



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**Rasgos micromorfológicos de suelos bajo aprovechamiento forestal en
bosques templados de la región de Chignahuapan, Puebla**

T E S I N A

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

Licenciada en Ciencias de la Tierra

P R E S E N T A:

Guadalupe Franco Galiote

DIRECTOR DE TESINA:

Dr. Bruno Manuel Chávez Vergara

CIUDAD DE MÉXICO, 2019





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

1. Datos del alumno
Franco
Galiote
Guadalupe
15463064
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Ciencias de la Tierra
311215805
2. Datos del tutor
Dr.
Bruno Manuel
Chávez
Vergara
3. Datos del sinodal 1
Dra.
Elizabeth
Solleiro
Rebolledo
4. Datos del sinodal 2
Dra.
Shatya Devi
Quintero
Gradilla
5. Datos del sinodal 3
M. en C.
Jaime
Díaz
Ortega
6. Datos del sinodal 4
Dra.
Ana María Lizeth
Caballero
García
7. Datos del trabajo escrito
Rasgos micromorfológicos de suelos bajo aprovechamiento forestal en bosques templados de la región de Chignahuapan, Puebla.
40 p.
2019

Agradecimientos

A la **Universidad Nacional Autónoma de México**, porque desde mi ingreso a esta comunidad me ha brindado conocimiento, experiencias y oportunidades que me han ayudado a ser una persona íntegra y que sin duda alguna siempre estaré orgullosa de pertenecer a ella.

A la **Facultad de Ciencias y a la Coordinación de Ciencias de la Tierra** por el apoyo brindado durante mi formación profesional y la aceptación del proyecto de opción de titulación “Desarrollo y procesos biogeoquímicos de suelos bajo manejo forestal y agrícola del Centro de México”.

Al **Instituto de Geología de la UNAM (IGI, UNAM) y al Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía (LANGEM)**, por las facilidades otorgadas para el uso de las instalaciones y laboratorios en los que realice los análisis.

Al **Dr. Bruno Manuel Chávez Vergara**, por todo su apoyo, su paciencia, su motivación, por sus conocimientos y sus comentarios para poder finalizar este trabajo.

Al **Mtro. Jaime Díaz Ortega** por todo su apoyo brindado en el análisis e interpretación micromorfológica de mis muestras durante la estancia en el Taller de Laminación y el Laboratorio de Paleosuelos del Instituto de Geología.

A la **Mtra. Ma. Yazmín Rivera Uría** por todo su apoyo y conocimientos que me brindó en el análisis micromorfológico de mis muestras.

A la **Dra. Elizabeth Solleiro Rebolledo, Dra. Shatya Devi Quintero Gradilla Mtro. Jaime Díaz Ortega y Dra. Ana María Lizeth Caballero**, por aceptar ser parte de mi jurado y ayudarme a mejorar este escrito con sus comentarios.

A la **Mtra. Ofelia I. Beltrán Paz**, por todo su apoyo brindado durante la estancia en el Laboratorio de Biogeoquímica del Instituto de Geología.

Al Proyecto **Evaluación Integral de impacto del manejo Forestal sobre la Biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos en los Bosques Templados Mexicanos** (CONACyT 2015-01-314) por el financiamiento para el desarrollo de la presente tesina.

Agradecimientos a Título Personal

A mis padres, por todo su amor, su apoyo y comprensión
en cada paso que doy, porque sin ellos, no
podría ser la persona que ahora soy.

A mis hermanos, que los quiero mucho,
y que a pesar de que tomamos distintas direcciones
como las ramas de un árbol tenemos la misma raíz.

A mis amigos, que son la sal de mi vida y la familia que yo escogí.

A mi tutor Bruno, que es una gran persona
y quien me enseñó, a que no importa cuántas veces nos
tropecemos siempre podemos seguir adelante

*A todos ustedes que han confiado en mí, gracias. Porque cuando yo ya no
podía más, ustedes estaban animándome.*

A ti lector, que consultas este trabajo y que a pesar de lo insuficiente que es,
espero que te sirva de algo =).

Índice

Resumen	1
Capítulo 1. Introducción	2
1.1 Objetivos	3
Capítulo 2. Marco Teórico.....	3
2.1 Sistema de aprovechamiento forestal en México.....	3
2.2 Génesis del suelo (Factores formadores del suelo)	6
2.3 Andosol	7
2.4 Rasgos micromorfológicos de los suelos.....	8
Capítulo 3 Materiales y Métodos.....	9
3.1. Área de estudio	9
3.2 Trabajo de campo	12
3.3 Toma y preparación de Muestra	12
3.4 Determinación de color.....	12
3.5 Determinación de contenido de Carbonatos.....	12
3.7 Determinación de alófanos.....	13
3.8 Determinación de textura	13
3.9 Determinación de pH.....	15
3.10 Determinación de densidad real y aparente	16
3.11 Determinación micromorfológica	16
Capítulo 4. Resultados y discusión	17
Capítulo 5. Conclusiones	38
Bibliografía.....	38

Resumen

Los estudios de suelo en sistemas de manejo silvícola relacionados con los bosques templados han sido poco abordados en nuestro país, especialmente en suelos volcánicos, que son muy atractivos para diversas actividades por su alto contenido de nutrientes.

El presente estudio se realizó en Chignahuapan, Puebla con el objetivo de hacer una caracterización micromorfológica de Andosoles bajo distintos manejos forestales: Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares (MMOBI) y el Método de Desarrollo Silvícola (MDS). Los métodos que se emplearon fueron la caracterización de campo, análisis de laboratorio y una descripción micromorfológica para los cuatro perfiles que se realizaron.

Una de las propiedades del suelo con mayor relevancia en la caracterización de los sistemas silvícolas es la estructura, sobre la cual los resultados sugieren que no hay demasiada similitud en la estructura observada en campo y la observada en la micromorfología de láminas delgadas. También se encontró que los horizontes profundos tienen un alto intemperismo relacionado a efectos hidrotermales de la región. La caracterización micromorfológica nos indica que no hay un impacto de los manejos forestales sobre el suelo.

Palabras clave: Bosque templado, manejo silvícola, estructura del suelo, micromorfología.

Capítulo 1. Introducción

Los bosques templados son el segundo bioma más extenso de México (Rzedowski, 1992, citado por Guzmán-Mendoza, et al., 2014.). Estos nos brindan distintos recursos maderables y no maderables, así como, servicios ecosistémicos que ayudan al bienestar de la sociedad. Además de que contribuyen de forma decisiva, a aliviar la pobreza y la seguridad alimentaria en distintas zonas (FAO, 2016).

Para satisfacer la demanda que hay sobre los recursos forestales, una parte de esta, se encuentra bajo un manejo forestal. Este manejo, considera en el proceso la toma de decisiones en el ámbito ambiental, económico y social, así como el establecimiento de reglas para su correcto manejo, de tal manera, que haya un uso de los recursos forestales y la salvaguarda de los procesos y funciones del bosque, que posibilite la conservación y la satisfacción de las necesidades sociales (Aguirre-Calderón, 2015). Dentro de los distintos tipos de manejo se encuentra la silvicultura, que busca entre otras cosas, promover la regeneración arbórea adaptando las variables abióticas y bióticas que la afectan (Bannister et.al, 2016).

Con el paso del tiempo, el manejo forestal ha cambiado y se ha perfeccionado, debido a que ha evolucionado de un modelo de explotación de bosques y grandes concesiones forestales, hasta una silvicultura comunitaria (FAO, 2004) y un desarrollo forestal sustentable. Sin embargo, ante la importancia económica y social que tiene la actividad forestal en México, se conoce muy poco sobre el estado en el que se encuentran los suelos forestales, a pesar de que estos son la base de la productividad forestal.

Es por eso, que la caracterización de los suelos es necesaria, debido a que son el soporte de la vegetación forestal que se encuentra en esta zona, además de que su caracterización, nos ayuda a conocer el estado de conservación, alteración, o bien, el éxito del manejo que se le esté dando a los suelos forestales.

En la mayoría de los casos, la caracterización de los suelos, se aborda a partir de sus propiedades químicas, físicas o biológicas de forma aislada. Sin embargo, existen métodos que permiten reconstruir la historia, evolución y procesos que son modificados por el manejo. Es por ello, que este trabajo es un pequeño esfuerzo para contribuir a esta escasez de información, a partir del estudio de los suelos bajo los dos principales manejos forestales que se practican en la región de Chignahuapan, Puebla.

1.1 Objetivos

Objetivo General

Caracterizar los rasgos micromorfológicos de suelos bajo aprovechamiento forestal en bosques templados de la región de Chignahuapan, Puebla.

Objetivo Particular

- Determinar las propiedades químicas y físicas de suelos bajo aprovechamiento forestal en bosques templados de la región de Chignahuapan, Puebla.
- Caracterizar mediante el uso de láminas delgadas los rasgos micromorfológicos de suelos bajo aprovechamiento forestal en bosques templados de la región de Chignahuapan, Puebla.

Capítulo 2. Marco Teórico

2.1 Sistema de aprovechamiento forestal en México

México cuenta con una extensa superficie forestal (70% del territorio nacional) y con uno de los mosaicos de vegetación más variados y ricos en biodiversidad del mundo (CCMSS, 2012). Los bosques templados son la segunda superficie más extensa en México (21% del territorio) (Rzedowski, 1992, citado por Guzmán-Mendoza, et al., 2014.) y representan un importante potencial para la producción forestal, no sólo de madera sino también de una gran variedad de recursos no maderables, pero sobre todo los ecosistemas forestales juegan un papel

fundamental en la provisión de otros servicios ambientales. Los servicios ambientales generados por estos ecosistemas, influyen directamente en el mantenimiento de la vida humana, proporcionando beneficios y bienestar para la sociedad, a nivel local, regional o global. Algunos de los principales servicios ambientales que generan estos ecosistemas son: captación, infiltración y provisión de agua de calidad y en cantidad suficientes, conservación de la biodiversidad, mitigación de los efectos del cambio climático mediante la captura y almacenamiento de carbono, retención y formación de suelo, belleza escénica entre otros (CONAFOR, 2011).

Los bosques templados enfrentan un gran problema ambiental desde el último cuarto del siglo XX, debido al aumento considerable en la tasa de cambio de uso de suelo, cuya consecuencia es la pérdida de áreas boscosas, lo cual genera problemas ecológicos, económicos y sociales (Medina y Tejero-Diez, 2006). Otra causa, de la disminución de la cobertura forestal es la extracción de madera que se realiza en estos ecosistemas, motivada por la elevada demanda de productos forestales. Para satisfacer esta demanda de forma regulada y con la menor afectación a los bosques, una parte de estos se somete a aprovechamiento forestal (CONAFOR, 2018).

El gran reto de los sistemas de manejo silvícola es cubrir el enorme déficit de producción maderable que existió en el país, y a la par proteger la diversidad biológica y la provisión de los servicios ecosistémicos de nuestros bosques (Thompson y Christophersen, 2008; Galicia y Zarco, 2014). En México, el principal aprovechamiento forestal usado en zonas templadas, son los métodos de silvicultura, las cuales destacan el Método Mexicano de Ordenación de Bosque Irregulares (MMOBI) y el Método de Desarrollo Silvícola (MDS)

El Método Mexicano de Ordenación de Bosque Irregulares (MMOBI) se derivó del Método de Ordenación de Montes (MMOM), originado en 1944, y en los siguientes 20 años se generalizó para casi todos los bosques del país. En 1984, el MMOM fue cambiado a MMOBI, lo cual permitió el aprovechamiento de bosques irregulares, puros o mezclados (SEMARNAT, 2014). En general, este método se

aplica en el arbolado que ha alcanzado la madurez, además considera arbolado con daños físicos, plagado o con cualquier otra característica indeseable. La ordenación se realiza en función del ciclo de corta (realizada en cortas de selección) y considera tantas áreas de aprovechamiento como años tenga el ciclo de corta (González, 2001).

El segundo método (MDS) surgió en 1970 y se utilizó extensivamente por todo el país a partir de 1982 y tiene como objetivo captar el máximo potencial productivo del sitio para la producción maderable y lograr un rendimiento sostenido en volumen y productos, con los que se pretende alcanzar el concepto de bosque regular normal (Rosales et al., 1982, citado por INIFAP, 2007). En este sistema de manejo se aplican varias “cortas de aclareo”, en la etapa de crecimiento rápido del bosque, al final del turno, se aplica una corta intensiva llamada “corta de regeneración” (en el cual se dejan en pie solamente los árboles padres), para promover que se establezca la regeneración natural, misma que es liberada en el siguiente ciclo de corta. El objetivo final de esta secuencia de tratamientos es llevar a los bosques desde su estructura original (irregular) hacia una estructura regular, a través de la ejecución de un turno (Cano, 1988, citado por Hernández-Díaz et al., 2008).

Sin embargo, ninguna actividad en la que esté implicado un control “humano” está exenta de tener un impacto negativo, ya que fuera del sector forestal, a menudo se acusa a los silvicultores de no poseer los conocimientos necesarios para satisfacer las nuevas y múltiples demandas de recursos forestales sin ponerlos en peligro (Granados et al., 2007). Existen ciertas técnicas de simulación y monitoreo de parcelas silvícolas, que constituyen una herramienta para evaluar el impacto de estas prácticas sobre la estructura arbórea de masas forestales destinadas a la producción maderable (Bailey y Tappeiner, 1998).

2.2 Génesis del suelo (Factores formadores del suelo)

La definición de suelo tiene distintas acepciones, lo cual depende del punto de vista que se aborde. Ante esta variedad de acepciones utilizadas para un mismo término, diversos autores trataron de acuñar definiciones que precisaran la aplicación del mismo. Ante esto, se puede acuñar conceptos a partir del enfoque del estudio del suelo, es decir, a partir de la pedología y la edafología. La pedología considera al suelo como un cuerpo natural cuyas propiedades interesan para establecer su origen y su clasificación, sin importar sus posibilidades de uso, mientras que la edafología tiene un enfoque agropecuario puesto que considera al suelo como soporte para las plantas el cual debe tener un mejor rendimiento (Jaramillo, 2014).

Entonces, el suelo desde una concepción pedológica implica que este forme un continuum en la superficie terrestre y que sea susceptible de ser clasificado y cartografiado y que en el quede registro de los procesos que llevaron a su formación. El Soil Survey Staff ha recogido estas distintas propiedades en una definición que ha ido cambiando durante los años, en la que nos dice que: “El suelo es un cuerpo natural compuesto de sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que ocurre en la superficie de la tierra, ocupa un espacio y se caracteriza por tener horizontes que se diferencian del material inicial como resultado de las adiciones, pérdidas, traslocaciones y transformaciones de energía y materia” (SSS, 1999; 2017).

La definición anterior nos dice que el suelo es producto de un material inicial que con el tiempo toma distintas características, es decir, que hay distintos factores que han controlado el accionar de los diversos procesos pedogenéticos que le han otorgado a este las distintas características y propiedades que posee.

El siguiente modelo propuesto por Jenny (1940), considera al suelo como una función de los distintos factores y lo expresa como:

$$S=F (C, MP, O, R, T)$$

Dónde: S = Desarrollo del suelo, C=Clima, MP=Material Parental, O=Organismos, R=Relieve, T=Tiempo.

Lo que nos dice que el desarrollo del suelo es función de la acción de un clima y de los organismos asociados a él, sobre un material parental, bajo el las condiciones de un relieve, durante un determinado tiempo.

2.3 Andosoles

Entre los factores formadores del suelo, el material parental y el clima son los principales determinantes de las características químicas y físicas de los Andosoles. De hecho, las propiedades distintivas de estos suelos propician a la a la formación de materiales amorfos y a la acumulación de carbono orgánico, que son los dos procesos pedogenéticos dominantes en suelos derivados de cenizas volcánicas (Shoji, *et al.*, 2002).

La estructura de los Andosoles está compuesta por agregados migajosos y granulares de elevada estabilidad (0.1 nm-1 μm a 1-3 mm) (Warkentin y Maeda, 1980 citado por Rodríguez et al, 2004), que son comunes en los horizontes orgánicos y superficiales, como resultados de la actividad biológica de los organismos que descomponen la materia orgánica. La densidad aparente de este tipo de suelo, es inferior a 0.9 g/cm^3 (Fadda, 2014), lo cual le permite tener una alta capacidad de retención de humedad (alta permeabilidad y porosidad), altos contenidos de amorfos y materia orgánica. Además de que la mayoría de estos suelos presentan una textura franca limosa y franca (Hernández et al., 2017).

Respecto a su color, se caracterizan por tener colores oscuros en la superficie por el alto contenido de materia orgánica y tienden a ser claros en los horizontes subsuperficiales principalmente en el bosque y en los sistemas agroforestales. En los suelos con manejo agrícola los colores son principalmente claros (Hernández et al., 2017). Generalmente, los Andosoles tienen un alto potencial para la producción agrícola, debido a que tienen buenas propiedades de enraizamiento y almacenamiento de agua; se recomienda mantener estos suelos bajo la cubierta vegetal, sobre todo si se encuentra sobre pendientes pronunciadas (FAO, 2008).

2.4 Rasgos micromorfológicos de los suelos

La acción de los procesos pedogenéticos genera distintos efectos sobre el suelo, lo cual le provee de rasgos característicos, ya sea nivel macro o micromorfológico. Para identificar estas características, se deben abordar mediante distintos métodos de estudio, ya sea en campo o en laboratorio. Las descripciones que se hacen a partir del material no perturbado, *in situ*, son esencialmente de tipo observacional y con pocas medidas, mientras que los análisis de laboratorio son esencialmente cuantitativos, implican la destrucción de la estructura o la distribución original de los componentes del suelo observado en el campo. Por lo tanto, entre ambos conjuntos de datos (campo y laboratorio) es difícil establecer relaciones dado que no existe una continuidad entre ellos (Splé y Vila, 1990)

La metodología y técnica que puede proporcionar el nexo entre dichos conjuntos de datos es la micromorfología, debido a que nos ayuda a reconstruir los procesos edáficos y las condiciones ambientales que caracterizan sus momentos de ocurrencia (Splé y Vila, 1990).

La micromorfología se puede definir como la técnica de interpretación de rasgos que los suelos presentan a nivel microscópico. Principalmente, sus aplicaciones han sido dirigidas al mejoramiento en el trabajo de morfología, génesis y clasificación de los suelos (Vepraskas y Wilson, 2008).

Actualmente, la micromorfología se puede usar simplemente como una herramienta descriptiva o cuantitativa, cuando las descripciones están respaldadas por mediciones morfológicas o análisis químicos y mineralógicos. Es factible usarla para cualquier disciplina donde las partículas del suelo, los poros y los organismos desempeñan un papel importante y pueden ser susceptibles a modificaciones por efecto del manejo.

Capítulo 3 Materiales y Métodos

3.1. Área de estudio

Chignahuapan se encuentra dentro de la Unidad de Manejo Forestal Zacatlán, entre las coordenadas 19° 39'42" y 19° 58'48" de LN y 97° 57'18" y 98° 18'06" de LO (INEGI,2014). Por su extensión, de 591.92 km², se considera el tercer municipio más grande del estado de Puebla (Figura 1), y se encuentra en la llamada Sierra Norte de Puebla y pertenece a la Faja Volcánica transmexicana (Luna, 2007).

Tabla 1. Coordenadas del sitio de estudio.

Perfil	Coordenadas		Figura
	Latitud	Longitud	
MDS Temprano	19°42'15.8"N	98°09'19"O	Figura 1A
MDS Tardío	19°42'36.6"N	98°10'48.3"O	Figura 1B
MMOBI Temprano	19°49'6.58"N	97°38'11.27"O	Figura 1C
MMOBI Tardío	19°49'2.90"N	97°38'11.24"O	Figura 1C

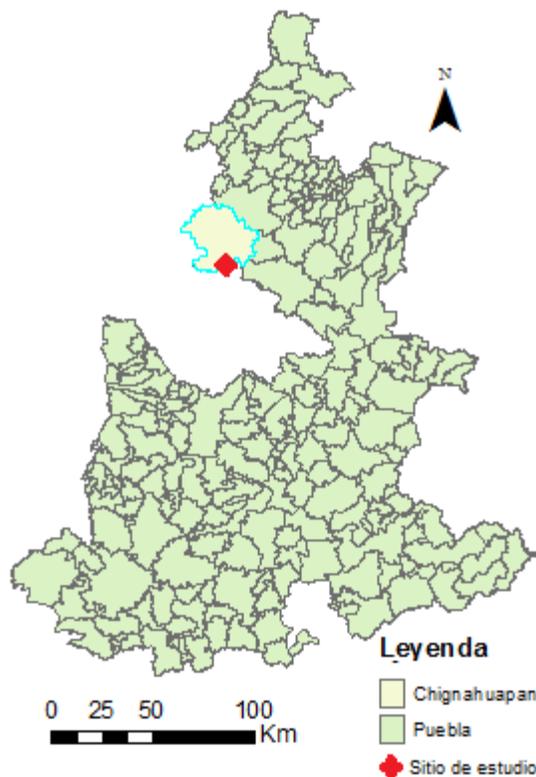


Figura 1. Localización de sitio de estudio de la región forestal de Chignahuapan,



De acuerdo con el Anuario Estadístico 2009 en esta zona se encuentran rocas del Neógeno y Cuaternario, caracterizadas por rocas ígneas extrusivas como toba ácida (29%), andesita (22%), basalto (19%), riolita (9%), riodacita (3%), dacita (2%) y riolita-toba ácida (2%) (INEGI, 2009).

Esta zona se ubica en un gradiente altitudinal de 2000 a 3000 m.s.n.m. La temperatura promedio es de 16°C y la precipitación anual media de 1,700 mm. (INECC, 2007). Se puede identificar una estación seca y una estación lluviosa en la cual las precipitaciones resultan más abundantes durante el verano con una humedad media del 85%. El clima está clasificado como templado subhúmedo (Cm) y su vegetación dominante es el bosque templado de pino-encino. Las condiciones climáticas y geológicas del lugar han permitido el desarrollo de suelos clasificados como Phaeozem (39%), Andosol (35%), Vertisol (13%), Luvisol (6%), Planosol(3%) y Durisol (1%) (INEGI, 2009).

Se han identificado 450 especies de flora y fauna silvestres, 97 de éstas en estatus de especies que requieren protección y cinco en la categoría de especies amenazadas. Su biomasa arbórea está representada por las siguientes especies: *Pinus patula* (64%), *Abies religiosa* (16%), *Quercus rugosa* (9.9%), *P. moctezumae* (1.5%), *P. pseudostrobus* (5%), *P. ayacahuite*, *P. teocote* y *Alnus arguta* (4.5%). El estrato medio de poco más de 6 m las especies dominantes son: *Alnus jorullensis* (aile) y *Arbutus xalapensis* (madroño) (Solis, 2017).

Las principales actividades económicas en la zona de estudio son la agricultura y la silvicultura. Esta zona cuenta con menos de 6.5% de la superficie forestal con respecto a la estatal; su producción maderable fue de 83,342 m³ (García, 2015), distribuida en 21.2%% de coníferas y 78.8% de latifoliadas (SEMARNAT, 2014). El municipio de Chignahuapan contribuyó con el mayor volumen (83,342m³) de madera en rollo para el estado de Puebla ayudándole a alcanzar el sexto lugar en el país en la producción de madera en rollo en el 2014 (SEMARNAT 2014).

3.2 Trabajo de campo

La apertura de los cuatro perfiles de suelo se llevó a cabo en suelos bajo los distintos aprovechamientos forestales (dos para MDS y otros dos para MMOBI). Para ello se hizo un recorrido en la zona, en donde se eligieron los sitios para la apertura de los perfiles de suelo y que fueron nombrados de la siguiente manera: MDS Temprano, que tiene un manejo de dos años; MDS Tardío con un manejo de 40 años; MMOBI Temprano con un año de manejo y MMOBI Tardío que tiene un manejo de siete años. Los perfiles fueron descritos y clasificados de acuerdo a la Guía de Descripción de suelos de la FAO (2009).

3.3 Toma y preparación de Muestra

El muestreo se hizo en cada horizonte de los cuatro perfiles seleccionados para el estudio. Se tomó aproximadamente medio kilo de suelo para realizar los análisis físicos y químicos. Además de tomar bloques inalterados de suelo para elaborar laminas delgadas. El tamaño del bloque fue de 10x10x10cm orientado según su posición en el perfil, se envolvieron con papel aluminio y finalmente se colocaron dentro de una caja para evitar que se disgregaran. En total se tomaron 23 muestras de cuatro perfiles, las cuales se etiquetaron y se secaron para realizar los respectivos análisis.

3.4 Determinación de color

Para obtener el color de las muestras se utilizó el sistema de ordenación de color Munsell (Munsell, 2009) en donde se especificó para cada horizonte su color tomando en cuenta los tres atributos que se consideran para su determinación que son: matiz, valor y croma.

3.5 Determinación de contenido de Carbonatos

El contenido de carbonatos se estimó en campo observando la efervescencia de la muestra al adicionar ácido clorhídrico al 10% (Figura 2).



Figura 2. Reacción de suelo al agregar HCl al 10 %

3.6 Determinación de Materia Orgánica

La determinación de la materia orgánica se realizó en campo observando la efervescencia que realizaba el peróxido de hidrogeno (H_2O_2) al 30% sobre el suelo (Figura 3).



Figura 3. Reacción de suelo al agregar H_2O_2 al 30 %.

3.7 Determinación de alófanos

El contenido de alófanos se realizó en campo mediante el cambio de coloración que realizaba el suelo al agregar fluoruro de sodio 1M con 1 gota de fenolftaleína. Este era en tono rosado entre más oscuro este había una mayor presencia de alófanos.

Cabe aclarar que el contenido de carbonatos, materia orgánica y alófanos se realizó de manera cualitativa en donde se utilizó una escala de cruces (+) en donde una mayor reacción tenía un valor de cuatro cruces (++++) y el más bajo una cruz (+), en caso de no haber reacción se ponía una N que significa negativo. Estos análisis se realizaron sobre una placa de porcelana (Figura 4).



Figura 4. Reacción de suelo al agregar NAF +fenolftaleína.

3.8 Determinación de textura

La textura se infirió en campo a través de la prueba al tacto que consiste en humedecer una pequeña muestra de suelo tomada del horizonte a caracterizar, en donde se observaron las características de moldeado, consistencia y granulometría de la muestra, presionándola y palpándola entre los dedos y moldeándola formando esferas y rollos. Para designar la clase textural se utilizó la siguiente tabla.

Tabla 2. Claves para la designación de la clase textural (Siebe et al, 2016)

No. corr.	Características	Seguir en No.	Tipo de textura	Clave
1	Intentar formar con la muestra un rollito del grosor de un lápiz a) Moldeable b) No moldeable	4 2		
2	Palpar la consistencia entre los dedos índice y pulgar a) adhesiva, se adhiere ligeramente al dedo b) no adhesiva, no moldeable	3	Franco arenosa	CA
3	Frotar la muestra entre las palmas de las manos. a) consistencia muy harinosa, no se perciben granos de arena b) consistencia muy harinosa y se perciben granos de arena, la muestra es ligeramente abrasiva (<50% arena) c) muy arenosa y abrasiva (50-85% arena), queda material fino en la palma		Limosa Franco Limosa gruesa Arenosa franca Arenosa	L CLg AC A
4	Intentar moldear un rollo del grosor de una aguja para tejer gruesa a) moldeable, superficie opaca, consistencia harinosa o seca (como el pinole) b) moldeable, consistencia plástica pegajosa c) no moldeable, se adhiere al dedo, se perciben granos de arena y la muestra se siente abrasiva (>46% de arena)	5 6		
5	Evaluar la consistencia a) adhesiva, harinosa o seca, se agrieta fácilmente al presionar		Franco limosa fina	CLf

	<p>b) ligeramente harinosa, casi no se agrieta, muy moldeable</p> <p>c) la muestra se siente abrasiva, se agrieta al presionar</p>		<p>Franco-arcillo. Limosa Franca</p>	<p>CRL C</p>
6	<p>Evaluar la superficie de la muestra después de friccionarla con la uña del dedo</p> <p>a) superficie opaca o con brillo tenue , casi no se perciben granos de arena , la muestra no se siente abrasiva</p> <p>b) superficie opaca a ligeramente brillante , granos de arena perceptibles, muestra ligeramente abrasiva</p> <p>c) superficie brillante</p>	7	<p>Franco arcillosa Arcillo arenosa</p>	<p>CR RA</p>
7	<p>Hacer una pequeña oquedad en la muestra, poner unas gotas de agua y frotar la superficie de la oquedad con el pulgar</p> <p>a) se siente muy jabonosa y se logra separar una porción importante de partículas limosas</p> <p>b) poco jabonosas, la muestra tiene consistencia de mantequilla, muestra muy plástica y pesada, se requiere mucha fuerza en los dedos para amasarla.</p>		<p>Arcillo limosa arcillosa</p>	<p>RL R</p>

3.9 Determinación de pH

Para la medición de los valores de pH se pesó 10 g de suelo por muestra, en donde a cada una se le agregó 25 ml de agua grado Mili-Q. Posteriormente se agitaron durante 24 horas y con ayuda del potenciómetro modelo sm-3bw se hizo la medición de pH para cada muestra.

3.10 Determinación de densidad real y aparente

Para determinar la densidad real se utilizó el método del picnómetro (Gavande, 1980). Primero se pesó el picnómetro al cual se le agrego 3 gr de muestra y se volvió a pesar, después se le agrego 10 ml de agua y se agito suavemente para remover el aire y se dejó reposar por 24 horas. Posteriormente se llenó el picnómetro con agua destilada, cuidando que quedara lleno el capilar del tapón. Se secó el excedente de agua y se pesó el picnómetro con la muestra y el agua. Después se lavó el picnómetro, se llenó de agua y se pesó. Para obtener la densidad real se realizó el siguiente cálculo.

$$DR = \frac{C - A}{(C - A) + (B - A) - (D - A)}$$

Dónde:

A = Peso del picnómetro

B = Peso del picnómetro + agua

C = Peso del picnómetro + suelo

D = Peso del picnómetro+ suelo+ agua

En la determinación de la densidad aparente se utilizó el método de la probeta (Johnson, 1979). En donde se pesó una probeta de 10 ml y se le agrego suelo seco hasta la marca de 10 ml, después se golpeó 10 veces contra un trapo húmedo y se agregó nuevamente el suelo hasta la marca de 10 ml y se pesó la probeta, posteriormente se realizaron los la diferencia del volumen final e inicial para saber la densidad aparente.

3.11 Determinación micromorfológica

Los bloques inalterados que se obtuvieron de campo se secaron a temperatura ambiente, posteriormente se colocaron en envases para realizar la impregnación con resina epóxica con índice de refracción de 1.65. Estos bloques fueron cubiertos hasta 2 cm por encima del bloque y se colocaron dentro de una cámara de vacío a 24 bars durante 15 minutos, con el fin de extraer todo el aire que se encuentra dentro de los micro y macro poros del bloque de suelo. Cuando fue necesario se agregó más resina, pasando el bloque de nuevo por la cámara de

vacío. Terminado este procedimiento se esperó al endurecimiento de la resina y una vez obtenido el estado sólido se cortaron en secciones de 5x4x1c con una sierra circular de diamante lubricada con agua.

Antes de montar en el portaobjetos se pulió una de las caras del bloque mediante una secuencia de lijas de No.80, 220,360 y 400. Una vez pulido el bloque fue montado en el portaobjetos utilizando resina (UV) y se dejó secar por unos minutos. Pasado este tiempo se cortó una lámina delgada y se pulió hasta un grosor de 30 micras aproximadamente.

Finalmente, la lámina se fijó con resina (UV) y se cubrió con un cubreobjetos, el cual se presionó para sacar todas las burbujas de aire que quedaron. Obtenidas las láminas se observaron en un microscopio petrográfico, en donde se describieron diversos rasgos pedológicos (unidades reconocibles en el suelo), como revestimiento de arcilla (cután), nódulos de hierro, fragmentos de roca, fragmento de raíces, carbón, revestimiento de materia orgánica, pápulas (fragmento de revestimiento de arcilla). Así como edaforasgos como la matriz, microestructura y la distribución del material.

Capítulo 4. Resultados y discusión

MDS Temprano

Este perfil se encuentra compuesto por seis horizontes que son: O, A, AB, B, Bt, 2AB (Figura 5). Las características de campo y laboratorio se presentan en la tabla 3 y las características micromorfológicas en la tabla 4.

Dentro de las características físicas del MDS temprano, se observó una gama de



Figura 5. Perfil del MDS Temprano

colores de marrón oscuro, café y marrón amarillento oscuro; una textura que va de franco limosa fina hasta arenosa y un alto contenido de Materia Orgánica (MO) que va aumentando conforme a la profundidad, mientras que para los alófanos se tiene un mayor contenido en la parte superficial que en la profunda. Su pH se encuentra entre los valores de 5.25-6.25 y presenta una estructura esponjosa, granular y de bloque subangular.

Horizonte O

En este horizonte se pudo observar dos distintos grados de descomposición del material vegetal mientras se va aumentando la profundidad, además de que hay un incremento en la presencia de coprolitos (flecha azul) y de carbón fuera y dentro de los agregados. También se pudo notar que en la parte inferior de este perfil hay una incorporación de agregados minerales,

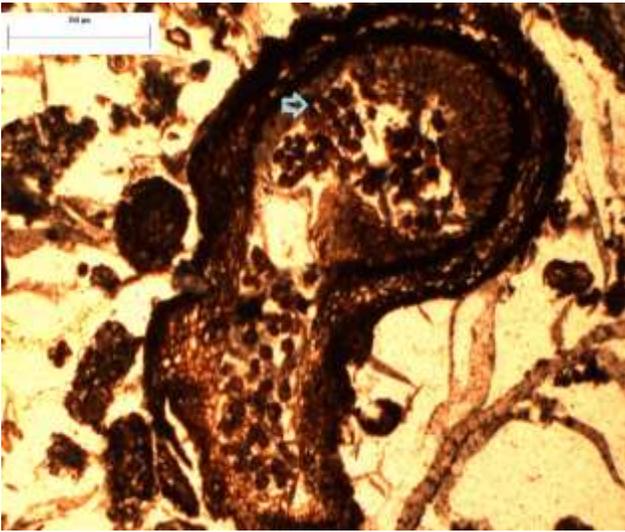


Figura 6. Material vegetal con coprolitos del Horizonte O.

mostrándonos la transición que hay con el otro horizonte. Respecto a su estructura se puede percibir una diferencia, ya que se tiene una estructura esponjosa (campo) y una estructura de bloque subangular (micromorfología) (Figura 6).

Horizonte A

En el horizonte A podemos observar una diferencia de estructura que va de bloques subangulares que rompe a granular (campo) y una a masiva que rompe a granular, además de que se puede apreciar la transición de agregados grandes a más pequeños. Una de las características que destaca, es la presencia de dos matrices (línea amarilla), ya que una matriz es mucho más rojiza mientras que la

otra es más café oscura, lo que nos está hablando de una matriz que contiene óxidos y el otro con mayor contenido de MO. También se puede apreciar la presencia de carbón y una cierta tendencia a microlaminaciones de los suelos con óxidos lo que puede deberse a procesos erosivos de agua o una remoción (Figura 7).

Horizonte AB

La estructura del horizonte AB difiere un poco de lo visto macro y micromorfológicamente ya que se tiene una estructura de bloques subangulares que rompe a granular y una masiva que rompe a granular (flecha morada). Presenta concreciones de Fe y un alto contenido de carbón (+++) y poca presencia de líticos (circunferencia verde), plagioclasas (flecha azul) y MO (Figura 8).

Horizonte B

El horizonte B tiene poca presencia de MO, presenta un color con tonalidades rojizas o pardas debido a la presencia de concreciones de Fe (circunferencias de color verde) que indican que este suelo tenía etapas de saturación de agua. Presenta una matriz con rasgos de arcilla iluviada. Con respecto a la estructura, lo

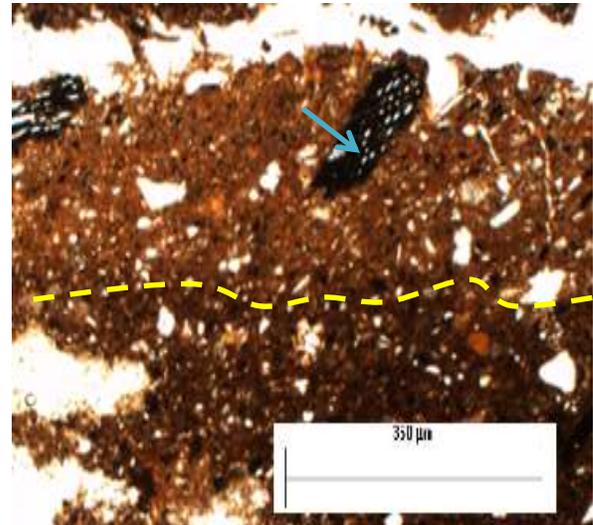


Figura 7. Matrices presentes en el Horizonte A

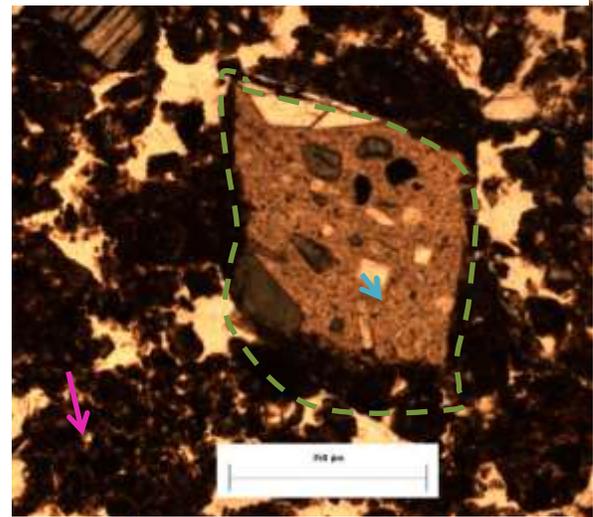


Figura 8. Presencia de líticos y plagioclasa en el Horizonte AB

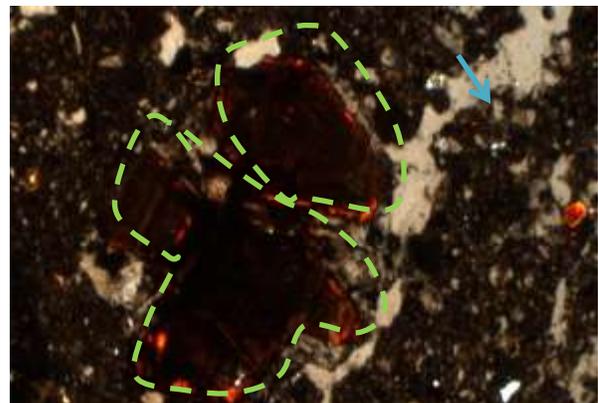
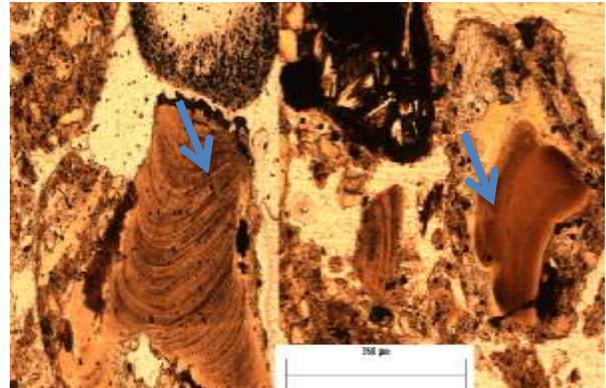


Figura 9. Concreciones de Fe del Horizonte B.

que se vio en campo y en el microscopio difieren un poco, ya que se tiene una estructura de bloques subangulares (flecha azul) y una estructura masiva, en donde se puede observar que son agregados acresionados, es decir que es una superficie que tiene compactación (Figura 9).

Horizonte Bt

El horizonte Bt, presenta una estructura masiva que rompe a subangular .lo que nos podría indicar que hay una disgregación del material, ya que va de estructuras masivas a estructuras menor tamaño, tiene poca materia orgánica y se puedo observar que hay microlaminaciones en los minerales (flecha azul), Además de que se encontró presencia de rocas (andesita) y algunos minerales Ferromagnesiano que dan una coloración rojiza (Figura 10).



20

Figura 10. Microlaminaciones presentes en el Horizonte Bt.

Horizonte 2AB

Este horizonte presenta una estructura en bloques subangulares, iluviación y material intemperizado. Además de que se piensa que es un material mucho más viejo que el horizonte anterior, por la presencia de saprolitas que se encuentran carcomidas (Figura 11).

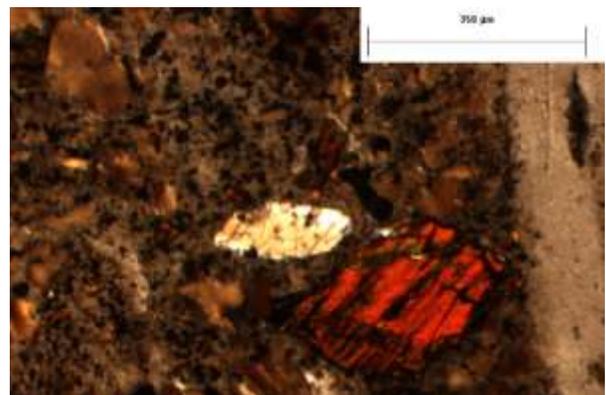


Figura 11. Material del Horizonte 2AB.

Campo							Laboratorio			
Horizonte	Prof. (cm)	Color	Textura	M.O	Alófanos	Estructura	pH	DR g/cm ³	DA g/cm ³	%poros
O	0-5	10YR 3/3		+	-	Esponjosa	6.25	-	-	-
A	5-13	10YR 6/4	Franco limosa fina	++	+++	Granular	5.75	2.188	0.627	28.656
AB	13-38	2.5Y 5/2	Franco arcillo arenosa	+++	++++	Bloque subangular- →*Granular	5.25	2.358	0.697	29.558
B	38-60	2.5Y 5/3	Franco arenosa	++++	+	Bloque subangular	6.25	2.513	0.786	31.277
Bt	60-80	7.5Y 4/4	Arenosa franca	+++	+	Bloque subangular -→Granular	5.25	2.592	0.663	25.578
2AB	80-120	10YR 4/4	Arenosa	+++	++	-----	6	2.457	0.721	29.344

Tabla 3. Descripción física y química del perfil MDS temprano.

Horizonte	O	A	AB	B	Bt	2AB
Prof.	0-5	5-13	13-38	38-60	60-80	80-120
Estructura	bloque subangular	Masiva→Bloque subangular	Masiva→Granular	Masivo →bloque subangular	Masivo→ bloques subangulares	Bloques angulares
Grado separación	Moderado	Moderados	Moderado	Moderado	Moderado	separados
Grado de acomodo	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial
Tipo de poro	Fisuras / cavidades	Fisuras	Fisuras / cavidades	Cavidades		Empaquetamiento compuesto
Tejido fresco	+++	+	+	+	+	+++
Carbón	+++	+	++	+		
Pápulas						
Líticos			++	+		+
Coprolitos	+++	+				
Agrocutanes						

Tabla 4. Descripción micromorfológica del Perfil MDS temprano.

MDS Tardío

Este perfil se encuentra compuesto por seis horizontes que son: O, A, AC, C, 2AB y 2B, (Figura 12). Las características de campo y laboratorio se presentan en la tabla 5 y las características micromorfológicas en la tabla 6.

Dentro de las características físicas del MDS tardío, se observó una gama de colores de marrón oscuro, marrón amarillento claro, café grisáceo, marrón oliva claro, café y marrón amarillento oscuro; y una textura principalmente limosa y un alto contenido de Materia Orgánica así como de alófanos. Su pH se encuentra entre los valores de 5.7-6 y presenta una estructura esponjosa, granular y de bloque subangular.



Figura 12. Perfil del MDS Tardío.

Horizonte O

Este horizonte fue clasificado como O debido a que hay una alta presencia de MO (observada en campo como en microscopio) que se encuentra distintos grados de descomposición del tejido, en donde se observan coprolitos (flecha azul); así como evidencia de quema sobre el suelo ya que hay presencia de carbón (++) (Figura 13). En campo presenta una estructura esponjosa pero la observada en el microscopio es una estructura subangular que rompe a granular y que está conformado de MO.

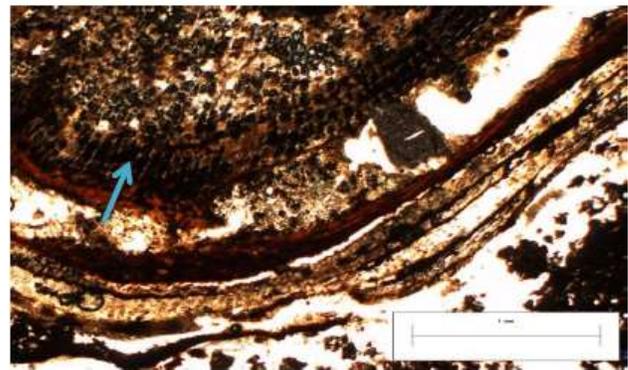


Figura 13. Coprolitos presentes dentro de una raíz del Horizonte O

Horizonte A

En el horizonte A fue clasificado como tal debido a que comienza a incorporarse material mineral pero sigue presente material orgánico, que presenta evidencia de quema, ya que hay presencia de carbón(++) (Figura 14). La estructura que se tiene en campo es granular y en su micromorfología es de bloques subagulares rompiendo a granular, además de tener presencia de agrocutanes.



Figura 14. Presencia de carbón del Horizonte A.

Horizonte AC

La estructura coincide en los dos casos, perteneciendo a bloques subangulares. Podemos observar que hay un cambio textural muy contrastante ya que aumenta la presencia de arenas (flecha azul), dando una transición de lo que es un horizonte A → C (Figura 15).

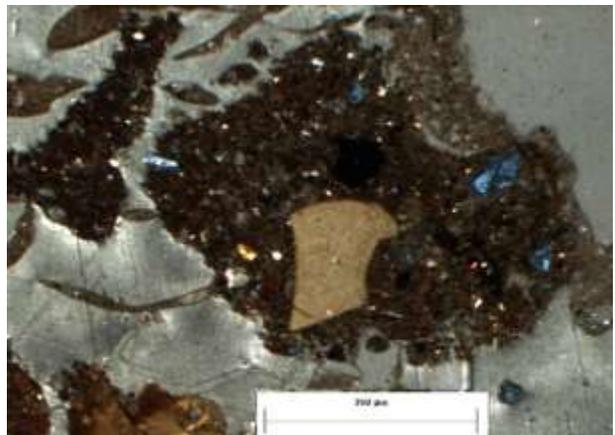


Figura 15. Arena presente en el Horizonte AC.

Horizonte C

Este horizonte fue clasificado como C debido a la poca presencia de MO y su alta presencia de líticos, que se encuentran hidrotermalizados, también hay presencia de arcilla secundaria que fue carcomida, además de que se piensa que es una saprolita

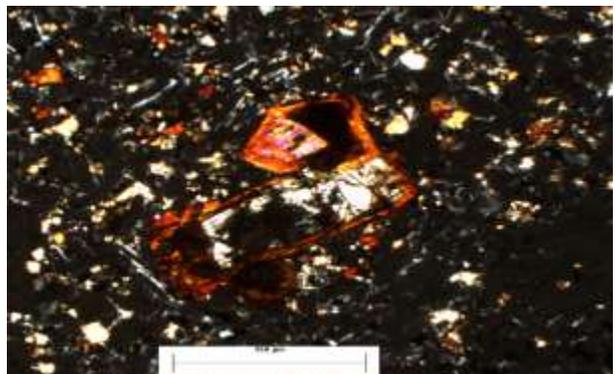


Figura 16. Material hidrotermalizado del Horizonte C.

Horizonte 2AB

Dentro del horizonte 2AB se puede observar un aumento de MO en distintos grados de descomposición, presenta características similares a los horizontes superficiales (Horizonte A), lo que nos hace pensar que se trata de un horizonte enterrado. No presenta diferencia en su estructura observada en campo y en las láminas ya que las dos son subangulares (Figura 17).

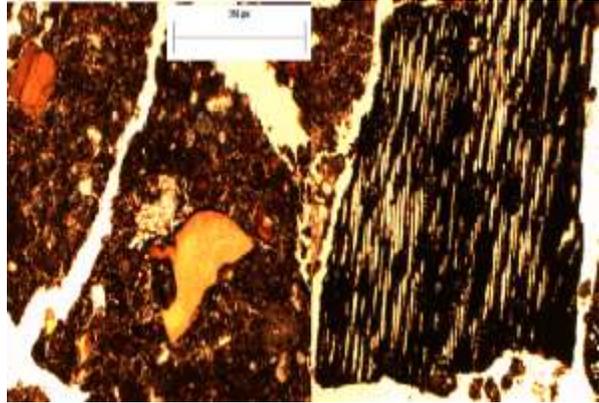


Figura 17. Materia Orgánica y carbón presente en el Horizonte 2AB.

Horizonte 2B

El horizonte 2B presenta un cambio abrupto en la mineralogía, con una acumulación de óxidos por lo que presenta una coloración rojiza (Figura 18 A), además de que presenta fragmentos de líticos intemperizado y concreciones de Fe degradados (Figura 18 B). Tiene una estructura de bloques subangulares y una estructura micromorfológica masiva.

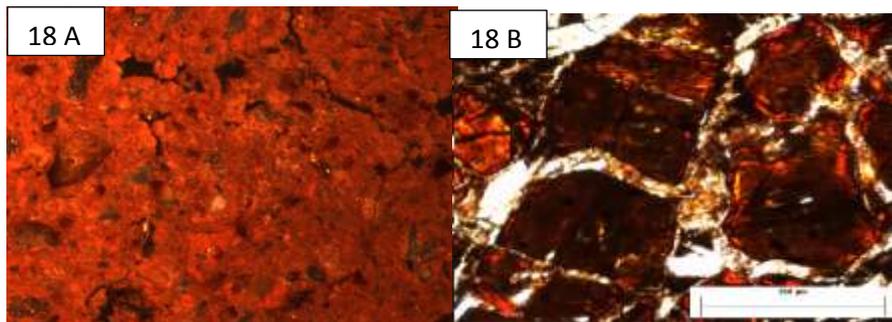


Figura 18. Características del Horizonte 2B.

Horizonte	Campo						Laboratorio			
	Prof. (cm)	Color	Textura	M.O	Alófanos	Estructura	pH	DR g/cm ³	DA g/cm ³	%poros
O	0-10	7.5YR 2.5/3	-----	++++	-----	Esponjosa	5.7	-	-	-
A	10-30	10YR 5/3	Limo-arenosa	+	++++	Granular	5.2	2.067	0.753	36.429
AC	30-70	7.5YR 4/3	Limo-arenosa	++	++	Bloque subangular	5.2	2.566	0.781	30.436
C	70-104	10YR 4/6	Franco-limosa	++	++	Granular	5.7	2.487	0.706	28.387
2AB	104-125	10YR 3/6	Limo-arenosa	+++	+++	Bloque subangular	5	2.615	0.721	19.944
2B	125-180	10YR 4/4	Arcillo-limosa	+++	++++	Bloque angular	6	2.542	0.734	28.874

Tabla 5. Descripción física y química del perfil MDS tardío.

Horizonte	O	A	AC	C	2AB	2B
Profundidad	0-10	10-30	30-70	70-104	104-125	125-180
Estructura	Bloques Subangulares → granular	Bloques Subangulares	Bloques Subangulares	-	Bloques Subangulares	Masivo
Grado de separación	Moderado	Moderado	Moderado	-	Moderado	Débil
Grado de acomodo	Parcial	Parcial	Parcial	-	Parcial	Acomodados
Tipo de poro	Fisura	Empaquetamiento o compuesto	Fisura	-	Empaquetamiento compuesto	Fisura
Tejido podrido	++	++	+	-	+	
Tejido Fresco	+++	+++	++	-	+	
Carbón	++	++	+	--	++	
Pápulas	++		++	-	+	
Líticos			++	Es una roca	+	+
Coprolitos	++	++		-		
Agrocitanes	++				++	

Tabla 6. Descripción micromorfológica del Perfil MDS tardío

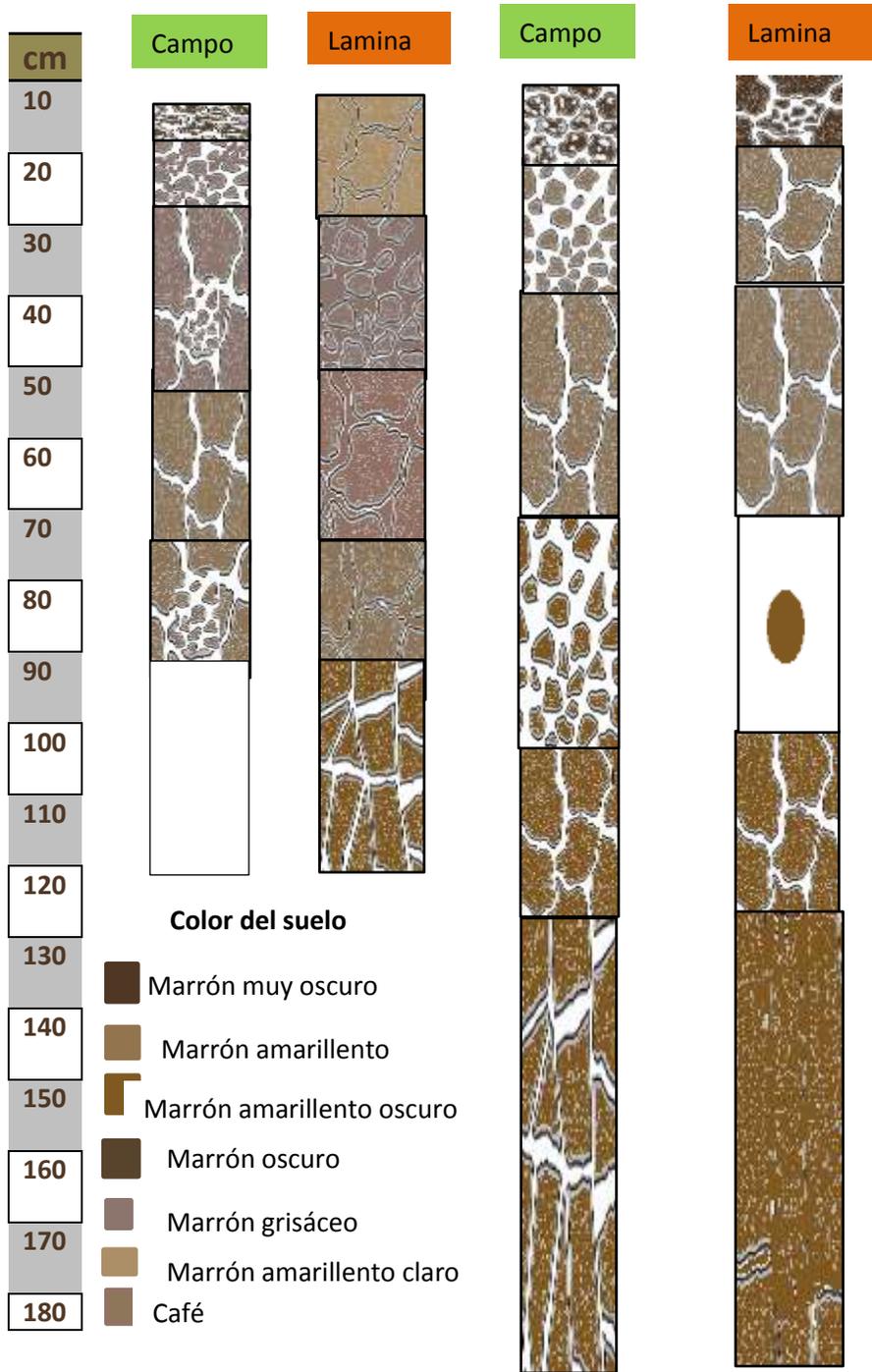


Figura 19. Estructura de MDS Temprano y Tardío

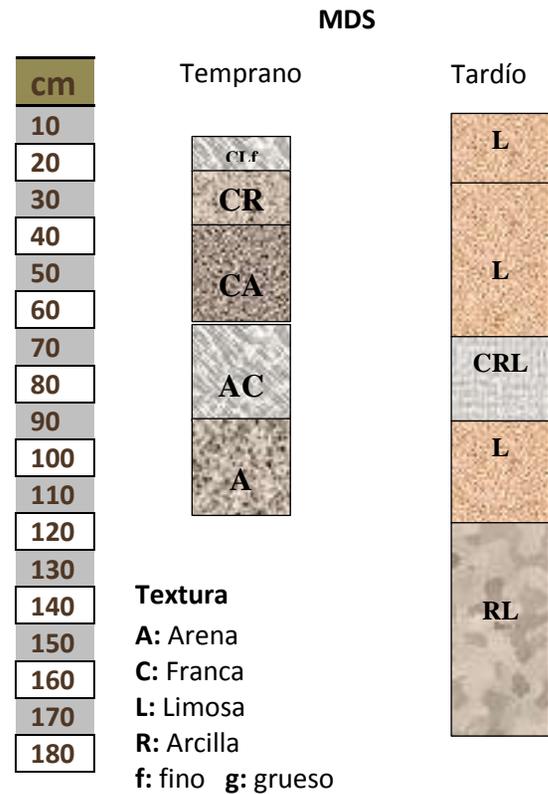


Figura 20. Textura de MDS Temprano y Tardío.

MMOBI Temprano

Este perfil se encuentra compuesto por seis horizontes correspondientes A1, A2, AB, B1, B2 y BC, descritos en las tablas 7 y 8.

Dentro de las características físicas del MDS tardío, se observó una gama de colores de marrón oscuro grisáceo, marrón oliva, marrón pálido y marrón pálido claro; y una textura principalmente franco limoso hasta arenosa, a pesar de que el perfil tiene colores oscuros en los horizontes superficiales, se tiene una gran cantidad de MO en los horizontes profundos. Su pH se encuentra entre los valores de 5.25-5.75, presenta una estructura granular y bloque angular.



Figura 21. Perfil de MMOBI Temprano

Horizonte A1

El horizonte A1 tiene una estructura micro y macro granular. Es un horizonte mineral que se formó en la superficie y tiene la principal característica de la acumulación de la MO humificada, íntimamente asociada a la fracción mineral. Este horizonte se caracteriza por ser el más oscuro del perfil y presenta poca MO que tiene evidencia de quema (Figura 22)

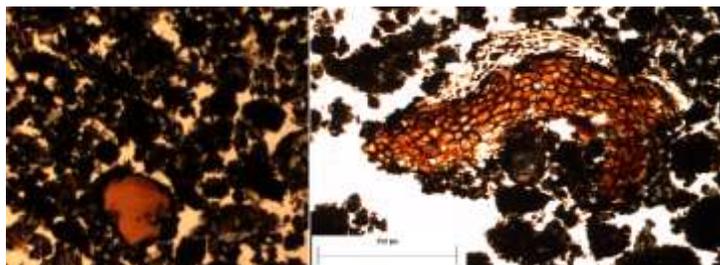


Figura 22. Material vegetal y mineral del Horizonte A1

Horizonte A2

La estructura macro de este horizonte se caracteriza por ser granular, mientras que la estructura micro es de bloques subangulares; hay poca presencia de tejido en distinto grado de descomposición (+) y carbón (+++). Este horizonte mineral se caracteriza por tener lixiviación y se diferencia del horizonte A1, por ser de color más claro y por tener un porcentaje menor de MO. Además de que presenta poco grado de intemperismo. Además de que se observa una degradación de sus características (línea amarilla) (Figura 23).

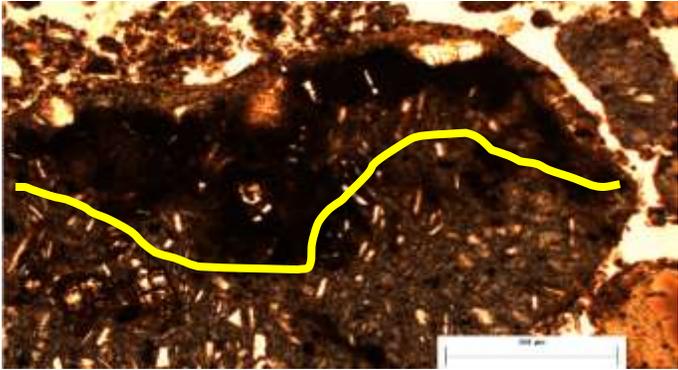


Figura 23. Degradación del Horizonte A2.

Horizonte AB

La estructura del horizonte AB presenta diferencias ya que presenta una estructura granular y de bloques subangulares, tienen un contenido considerable de tejido vegetal en descomposición; presenta un alto grado de intemperismo y presencia de cutanes de arcilla, que se encuentran fragmentados.

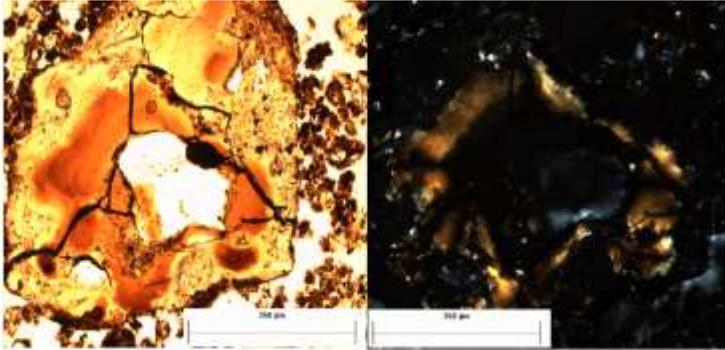


Figura 24. Cutanes de arcilla fragmentados en el Horizonte AB.

Horizonte B1

El horizonte B1 muestra una estructura granular macro y micromorfológicamente, tienen poco contenido de MO. Presenta cutanes fragmentados que han sido rellenados. Además de presentar materiales hidrotermales.

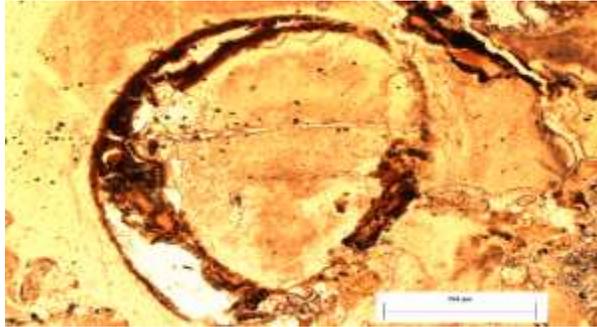


Figura 25. Cutan Fragmentado.

Horizonte B2

El Horizonte B2 muestra una estructura en bloques angulares, en donde presenta un alto grado de degradación, ya que hay varios minerales fragmentados y carcomidos.

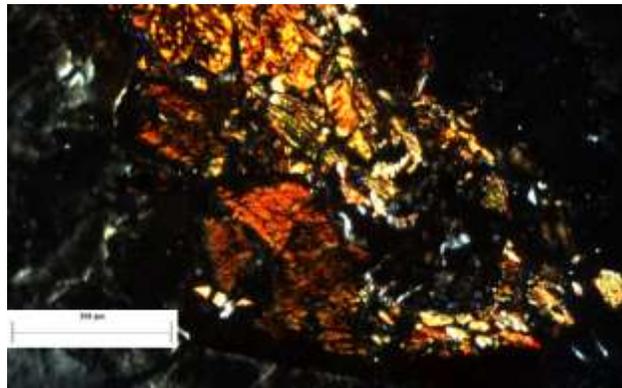


Figura 26. Mineral Fragmentado.

Horizonte BC

El horizonte BC presenta una estructura en bloques angulares y una estructura micromorfológica masiva, tiene poca presencia de tejido vegetal y tiene material muy carcomido por un efecto hidrotermal



Figura 27. Cutan Fragmentado.

Horizonte	Campo						Laboratorio			
	Prof. (cm)	Color	Textura	M.O	Alófanos	Estructura	Ph	DR g/cm ³	DA g/cm ³	%poros
A1	0-10	2.5y 3/2	Franco-arenosa	+	++++	Granular	5.5	2.191	0.842	38.429
A2	10-50	2.4Y 3/2	Franco-arenosa	+	+	Granular	5.25	2.231	0.881	39.489
AB	50-70	2.5Y 4/3	Arenosa franco	+	++++	Granular	5.25	2.361	0.917	38.839
B1	70-83	2.5Y 4/4	Arenoso franco	+++	+	Granular	5.75	2.332	0.887	39.140
B2	83-120	10YR 6/3	Arenosa	+++	+	Bloque angular	5.75	2.565	0.934	36.413
BC	120-160	10YR 8/4	Arcilloso	++++	++++	Bloque angular	5.25	2.432	0.969	39.843

Tabla 7. Descripción física y química del perfil MMOBI temprano

Horizonte	A1	A2	AB	B1	B2	BC
Profundidad	0-10	10-50	50-80	80-93	93-130	130-160
Estructura	Granular	Bloques subangulares	Bloques Subangulares	Masivo → granular	Masivo → Bloque angular	Masivo
Grado de Separación	Débil	Débil	Fuerte	Débil	Débil	Débil
Grado de acomodo	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial	Parcial
Tipo de poro	Empaquetamiento compuesto	Empaquetamiento compuesto	Empaquetamiento compuesto	Empaquetamiento compuesto	cavidades	Cavidades
Tejido podrido	+	+	+++	++	+	+
Tejido fresco	++	+	+	+	+	+
Carbón	+	+++				
Pápuas						
Interperismo			++	+	++	+
Líticos	++	+			++	+
Coprolitos						
Agrocutanes						

Tabla 8. Descripción micromorfológica del Perfil MMOBI Temprano.

MMOBI Tardío

Este perfil está compuesto por cinco horizontes: A, AB, B1, B2 y Bt, que son descritas en las tablas 9 y 10.

Dentro de las características físicas del MMOBI Tardío, se observó una gama de colores de marrón amarillento oscuro, café amarillento, amarillo pardusco, marrón muy pálido y marrón amarillento claro; tienen una textura principalmente franco arcillosa y presenta poca cantidad de MO y una alta presencia de líticos en los horizontes profundos. Su pH se encuentra entre los valores de 5-6, presenta una estructura granular y de bloque subangular.



Figura 28. Perfil del MDS Tardío

Horizonte A

Dentro del horizonte A se puede notar poca presencia de tejido vegetal y una mayor integración de una capa orgánica y mineral, hay presencia de líticos (++) y carbón (++) . En cuanto a su estructura presentan una ligera diferencia ya que se tiene una estructura granular (macromorfológicamente) y una de bloques subangulares que rompe a granular (Figura 29).

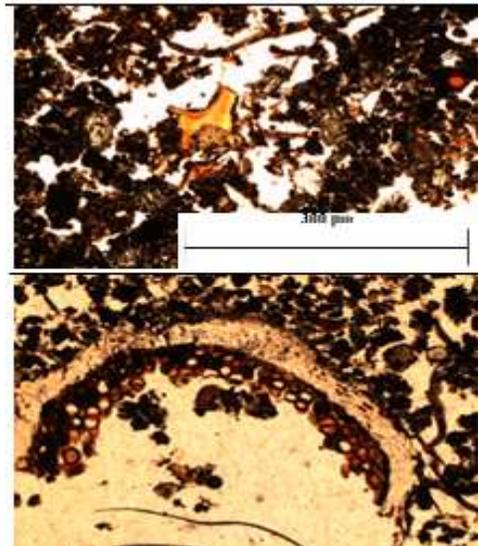


Figura 29. Fragmento orgánico y mineral del Horizonte A

Horizonte BA

Dentro del horizonte BA se puede seguir observar la integración entre una capa orgánica y mineral. Tiene una estructura granular y una

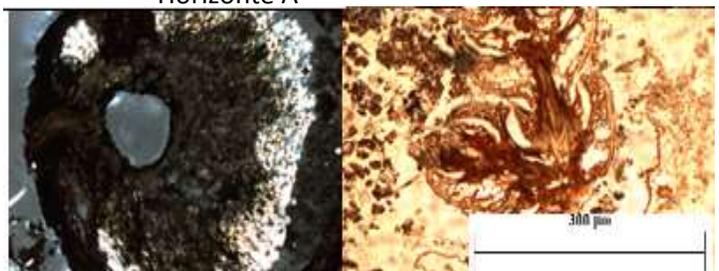


Figura 30. Componente mineral y orgánico del Horizonte BA

micromorfología masiva que rompe a bloques subangulares además de la presencia de carbón.

Horizonte B1

En este horizonte (B1) hay un aumento de limo y arena, se pueden ver materiales con intemperismo y hay una escasa presencia de tejido vegetal y carbón. Respecto a su estructura presenta una macroestructura de bloques subangulares y una microestructura masiva.

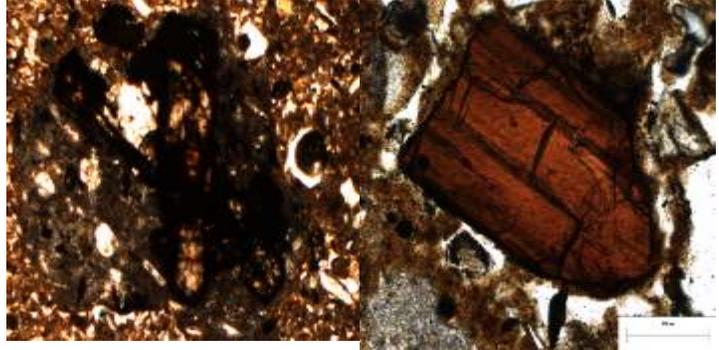


Figura 31. Material intemperizado.

Horizonte B2

El horizonte B2 se caracteriza por tener iluviación de arcilla y una estructura a nivel macro en bloques, en tanto que micromorfológicamente es masiva. Presenta minerales fragmentados.



Figura 32. Plagioclase degradada visto en luz nolarizada.

Horizonte Bt

En el horizonte Bt se puede observar dos tipos de materiales, que pueden ser producto de dos eventos eruptivos, por los que unos están más degradados que otros, además de que por su

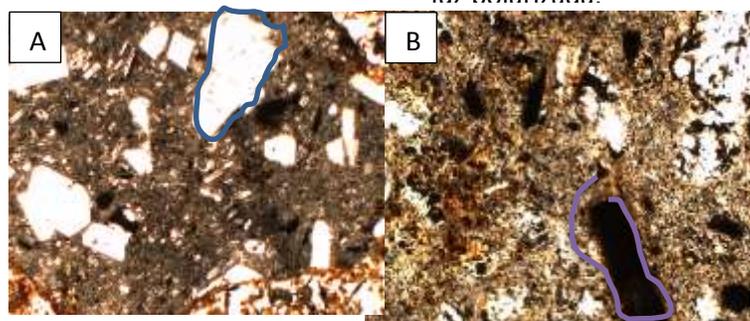


Figura 33. Material encontrado en el Horizonte Bt

composición se piensa que es material andesítico-basáltico; en la figura 33 A, se puede observar la presencia de plagioclase (circunferencia azul), mientras que en la 33 B se observaron plagioclase alteradas (circunferencia morada). Además de que se observó lo que puede ser un olivino o piroxeno.

Horizonte	Campo						Laboratorio			
	Prof. (cm)	Color	Textura	M.O	Alófanos	Estructura	pH	DR g/cm ³	DA g/cm ³	%poros
A	0-10	10YR 4/4	Franco arcilloso	+	++++	Granular	5	2.166	0.822	37.950
AB	10-15	10YR 5/4	Franco arcilloso limoso	+	++++	Granular	5	2.572	0.973	37.830
B1	15-95	10YR 6/6	Franco arcillo arenoso	++	++	Bloque subangular	5	2.554	0.961	37.627
B2	95-120	10YR 7/4	Franco arcilloso	++++	-	Bloque subangular	5	2.564	----	----
BT	120-170	10YR 6/4	Franco limoso grueso	+++	-	Bloque subangular	6	2.597	0.892	39.347

Tabla 9. Descripción física y química del perfil MMOBI tardío.

Horizonte	A	AB	B1	B2	BT
Profundidad	0-10	10-15	15-95	95-120	120-170
Estructura	Bloque subangular → Granular	Bloque subangular	masivo → Bloque subangular	Masivo	Masivo
Grado de Separación	Débilmente separados	Moderadamente separados	Débilmente separados	Débilmente separados	Débilmente separados
° de acomodo	Parcial	Parcial	Parcial	Acomodados	Acomodados
Tipo de poro	Empaquetamiento compuesto	Empaquetamiento compuesto	Fisura	Cavidad	Cavidad
Tejido podrido	+	+		+	
Tejido fresco	++	++		+	
Carbón	++	++		+	
Pápulas		+	+		+
Interperismo	++	++	++	+++	+++
Líticos	++	+	+++	+++	+
Coprolitos					
Agrocitanes	+				

Tabla 10. Descripción micromorfológica del perfil MMOBI tardío.

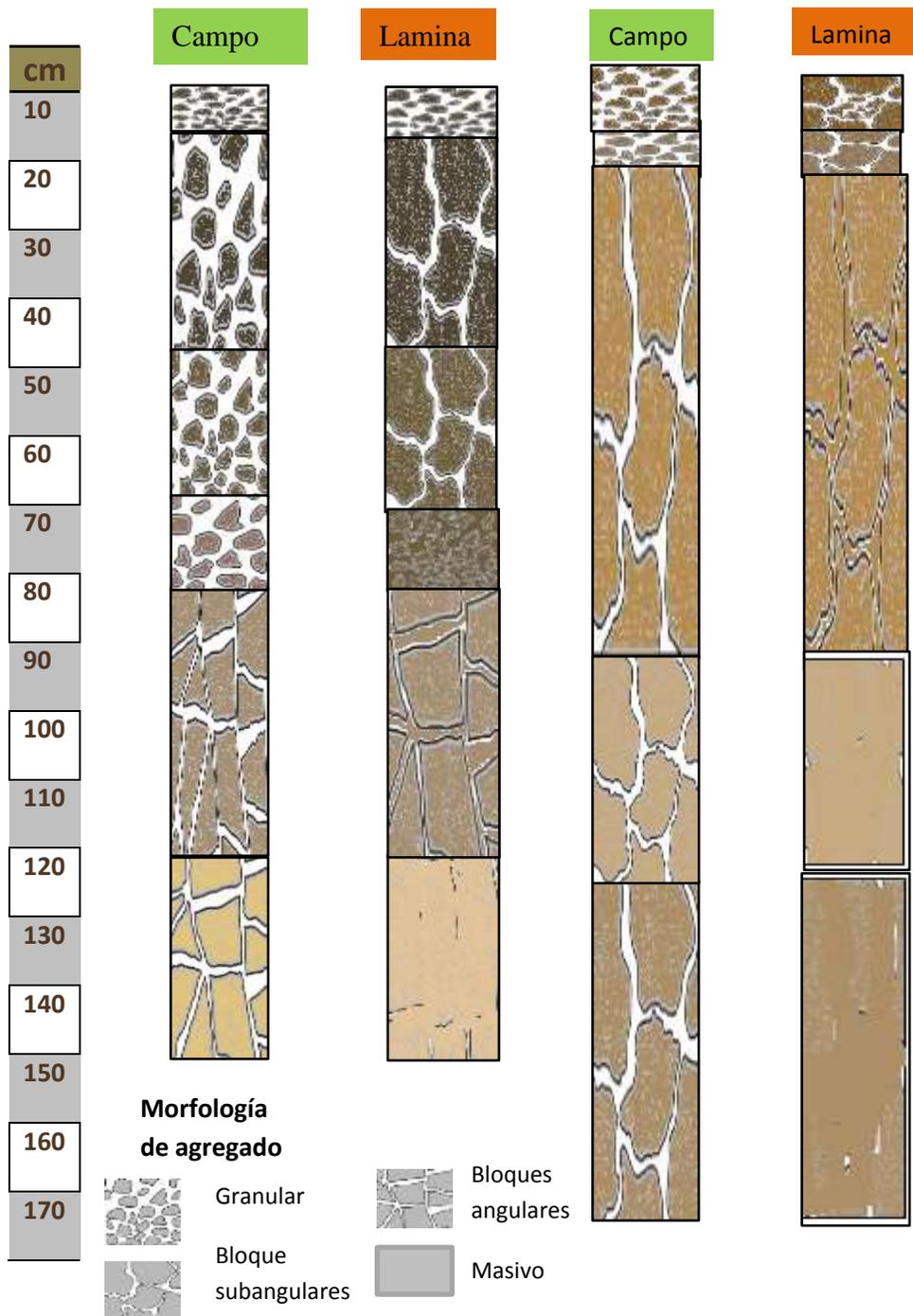


Figura 34. Estructura de MMOBI Temprano y Tardío.

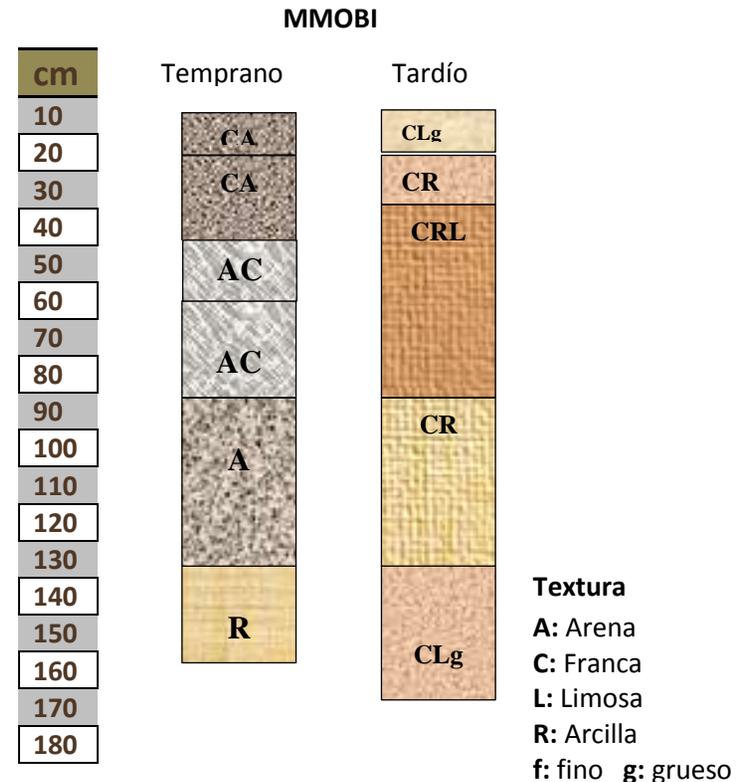


Figura 35. Textura del MMOBI Temprano y Tardío.

Con las características antes descritas, podemos clasificarlo como un andosol; y al hablar de este tipo de suelos, nos referimos a suelos derivados de ceniza volcánica, presentes en áreas bajo la influencia o con presencia de volcanes activos o recientemente extintos.

Una de las propiedades del suelo con mayor relevancia es la estructura, debido a que tiene una mayor relación con otras propiedades físicas y químicas. En las figuras 19, 20, 34 y 35 se puede observar que algunas de las características de los andosoles se encuentran presentes, como la estructura granular y esponjosa, que son comunes en los horizontes orgánicos y superficiales como resultados de la actividad biológica de los organismos que descomponen la materia orgánica. Mientras que en horizontes más profundos se tiene una tendencia hacia una estructura de bloques subangulares y bloques angulares que está relacionada con la actividad biológica de las raíces, las cuales son las responsables del redondeo de los bloques (Brady y Weil, 1999). Con este tipo de estructura, la densidad aparente de los Andosoles es inferior a 0.9 g/cm^3 (Fadda, 2014), lo cual le permite tener una alta capacidad de retención de humedad (alta permeabilidad y porosidad), altos contenidos de amorfos y materia orgánica. Otra de las características físicas importantes en el suelo es la textura, en donde en la mayoría de los suelos con propiedades ándicas presentan una textura franca limosa y franca. El pH de los horizontes superficiales se encuentra entre 5.1-5.5 y en los horizontes profundos el pH es de 6.1-6.5, lo que nos presenta una tendencia de pH ácido. También dentro de las figuras mencionadas se puede observar que la gama de colores de estos perfiles son de colores oscuros (marrón muy oscuro) y en los horizontes superficiales son de colores claros (marrón muy pálido) en horizontes profundos.

Otra de las características que se observó en estos perfiles, es la presencia de material hidrotermal sobre todo en los horizontes más profundos que tiene cutanes disueltos y carcomidos, además de la saturación de arcillas. Las características de estos horizontes hidrotermalizados se pueden relacionar con el último evento

volcánico del complejo Tulancingo-Acoculco reportado por López (2009) en su estudio Evolución volcánica del complejo Tulancingo-Acoculco y su sistema hidrotermal, estados de Hidalgo y Puebla, México. En la cual menciona que este complejo tuvo cuatro eventos eruptivos, en donde, en la etapa terminal se desarrolló un sistema hidrotermal que tiene una descarga lateral hacia el municipio de Chignahuapan, debido a la presencia de los manantiales termales que se encuentran en el lugar. Este último evento se reporta con una edad de 1.62 a 0.2 Ma.

También se menciona que al término de la actividad de la caldera de Tulancingo, se acumularon lavas de composición basáltica que formaron extensas mesetas. Posteriormente, en el área de estudio, tanto las mesetas como los depósitos de la caldera de Acoculco fueron cubiertos por volcanes monogenéticos y sus productos asociados, como lavas y cenizas de caída, así como volcanes escudo, lavas asociadas y algunos domos. La mayoría de este vulcanismo es de composición andesítico-basáltico lo que explica la presencia de anfíboles y plagioclasas.

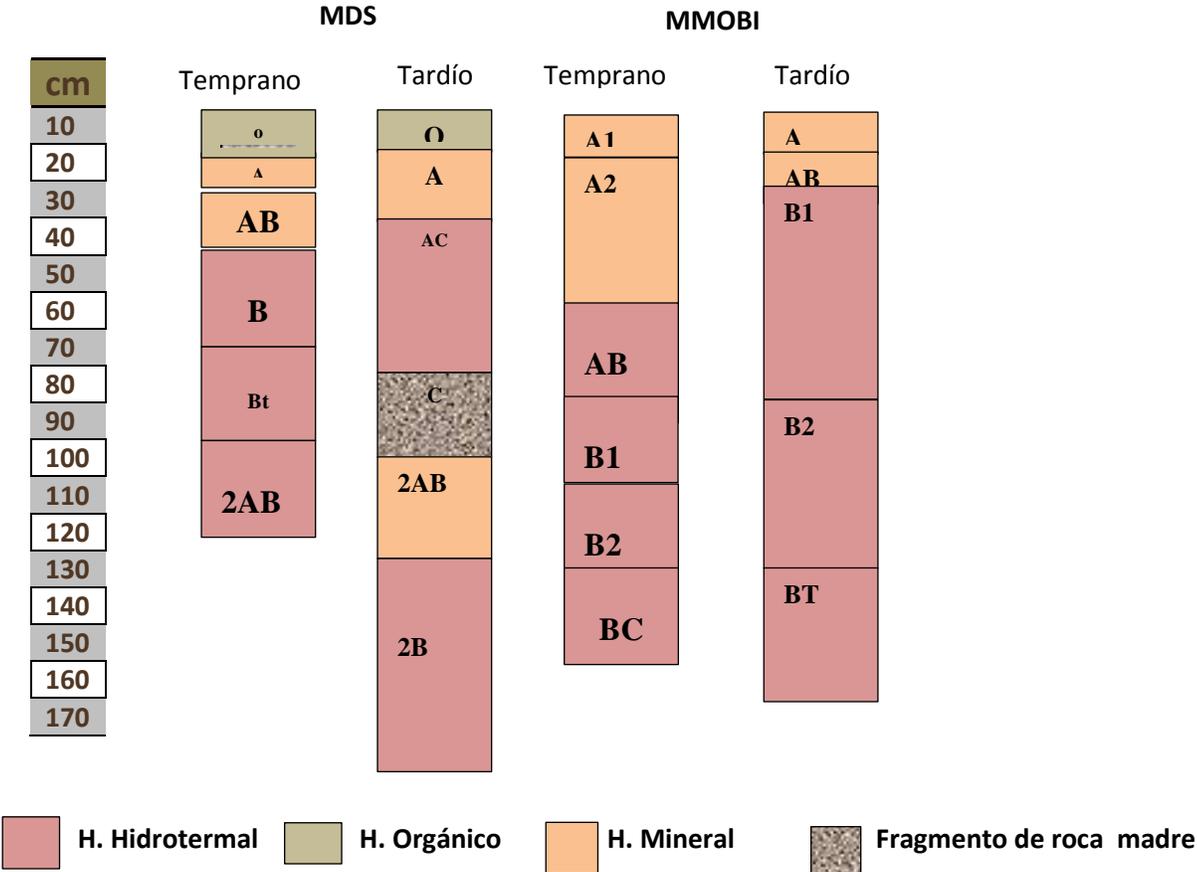


Figura 36. Material encontrado en cada perfil

En la figura 36 se engloban los distintos tipos de horizontes, en donde se puede observar que una gran parte de los horizontes, sobre todo los profundos, están afectados por el evento hidrotermal que ocurrió en la zona de estudio. También se puede observar que dentro del MDS Temprano y Tardío hay presencia de horizontes orgánicos mientras que en el MMOBI no hay horizontes orgánicos presencia de este tipo de horizontes. Para conocer el impacto del manejo forestal, el análisis se concentrará principalmente en los primeros 50 cm de los perfiles, ya que esta profundidad es la que presenta una relación directa con el manejo. En general se puede observar, que los horizontes superficiales presentan una estructura estable macromorfológicamente ya que tiene agregados bien formados y diferenciados. Así también, algunos rasgos micromorfológicos en el MDS tardío y el MMOBI temprano presentan una estructura estable debido a que se pueden distinguir sus distintos agregados, lo que nos indicaría una buena circulación de aire, agua y nutrientes, además de que eso significaría una buena porosidad (MMOBI presenta los valores más altos de porosidad dentro de los perfiles). Esto favorece el desarrollo y la actividad de la fauna del suelo (ayudando a mejorar la estructura), permitiendo una fácil penetración de las raíces, que se observa en los horizontes que van de 15- 30 cm, los cuales presentan una estructura en bloques subangulares, relacionados con la presencia de las raíces, que son las responsables del redondeo de los bloques (Brady y Weil, 1999).

En cuanto al perfil MDS temprano y MMOBI tardío presentan una estructura débil ya que solo en sus primeros diez centímetros se distinguen agregados bien consolidados y en los otros horizontes estructuras masivas, que disminuyen la porosidad, la circulación del aire y la actividad biológica.

Dicho lo anterior, podemos notar que no hay una relación del impacto, ya sea positivo o negativo, sobre el suelo por el manejo forestal. Ya que se pensaría que al tener un mayor tiempo (manejo tardío) de un manejo sobre el suelo se observaría algún cambio en comparación al que tiene un menor tiempo (temprano) de uso pero no se observó nada determinante que marcara esta diferencia.

Capítulo 5. Conclusión

En el municipio de Chignahuapan, Puebla, se practican principalmente dos distintos sistemas de manejo forestal (MDS y MMOBI), los cuales se distinguen por la intensidad de la extracción de madera y sus posibles efectos sobre el suelo, y de los cuales no hay información específica. En el presente trabajo se lograron caracterizar con base a sus propiedades fisicoquímicas y micromorfológicas, para identificar si se ha generado un impacto diferente, asociado al sistema de manejo, sobre los suelos. Con base en los resultados obtenidos, se puede concluir, que no se observaron elementos identificables que nos indiquen un impacto directo y diferente derivado del efecto de manejo, y el tiempo de intervención, sobre el suelo. En los suelos de ambos sistemas, las características identificadas se encuentran dentro de los valores reportados de un Andosol con mínima perturbación actual. Sin embargo, algunas de las características micromorfológicas que se observan, nos sugieren que una posible perturbación más antigua por el manejo, previa al establecimiento de los sistemas forestales, e intrínsecas a sus procesos de formación. Por lo cual, este trabajo sugiere que el manejo silvícola no ha mostrado un impacto significativo sobre los rasgos micromorfológicos de los suelos de sistemas forestales de la región de Chignahuapan.

Bibliografía

- Aguirre-Calderón, O.A. (2015). *Manejo forestal en el siglo XXI. Madera y Bosques* 21(Núm. esp.):17-28.
- Bailey, D. y J.C. Tappeiner (1998). Effects of thinning on structural development in 40 to 100 year old Douglas-fir stands in western Oregon. *Forest Ecology and Management* 108:99- 113.
- Bannister, Jan R, Donoso, Pablo J, & Mujica, Rodrigo. (2016). La silvicultura como herramienta para la restauración de bosques templados. *Bosque (Valdivia)*, 37(2), 229-235. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002016000200001>
- Brady, N. C. and R. R. Weil (1999). *The nature and properties of soil*. Prentice Hall. The, 14th
- CONAFOR (2018), El manejo sustentable de los ecosistemas forestales mexicanos para incrementar la producción y productividad forestal (ENAIPROS). Recuperado de: https://www.conafor.gob.mx/innovacion_forestal/?p=1282

- CONAFOR (2011). Servicios ambientales y cambio climático. Recuperado el 26 de octubre del 2018, de CONAFOR Sitio web: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/5/2290Servicios%20Ambientales%20y%20Cambio%20Clim%C3%A1tico.pdf>
- Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sustentable (CCMSS) . (2012). Estado de los bosques de México estado de los bosques de México. 08 de noviembre del 2018, Agencia para el Desarrollo Internacional (USAID) Sitio web: https://www.researchgate.net/profile/Francisco_Chapela/publication/272743967_ESTADO_DE_LOS_BOSQUES_DE_MEXICO/links/54ecbd3b0cf27bfd7717b76/ESTADO-DE-LOS-BO-SQUES-DE-MEXICO.pdf
- Fadda (2014) Génesis Acciones antrópicas. Cátedra de Edafología - Facultad de Agronomía y Zootecnia, Universidad Nacional de Tucumán
- FAO (2004). Estado y Tendencias de la Ordenación Forestal en 17 Países de América Latina por Consultores Forestales Asociados de Honduras (FORESTA). Documentos de Trabajo sobre Ordenación Forestal; Documento de Trabajo FM/26; Servicio de Desarrollo de Recursos Forestales, Dirección de Recursos Forestales, FAO, Roma. Mayo 2004 (Inédito).
- FAO (2008). Base referencial mundial del recurso suelo. Un marco conceptual para clasificación, correlación y comunicación internacional. Organización de las naciones unidas para la agricultura y alimentación, roma ,2008.
- FAO (2016). El Estado de los bosques del mundo 2016. Los bosques y la agricultura: desafíos y oportunidades en relación con el uso de la tierra. Roma.
- Galicia Leopoldo y Zarco-Arista Alba Esmeralda (2014). *Multiple ecosystem services, possible trade-offs and synergies in a temperate forest ecosystem in Mexico: a review*, International Journal of Biodiversity Science, ecosystem Services & Management, 10:4, 275-288, recuperado de :<https://doi.org/10.1080/21513732.2014.973907>
- García (2015). *Modelo de equilibrio espacial de productos forestales maderables en el estado de Puebla*. (Tesis de maestría en ciencias. Posgrado en ciencias forestales), Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México.
- González, (2001). Estudio regional Forestal UMAFOR No.802, Asociación regional de silvicultores. Recuperado de http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/9/1142ERF_UMAFOR0802.pdf
- Granados-Sánchez; G. F. López-Ríos; M. A. Hernández-García, 2007. Ecología y silvicultura en bosques templados. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 13(1): 67-83, 2007
- Guzmán-Mendoza, R., J.A. Zavala-Hurtado, G. Castaño-Meneses y J.L. León-Cortés. (2014). *Comparación de la mirmecofauna en un gradiente de reforestación en bosques templados del centro occidente de México*. *Madera y Bosques* 20(1):71-83.
- Hernández-Díaz, José Ciro, Corral-Rivas, José Javier, Quiñones-Chávez, Andrés, Bacon-Sobbe, Jeffrey R., & Vargas-Larreta, Benedicto. (2008). *Evaluación del manejo forestal regular e irregular en bosques de la Sierra Madre Occidental*. *Madera y bosques*, 14(3), 25-41. Recuperado en 25 de Octubre de 2018, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712008000300002&lng=es&tlng=es.
- Hernández Ordoñez, L. O., M. del C. Gutiérrez Castorena, C. A. Ortiz Solorio, P. Sánchez Guzmán y E. Ángeles Cervantes. (2017). *Calidad de Andosols en sistemas forestal, agroforestal y agrícola con diferentes manejos en Zacatlán, Puebla*. *Terra Latinoamericana* 35: 179-189. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/573/57350494009.pdf>
- INEGI (2009), Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Chignahuapan, Puebla. Recuperado de http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/21/21053.pdf
- INEGI. (2014). *Cartas de uso de suelo y vegetación* (E1402-E1403-F1411F1412) escala 1:250000, serie IV, Aguascalientes, México.
- INIFAP. (2007), Estudio Regional Forestal caso UMAFOR No. 1001 Guanacevi, Durango. 256 pg.
- Jaramillo, (2014), Introducción a la Ciencia del suelo, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Medellín.
- Loaiza JC, Stoops G, Poch RM, Casamitjana M (Eds). (2014). *Manual de micromorfología de suelos y técnicas complementarias*. Fondo Editorial Pascual Bravo. Medellín, 386 pp

- López Hernández.A. (2009). Evolución volcánica del complejo Tulancingo-Acochulco y su sistema hidrotermal, estados de Hidalgo y Puebla, México. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de http://www.geociencias.unam.mx/geociencias/posgrado/tesis/doctorado/lopez_hdz_aida.pdf
- Luna Isolda, D. Espinosa. (2007). Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana. CONABIO-UNAM. Jiménez Editores e Impresiones. México D.F. 250 p.
- Medina, J.G. y J.D. Tejero-Diez. (2006). *Flora y vegetación del parque estatal Atizapán-Valle Escondido*, Estado de México, México. *Polibotánica* 21:1-43.
- Munsell, 2009. Munsell Soil color book. Munsell Color X-rite, USA.
- Nanzyo, M. (2003). Unique Properties of Volcanic Ash Soils. *Global Environmental Research*, 6, pp. 99-112.
- Rodríguez Rodríguez A., Arbelo C.D., Notario J.S., Mora J.L., Guerra J.A., Armas C.M. (2004). *Contenido y formas de carbono orgánico en andosoles forestales: aproximación a su dinámica. Edafología*, vol. 11 (1), pp.67-102, 2004 sitio web: <http://www.edafologia.net/revista/tomo11a/articulo67.pdf>
- Sanchez Espinos.A.J. y Rubiano Sanabria.Y, (2015), *Procesos específicos de formación de andisoles, afisoles y utilisoles en Colombia*, revista *EIA12* (2), 85-97.
- SEMARNAT ,2014. Método mexicano de ordenación de bosques irregulares. Recuperado de <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2014/CD001808.pdf>
- Siebe C, Janh R. y Stahr. K.(2016). Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. Tercera Edición
- Shoji, S.; Takahashi, T. (2002). Environmental and Agricultural Significance of Volcanic Ash Soils. In Japan. *Global Environmental Research*, pp. 133-135.
- Solís, M.L.E. (2017). Impactos del manejo forestal sobre los almacenes de carbono, nitrógeno y fosforo en ecosistemas forestales templados. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México.
- SSS (2017). Soil survey Manual. United States Department of Agriculture Handbook No.18.
- Solís Moreno, R., O.A. Aguirre Calderón, E. J. Treviño Garza, J. Jiménez Pérez, E. Jurado Ybarra y J. Corral-Rivas, 2006. *Efecto de dos tratamientos silvícolas en la estructura de ecosistemas forestales en Durango*, México. *Madera y Bosques* 12(2):49-64.
- Soil Science Division Staff. (2017). Soil Survey Manual. United States Department of Agriculture: U.S. Department of Agriculture (USDA). Recuperado de: <https://www.iec.cat/mapasols/DocuInteres/PDF/Llibre50.pdf>
- Warkentin, B.P., Maeda, T. (1980). Physical and mechanical characteristics of Andisols. In: B.K.G. Theng (Editor), *Soils with variable charge*, New Zealand Society of Soil Science.