo de ovejas en los alrededores

III. Descripción breve del perfil

Perfil medianamente profundo (se limpió hasta 68 cm, pero la profundidad del depósito es de más de dos metros), de textura franco arcillosa (CR), de color marrón a marrón rojizo, con drenaje natural de bueno a moderado, descrito en un barranco que expone los materiales de la terraza. La pedregosidad es variable a profundidad. El perfil muestra desarrollo de estructura de tipo migajón, prismática y subangular en bloques gruesos y medianos de grado fuerte. Poros comunes a lo largo del perfil, de forma tubular e intersticial de tamaño fino y muy fino, así como grietas entre prismas. La densidad de raíces finas fue muy alta en todo el perfil. Presencia de cutánes de arcilla en canales de raíces y caras verticales y horizontales de los agregados en el primer y penúltimo horizonte.

IV. Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ah	0 a 14	Color 7.5 YR 4/4 en húmedo, textura franco arcillosa CR, contenido de materia orgánica de 2 %, moderadamente ácido (pH 6 en agua), entre 2-10 % de CaCO ₃ , muy bajo contenido de humedad (seco, pF: 4), estructura tipo migajón fina y subangular en bloques medianos de grado fuerte, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 3 %, con poros comunes intersticiales muy finos y finos, y muy pocos tubulares finos, extremadamente alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.04 g/cm ³ , límite claro y uniforme. Recubrimientos de arcilla en canales de raíces delgados.
Bw1	14 a 23	Color 5 YR 5/4 en húmedo, textura franco arcillosa CR, contenido de materia orgánica de 1 %, ligeramente ácido (pH 6 en agua), entre 2-10 % de CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura tipo subangular en bloques gruesos que rompen en medianos de grado fuerte, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 3 %, con poros comunes intersticiales finos (grietas) y muy finos, y pocos tubulares finos y muy finos, muy alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.3 g/cm ³ , límite claro y uniforme.
Bw2	23 a 46	Color 7.5 YR 3.5/3 en húmedo, textura franco arcillosa CR, contenido de materia orgánica de 1 %, ligeramente ácido (pH 6 en agua), entre 2-10 % de CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura prismática gruesa de grado fuerte que rompe en subangular en bloques medianos de grado fuerte, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 10 %, poros comunes intersticiales gruesos y muy finos y comunes tubulares finos y pocas grietas, muy alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.3 g/cm ³ , límite claro y ondulado. Recubrimientos de cutánes delgados de arcilla en canales de raíces.
Bw3	46 a 68	Color 5 YR 4/4 en húmedo, textura franco arcillosa CR, ligeramente ácido (pH 6 en agua), entre 2-10 % de CaCO ₃ , bajo contenido de

humedad (fresco, pF: 3), estructura prismática gruesa y subangular en bloques gruesa de grado fuerte y moderado, mediana estabilidad de agregados, pedregosidad del 1 %, poros comunes intersticiales muy finos, y pocos tubulares muy finos, mediana densidad de raíces, densidad aparente de 1.1 g/cm³.

V. Interpretación de las características del suelo

Procesos pedogenéticos dominantes

Se observó acumulación de materia orgánica de 3.95 kg/m² en el primer horizontes (Ah) formación de estructura de tipo prismática, migajón y subangular en bloques con muy alta estabilidad de los agregados. Se observó neoformación de arcillas en el segundo, tercer y cuarto horizonte (Bw1, Bw2 y Bw3). Se observó una fuerte reacción al CaCO₃ a lo largo de todo el perfil puesto que el suelo se desarrolla en materiales ricos en carbonatos (Formación Yanhuitlán).

La clasificación de este suelo como Calcaric Cambisol (Loamic, Colluvic, Escalic, Humic); se basó para el grupo de referencia Cambisol, en que muestra alteración edafogenética expresado en un avanzado desarrollo de estructura en el suelo; para el calificador principal Calcaric, en el material calcárico de que deriva una alta saturación de bases (> 50%). Y para los calificadores suplementarios Loamic, Colluvic, Escalic, Humic en su textura franco arcillosa de más de 30 cm de profundidad, en la naturaleza coluvial del depósito, por tratarse de terrazas antrópicas y por poseer más del 1 % de carbono orgánico hasta 50 cm de profundidad.

Características ecológicas

La terraza es un sitio dinámico construido por los agricultores hace más de 100 años que acumulaba material anualmente, de poca pendiente y en el que se reconocen avanzados rasgos de erosión en cárcavas y barrancos, hace tiempo que el muro de rocas se rompió lo que dio paso al desalojo de sus materiales. Es una parcela de agricultura abandonada en la que se ha establecido vegetación secundaria. Se trata de un suelo profundo (se limpió el corte hasta 68 cm, pero el depósito posee varios metros de espesor), con un drenaje natural bueno a moderado a lo largo de todo el perfil. En el primer y en el tercer horizonte se observan recubrimientos de arcilla en los agregados.

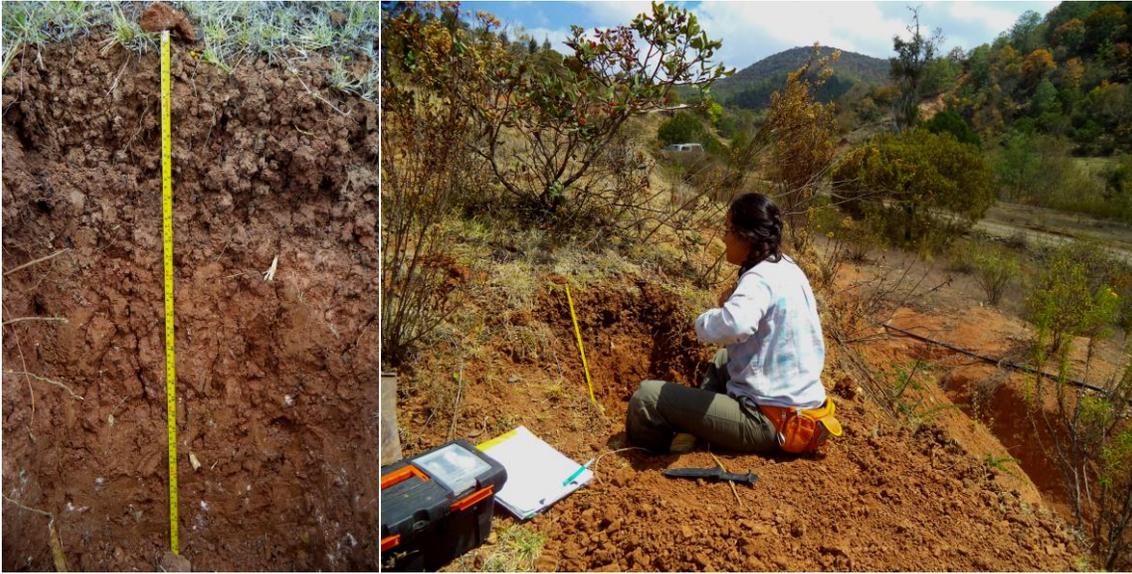
La penetrabilidad de raíces es muy alta, las densidades aparentes son moderadas, de mediano volumen total de poros (42-45 %), y con baja capacidad de aireación (4-4.5 % CA).

De los casi 680 mm de lluvia que precipitan anualmente, el suelo de la terraza tiene la capacidad de retener poco más de la tercera parte de esa agua contra la gravedad (249.59 L/m² CC) de la cual poco la tercera parte se encuentra disponible para el aprovechamiento de las plantas (79.11 L/m² dCC) mientras que el resto se retiene a altas tensiones superficiales por partículas del tamaño de las arcillas. La conductividad hidráulica del suelo es mediana (10 - 40 cm/d) debido a que el porcentaje de poros que drenan rápidamente el agua (CA) es mediano en todo el perfil.

La capacidad de intercambio catiónico es de regular a mediana (18-20.7 cmolc/kg) en todo el perfil. De los cationes intercambiables disponibles la porción ocupada por bases intercambiables es 115.27 mol/m² y se denomina como medianamente alta, posee una reserva de nitrógeno baja (Nt 0.19 kg/m²) y el que está disponible es bajo (Ndis 0.90 g/m²) y un abastecimiento de fósforo bajo (Pmo 39.59 g/m²).

De acuerdo con la USLE, en función del uso de suelo actual, la pendiente del terreno y un factor K de 0.25, la pérdida de suelo en el horizonte superficial por erosión laminar y en surcos es de 0.111 ton/ha/año, lo que en volumen representa 0.107 m³/año o 107.39 cm³/año.

MIX 16



I. Información acerca de la localidad

- Número de perfil: MIX 16
- Sitio: San Juan Teposcolula, Oaxaca
- Clasificación del suelo: Haplic Luvisol (Clayic, Cutanic, Hypereutric, Ochric, Prototechnic) Protocalcic
- Fecha de la descripción: 21 de febrero de 2018
- Autores: Norma López Castañeda, Lorenzo Vázquez Selem, Alejandra Franco Corona, Miguel Ángel Ramírez, Víctor Cruz López, Isabel del Rayo Estrada
- Localización: agencia de Santa María Pozoltepec
- Coordenadas UTM(m): (x) 671189 (y) 1945260
- Altitud (msnm): 2414
- Forma del terreno: convexa-convexa VV
- Unidad del paisaje: Piedemonte erosivo
- Pendiente: pendiente sencilla, escarpado (35 %)
- Exposición: SW
- Uso del suelo o vegetación: *Junnipeus flaccida*, acacia, coatillo, chamizo y gramíneas
- Clima: Templado subhúmedo con lluvias en verano Cw_1
- Temperatura media anual (°C): 11.4
- Precipitación media anual (mm): 679.8
- Estado del tiempo: ET 1 Sin precipitación en los últimos 30 días
- Condiciones meteorológicas al momento de la descripción: soleado

II. Información general acerca del suelo

- Material parental: Formación Yanhuitlán
- Drenaje natural: moderado
- Condiciones de humedad en el perfil: seco en superficie y húmedo a profundidad
- Profundidad del manto freático: desconocida
- Presencia de rocas superficiales: pocas
- Evidencia de erosión: laminar y en cárcavas
- Presencia de sales o soda: no determinada
- Influencia humana: alta densidad de fragmentos de cerámica en superficie

III. Descripción breve del perfil

Perfil profundo (75 cm), de textura franco arcillosa en superficie y arcillo limosa y arcillosa a profundidad, de color marrón rojizo, con drenaje natural moderado, descrito en un pozo cavado en una ladera adyacente terrazas de tipo lamabordo. La pedregosidad es baja a lo largo de todo el perfil. El perfil muestra desarrollo de estructura de tipo prismática, migajón y subangular en bloques. Poros comunes a lo largo del perfil, de forma tubular e intersticial de tamaño fino a muy fino. La densidad de raíces finas fue muy alta en los primeros dos horizontes y mediana en los siguientes.

IV. Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ah1	0 a 10	Color 5 YR 4/3 en húmedo, textura franco arcillosa CR, contenido de materia orgánica de 4.56 %*, ligeramente ácido (pH 6 en agua), 2-10 % de CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (seco, pF: 4), estructura tipo migajón fina y subangular en bloques gruesos de grado fuerte, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 1 %, con poros comunes intersticiales muy finos y finos (grietas), y pocos tubulares muy finos, muy alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.24 g/cm ³ , límite claro y ondulado.
Ah2	10 a 27	Color 5YR 4/4 en húmedo, textura de franco arcillosa a arcillosa CRL, contenido de materia orgánica de 4.50 %*, ligeramente ácido (pH 6.5 en agua), 2-10% de CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (seco, pF: 4), estructura tipo subangular en bloques gruesa que rompe en subangular en bloques medianos de grado fuerte, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 1 %, con poros comunes intersticiales finos (grietas) y muy finos, y pocos tubulares medianos, muy alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.24 g/cm ³ , límite claro y ondulado. Cutánes de arcilla en caras verticales de los agregados, quebrados y delgados. alta densidad de fragmentos de carbón de hasta 3 cm de diámetro.
Btk1	27 a 49	Color 5 YR 4/4 en húmedo, textura arcillo limosa RL, ligeramente ácido (pH 6.5 en agua), 2-10 % de al CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura prismática gruesa y subangular en bloques gruesa de grado fuerte, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 1 %, con poros comunes intersticiales medianos (grietas) y muy finos, y pocos tubulares muy finos, mediana densidad de raíces, densidad aparente de 1.3 g/cm ³ , límite gradual y ondulado. Cutánes de arcilla en caras verticales de los agregados, quebrados y delgados. 5% del volumen del suelo cubierto de manchas irregulares blancas suaves de CaCO ₃ en caras de agregados y canales de raíces.

Btk2	49 a 75	Color 7.5 YR 4/6 en húmedo, textura franco arcillosa CR, ligeramente ácido, (pH 6 en agua), 2-10 % de CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (fresco pF: 3), estructura masiva, moderada estabilidad de agregados, pedregosidad del 1 %, con poros pocos intersticiales muy finos, y pocos tubulares muy finos, mediana densidad de raíces finas, densidad aparente de 1.3 g/cm ³ . 15 % del volumen del suelo cubierto de manchas de forma irregular blancas suaves, polvo fino y pseudomicelios de de CaCO ₃ en caras e interior de los agregados.
------	---------	---

*Datos de laboratorio

V. Interpretación de las características del suelo

Procesos pedogenéticos dominantes

Se observó acumulación de materia orgánica de 14.98 kg/m² en los primeros dos horizontes (Ah1, Ah2) y formación de estructura prismática, migajón y subangular en bloques. Se observó una fuerte reacción al CaCO₃ a lo largo de todo el perfil dado que el material en que se desarrolla este suelo es rico en carbonatos. Además, se observó neoformación de carbonatos de calcio expresado como talco, manchas blancas irregulares en las caras y dentro de los agregados en los dos últimos horizontes (Btk1 y Btk2), y neoformación de acillas en los horizontes Ah2 y Btk1.

La clasificación de este suelo como Haplic Luvisol (Clayic, Cutanic, Hypereutric, Ochric, Prototechnic) Protocalcic, se basó; para el grupo de referencia Luvisol, en que éste posee un horizonte de diagnóstico árgico (Btk1) que comienza a < 100 cm de la superficie del suelo y se caracteriza por poseer más arcilla que el horizonte suprayacente lo que se denota en una diferencia textural por iluviación o neoformación de arcillas; para el calificador principal Haplic en que posee una expresión típica de ciertos rasgos en el sentido de que no hay una caracterización adicional. Y para los calificadores suplementarios Clayic, Cutanic, Hypereutric, Ochric, Prototechnic en sus texturas arcillosa y arcillo limosa a más de 30 cm de profundidad, por poseer revestimientos de arcillas en formas de cútanos, por poseer una saturación de bases de ≥ 50 % en todo el espesor, por poseer más del 0.2% de carbono orgánico en los primeros 10 cm y por poseer ≥ 5 % en volumen de artefactos (carbón) en los primeros 100 cm. Adicionalmente se agregó el calificador suplementario Protocalcic ya que posee una capa con propiedades protocálcicas (Btk1 y Btk2) resultado de la acumulación de carbonato de calcio y ocupan ≥ 5% del volumen del suelo y forman filamentos permanentes (pseudomicelios).

Características ecológicas

Se trata de una ladera inclinada y poco estable puesto que está afectada por varias cárcavas activas que se desarrollan cerca del perfil, el porcentaje de la ladera que aún conserva este suelo es inferior al 10 % y se observan rasgos de erosión laminar en el sitio.

Se trata de un suelo moderadamente profundo (75 cm), con un drenaje natural de bueno a moderado puesto que posee una conductividad hidráulica mediana (10 a 40 cm/d), volumen total de poros mediano (42 a 50 %) y densidades aparentes medianas.

De los casi 680 mm de lluvia que precipitan anualmente, el suelo de la esta ladera tiene la capacidad de retener menos de la mitad de esa agua contra la gravedad (317.79 L/m² CC) de la cual un tercio se encuentra disponible para el aprovechamiento de las plantas (97.61 L/m² dCC) mientras que el resto se retiene a altas tensiones superficiales por partículas del tamaño de las arcillas. El porcentaje de poros que drenan rápidamente el agua en el perfil es bajo (4-7 % CA) es bajo a lo largo de todo el perfil.

La capacidad de intercambio catiónico es de mediana a regular (18-37 cmolc/kg) en todo el perfil. De los cationes intercambiables disponibles la porción ocupada por bases intercambiables es 168.0 mol/m² y se denomina como alta, posee una reserva de nitrógeno media alta (Nt 0.74 kg/m²) y el

que está disponible es mediano ($N_{dis} 3.74 \text{ g/m}^2$) y un abastecimiento de fósforo medio alto ($P_{mo} 149.88 \text{ g/m}^2$).

De acuerdo con la USLE, en función del uso de suelo actual, la pendiente del terreno y un factor K de 0.21, la pérdida de suelo en el horizonte superficial por erosión laminar y en surcos es de 0.477 ton/ha/año, lo que en volumen representa $0.384 \text{ m}^3/\text{año}$ o $384.96 \text{ cm}^3/\text{año}$.

MIX 17



I. Información acerca de la localidad

- Número de perfil: MIX 17
- Sitio: Santo Domingo Tonaltepec, Oaxaca
- Clasificación del suelo: Eutric Regosol (Loamic, Ochric)
- Fecha de la descripción: 21 de febrero de 2018
- Autores: Norma López Castañeda, Lorenzo Vázquez Selem, Alejandra Franco Corona, Miguel Ángel Ramírez, Víctor Cruz López
- Localización: paraje de Ichiyodo
- Coordenadas UTM(m): (x) 673504 (y) 1945649
- Altitud (msnm): 2566
- Forma del terreno: Plana-convexa LV
- Unidad del paisaje: Montaña
- Pendiente: pendiente sencilla, muy escarpado (70 %)
- Exposición: NE
- Uso del suelo o vegetación: Bosque de *Quercus rugosa*, *Quercus castania*, *Arbutus jalapensis* y gramíneas
- Clima: Templado subhúmedo con lluvias en verano Cw_1
- Temperatura media anual (°C): 11.4
- Precipitación media anual (mm): 679.8
- Estado del tiempo: ET 1 Sin precipitación en los últimos 30 días
- Condiciones meteorológicas al momento de la descripción: soleado

II. Información general acerca del suelo

- Material parental: Toba Llano de Lobos
- Drenaje natural: moderado
- Condiciones de humedad en el perfil: seco en superficie y húmedo a profundidad
- Profundidad del manto freático: desconocida
- Presencia de rocas superficiales: pocas
- Evidencia de erosión: laminar severa
- Presencia de sales o soda: no determinada
- Influencia humana: parcelas de cultivo en una posición topográfica inferior

III. Descripción breve del perfil

Perfil profundo (102 cm), de textura franca a franco arcillo limosa de color marrón oscuro y uniforme en apariencia, con drenaje natural moderado, descrito en un pozo cavado en una ladera adyacente terrazas de tipo lamabordo. La pedregosidad es relativamente baja en los primeros horizontes y aumenta en el resto del perfil. Éste muestra desarrollo de estructura de tipo migajón y subangular en bloques. Poros comunes a lo largo del perfil, de forma tubular e intersticial de tamaño fino a muy fino. La densidad de raíces finas fue alta.

IV. Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ah1	0 a 8	Color 10YR 3/2 en húmedo, textura franca C, contenido de materia orgánica de 2 %, moderadamente ácido (pH 6 en agua), sin reacción al CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (seco, pF: 4), estructura tipo migajón y subangular en bloques, fina de grado débil, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 2 %, con poros comunes intersticiales muy finos y finos, alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.14 g/cm ³ , límite claro y uniforme. Fragmentos de carbón.
Ah2	8 a 20	Color 10YR 3/2 en húmedo, textura franco arcillo limosa CRL, contenido de materia orgánica de 3 %, ligeramente ácido (pH 6 en agua), sin reacción al CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (seco, pF: 4), estructura tipo subangular en bloques medianos que rompe en subangular en bloques finos de grado débil, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 2 %, con poros comunes intersticiales finos y muy finos, y comunes tubulares finos, alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.41 g/cm ³ , límite claro y uniforme.
AB	20 a 32	Color 10 YR 3/2 en húmedo, textura franco arcillo limosa CRL, contenido de materia orgánica de 3 %, ligeramente ácido (pH 6 en agua), sin reacción al CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura subangular en bloques mediana que rompe en subangular en bloques finos de grado débil, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 7 %, con poros comunes intersticiales muy finos, y comunes tubulares finos, alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.41 g/cm ³ , límite claro y ondulado.
2AB	32 a 43	Color 10 YR 3/2 en húmedo, textura franco arcillo limosa CRL, ligeramente ácido (pH 6 en agua), sin reacción al CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura subangular en bloques medianos que rompe en finos de grado fuerte y moderado, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 3 %, con poros comunes intersticiales muy finos, y pocos tubulares finos, alta densidad de raíces finas, densidad aparente de 1.5 g/cm ³ , límite abrupto y ondulado.

2C	43 a 102	Color 10 YR 4/2 en húmedo, textura de franca a franco arcillosa CR-CRL, ligeramente ácido (pH 6 en agua), sin reacción al CaCo ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura masiva, mediana estabilidad de agregados, pedregosidad del 50 %, con poros comunes intersticiales muy finos, y muy pocos tubulares finos, alta densidad de raíces finas, densidad aparente de 1.3 g/cm ³ .
----	----------	---

V. Interpretación de las características del suelo

Procesos pedogenéticos dominantes

Se observó acumulación de materia orgánica de 6.76 kg/m² en los primeros tres horizontes (Ah1, Ah2 y AB) y formación de estructura de tipo migajón y subangular en bloques.

La clasificación de este suelo como Eutric Regosol (Loamic, Ochric) se basó; para el grupo de referencia Regosol en que los procesos pedogenéticos no están muy claramente expresado; para el calificador principal Eutric en una alta saturación de bases (> 50%). Y para los calificadores suplementario Loamic y Ochric en su texturas franco arcillosas a más de 30 cm de profundidad y poseer más del 0.2% de carbono orgánico en los primeros 10 cm.

Características ecológicas

Se trata de una ladera escarpada poco estable en la que se acumula hojarasca de encino. El tipo de mantillo es Mull-Moder en el que el horizonte Oh va de 0 a + 1 cm, el Of de 1 a 3.5 cm y el horizonte L de 3.5 a 8.5 cm, se reconocen rasgos de avanzada erosión laminar.

Se trata de un suelo profundo; sin embargo, el porcentaje que ocupa en la ladera es inferior al 50 %, con un drenaje natural de bueno a moderado puesto que posee una mediana conductividad hidráulica (10 a 40 cm/d), volumen total de poros de bajo a alto mediano (36-51 %) y densidades aparentes de medianas a moderadamente altas. El aumento de la pedregosidad en el horizonte AB (7 %) y la disminución en el siguiente (2AB 3%) sugiere que se trata de un depósito posterior que sepulto al suelo original, sin embargo, la textura y el color son uniformes.

De los casi 680 mm de lluvia que precipitan anualmente, el suelo de la esta ladera tiene la capacidad de retener dos quintas partes de esa agua contra la gravedad (136.06 L/m² CC) de la cual poco menos de la mitad se encuentra disponible para el aprovechamiento de las plantas (111.88 L/m² dCC) mientras que el resto se retiene a altas tensiones superficiales por partículas del tamaño de las arcillas. El porcentaje de poros que drenan rápidamente el agua en el perfil es de bajo (4 % CA en el horizonte de mayor densidad aparente, 2AB) a mediano (8.5 % CA, Ah1).

La capacidad de intercambio catiónico es de regular mediana (14-21.5 cmolc/kg) en todo el perfil. De los cationes intercambiables disponibles la porción ocupada por bases intercambiables es 88.89 mol/m² y se denomina como medianamente alta, posee una reserva de nitrógeno media (Nt 0.33 kg/m²) y el que está disponible es bajo (Ndis 1.69 g/m²) y un abastecimiento de fósforo mediano (Pmo 67.62 g/m²).

De acuerdo con la USLE, en función del uso de suelo actual, la pendiente del terreno y un factor K de 0.23, la pérdida de suelo en el horizonte superficial por erosión laminar y en surcos es de 1.573 ton/ha/año, lo que en volumen representa 1.380 m³/año o 1380.38 cm³/año.

MIX 18



I. Información acerca de la localidad

- Número de perfil: MIX 18
- Sitio: Santo Domingo Tonaltepec, Oaxaca
- Clasificación del suelo: Eutric Colluvic Regosol (Loamic, Endoclayic, Densic, Escalic, Ochric, Protovertic)
- Fecha de la descripción: 22 de febrero de 2018
- Autores: Norma López Castañeda, Lorenzo Vázquez Selem, Alejandra Franco Corona, Miguel Ángel Ramírez Cruz, Víctor Cruz López
- Localización: paraje de Ichiyodo
- Coordenadas UTM(m): (x) 673557 (y) 1945751
- Altitud (msnm): 2509
- Forma del terreno: L-L, Plana rectilínea
- Unidad del paisaje: Montaña
- Pendiente: pendiente sencilla, casi plana (1%)
- Exposición: SW
- Uso del suelo o vegetación: Parcela abandonada, gramíneas y jarilla, en laderas bosque de *Quercus rugosa* y *Quercus castania*
- Clima: Templado subhúmedo con lluvias en verano Cw_1
- Temperatura media anual (°C): 11.4
- Precipitación media anual (mm): 679.8
- Estado del tiempo: ET 1 Sin precipitación en los últimos 30 días
- Condiciones meteorológicas al momento de la descripción: soleado

II. Información general acerca del suelo

- Material parental: depósitos coluviales de la Toba Llano de Lobos
- Drenaje natural: moderado
- Condiciones de humedad en el perfil: seco en superficie y húmedo a profundidad
- Profundidad del manto freático: desconocida
- Presencia de rocas superficiales: pocas
- Evidencia de erosión: laminar y asentamiento del terreno
- Presencia de sales o soda: no determinada
- Influencia humana: terraza agrícola, pastoreo de ovejas al rededor

III. Descripción breve del perfil

Perfil profundo (se excavó hasta 57 cm, pero el depósito tiene varios metros de espesor), de textura de franco arcillosa CR a arcillo arenosa RA, de color negro parduzco, con drenaje natural moderado, descrito pozo cavado en la terraza. La pedregosidad aumenta a profundidad. El perfil muestra desarrollo de estructura de tipo prismática y subangular en bloques gruesa y mediana de grado fuerte. Poros comunes a lo largo del perfil, de forma tubular e intersticial de tamaño fino y muy fino. Muy alta densidad de raíces finas.

IV. Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
mAh1	0 a 5	Color 10 YR 3/2 en húmedo, textura franco arcillosa CR, contenido de materia orgánica de 4.1 %, moderadamente ácido (pH 6 en agua), sin reacción al CaCO ₃ , muy bajo contenido de humedad (seco, pF: 4), estructura tipo masiva que rompe en subangular en bloques muy gruesos y gruesos de grado fuerte, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 1 %, con poros comunes intersticiales medianos (grietas) muy finos, y comunes tubulares finos, muy alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.38 g/cm ³ , límite claro y ondulado. Parece formar parte de una capa coluvial que cubre a la superficie original.
mAh2	5 a 10	Color 10 YR 3/2 en húmedo, textura de franco arcillosa a arcillosa CR-R, contenido de materia orgánica de 4.1 %, ligeramente ácido (pH 6 en agua), sin reacción al CaCO ₃ , muy bajo contenido de humedad (seco, pF: 4), estructura tipo masiva y prismática muy gruesa que rompe en subangular en bloques gruesos de grado fuerte, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 1 %, con poros comunes intersticiales medianos (grietas) y muy finos, muy alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.58 g/cm ³ , límite claro y uniforme. 30% de manchas de reductomorfía de color ocre en seco (10 YR 7/8) y en húmedo (7.5 YR 5/8) de 5 mm, forma irregular y de límite claro, localizadas en caras de los agregados.
mBC	10 a 28	Color 10 YR 4/2 en húmedo, textura franco arcillosa CR, ligeramente ácido (pH 6 en agua), sin reacción al CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura masiva y prismática muy gruesa que rompe en subangular en bloques muy gruesa de grado fuerte, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 7 %, poros pocos intersticiales finos (grietas) y muy pocos muy finos, alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.7 g/cm ³ , límite gradual y uniforme.

C	28 a 57	Color 10 YR 4/2 en húmedo, textura arcillo arenosa RA, ligeramente ácido (pH 6 en agua), sin reacción al CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura masiva, mediana estabilidad de agregados, pedregosidad del 10 %, poros muy pocos intersticiales finos, mediana densidad de raíces, densidad aparente de 1.85 g/cm ³ .
---	---------	---

V. Interpretación de las características del suelo

Procesos pedogenéticos dominantes

Se observó acumulación de materia orgánica de 6.0 kg/m² en los primeros dos horizontes (mAh1 y mAh2) y formación de estructura prismática y subangular en bloques. Se observó neoformación de óxidos de hierro en el segundo horizonte.

La clasificación de este suelo como Eutric Colluvic Regosol (Loamic, Endoclayic, Densic Escalic, Ochric, Protovertic) se basó; para el grupo de referencia Regosol, en que los procesos pedogenéticos no están muy claramente expresados; para los calificadores principales Eutric y Colluvic en una alta saturación de bases (> 50%) y en la naturaleza coluvial del depósito. Y para los calificadores suplementarios Loamic, Endoclastic, Densic, Escalic, Ochric y Protovertic en su textura franco arcillo limosa, por su textura arcillo arenosa (RA) a profundidad, por poseer altas densidades aparentes, por tratarse de terrazas antrópicas, por poseer más del 0.2% de carbono orgánico en los primeros 10 cm, Por presentar propiedades protoverticas expresadas como grietas de expansión contracción de más de 5 mm de ancho en superficie.

Características ecológicas

La terraza es un sitio dinámico construido por los agricultores hace más de 100 años, de poca pendiente y en el que se reconocen rasgos de erosión laminar y asentamientos de terreno. Es una parcela agrícola abandonada en la que se ha establecido gramíneas y otras herbáceas. Altamente compactado debido a que en los alrededores se realiza pastoreo de cabras.

Se trata de un suelo profundo (se limpió hasta 57 cm, pero el depósito es más profundo), con un drenaje natural moderado en el que se estanca temporalmente el agua dado que presenta coloraciones reductomorficas en el segundo horizonte. Se reconocen rasgos de compactación a lo largo de todo el perfil.

La penetrabilidad de raíces es mediana, las densidades aparentes son altas, de bajo a mediano volumen total de poros (35-49.5 %), y baja capacidad de aireación (3-5.5 %CA).

De los casi 680 mm de lluvia que precipitan anualmente, el suelo de la terraza tiene la capacidad de retener poco más de la cuarta parte de esa agua contra la gravedad (182.32 L/m² CC) de la cual poco menos de la tercera parte se encuentra disponible para el aprovechamiento de las plantas (50.43 L/m² dCC) mientras que el resto se retiene a altas tensiones superficiales por partículas del tamaño de las arcillas. La conductividad hidráulica del suelo es muy baja (<1 - 10 cm/d) debido a que el porcentaje de poros que drenan rápidamente el agua (CA) también es bajo en todo el perfil.

La capacidad de intercambio catiónico es de regular mediana (18-38.5 cmolc/kg) en todo el perfil. De los cationes intercambiables disponibles la porción ocupada por bases intercambiables es 110.37 mol/m² y se denomina como alta, posee una reserva de nitrógeno media (Nt 0.3 kg/m²) y el que está disponible es bajo (Ndis 1.50 g/m²) y un abastecimiento de fósforo mediano (Pmo 60.07 g/m²). De acuerdo con la USLE, en función del uso de suelo actual, la pendiente del terreno y un factor K de 0.27, la pérdida de suelo en el horizonte superficial por erosión laminar y en surcos es de 0.0022 ton/ha/año, lo que en volumen representa 0.0014 m³/año o 1.46 cm³/año.

MIX 19



I. Información acerca de la localidad

- Número de perfil: MIX 19
- Sitio: Santo Domingo Tonaltepec, Oaxaca
- Clasificación del suelo: Eutric Colluvic Regosol (Loamic, Escalic, Ochric)
- Fecha de la descripción: 22 de febrero de 2018
- Autores: Norma López Castañeda, Lorenzo Vázquez Selem, Alejandra Franco Corona, Miguel Ángel Ramírez Cruz, Víctor Cruz López
- Localización: panteón cerca de la cabecera municipal
- Coordenadas UTM(m): (x) 673595 (y) 1945070
- Altitud (msnm): 2487
- Forma del terreno: L-L, Plana rectilínea
- Unidad del paisaje: Montaña
- Pendiente: pendiente sencilla, moderadamente inclinado (10%)
- Exposición: NW
- Uso del suelo o vegetación: Parcela abandonada, gramíneas, chamizo, jarilla, *opuntia*, *Juniperus depeana*, *Juniperus flaccida* y *Pinus oaxaca*
- Clima: Templado subhúmedo con lluvias en verano Cw_1
- Temperatura media anual (°C): 11.4
- Precipitación media anual (mm): 679.8
- Estado del tiempo: ET 1 Sin precipitación en los últimos 30 días
- Condiciones meteorológicas al momento de la descripción: soleado

II. Información general acerca del suelo

- Material parental: depósitos coluviales de la Toba Llano de Lobos y Andesita Yucudaac
- Drenaje natural: moderado
- Condiciones de humedad en el perfil: seco en superficie y húmedo a profundidad
- Profundidad del manto freático: desconocida
- Presencia de rocas superficiales: pocas
- Evidencia de erosión: laminar, asentamiento del terreno y asentamientos del terreno
- Presencia de sales o soda: no determinada
- Influencia humana: terraza agrícola, pastoreo de ovejas al rededor

III. Descripción breve del perfil

Perfil profundo (se limpió hasta 73 cm, pero el depósito es más profundo), de textura de franca a franco arcillo limosa C-CRL, de color marrón, con drenaje natural moderado, descrito pozo cavado en la terraza. La pedregosidad aumenta a profundidad. El perfil muestra desarrollo de estructura de tipo prismática, migajón y subangular en bloques gruesa y mediana de grado moderado a fuerte. Poros comunes a lo largo del perfil, de forma tubular e intersticial de tamaño fino y muy fino. Muy alta densidad de raíces finas.

IV. Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
mAh1	0 a 3/6	Color 2.5 YR 3/2 en húmedo, textura franco arcillo limosa CRL, contenido de materia orgánica de 4.1 %, moderadamente ácido (pH 6.5 en agua), sin reacción al CaCO ₃ , muy bajo contenido de humedad (seco, pF: 4), estructura tipo masiva que rompe en subangular en bloques medianos, y migajón mediano de grado fuerte, mediana estabilidad de agregados, pedregosidad del 1 %, con poros pocos intersticiales medianos (grietas) y comunes muy finos y finos, muy alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.58 g/cm ³ , límite claro y ondulado.
Ah2	3/6 a 15/19	Color 10 YR 4/2 en húmedo, textura de franca C, contenido de materia orgánica de 4.1 %, neutro (pH 7 en agua), 0-0.5 % de CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura tipo subangular en bloques gruesos que rompen en medianos de grado moderado, mediana estabilidad de agregados, pedregosidad del 2 %, con poros pocos intersticiales finos (grietas) y comunes finos y muy finos, y pocos tubulares finos, muy alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.08 g/cm ³ , límite claro y ondulado.
BC1	15/19 a 34	Color 10 YR 3.5/2 en húmedo, textura franco arcillosa CR, ligeramente ácido (pH 6.5 en agua), sin reacción al CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura subangular en bloques gruesa que rompe en mediana de grado moderado y débil, moderada estabilidad de agregados, pedregosidad del 2 %, poros pocos intersticiales finos (grietas) y comunes finos y muy finos, y comunes tubulares medianos, muy alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.5 g/cm ³ , límite gradual y uniforme.
BC2	34 a 73	Color 7.5 YR 3/2 en húmedo, textura franco arcillosa CR, neutro (pH 7 en agua), sin reacción al CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura prismática gruesa que rompe en subangular en bloques gruesos de grado fuerte, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 2 %, poros comunes intersticiales muy finos (grietas) y comunes tubulares finos, mediana densidad de raíces, densidad aparente de 1.5 g/cm ³ . Algunas rocas en este horizonte se encontraban recubiertas de polvo fino que reaccionaba al HCl

V. Interpretación de las características del suelo

Procesos pedogenéticos dominantes

Se observó acumulación de materia orgánica de 8.36 kg/m^2 en los primeros dos horizontes (mAh1 y Ah2) y formación de estructura prismática, migajón y subangular en bloques. La clasificación de este suelo como Eutric Colluvic Regosol (Loamic, Escalic, Ochric) se basó; para el grupo de referencia Regosol, en que los procesos pedogenéticos no están muy claramente expresados; para los calificadores principales Eutric y Colluvic en una alta saturación de bases ($> 50\%$) y en la naturaleza coluvial del depósito. Y para los calificadores suplementarios Loamic, Escalic y Ochric en su textura franco arcillo limosa, por tratarse de terrazas antrópicas y por poseer más del 0.2% de carbono orgánico en los primeros 10 cm.

Características ecológicas

La terraza es un sitio dinámico construido por los agricultores hace más de 100 años, de poca pendiente y en el que se reconocen rasgos de erosión laminar y asentamientos de terreno. Es una parcela agrícola abandonada en la que se ha establecido gramíneas y otras herbáceas. Altamente compactado en el horizonte superficial debido a que en los alrededores se realiza pastoreo de cabras.

Se trata de un suelo profundo (se limpió hasta 73 cm, pero el depósito es más profundo), con un drenaje natural moderado en el que se reconocen rasgos de compactación a lo largo de todo el perfil, con excepción del segundo horizonte que posee la densidad aparente más baja, el más alto volumen total de poros (53.5%) y una conductividad hidráulica mediana (10 a 100 cm/d).

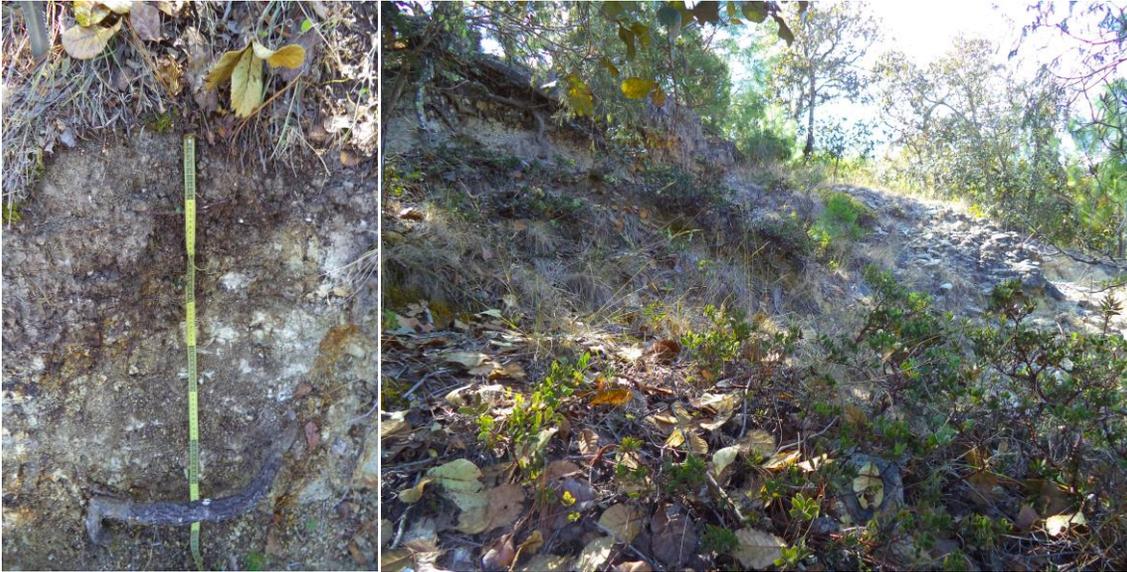
La penetrabilidad de raíces es de mediana buena; a excepción del segundo horizonte, las densidades aparentes son altas, de bajo a mediano volumen total de poros ($36-49.5\%$), y baja capacidad de aireación ($3-6.5\% \text{ CA}$).

De los casi 680 mm de lluvia que precipitan anualmente, el suelo de la terraza tiene la capacidad de retener más de la tercera parte de esa agua contra la gravedad ($261.70 \text{ L/m}^2 \text{ CC}$) de la cual poco más de la tercera parte se encuentra disponible para el aprovechamiento de las plantas ($97.96 \text{ L/m}^2 \text{ dCC}$) mientras que el resto se retiene a altas tensiones superficiales por partículas del tamaño de las arcillas. La conductividad hidráulica del suelo es muy baja ($<1 - 10 \text{ cm/d}$) debido a que el porcentaje de poros que drenan rápidamente el agua (CA) también es bajo en la mayoría del perfil.

La capacidad de intercambio catiónico es de regular a mediana ($18-23.5 \text{ cmolc/kg}$) en todo el perfil. De los cationes intercambiables disponibles la porción ocupada por bases intercambiables es 118.28 mol/m^2 y se denomina como alta, posee una reserva de nitrógeno media ($\text{Nt } 0.41 \text{ kg/m}^2$) y el que está disponible es mediano ($\text{Ndis } 2.09 \text{ g/m}^2$) y un abastecimiento de fósforo mediano ($\text{Pmo } 83.65 \text{ g/m}^2$).

De acuerdo con la USLE, en función del uso de suelo actual, la pendiente del terreno y un factor K de 0.19, la pérdida de suelo en el horizonte superficial por erosión laminar y en surcos es de 0.162 ton/ha/año , lo que en volumen representa $0.103 \text{ m}^3/\text{año}$ o $103.055 \text{ cm}^3/\text{año}$.

MIX 20



I. Información acerca de la localidad

- Número de perfil: MIX 20
- Sitio: Santo Domingo Tonaltepec, Oaxaca
- Clasificación del suelo: Eutric Regosol (Loamic, Ochric)
- Fecha de la descripción: 22 de febrero de 2018
- Autores: Norma López Castañeda, Lorenzo Vázquez Selem, Alejandra Franco Corona, Miguel Ángel Ramírez, Víctor Cruz López
- Localización: panteón cerca de la cabecera municipal
- Coordenadas UTM(m): (x) 673508 (y) 1948140
- Altitud (msnm): 2487
- Forma del terreno: convexa-convexa VV
- Unidad del paisaje: Montaña
- Pendiente: pendiente sencilla, muy escarpado (45 %)
- Exposición: SW
- Uso del suelo o vegetación: Bosque de *Quercus rugosa*, *Quercus castania*, *Juniperus depeana*, *Pinus Oaxacana*, jarilla madroño y gramíneas
- Clima: Templado subhúmedo con lluvias en verano Cw_1
- Temperatura media anual (°C): 11.4
- Precipitación media anual (mm): 679.8
- Estado del tiempo: ET 1 Sin precipitación en los últimos 30 días
- Condiciones meteorológicas al momento de la descripción: soleado

II. Información general acerca del suelo

- Material parental: Toba Llano de Lobos
- Drenaje natural: moderado
- Condiciones de humedad en el perfil: seco en superficie y húmedo a profundidad
- Profundidad del manto freático: desconocida
- Presencia de rocas superficiales: pocas
- Evidencia de erosión: laminar y en cárcavas
- Presencia de sales o soda: no determinada
- Influencia humana: parcelas de cultivo en una posición topográfica inferior

III. Descripción breve del perfil

Perfil somero (25 cm), de textura franco arcillosa a franco arcillo limosa de color marrón y uniforme en apariencia, con drenaje natural moderado, descrito en un pozo cavado en una ladera adyacente terrazas de tipo lamabordo. La pedregosidad es relativamente baja en los primeros horizontes y aumenta en el resto del perfil. Éste muestra desarrollo de estructura de tipo migajón y subangular en bloques. Poros comunes a lo largo del perfil, de forma tubular e intersticial de tamaño fino a muy fino. La densidad de raíces finas fue alta.

IV. Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ah1	0 a 10	Color 2.5 YR 3/2 en húmedo, textura franco arcillosa CR, contenido de materia orgánica de 3.13 %*, moderadamente ácido (pH 6.5 en agua), sin reacción al CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura tipo subangular en bloques, mediana y fina de grado fuerte, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 3 %, con poros comunes intersticiales muy finos y finos, y comunes tubulares medianos, muy alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.44 g/cm ³ , límite claro y ondulado. Fragmentos de carbón.
Ah2	10 a 25	Color 2.5 YR 4/3 en húmedo, textura franco arcillo limosa CRL, contenido de materia orgánica de 1.5 %*, ligeramente ácido (pH 6 en agua), sin reacción al CaCO ₃ , bajo contenido de humedad (fresco, pF: 3), estructura tipo subangular en bloques medianos y finos de grado fuerte, alta estabilidad de agregados, pedregosidad del 10 %, con poros comunes intersticiales finos y muy finos, y pocos tubulares finos, muy alta densidad de raíces, densidad aparente de 1.54 g/cm ³ , límite abrupto y ondulado.
Cw	25 a 85	Roca saprolitizada.

*Datos de laboratorio

V. Interpretación de las características del suelo

Procesos pedogenéticos dominantes

Se observó acumulación de materia orgánica de 7.49 kg/m² en los primeros dos horizontes (Ah1 y Ah2) y formación de estructura de tipo subangular en bloques.

La clasificación de este suelo como Eutric Regosol (Loamic, Ochric) se basó; para el grupo de referencia Regosol en que los procesos pedogenéticos no están muy claramente expresado; para el calificador principal Eutric en una alta saturación de bases (> 50%). Y para los calificadores suplementario Loamic y Ochric en sus texturas franco arcillosa a más de 30 cm de profundidad y poseer más del 0.2% de carbono orgánico en los primeros 10 cm.

Características ecológicas

Se trata de una ladera escarpada poco estable en la que se acumula hojarasca de encino.

Se trata de un suelo poco profundo; con un drenaje natural moderado puesto que posee una muy baja conductividad hidráulica (<-1 a 10 cm/d), volumen total de poros mediano (42.5 %) y densidades aparentes de medianas moderadamente altas. De los casi 680 mm de lluvia que precipitan anualmente, el suelo de la esta ladera tiene la capacidad de retener menos de una sexta

parte de esa agua contra la gravedad ($87.31 \text{ L/m}^2 \text{ CC}$) de la cual poco más de un tercio se encuentra disponible para el aprovechamiento de las plantas ($32.57 \text{ L/m}^2 \text{ dCC}$) mientras que el resto se retiene a altas tensiones superficiales por partículas del tamaño de las arcillas. El porcentaje de poros que drenan rápidamente el agua en el perfil es bajo ($4.5\text{-}5.5 \%$ CA).

La capacidad de intercambio catiónico es de mediana ($20\text{-}24 \text{ cmolc/kg}$) en todo el perfil. De los cationes intercambiables disponibles la porción ocupada por bases intercambiables es 60.27 mol/m^2 y se denomina como medianamente alta, posee una reserva de nitrógeno media ($\text{Nt } 0.37 \text{ kg/m}^2$) y el que está disponible es bajo ($\text{Ndis } 1.87 \text{ g/m}^2$) y un abastecimiento de fósforo mediano ($\text{Pmo } 74.90 \text{ g/m}^2$).

De acuerdo con la USLE, en función del uso de suelo actual, la pendiente del terreno y un factor K de 0.29, la pérdida de suelo en el horizonte superficial por erosión laminar y en surcos es de 0.070 ton/ha/año , lo que en volumen representa $0.489 \text{ m}^3/\text{año}$ o $489.228 \text{ cm}^3/\text{año}$.