



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

# **POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

## **FACULTAD DE CIENCIAS**

**MORFOGÉNESIS Y TAXONOMÍA DE  
LOS SUELOS DEL EJIDO DE SAN  
CRISTOBAL TECOLIT, MÉXICO**

## **TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS (EDAFOLOGÍA)**

**PRESENTA**

**ING. AGRÓNOMO RODOLFO SERRATO CUEVAS**

**DIRECTOR DE TESIS: DR. JOSÉ LÓPEZ GARCÍA**

**MÉXICO, D.F.**

**JUNIO 2010**



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.

<b>RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>3</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>5</b>
<b>II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>6</b>
2.1. ANTECEDENTES DE LOS SUELOS DE CENIZA VOLCÁNICA.....	6
2.2. CONCEPTOS CENTRALES DE SUELOS DE CENIZA VOLCÁNICA .....	9
2.3. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LOS SUELOS DE CENIZA VOLCÁNICA.....	11
2.4. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LOS VOLCANES.....	11
2.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS.....	13
2.5.1. <i>Características morfológicas</i> .....	13
2.5.1.1. Horizontes del suelo .....	13
2.5.2. <i>Propiedades Físicas</i> .....	16
2.5.3. <i>Propiedades Químicas</i> .....	19
2.5.3.1. Reacción y estado de las bases.....	19
2.5.3.2. Capacidad de intercambio de cationes y fuerza de retención de los cationes.....	20
2.5.3.3. Sorción del fósforo.....	22
2.6. PROPIEDADES MINERALÓGICAS .....	23
2.7. LA CENIZA VOLCÁNICA COMO UN MATERIAL PARENTAL .....	24
2.7.1. <i>Mineralogía de la ceniza volcánica</i> .....	24
2.7.2. <i>Clasificación de vidrios volcánicos</i> .....	25
2.7.2.1. Alófano.....	27
2.7.2.2. Imogolita.....	28
2.8. CONDICIONES DE FORMACIÓN DE LOS SUELOS.....	29
2.9. INTEMPERISMO Y FORMACIÓN DE LOS SUELOS A PARTIR DE LA CENIZA VOLCÁNICA.....	30
2.10. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZA VOLCÁNICA.....	33
2.11. SUELOS VOLCÁNICOS EN MÉXICO.....	38
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>41</b>
3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA.....	41
3.1.1. <i>Localización del área</i> .....	41
3.1.2. <i>Tenencia de la tierra</i> .....	41
3.1.3. <i>Infraestructura agrícola del área de estudio</i> .....	41
3.2. FOTOINTERPRETACIÓN DE LAS FOTOGRAFÍAS AÉREAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	42
3.3. FOTOIDENTIFICACIÓN DEL PAISAJE DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	42
3.4. ELABORACIÓN DEL MAPA BASE.....	43
3.5. PROCESOS DE FORMACIÓN DEL SUELO.....	44
3.5.1. <i>Génesis del suelo</i> .....	44
3.5.1.1. Material parental.....	44
3.5.1.2. Clima.....	44
3.5.1.3. Topografía.....	44
3.5.1.4. Organismos.....	44
3.5.1.5. Tiempo.....	45
3.6. PROCESOS EDAFOGÉNICOS.....	45
3.7. SELECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE MUESTREO.....	45
3.8. DESCRIPCIÓN DE PERFILES DEL SUELO.....	47
3.9. MUESTREO DEL PERFIL .....	50
3.10. MORFOLOGÍA DEL SUELO.....	51
3.10.1. <i>Horizontes genéticos</i> .....	51
3.11. CLASIFICACIÓN DEL SUELO.....	52

3.11.1. Clasificación taxonómica de las tierras del ejido.....	52
3.11.2. Datos para la clasificación Taxonómica.....	52
3.11.2.1. Análisis físicos.....	52
3.11.2.2. Análisis químicos.....	54
3.12. HORIZONTES Y PROPIEDADES DE DIAGNÓSTICO.....	57
3.13. RÉGIMEN DE HUMEDAD Y TEMPERATURA.....	60
3.13.1. Definición del régimen de temperatura.....	60
3.13.2. Definición del régimen de humedad.....	62
<b>IV. RESULTADOS.....</b>	<b>63</b>
4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	63
4.1.1. Ubicación de la zona de estudio.....	63
4.1.1.1. Ubicación geográfica.....	63
4.1.1.2. Ubicación política.....	63
4.1.1.3. Límites.....	63
4.1.1.4. Vías de acceso.....	64
4.1.1.5. Infraestructura agrícola de la zona de estudio.....	64
4.1.1.5.1. Obras hidráulicas.....	64
4.1.1.5.2. Almacenes de uso agrícola.....	66
4.1.1.5.3. Comercialización de los productos.....	66
4.1.1.6. Vías de comunicación de la zona de estudio.....	67
4.1.1.7. Otra infraestructura de la zona de estudio.....	67
4.2. TENENCIA DE LA TIERRA.....	67
4.3. RECURSOS FÍSICOS DEL ÁREA.....	70
4.3.1. Regiones Fisiográficas.....	70
4.3.2. Provincia del Eje Neovolcánico.....	70
4.3.3. Subprovincia de Lagos y Volcánes del Anáhuac.....	70
4.3.4. Vulcanismo.....	71
4.3.5. Estratigrafía.....	72
4.3.5.1. Rocas del basamento.....	72
4.3.5.2. Rocas terciarias.....	72
4.3.5.3. Rocas cuaternarias.....	72
4.3.5.4. Formación Zinacantepec.....	72
4.3.5.5. Pómez Toluca Superior.....	73
4.3.5.6. Depósitos relacionados con la planicie lacustre de Toluca.....	74
4.3.6. Geoforma local.....	74
4.3.7. Hidrología.....	76
4.3.7.1. Cuenca del río Lerma.....	76
4.3.7.2. Subcuenca del río Tejalpa.....	78
4.4. AGROCLIMATOLOGÍA.....	80
4.4.1. Estaciones meteorológicas.....	80
4.4.2. Análisis de los factores climáticos.....	80
4.4.2.1. Temperatura.....	80
4.4.2.2. Precipitación.....	83
4.4.2.3. Evaporación.....	83
4.4.2.4. Granizadas.....	84
4.5. GÉNESIS DEL SUELO.....	86
4.5.1. Material parental.....	86
4.5.2. Clima.....	88
4.5.2.1. Precipitación.....	88
4.5.2.2. Temperatura.....	89
4.5.3. Topografía.....	89
4.5.3.1. Sistema Terrestre Nevado.....	89
4.5.3.2. Sistema Terrestre Tejalpa.....	90

4.5.3.3. Sistema Terrestre San Cristobal.....	91
4.5.4. <i>Organismos</i> .....	92
4.5.5. <i>Tiempo</i> .....	94
4.6. PROCESOS EDAFOGÉNICOS.....	96
4.6.1. <i>Adiciones</i> .....	96
4.6.2. <i>Transformaciones</i> .....	97
4.6.2.1. Meteorización.....	97
4.6.2.2. Humificación.....	97
4.6.2.3. Edafoturbación.....	98
4.6.2.4. Formación de Fragipanes.....	98
4.6.3. Translocaciones.....	99
4.6.4. <i>Pérdidas de componentes</i> .....	99
4.6.4.1. Erosión.....	99
4.7. MORFOLOGÍA DEL SUELO.....	100
4.7.1. <i>Sistema Terrestre Nevado</i> .....	100
4.7.2. <i>Sistema terrestre Tejalpa</i> .....	101
4.7.3. <i>Sistema terrestre San Cristobal</i> .....	102
4.8. HORIZONTES DE DIAGNÓSTICO.....	103
4.8.1. <i>Sistema terrestre Nevado</i> .....	103
4.8.2. <i>Sistema terrestre Tejalpa</i> .....	104
4.8.3. <i>Sistema Terrestre San Cristobal</i> .....	104
4.9. TAXONOMÍA DEL SUELO.....	105
4.9.1. <i>Sistema Terrestre Nevado</i> .....	105
4.9.1.1. Orden del suelo.....	105
4.9.1.2. Suborden del suelo.....	105
4.9.1.3. Gran grupo del suelo.....	106
4.9.1.4. Sub grupo del suelo.....	107
4.9.1.5. Descripción del suelo Typic Melanudands.....	108
4.9.1.5.1. Descripción del Perfil Representativo de Melanudands (Perfil 1).....	109
4.9.1.5.2. Interpretación agronómica de los datos físicos y químicos del suelo.....	113
4.9.2. <i>Sistema Terrestre Tejalpa</i> .....	123
4.9.2.1. Orden del suelo.....	123
4.9.2.2. Suborden del suelo.....	123
4.9.2.3. Gran grupo del suelo.....	124
4.9.2.4. Subgrupo del suelo.....	124
4.9.2.5. Descripción del suelo Alic Pachic Melanudands.....	126
4.9.2.5.1 Descripción del Perfil Representativo de Alic Pachic Melanudands (Perfil 5).....	127
4.9.2.5.2. Interpretación agronómica de los suelos del sistema terrestre Tejalpa.....	131
4.9.3. <i>Sistema Terrestre San Cristobal</i> .....	143
4.9.3.1. Orden suelo.....	143
4.9.3.2. Suborden del suelo.....	143
4.9.3.3. Gran grupo del suelo.....	144
4.9.3.4. Subgrupo del suelo.....	144
4.9.3.5. Descripción del suelo Typic Udivitrands.....	145
4.9.3.5.1. Descripción del Perfil Representativo de Udivitrands (perfil 4).....	146
4.9.3.5.2. Interpretación agronómica de los datos físicos y químicos del suelo.....	148
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>158</b>
<b>VI. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>160</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Clasificación taxonómica de los Andisoles	33
2	Datos generales para el registro de las características del sitio de muestreo.	46
3	Parámetros observados en el sitio de muestreo.	46
4	Parámetros para caracterizar a los horizontes dentro del perfil	48
5	Parámetros para la obtención de las propiedades morfológicas y cualidades del perfil en campo.	48
6	Dotación de tierras del ejido de San Cristóbal Tecolít, Estado de México.	70
7	Red de estaciones climatológicas de la zona de estudio.	80
8	Cálculo del clima de los suelos del ejido de San Cristóbal Tecolít, Estado de México, estación climatológica San Juan de las Huertas.	84
9	Propiedades físicas de Andisoles del Sistema Terrestre Nevado.	119
10	Propiedades químicas de Andisoles del Sistema Terrestre Nevado.	120
11	Propiedades físicas de Andisoles del Sistema Terrestre Tejalpa.	138
12	Propiedades químicas de Andisoles del Sistema Terrestre Tejalpa.	139
13	Propiedades físicas de Andisoles del Sistema Terrestre San Cristobal.	153
14	Propiedades químicas de Andisoles del Sistema Terrestre San Cristobal.	154

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Croquis de localización del ejido de San Critobal Tecolit, Estado de México.	65
2	Litología del ejido de San Critobal Tecolit, Estado de México.	75
3	Geoformas locales de los suelos del ejido de San Critobal Tecolit, Estado de México.	77
4	Subcuenca del río Tejalpa de los suelos del ejido de San Critobal Tecolit, Estado de México.	79
5	Polígonos de Thissen de los suelos del ejido de San Critobal Tecolit, Estado de México.	81
6	Climograma de la estación climatológica de San Juan de las Huertas.	85
7	Topografía de los suelos del Sistema Terrestre Nevado, del ejido de San Cristóbal Tecolit, Estado de México.	90
8	Topografía de los suelos del Sistema Terrestre Tejalpa, del ejido de San Cristóbal Tecolit, Estado de México.	91
9	Topografía de los suelos del Sistema Terrestre San Cristobal, del ejido de San Cristóbal Tecolit, Estado de México.	92
10	Sistemas Terrestres de los suelos del ejido de San Cristóbal Tecolit, Estado de México.	93
11	Perfil representativo de los suelos del Sistema Terrestre Nevado (TYPIC MELANUDANDS)	122
12	Panorámica del sitio del perfil representativo del Sistema Terrestre Nevado (TYPIC MELANUDANDS)	122
13	Perfil representativo de los suelos del Sistema Terrestre Tejalpa (ALIC PACHIC MELANUDANDS)	142
14	Panorámica del sitio del perfil representativo del Sistema Terrestre Tejalpa (ALIC PACHIC MELANUDANDS)	142

Figura		Página
15	Perfil representativo de los suelos del Sistema Terrestre San Cristóbal (TYPIC UDIVITRANS)	156
16	Panorámica del sitio del perfil representativo del Sistema Terrestre San Cristobal (TYPIC UNIVITRANDS)	156
17	Clasificación taxonómica de los suelos del ejido de San Cristóbal Tecolot, estado de México.	187



## RESUMEN

El ejido de San Cristóbal Tecolotit, municipio de Zinacantepec, estado de México, se encuentra dentro del área de influencia del volcán Nevado de Toluca, el cual ha manifestado su actividad durante dos etapas, separadas por un periodo de calma.

Durante la segunda etapa, la actividad volcánica produjo una serie de flujos de pómez y cenizas, depositadas alrededor del volcán. El evento volcánico denominado Pomez Toluca Superior, representada por emisiones de pómez, así como la formación Zinacantepec, descrita como una unidad volcánica de lahares y depósitos vulcano clásticos de composición dacítica, derivados de los depósitos aluviales, y piroclásticos, localizados en la planicie de Toluca, marcaron su influencia en los suelos de la zona de estudio.

La intemperización del material parental desarrolló suelos llamados de ceniza volcánica, y de acuerdo a su análisis, fue posible dividir a la zona de estudio en tres Sistemas Terrestres.

Sistema Terrestre Nevado, suelos con pendiente del 11.73%, altura sobre el nivel del mar entre 3 400 y 3 100 metros, influenciados por las emanaciones del volcán (piedra pómez). Morfología, Ap-A1-Bhw1-Bhw2-Chw1-Chw2, horizontes de diagnóstico Melánico y Cámbico, en área de pino y pasto altamente perturbado, alto grado de humificación, índice melánico de hasta 1.7, alto contenido de Al y Fe activos, densidad aparente baja, carbono orgánico más del 6%, saturación de bases muy baja (< 5%), Al extractable en KCl mayor de 2.0 cmol kg<sup>-1</sup>, Al<sub>o</sub> + 1/2Fe<sub>o</sub>, mayor al 2.0 por ciento, retención de P mayor al 70%. Este Sistema Terrestre se clasificó como Typic Melanudands.

Sistema Terrestre Tejalpa, pendiente varía 5 - 7%, altura entre 3 100 y 2 900 msnm, influenciados por las emanaciones del volcán Nevado de Toluca, morfología Ap-A1-Bhw1-Bhw2-Bhw3-Chw1-Chw2, horizontes de diagnóstico,

Melánico y Cámbico, en áreas de pino y pasto en mayor grado de disturbio que el sistema terrestre anterior, suelos con alto grado de humificación, índice melánico menor de 1.7, presentan friabilidad alta, ligeramente adherentes y ligeramente plásticos, alto contenido de materia orgánica en los horizontes A, saturación de bases extremadamente baja ( $< 5\%$ ), el Al extractable en KCl mayores de  $2.0 \text{ cmol kg}^{-1}$ ,  $\text{Al}_o + 1/2\text{Fe}_o$ , mayor al 2.0 por ciento, retención de P mayor al 60%. Este Sistema Terrestre se clasificó como Alic Pachic Melanudands.

Sistema Terrestre San Cristóbal, pendiente del 1.9%, altura entre 2 760 y 2 900 msnm, el material parental constituido por piroclástos acarreados de la parte alta por el río Tejalpa y depositados en esta parte de la zona de estudio, mayor grado de intemperización llevando a la formación de mayor porcentaje de arcilla, morfología, Ap-Bw-Ctw1-Ctw2, horizontes de diagnóstico son, Ocrico, Cámbico y Fragipan. Con plasticidad y adhesividad. Se clasificó a estos suelos como Typic Udivitrands.

## I. INTRODUCCIÓN

La naturaleza es pródiga con el ser humano, pues ha puesto en sus manos sus recursos para su bienestar, pero el hombre ha abusado y sigue abusando de su nobleza al sobre explotarla, degradarla y contaminarla.

Uno de los recursos naturales que es fundamental para el hombre es el suelo, pues en él edifica su vivienda, obtiene una infinidad de materiales, adquiere materiales para su vestido y lo más importante el suelo es el medio por el cual el hombre extrae sus alimentos necesarios para su alimentación, por lo tanto prácticamente sin el suelo sería extremadamente difícil que el ser humano subsista.

Es por esto, que el conocimiento del suelo es indispensable para el hombre, por ello requiere de un estudio profundo de dicho suelo.

Por lo tanto se debe llevar a cabo una planeación de uso racional de los suelos agrícolas, en este propósito debemos hacer conciencia sobre la impostergable urgencia de planear el uso de los suelos dedicándolos solamente a lo que son más apropiados en la producción agrícola. Esto con el fin de promover el bienestar humano, sin causar deterioro o destrucción del suelo y convencerse de que se trata de un recurso natural vital para el país y sus futuras generaciones.

Para tomar decisiones correctas sobre el uso y manejo del suelo, es básico conocer este recurso en cuanto a sus características, limitaciones y posibilidades de aprovechamiento. La manera de lograr esto en forma sistemática, es por medio de investigaciones de la Génesis, Morfología y Clasificación de los suelos.

Los primeros sistemas de clasificación de suelos eran muy simples y prácticos sin embargo al aumentar el refinamiento de la agricultura, los conocimientos sobre los suelos como conjunto de cuerpos naturales tridimensionales independientes e

incrementarse la diversidad y complejidad de los usos de los suelos, su clasificación se ha hecho más científica y ordenada.

A medida que se ha profundizado en el conocimiento de la Física y la Química del suelo, se toman en cuenta estos conocimientos para la definición de los órdenes, grandes grupos en Taxonomía de Suelos, Unidades de Suelos en FAO/UNESCO.

La clasificación Taxonómica de los suelos es la base para su correlación y para la transferencia de tecnología. La taxonomía de suelos es un sistema de clasificación de suelos que permite entender las relaciones entre suelos, agrupar los que tienen características similares. O sea correlacionarlos y predecir su respuesta al manejo y ubicar las zonas para usarlas adecuadamente.

## **OBJETIVOS**

General.

Realizar la clasificación de los suelos del ejido de San Cristóbal Tecolít, Estado de México.

Particulares.

Determinar la génesis y morfología de los suelos del ejido de San Cristóbal Tecolít, Estado de México.

Realizar la clasificación taxonómica de los suelos del ejido de San Cristóbal Tecolít, Estado de México, empleando las Claves para la Taxonomía de Suelos del USDA.

## II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Antecedentes de los suelos de ceniza volcánica

Los suelos derivados de ceniza volcánica difieren bastante de los suelos derivados de otros materiales parentales. La característica de los materiales de ceniza volcánica que es única en ellos, se refiere a la presencia de minerales silicatados amorfos y fácilmente intemperizables.

Las propiedades físicas y químicas de los suelos derivados de ceniza volcánica están fuertemente influenciadas por el grado de intemperización de los materiales piroclásticos. Por lo tanto, el grado de intemperización tiene una influencia importante en la productividad y manejo de los suelos derivados de cenizas (Ishizuka y Black, 1977).

Los depósitos de los materiales piroclásticos se dividen en dos tipos principales: depósitos de origen aéreo y, depósitos de arrastre. Los depósitos de origen aéreo se derivan de la acumulación de los sólidos de arrastre. Los depósitos de origen aéreo se derivan de la acumulación de los sólidos arrojados por los volcanes y transportados por el aire, en tanto que los depósitos de arrastre se derivan de los materiales que son transportados pendiente abajo desde el cráter.

Los depósitos de origen aéreo pueden contener varios tipos de materiales piroclásticos, tales como ceniza y arena volcánica, lapilli y ceniza de lava. Estos materiales difieren en sus características morfológicas y también en su distribución alrededor del cráter.

Durante el periodo entre dos erupciones, el depósito de las erupciones más tempranas sufre intemperización, las plantas crecen en él, y la materia orgánica se acumula en la parte superior. Al ocurrir la siguiente erupción, nuevos materiales piroclásticos cubren la superficie original, y la capa de acumulación de materia

orgánica en la superficie original del suelo es sepultada. De este modo, los suelos derivados de ceniza volcánica pueden tener una o más capas de acumulación de materia orgánica bajo la superficie, similares a aquellas que normalmente se encuentran en la superficie (Ishizuka y Black, 1977).

En relación con la depositación de la ceniza volcánica, Yamada (1951) señaló que la distribución de los materiales piroclásticos es influida por la forma del cráter, la dirección del viento en el momento de la erupción y la magnitud de la erupción.

A menudo ocurre que, dentro de un estrato de un depósito de origen aéreo dado, el tamaño de las partículas de ceniza aumenta con la profundidad, desde ceniza en la parte superior a arena en la parte media y pómez en la inferior. Si el depósito es profundo, la intemperización es baja al principio, debido a la capacidad limitada de la pómez más gruesa para retener agua. A medida que la intemperización avanza, se forma alofano, y la capacidad de retención de agua aumenta (Ishizuka y Black, 1977).

De acuerdo con Yamada *et al.*, 1935, las propiedades de la pómez intemperizada en la parte inferior de la capa de depósitos de origen aéreo difiere considerablemente de las de la pómez fresca. La capacidad de retención de agua de la pómez intemperizada es más del doble que la de la pómez fresca, su capacidad de retención de fósforo es extremadamente alta, su capacidad de intercambio de cationes es alta, y su color es amarillo parduzco en vez de blanco.

El término “suelos de ceniza volcánica” es comúnmente usado para designar suelos formados de tefras o materiales piroclásticos. Como muchos de esos suelos tienen propiedades únicas por herencia o asociados con las propiedades de las tefras, el término general “suelos de ceniza volcánica” es aún usado para denotar Kurobokudo (Tercera División de Suelos, 1973), y Andosoles (Soil Survey Staff, 1990, 1992). Por lo tanto, no todos los suelos de ceniza volcánica son Kurobokudo, Andosoles o Andisoles y viceversa. Hay Espodosoles, Inceptisoles,

Molisoles, Oxisoles, etc, derivados de tefras, y hay algunos Kurobokudos (Shoji *et al.*, 1993).

Una variedad de nombres de suelos connotativos de suelos de ceniza volcánica han sido propuestos en Japón como sigue: Francos vulcano-geneos (Seki, 1913), suelos forestales café de llanura (Kamoshita, 1955), suelos volcánicos (Yamada, 1951), suelos volcánicos negros (Uchiyama, *et al.*, 1954), suelos alofánicos húmicos (Kanno, 1961) y Kurobokudo (Tercera División de Suelos, 1973). La FAO/UNESCO (1974) también registra varios nombres de suelos para describir suelos de ceniza volcánica en todo el mundo: Franco café-amarillentos y suelos pumicíticos amarillo-café (Nueva Zelanda); suelos húmico alofánicos, suelos Trumao (Chile); suelos bruns tropicales sobre materiales volcánicos (Zaire); Andosoles (Francia); Andosoles (Indonesia); Kurobokudo (Japón), Andepts (USA); suelos volcánicos (USSR). Es interesante notar que los nombres del suelo, tales como “Andosoles” y Andepts” se originaron para “Suelos de Ando”, mientras no hay nombre de suelo Japonés acuñado para el término “Ando” (An; oscuro: do; suelos), porque “Ando” es una palabra japonesa no común literalmente traducida como “suelos oscuro” (Shoji *et al.*, 1993).

“Suelos de Ando” fue introducida primero en 1947 por el Soil Survey Staff en Japón por científicos americanos de suelo (Simonson, 1979). Las características principales de los suelos de ceniza volcánica fue la base para el reconocimiento del nuevo Gran Grupo del suelo en el orden intrazonal (Simonson, 1979) están descritas abajo:

(1) Los horizontes A1 usualmente son profundos y oscuros, y falta en los suelos el horizonte E excepto en Podzoles. Las cantidades de materia orgánica en los horizontes A1 comúnmente el rango es superior al 15% y hasta el 30% en casos extremos. El rango de la relación C/N de la materia orgánica es de 13 a 25.

(2) Donde no es cultivado, el suelo es moderadamente a fuertemente ácido con rangos de pH de 4.5 a 5.1 en los horizontes A y 5.0 a 5.7 en las profundidades del perfil. Los niveles de bases cambiables son bajos, fluctuando de 2 a 9 cmol(+)



kg<sup>-1</sup> de material del suelo, considerando el Al intercambiable (en NH<sub>4</sub>Cl M) excede de 3 cmol(+) kg<sup>-1</sup> generalmente y fluctúa arriba de 8 cmol(+) kg<sup>-1</sup> (Shoji *et al.*, 1993).

(3) Las proporciones silicato-sesquióxido de las fracciones coloidales con rangos de 1.3 a 2.0 en los horizontes A y de 0.75 a 0.90 en las profundidades del perfil de esos suelos en Honshu. En Kyushu, los rangos correspondientes en proporción son 0.4 a 1.13 en los horizontes A y 0.67 a 1.03 en la profundidad del perfil.

El término “Suelos de Ando” apareció por primera vez en la revista de Ciencia del Suelo en 1949 y en aquel tiempo el grupo Ando fue identificado extensivamente en regiones separadas en el mundo (Simonson, 1979).

El término “Suelos de Ando” es aún usado extensivamente, fue reemplazado por “Andepts” (actualmente orden Andisol) como un suborden de los Inceptisoles en la Taxonomía del Suelo (Soil Survey Staff, 1975, 1990, 1992). Una parte del nombre original “Suelos de Ando” fue retenido en la acuñación de los nuevos nombres de Andosoles y Andisoles.

## **2.2. Conceptos centrales de suelos de ceniza volcánica**

El nombre japonés “Kurobokudo” (Kuro) medio negro (bokus) esponjoso (do) suelos ha sido usado tradicionalmente en Japón. El concepto central para Kurobokudo incluye lo siguiente (Tercera División del Suelo, 1973, 1982):

- \_\_\_ El material parental constituido por ejectas volcánicas.
- \_\_\_ La secuencia de horizontes comúnmente presentan horizontes A, coloreados de oscuro sobre horizontes B café o amarillentos.
- \_\_\_ El material del suelo es vitric y/o rico en alofano.
- \_\_\_ Los suelos alofánicos tienen una baja densidad aparente, una alta capacidad de intercambio, y alta adsorción de fosfato.

Los Andepts fueron organizados como suelos inmaduros (Inceptisoles) que no tienen desarrollados caracteres de diagnóstico para otros órdenes del suelo (Soil Survey Staff, 1975). El concepto central puede ser resumido como sigue:

- \_\_\_ El material parental es en su mayor parte material piroclástico.
- \_\_\_ El material del suelo contiene una apreciable cantidad de alofano y presentan baja densidad aparente, o
- \_\_\_ El material del suelo en su mayor parte es vitric.

Por comparación de los dos conceptos centrales descritos arriba, muestran que el concepto central local de Kurobokudo enfatizan la existencia de horizontes A coloreados de oscuro mientras que Andepts incluyen algunos materiales no tefríticos tales como rocas piroclásticas, rocas sedimentarias, o rocas ígneas extrusivas básicas. Ambos conceptos indican que las únicas propiedades físicas y químicas son principalmente atribuidas al alofano. Andosoles descritos por Duchaufor (1982), Fitz Patrick (1971), tienen un concepto central similar que los Andepts.

Antes de 1978, los Andisoles fueron considerados como suelos dominantes por la mineralogía alofánica. El descubrimiento de los Andisoles con mineralogía no alofánica por Shoji y Ono (1978) iniciaron una revolución del concepto central de Kurobokudo, Andosoles y Andepts, porque los suelos no alofánicos comparten muchas de las propiedades físicas y químicas originales exhibidas por suelos alofánicos. El nombre "Andepts" fue cambiado por "Andisoles" en la propuesta de Andisoles (Smith, 1978), y el concepto central de "Andisoles" estuvo basado en la presencia de formas activas de Fe y Al, tales como los materiales no cristalinos, alofano, imogolita, ferrehidrita o complejos humus-alumino (Leamy *et al.*, 1988).

Como se describió arriba, hay muchos nombres del suelo referidos a suelos de ceniza volcánica.

Sin embargo, ninguno de ellos está definido tan precisamente como los Andisoles.

### **2.3. Distribución geográfica de los suelos de ceniza volcánica**

La distribución de suelos derivados de materiales volcánicos está estrechamente paralela a la distribución mundial de volcanes activos y recientemente activos. Porque de esa asociación, la distribución de suelos de ceniza volcánica es geográficamente previsible. Los suelos de ceniza volcánica cubren aproximadamente 124 millones de hectáreas o 0.84% de las tierras de la superficie terrestre (Leamy, 1984). Aproximadamente el 60% de suelos de ceniza volcánica ocurren en los países tropicales. Aunque los suelos de ceniza volcánica comprenden una relativa baja extensión de la superficie de la tierra, representan un muy importante recurso de la tierra debido a la alta población humana viviendo desproporcionadamente en esas regiones (Bullard, 1984).

### **2.4. Distribución geográfica de los volcanes**

La gran mayoría de los volcanes activos y recientemente extintos están concentrados en el anillo del fuego circun-pacífico. Este anillo incluye muchos volcanes de Nueva Zelanda, Malasia, las Filipinas, Japón, Kanchatka, las Aleutianas, Alaska y la costa oeste de norte América a sur América (Bullard, 1984).

Los volcanes en el anillo del fuego del Pacífico están asociados con montañas volcánicas geológicamente jóvenes o aún creciendo y presentan altos índices de explosión de aproximadamente el 80 por ciento (Katsui, 1978). Sus rocas y tefras son en su mayor parte andesitas pertenecientes a la serie de rocas alcali-calcáreas. Así, los volcanes de este cinturón dispersa tefras andesítica resultando una extensión de distribución de andisoles o suelos de ceniza volcánica en sus proximidades.

La faja volcánica Alpina- Himalaya se extiende por las islas Canarias y Maderis continua a la región Mediterránea incluyendo Italia y Sicilia, la frontera Turca-Armenis y la montaña Demavend en Iran. La faja volcánica reaparece en Birmania

y es localizada en Sumatra, Java y las islas Lesser Sunda en Indonesia (Bullard, 1984). Hay muchos volcanes andesíticos activos a lo largo de la faja.

Muchos volcanes activos ocurren en la vecindad del mar Rojo en África central estando asociados con los grandes Valles Abiertos. Ellos presentan un índice de explotación medio de aproximadamente el 40 por ciento y sus eyectas son de varias rocas alcalinas caracterizadas por un alto contenido de  $K_2O$  (Katsui, 1978).

Alrededor del 17 por ciento de los volcanes activos conocidos en el mundo ocurren entre la verdadera cuenca del océano (Bullard, 1984). Las eyectas de esos volcanes son mayormente basalto y los índices de explosión son muy bajos (por ejemplo 1 – 3 por ciento para volcanes basálticos en Hawai) (Katsui, 1978). Así, la dispersión de las tefras de estos volcanes no son extensas y los Andisoles formados por estas eyectas bajo condiciones perhúmedas, isohipertérmicas como en Hawai son muy ricos en Al no cristalino e hidróxidos de Fe, reflejando el alto contenido de esos elementos en el material parental.

Los Andisoles están distribuidos preferencialmente en regiones donde los volcanes activos y recientemente extinguidos están localizados como se presenta en el Mapa de “Grandes Regiones de Suelos en el Mundo” con una escala de 1:30 000 000 que ha sido preparada por Eswaran *et al.*, (1992). Esta investigación del suelo está basada en un reciente mapa producido por la FAO en 1990. Las unidades cartografiadas están definidas por el suborden de la Taxonomía del Suelo y el régimen de temperatura. Así, la distribución de los cinco subórdenes de Andisoles como Cryans, Xerands, Vitrandis, Ustands, Udands están presentados en el mapa.

Las principales regiones en el mundo donde los Andisoles se encontraron esta resumido por Leamy (1984) como sigue:

- En Europa: Italia, Sicilia, Sardinia, Francia (maciso central).

- En África y el Océano Índico: Kenya, Rwanda, Tanzania, Etiopía, Camerún, Malasia, Reunión, Islas Canarias, Uganda, Sudan, Zaire.
- En América: Alaska, Colombia Británica, Washington, Oregón, California, México, Costa Rica, Panamá, Honduras, Guatemala, el Salvador, Nicaragua, Antillas, Ecuador, Colombia, Peru, Chile, Argentina, Bolivia.
- En Asia y el Pacífico: Hawai, Islas Aleutianas, Papua Nueva Guinea, Islas Solomón, Fiji, Samoa, Tonga, Nueva Zelanda.

Dudal *et al.*, (1983) reportó una estimación de la extensión de andisoles en las grandes regiones en desarrollo del mundo como sigue: 5 424 000 ha para África; 59 000 ha para el sureste de Asia; 7 353 000 ha para el suroeste de Asia; 30 421 000 ha para América del Sur y 13 526 000 ha para Centro América.

## **2.5. Características de los Suelos.**

### **2.5.1. Características morfológicas.**

No se ha definido un horizonte de diagnóstico central para el concepto del orden Andisol como describió Leamy *et al.*, (1980). Sin embargo, nombres locales tales como Kurobokudo (suelo negro-esponjoso) en Japón (Otowa, 1986) y Trumao (suelo de ceniza volcánica con piedras ligeramente descompuestas por el tiempo a un suelo ácido negro) en Chile (Wright, 1964; Leamy *et al.*, 1980) sugieren que los Andisoles tienen algunas características morfológicas generales. Dichas características dependen mucho de la descripción y caracterización de los datos de pedones de Andisoles presentados en la reunión del Comité Internacional sobre la Clasificación de Andisoles (ICOMAND), (Shoji *et al.*, 1993).

#### **2.5.1.1. Horizontes del suelo**

Los Andisoles pueden tener varios horizontes superficiales tales como, hístico, mólico, ócrico, melánico, fúlvico o úmbrico. De estos, los horizontes melánicos y fúlvicos han sido introducidos como horizontes superficiales distintivos para

Andisoles con horizontes gruesos de humus (Leamy *et al.*, 1988; Shoji, 1988; Soil Survey Staff, 1990, 1992). El epipedón melánico tiene requerimientos de profundidad, espesor, color, índice melánico y contenido de carbono.

Los Andisoles melánicos están entre los más negros de todos los suelos en el mundo. El color negro (Value y croma húmedo de Munsell es 2 o menos) es atribuido a la materia orgánica con una predominancia de ácido húmico tipo-A que presenta el grado más alto de humificación (Shoji, 1988). El horizonte superficial fúlvico debe satisfacer todos los requerimientos para el epipedón melánico excepto el requerimiento del color melánico y el índice melánico. La materia orgánica de Andisoles fúlvicos está dominada por ácido fúlvico, y el ácido húmico es mayormente del tipo-P que muestra un espectro de absorción claramente diferente que el ácido húmico tipo-A. Así, la separación de los Andisoles melánico y fúlvico esta conducido sobre la base del color del suelo y el índice melánico (Shoji, 1988).

Varios horizontes subsuperficiales son también observados en los Andisoles. Los Andisoles que tienen horizontes de diagnóstico subsuperficial Placic y Duric son clasificados en el Gran Grupo Placic y Duric, respectivamente (Soil Survey Staff, 1990, 1992).

Los Andisoles que tienen AC, ABC o multisequum de estas sucesiones de horizontes. Andisoles jóvenes formados de cenizas gruesas, de pumicita o escoria ceniza presentan el perfil AC. Son vitric y tienen baja retención de agua a 1 500 kPa. La depositación intermitente de tefras y subsecuente formación del suelo resulta en el desarrollo de Andisoles con un perfil multisequum.

Algunos multisequum de Andisoles tienen horizontes C o capas de ceniza de colores claros en el perfil superior. Este horizonte C o capas de ceniza de colores claros, pueden ser fácilmente confundidos con un horizonte álbico (Ito *et al.*, 1991b). Si el horizonte C de un Andisol presenta una secuencia de horizontes

A-C-2Ab-2Bwb es erróneamente identificado como un horizonte espódico. (Shoji *et al.* 1993).

El horizonte A muy oscuro está claramente diferenciado del B o del C marrón amarillento y cualquiera de estos horizontes puede presentar estratificaciones deposicionales, la cual puede atenuar o acentuar sus características genéticas verdaderas.

El horizonte A tiene una estructura fina, granular o migajosa; el horizonte B, si está presente, muestra una estructura de bloques débilmente desarrollada, a menudo difícil de observar en la masa cuando húmeda, pero muy manifiesta, en forma de grandes fisuras ocasionadas por contracción, cuando el suelo está sujeto a secado.

Inmediatamente debajo del horizonte A, el suelo es usualmente más friable de todo el perfil. Uno o más horizontes endurecidos (hardpan) pueden estar presentes en él, pero estos por lo general son deposicionales y sus propiedades intrínsecas pueden llegar a reducirse o a acentuarse con los procesos formadores del suelo.

Los suelos están en la mayoría de los casos, bien drenados y bien aireados. A menudo se manifiestan capas superficiales enterradas, o puede haber zonas “agrietadas” marcando los límites de las capas de ceniza de diferentes edades, en aquellos lugares en los cuales no ha habido tiempo para el desarrollo del suelo superficial. En la base de cada capa hay frecuentemente otra de partículas gruesas resultado de erupciones en las primeras etapas.

Si hay una alta concentración de coloides amorfos, los taludes del suelo descubierto, pueden mostrar un marcado agrietamiento tanto horizontal como verticalmente los subsuelos pueden no dispersarse fácilmente en agua pero

cuando se frotran entre los dedos de la mano, pueden mostrar un efecto grasoso y moderada plasticidad. (Cortés. 1966).

### **2.5.2. Propiedades Físicas**

El color del suelo de los Andisoles es determinado por el tipo de tefra, el tipo y cantidad de materia orgánica del suelo y la composición de los productos de la intemperización. Tefras recientes presentaron varios colores fluctuando del blanco al negro de acuerdo a su composición química y vesicularmente. Las tefras vesiculares de composición riolítica, dacita y andesita son comúnmente blancas a grises en color porque están dominadas por vidrio no coloreado y concentraciones bajas de minerales máficos. Cuando son sometidas al intemperismo en horizontes no húmicos con un régimen de humedad údico, se convierten en amarillas o rojas dependiendo según los minerales de hierro formados. Horizontes no húmicos de Andisoles bien drenados en las regiones templadas y frías son amarillos a café-rojizos, reflejando la formación de goethita y ferrehidrita (Soil Survey Staff, 1992).

Las tefras de composición basáltica y andesita basáltica son negras a café-rojizas porque tienen una gran cantidad de vidrio coloreado y minerales máficos. El color de esas tefras intemperizadas en horizontes no húmicos es similarmente determinado por el tipo y cantidad de minerales de hierro formados.

El color de los horizontes húmicos en Andisoles es primariamente determinado por el contenido y propiedades de la materia orgánica del suelo. En general, el obscurecimiento de los horizontes húmicos tiende a incrementarse con el aumento del contenido de carbono orgánico, la relación de ácido húmico a ácido fúlvico y el grado de humificación del ácido húmico (Soil Survey Staff, 1992).

Los Andisoles presentan una amplia variación en la textura del suelo dependiendo del tipo y tamaño de las partículas de las tefras, modo y grado de intemperismo, etc. Por lo tanto, es común que haya una diferencia significativa entre la textura del suelo determinada en el campo y en el laboratorio por análisis mecánico



porque materiales no cristalinos frecuentemente inhiben la dispersión de las partículas minerales. Así, modificadores que reemplazan los nombres de las clases de tamaño de las partículas son empleados (Soil Survey Staff, 1990, 1992).

Los substitutos para las clases fragmental incluyen “pomaceas” y “ceniza” y para las clases no fragmentales “ceniza esquelética”, “media”, “media pomacea”, “media esquelética”, “hydrous”, “hydrous pomacea” y “esquelética hydrous”. De estas, “ceniza”, “media”, e “hydrous” requieren mediciones de la retención del agua a 1 500 kPa que aproximadamente reflejan las cantidades de coloides minerales y orgánicos en el suelo (Shoji *et al.*, 1993).

Los Andisoles tienen estructura del suelo que reflejan la abundancia de materiales no cristalinos y materiales orgánicos y contribuyen a la densidad bruta baja. La superficie de los suelos primariamente tienen estructura granular y ocasionalmente estructura de bloques subangulares. El tamaño y grado de esas estructuras presentan una amplia variación reflejando la clase del material del suelo, cultivo y clima (secado y humedecimiento y deshielo y congelamiento). El cultivo de Andisoles tiende a promover la formación de estructura blocosa angular.

Los horizontes subsuperficiales (horizontes Bw) de Andisoles típicamente tienen estructura de bloques subangulares que es más grande en tamaño y frágil en resistencia comparada con la misma estructura encontrada en los horizontes superficiales. Algunos horizontes B de Andisoles presentan estructura prismática. Los horizontes superficiales de Andisoles jóvenes son formados por tefras gruesas frecuentemente carecen de estructura y son de grano simple.

El desarrollo de la estructura del suelo en Andisoles está estrechamente relacionado con las propiedades físicas únicas de Andisoles tal como alta retención de agua, alta porosidad y buen drenaje que son favorables para el crecimiento de la raíz de la planta (Ishizuka y Black. 1977).

Los estratos superficiales de los suelos del grupo ando, comúnmente presentan estructura granular. Esta situación implica una aceptable buena agregación y permeabilidad al agua en comparación con lo que ocurre en otros tipos de suelos.

Varios trabajos han sido publicados sobre los mecanismos de formación de agregados estables en el suelo (Egawa y Sekiya, 1956; Misono y Kishita, 1957b). Todas estas investigaciones enfatizan acerca de la importancia de la materia orgánica. Se mencionan dos estados del proceso. En el primer estado, las partículas simples se unen unas con otras en agregados pequeños (agregados primarios o microagregados) mediante la acción de la arcilla coloidal y de la materia orgánica, y el segundo, estos pequeños agregados son unidos entre sí por la acción de los organismos vivos, incluyendo las raíces de plantas, tejido microbiano, y también por efecto de sustancias tales como poliurónidos o proteínas coloidales que se derivan de la actividad de los microorganismos (Ishizuka y Black. 1977).

Los andisoles también contienen una gran cantidad de materiales no cristalinos que influyen en la consistencia y contribuye significativamente al desarrollo de excelentes propiedades físicas para ambos cultivos y crecimiento de la raíz de la planta.

La consistencia en Andisoles es marcadamente afectada por el contenido de agua. La consistencia en húmedo, determinada con o ligeramente más grande que la capacidad de campo, está caracterizada por la adherencia y plasticidad. Los Andisoles que son ricos en humus y/o arcillas alofánicas son típicamente ligeramente adherentes a no adherentes y ligeramente plásticos a no plásticos. En contraste, Andisoles no alofánicos con bajo contenido de C orgánico son adherentes y plásticos, reflejando las propiedades físicas de capas silicatadas (Leamy *et al.*, 1988).

La consistencia en húmedo, medida en contenidos de humedad entre sequedad y capacidad de campo es notable especialmente para los horizontes superiores de Andisoles. La consistencia en húmedo es típicamente muy friable a friable, reflejando el desarrollo de varios agregados porosos o estructura granular o bloque subangular. Los horizontes masivos más bajos son generalmente firmes (Shoji *et al.*, 1993).

La untuosidad refleja la propiedad tixotrópica de materiales no cristalinos. Esto es una característica para Andisoles hydric como se describió para el suelo Hilo en Hawaii, U.S.A. Solo presión débil es requerida para el material del suelo de Andisol hydric para tornarse líquido. (Shoji *et al.*, 1993).

Una característica muy común de los suelos de ando, puesta de manifiesto por Birrell (1964), es su alto contenido de humedad a través del perfil, asociada con valores bajos en la densidad aparente. Los suelos pueden tener contenidos de humedad comparables con aquellos mostrados por los suelos superficiales altamente orgánicos de origen no volcánico. Cambios en el contenido de agua hasta un pF de 4.2 son muy reversibles, pero en valores de pF más altos, tales cambios pueden llegar a ser muy irreversibles. Esta tendencia hacia secado irreversible explica la superficie agrietada que presentan algunos taludes expuestos al medio ambiente (Cortés, 1966).

### **2.5.3. Propiedades Químicas**

#### **2.5.3.1. Reacción y estado de las bases**

La reacción y el estado de las bases del suelo están influenciados por el tipo de material parental, las condiciones ambientales y el tiempo de intemperización, de acuerdo con el estado de desarrollo.

En términos generales, los suelos del grupo ando muestran una reacción ácida en los horizontes superficiales, con la tendencia de un incremento en el pH (en H<sub>2</sub>O)

del horizonte A generalmente entre 4.0 y 6.5. Como se ha mencionado anteriormente, la acidez en los suelos del grupo ando se origina principalmente de los sitios de cambio de tipo orgánico y no de los sitios de tipo inorgánico, debido a que el alófono es un ácido muy débil. Los suelos jóvenes derivados de cenizas volcánicas son usualmente neutros debido a su aún reducido contenido de materia orgánica y a que la lixiviación de las bases no ha sido muy intensa. Ocasionalmente estos suelos jóvenes pueden ser muy ácidos debido a la presencia de compuestos de azufre, ya que la oxidación de este producto produce ácido sulfúrico. La acidez de los suelos sepultados derivados de cenizas volcánicas generalmente no es muy alta, y los valores de pH (en H<sub>2</sub>O) varían de 5.0 a 6.5 (Ishizuka y Black, 1977).

### **2.5.3.2. Capacidad de intercambio de cationes y fuerza de retención de los cationes**

Los suelos en los cuales una parte importante de la capacidad de intercambio de cationes se deriva del alófono o de la materia orgánica, la capacidad de intercambio de cationes varía marcadamente según el procedimiento con que es determinada. En los suelos del grupo Ando, la capacidad de intercambio de cationes reside principalmente en el alófono y la materia orgánica.

Consecuentemente, la variación en ellos de la capacidad de intercambio de cationes con las condiciones experimentales es especialmente pronunciada, los investigadores japoneses han puesto considerable atención en este tópico debido a la gran importancia que presenta en los suelos del Japón. El término de retención de cationes, ha sido usado para describir las variaciones que ocurren (Birrell y Gradwell, 1964).

El fenómeno básico responsable del comportamiento característico de la materia orgánica y especialmente del alófono a la retención de cationes, es el carácter de ácido débil de los sitios de intercambio (Luciano. 1974).

Kutsuma y Nomoto (1961a) determinaron la capacidad de intercambio de cationes de varios suelos a pH 5 y pH 7 conjuntamente con estudios sobre las principales fuentes de las propiedades de intercambio de cationes. Sus resultados, ilustran las diferencias sustanciales que existen entre la montmorillonita y caolinita por un lado y el alófono y la materia orgánica por otro.

Los suelos del Grupo Ando tienden a perder cationes intercambiables por hidrólisis más rápidamente cuando su concentración en la solución del suelo es baja y, además, que los iones hidrógeno en la solución tienen un gran poder de reemplazo por los cationes básicos.

Estas observaciones ayudan a explicar la pérdida rápida de cationes por lixiviación en los suelos derivados de ceniza volcánica y el bajo contenido de bases intercambiables que muestran en las regiones húmedas.

Muchas investigaciones han demostrado que los suelos del Grupo Ando adsorben preferencialmente calcio sobre amonio o potasio, mientras que otros suelos muestran un comportamiento contrario (Yoshida, 1961).

Yoshida, (1957, 1960 a, b) clasificó las cargas negativas en dos categorías, denominándolas interiores (i) y exteriores (e). Este investigador identificó las cargas "i" con la absorción preferencial por el amonio y potasio sobre el calcio, y la atribuye a sitios interiores de la estructura cristalina de los minerales arcillosos, o sea, las cargas negativas que se originan de la sustitución isomórfica. En cambio atribuyó las cargas "e" a la materia orgánica y coloides inorgánicos amorfos.

En términos generales, los valores de capacidad de intercambio de cationes del Grupo Ando son mayores que aquellos de los demás suelos, y también son mayores en el horizonte superficial que el subsuelo y decrecen en gran medida cuando se trata el suelo con peróxido de hidrógeno para destruir la materia orgánica.

La capacidad de intercambio por gramo de materia orgánica es alrededor de 2.6 m.e. este valor es más pequeño que aquel cuando la materia orgánica se aísla del suelo.

Es posible asumir que la capacidad de intercambio de cationes del horizonte superficial de los suelos del Grupo Ando se debe principalmente a la materia orgánica, aún cuando ésta se encuentra combinada con las arcillas formando complejos, lo cual le hace disminuir parte de su capacidad de intercambio (Ishizuka y Black. 1977).

### **2.5.3.3. Sorción del fósforo**

Los suelos del Grupo Ando se caracterizan por su capacidad de reaccionar rápidamente con grandes cantidades de fósforo, particularmente bajo condiciones ácidas. Consecuentemente, la disponibilidad de fósforo de los fertilizantes fosfatados solubles para las plantas es fuertemente reducida, y solo alrededor del 10% del fósforo aplicado suele ser aprovechado por los cultivos.

La baja aprovechabilidad del fósforo, tanto nativo como aplicado, en los suelos del grupo Ando es indudablemente uno de los factores limitantes más importantes a la producción de los cultivos en estos suelos. Como reducir la pérdida de la aprovechabilidad del fósforo aplicado e incrementar aquella del fósforo nativo son problemas muy importantes en los suelos del grupo Ando dedicados a la agricultura.

En Japón, comúnmente se usa el “coeficiente de sorción de fósforo” como un índice de la capacidad del suelo para reaccionar con el fósforo aplicado. Este coeficiente se obtiene en la forma que a continuación se describe:

Se tratan 50 g de suelos con 100 ml de una solución de  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  al 2.5% durante 24 horas a temperatura ambiente, agitando ocasionalmente. Después de eso, se filtra la suspensión y se determina el contenido de fósforo en ella. La cantidad de fósforo sorbido, expresada en miligramos de  $\text{P}_2\text{O}_5$  por 100 g de suelo, se le denomina el coeficiente de sorción de fósforo (Ishizuka y Black. 1977).

La gran afinidad de los suelos del Grupo Ando por el fósforo es una consecuencia del alófono que ellos contienen. Wada (1989) encontró que el fosfato de amonio reacciona con el alófono, formando un fosfato insoluble (taranakita sustituida con

amonio). Esta reacción tiene lugar muy rápidamente a pH 4 pero es más lenta a pH 7.

La reacción entre el pH y la sorción del fósforo ha sido estudiada por varios autores (Shoji, 1984; Kobo y Akatsuka, 1951; Sekiya, 1970) y los resultados que encontraron han mostrado que a pH más bajos de los suelos del grupo Andó, la sorción de fósforo aumenta.

Se piensa que el aumento de la intensidad de la reacción de los suelos al fósforo, según va descendiendo su pH resulta de una intensificación de la actividad del aluminio sobre la superficie de los coloides minerales inorgánicos (Dixon y Leed. 1977).

## **2.6. Propiedades mineralógicas**

Un aspecto distintivo de suelos derivados del material volcánico es la ocurrencia de un único mineral que asocia el tamaño-arcilla dominado por componentes no cristalinos. Material no cristalino común en los suelos de ceniza volcánica incluyen: alófano, imogolita, sílice opalino, y ferrehidrita. Estos materiales no pueden definirse como " minerales cristalinos" porque ellos no tienen una composición química fija o una estructura regular de estructura tridimensional.

La composición mineralógica de la fracción coloidal de suelos derivados de materiales volcánicos varía ampliamente dependiendo de: (1) las propiedades químicas, mineralógicas, físicas del material parental, (2) intemperización post-deposicional ambiental, y (3) la etapa de formación del suelo. La mineralogía, composición química, y textura del material parental en su mayor parte determina la velocidad de la intemperización química, la cantidad y distribución de reacciones para la síntesis de materiales secundarios, y el pH mediante su influencia sobre la condición del suelo.

## **2.7. La ceniza volcánica como un material parental**

La ceniza volcánica, en el contexto de esta sección, se refiere colectivamente a eyecta volcánica o tefra, incluyendo ambos caída de piroclásticos y materiales fluidos tal como ceniza volcánica, pumice, y escoria (o las carbonillas). Todos los materiales son dominados por el vidrio volcánico que muestra la menor resistencia al intemperismo químico y es así de gran importancia como un material parental. Es el intemperismo rápido que contribuye a la formación de un arreglo coloidal único y las propiedades físicas y químicas que definen al orden del suelo Andisol (Dixon y Leed. 1977).

La caracterización y la clasificación de la ceniza volcánica usualmente se hicieron con base a la composición mineralógica. Sin embargo, puede haber contradicciones importantes entre la clasificación de ceniza volcánica con base en propiedades mineralógicas frente a la composición química (Shoji *et al.*, 1975; Yamada *et al.*, 1975). A causa de la dificultad en clasificar la ceniza volcánica por propiedades mineralógicas, Shoji *et al.* (1975) propuso una clasificación en uno de cinco tipos de roca basado en el contenido total de sílice; riolita, dacita, andesita basáltica, y basalto. La ceniza volcánica que comprenden el material parental del Orden del suelo Andisol que muestran una gama completa de composiciones químicas con la excepción del tipo de roca ultra-básica (Neall, 1985).

### **2.7.1. Mineralogía de la ceniza volcánica**

La composición mineral primaria de la ceniza volcánica está caracterizada típicamente por minerales divisores primeros en las categorías de minerales livianos (gravedad específica (GE) < 2.8 - 3.0) y pesados (GE > 2.8 - 3.0). Los minerales livianos dominan en la ceniza volcánica con una abundancia en su mayor parte entre 70 y 90% (Shoji, 1986; Yoshinaga, 1988). Dentro de la categoría de mineral liviano, la abundancia relativa generalmente sigue: vidrio volcánico no coloreado >> plagioclasa feldespatos >> minerales de sílice (cuarzo, cristobalita y trimidita)  $\cong$  mica. La distribución de plagioclasa y feldespatos alcalinos es



dependiente de la composición química del magma y es por lo tanto bastante variable. En general, el feldespato plagioclasa es más predominante y forma un sólido-solución de serie extendiéndose desde albita ( $\text{NaSiAl}_3\text{O}_8$ ) a anortita ( $\text{CaSi}_2\text{Al}_2\text{O}_8$ ). De las plagioclasas, andesina ( $\text{Ab}_{70}\text{An}_{30}$ - $\text{Ab}_{50}\text{An}_{50}$ ) y labradorita ( $\text{Ab}_{50}\text{An}_{50}$ - $\text{Ab}_{30}\text{An}_{70}$ ) son las más comunes (Yamada y Shoji, 1975; Dethier *et al.*, 1981).

Como uno esperaría, que la composición mineralógica de la ceniza volcánica variara según los tipos de roca (Figs. 5.1 y 5.2). El contenido de minerales cristalinos es más alto en cenizas andesíticas y bajo en ceniza riolítica y basáltica. La ceniza teniendo la composición de riolita, dacita o andesita es dominada por vidrio volcánico no coloreado con la cantidad menor de plagioclasa, piroxenos, y minerales ferromagnéticos. En contraste, la ceniza volcánica de basalto y basalto andesita la composición es dominada por el vidrio volcánico coloreado acompañado por plagioclasa, olivino, piroxenos, y los minerales ferromagnéticos (Dixon y Leed, 1977).

La composición mineralógica de la ceniza volcánica varía ampliamente como una función del tamaño-partícula. Los minerales cristalinos son muy comunes en la gama de tamaño 100-500  $\mu\text{m}$ . La plagioclasa muestra una distribución relativamente uniforme en toda la fracción de tamaño del limo y arena. En contraste, el contenido de minerales pesados presenta una disminución pronunciada con el decreciente tamaño de la partícula, hasta que los minerales pesados están virtualmente ausentes en las fracciones de tamaño menor que 50  $\mu\text{m}$ . El vidrio volcánico aumenta en proporción relativa a la plagioclasa y minerales pesados como el tamaño de partícula disminuye (Shoji *et al.*, 1993).

### **2.7.2. Clasificación de vidrios volcánicos**

El vidrio volcánico puede ser reconocido como un líquido súper enfriado metaestable que resulta de una reducción de tipo de nucleación y cristalización

debido al enfriamiento del magma. La composición química de vidrio volcánico es determinada por la composición del magma. Porque el enfriamiento del magma ocurre tan rápido, hay poco fraccionamiento de elementos durante los procesos de solidificación. El vidrio volcánico se divide típicamente en categorías coloreadas y no coloreadas con base en el índice de refracción de  $> 1.52$  y  $< 1.52$  respectivamente.

El vidrio no coloreado se encuentra en ceniza volcánica teniendo una composición de roca riolítica, dacítica, y andesítica, mientras el vidrio coloreado se encuentra en los tipos de roca basáltica andesita y basáltica. Vidrios no coloreados tienen índice de refracción variando entre 1.49 y 1.51, mientras los vidrios coloreados tienen índice de refracción mayor de 1.52 (Yamada y Shoji, 1983).

Diferencias sorprendentes ocurren entre la composición química de vidrios no coloreados y coloreados (Yamada y Shoji, 1983). Vidrios no coloreado y coloreado muestran contenidos totales de sílice de 74 - 78% y 64 - 54%, respectivamente. El vidrio colorado contiene concentraciones más altas de cationes Al, Fe, Ti, Mg, y Ca, y más bajas concentraciones de K. El vidrio volcánico muestra correlaciones cercanas entre su contenido de sílice y los contenidos de otros elementos, con la excepción de Na y K (Shoji, 1986; Yamada, 1988).

El vidrio volcánico expone una variación amplia en su morfología como resultado de la viscosidad del magma (determinada por la composición química y del contenido de gas del magma) y el tipo de erupción volcánica. Yamada y Shoji (1983) dividieron las partículas de vidrio volcánico (gama del tamaño de 100 a 200  $\mu\text{m}$ ) en cuatro categorías con base en características morfológicas: esponjoso, fibroso, plato curvo, y similar a la baya. Las partículas de vidrio esponjosas son altamente vesiculares sugiriendo que estos vidrios eran producidos por explosiones violentas de magma altamente viscosa. Las partículas fibrosas de vidrio contienen vesículas elongadas. Las partículas de plato curvo son producidas por la pulverización de vidrios teniendo relativamente grandes vesículas. Las partículas de vidrio de baya-liviana muestran formas de bloques angulares con

baja vesicularidad y contienen cristales de plagioclasa. Vidrio volcánico no coloreado consiste principalmente de partículas de esponja-ligera que son silíceos y altamente vesicular. En contraste, el vidrio volcánico coloreado en cenizas basáltica andesítica y basáltica contienen solo partículas similares a la baya (Rodríguez *et al*, 1999).

### **2.7.2.1. Alófono**

Alófono es un término genérico que describe materiales aluminosilicatados altamente desordenados o amorfos, en el sentido de que la difracción de rayos X no tienen suficiente resolución para el grado de ordenamiento existente ya que se trata de un orden local o de corto intervalo. Al observar el alófono al microscopio electrónico de barrido aparece a modo de microagregados formados por partículas unitarias, esférulas huecas de 3.5 a 5.5 mm de diámetro (Wada, 1985).

Su composición química es muy variable, pudiendo considerarla más como una serie de minerales (solución sólida de sílice y agua) que como una especie mineral. Los términos extremos de la serie vienen caracterizados por proporciones Si/Al de 1/1 y 1/2 respectivamente, en todos ellos predominan los enlaces Si-O-Al.

El alófono tiene una gran superficie específica. Su CIC es elevada y depende del pH por tener carga variable. Posee una elevada capacidad de intercambio aniónico que puede provocar la retención de iones fosfato interfiriendo en la nutrición de P de las plantas. Esta propiedad puede utilizarse para su identificación, con una solución de NaF, si bien este ensayo no es definitivo (Fieldes y Perrot, 1966).

Los suelos con alófono tienen una gran cantidad de agua de un 80 a 180% sobre peso seco y al secarse lo hacen de una forma poco reversible. Sus inusuales propiedades plásticas hacen que bajo presión sufran una licuefacción (tixotropía). Su densidad aparente es muy baja, de 900 kg m<sup>-3</sup> medida con el contenido de humedad a 33 kPa los suelos de este tipo de materiales presentan problemas con

los dispersantes clásicos utilizados en análisis granulométrico, debiendo recurrir a los ultrasonidos.

El alófono es el constituyente amorfo más importante en suelos jóvenes formados a partir de materiales volcánicos. Para su permanencia en el suelo requiere unas condiciones de humedad continuadas. Al ser semejantes las condiciones para la formación de minerales en horizontes subsuperficiales de Andisoles y Espodosoles, es posible que el alófono también se forme en estos suelos (Wada, 1985).

#### **2.7.2.2. Imogolita**

En los estudios iniciales es posible que la imogolita no se discrimine del alófono. Los trabajos de Yoshinaga y Aomine (1962) proponen una metodología de separación basada en el hecho de que una suspensión acuosa de imogolita dispersa en medio ácido (pH 3.5), mientras que el alófono lo hace en medio alcalino (pH 10.2).

La imogolita es un nesosilicato paracristalino consistente en finos tubos de varios micrómetros de largo y un diámetro de 2.3 a 2.7 nm y diámetro interior de alrededor de 1.0 nm, observables al MEB (Wada, 1989). Los tubos están formados por una lámina dioctaédrica con una superficie interna de OH sustituidos por grupos  $\text{O}_3\text{SiOH}$  (Farmer y Russel, 1990). La fórmula estructural es:  $(\text{OH})\text{SiO}_3\text{Al}_2(\text{OH})_3$ .

Las propiedades de la imogolita han sido poco estudiadas, si bien parecen semejantes a las del alófono. Ambos presentan una elevada capacidad de adsorción de ácidos húmicos y fúlvicos debido a su estructura porosa.

La imogolita se identificó inicialmente en suelos desarrollados a partir de ceniza volcánica. Los trabajos del Macaulay Institute (U.K) han puesto de manifiesto la existencia de imogolita en horizontes B de Espodosoles (Farmer y Russell, 1990).

## **2.8. Condiciones de formación de los suelos.**

Ocurren a lo largo de un amplio rango de condiciones climáticas, desde las regiones subalpinas frías hasta los trópicos ecuatoriales húmedos. No obstante su amplia distribución, la morfología característica de los perfiles del suelo permanece bastante uniforme y sólo se presentan variaciones relativamente pequeñas relacionadas con ciertas propiedades físicas y químicas. De los coloides alofánicos que reflejan las diferencias ambientales.

Grandes áreas de suelos derivados de ceniza volcánica pueden ocurrir en regiones desérticas y semidesérticas pero en estas condiciones de humedad deficiente, los suelos no desarrollan las características de un verdadero suelo de Ando.

La vegetación bajo la cual ocurren los suelos es de bosque aunque también se les encuentra en tierras dedicadas al pastoreo, algunas de las cuales parecen ser de considerable antigüedad y son algunas veces praderas naturales (Breemen y Buurman, 2002).

En Sur América, los suelos en referencia ocurren al menos en veinte distintos medios y muestran diferentes características de uso de la tierra. La humedad adecuada del suelo para producir cantidades significantes de alófano en materiales de ceniza volcánica es apropiada tanto en las bajas latitudes (desde la latitud 4° al norte del ecuador hasta la latitud 4° al sur del mismo) como en las altas (desde 36° norte hasta los 46° sur).

En las bajas latitudes el desarrollo de los suelos está por rareza sujeto a marcadas o prolongadas fluctuaciones de temperatura y también gozan de un mejor régimen

de humedad; las fluctuaciones ambientales pueden incrementarse algo más con la altitud, aún en las altas regiones (sobre los 4 000 metros) las fluctuaciones en temperatura y humedad son menos severas que aquellas en las altas latitudes.

Por otra parte, en latitudes altas, el desarrollo de los suelos de Ando es más probable que esté sujeto a periodos prolongados de humedad más extrema. Esto está perfectamente reflejado en los perfiles de suelo: más características irreversibles aparecen en los perfiles de suelo de Ando en las latitudes altas que en las bajas. Esto se ha observado principalmente en Sur América (Alcala *et al.*, 2001).

## **2.9. Intemperismo y formación de los suelos a partir de la ceniza volcánica.**

En los suelos derivados de ceniza volcánica su génesis está estrechamente relacionada con el intemperismo de los vidrios volcánicos. Ya se ha mencionado que la ceniza contiene minerales ferromagnesianos cristalinos, feldespatos y vidrios. Su alteración depende de las condiciones ambientales a las cuales han estado expuestos estos materiales. En algunos climas en donde la intensidad del intemperismo es relativamente baja, pueden predominar los productos de alteración de los minerales cristalinos y determinar la naturaleza de los productos. Esto es especialmente cierto en suelos de regiones cálidas, pero en la mayor parte de los suelos derivados de ceniza volcánica los productos de la descomposición de los vidrios volcánicos son los principales responsables de sus propiedades (Breemen y Buurman, 2002).

Swindale y Sherman (1964) reportan que en los primeros estados de intemperismo de los vidrios volcánicos, estos se transforman en un compuesto de color amarillo marrón o naranja denominado palagonita. La naturaleza de esta mineral no ha sido determinada muy claramente pero es muy probable que sea un aluminosilicato amorfo el cual tiene calcio, magnesio y potasio.

En la conversión de vidrio a palagonita, las dos más importantes etapas son probablemente la hidroxilación y el rompimiento físico de las partículas de vidrio. Se ha demostrado que los vidrios volcánicos tienen mucha energía de unión. La expansión debida a la hidroxilación incrementará la tensión y ocurrirá una fractura en la red del mineral. Este fenómeno estará acompañado por alguna remoción de cationes alcalinos y alcalinoterreos.

Birrel (1964) también se refiere a la palagonita como un producto de la descomposición de los vidrios volcánicos restringiendo su formación a los vidrios de naturaleza basáltica expuestos a condiciones de lavado impedido. Dice que la palagonita está menos finamente dividida que el alófano y tiende a formar agregados; químicamente se parecen a la montmorillonita.

Los conceptos de otros investigadores sobre el proceso de intemperismo en este grupo de suelos es el siguiente:

La relación de los minerales primarios en los suelos de ceniza volcánica y su abundancia en la roca madre de la cual se ha derivado la ceniza, está de acuerdo con la secuencia de intemperismo propuesta por Fields y Swindale (citados por Besoain, 1957). Esta secuencia que modifica la de Jackson (1962) informa sobre la intemperización química de los vidrios volcánicos básicos y ácidos. Estos autores ordenan los silicatos primarios en cinco grupos de acuerdo a su resistencia al intemperismo: 1) olivino, augita, hiperstena y hornblenda; 2) vidrio volcánico básico y zeolita; 3) biotita y muscovita; 4) feldespatos y vidrio volcánico ácido y 5) cuarzo. Consideran que excepto las micas, todos los demás silicatos primarios deben, por razones estructurales, pasar previamente por un estado amorfo antes de formar silicatos laminares.

De acuerdo a los trabajos de Sudo (1953) y Fields y Swindale citados por Besoain (1957) parece ser que la formación de los minerales de la arcilla en suelos de cenizas volcánicas se produce en general en dos etapas: en la primera se

formaría a partir de vidrios volcánicos, predominantemente el alofano y en una etapa más avanzada se produciría por resilificación de este, la cristalización hacia haloisita o caolinita. Este proceso se explica más ampliamente a continuación.

De la naturaleza de los minerales primarios en la ceniza volcánica (estando ausentes los minerales silicatados laminares) puede esperarse que el primer estado en el intemperismo sea el rompimiento de las cadenas de sílice a otros grupos de óxidos.

Cationes tales como  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  pueden ser lavados rápidamente, pero la alumina tiende a permanecer. De aquí que en esta primera etapa ocurrirá una fracción coloidal que consiste en sílice y alumina amorfa en forma altamente hidratada, en fases aisladas primero y luego mostrando encadenamientos al azar, pero debido a la fuerte acción amortiguadora de la alumina, esta condición amorfa puede persistir por largo tiempo. Este tipo discreto de sílice mezclado con alumina ha sido llamado alófano B por Fields (1955) y el tipo de sílice y alumina combinados al azar, alófano A.

Así, Fields (1955) determina que una secuencia mineralógica progresa partiendo de los suelos más jóvenes a los más maduros de acuerdo al siguiente orden:

Alófano B  $\longrightarrow$  alófano A  $\longrightarrow$  metahaloisita  $\longrightarrow$  caolinita

Por pérdida de alumina, la sílice y la alumina remanentes tiende a reorientarse para producir estos silicatos laminares. Una alternancia de humedecimiento y secado favorece este proceso de cristalización.

Fields y Swindales citados por Besoain (1957) informan que los suelos derivados de ceniza volcánica de Nueva Zelanda, con un grado de intemperización intermedio contienen un 60% de la fracción arcillosa formada por alófano y óxidos hidratados amorfos de Si, Al y Fe y la fracción no arcillosa está formada por cuarzo y feldespatos. Esto demuestra que la intemperización del vidrio produce en



un comienzo constituyentes amorfos y que además intemperiza más rápidamente que los feldespatos y el cuarzo. (Aquinos e Inoue. 1999).

## 2.10. Clasificación de los suelos derivados de ceniza volcánica.

La clasificación de los suelos se presenta en el siguiente cuadro.

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de los Andisoles

Orden	Suborden	Grandes Grupos	Sub grupos
Andisol	Aquands	Gelaquands	Histic Gelaquands Thaptic Gelaquands Typic Gelaquands
	Aquands	Cryaquands	Lithic Cryaquands Histic Cryaquands Thaptic Cryaquands Typic Cryaquands
	Aquands	Placaquands	Lithic Placaquands Duric Histic Placaquands Duric Placaquands Thaptic Placaquands Typic Placaquands
	Aquands	Duraquands	Histic Duraquands Acraquoxic Duraquands Thaptic Duraquands Typic Duraquands
	Aquands	Vitraquands	Lithic Vitraquands Duric Vitraquands Histic Vitraquands Thaptic Vitraquands Typic Vitraquands
	Aquands	Melanaquands	Lithic Melanaquands Acraquoxic Melanaquands Hydric Pachic Melanaqua Hydric Melanaquands Pachic Melanaquands Thaptic Melanaquands Typic Melanaquands

(Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Claves para la Taxonomía de Suelos, 2006).

Continuación cuadro 1

Orden	Suborden	Grandes Grupos	Sub grupos
	Aquands	Epiaquands	Duric Epiaquands Histic Epiaquands Alic Epiaquands Hydric Epiaquands Thaptic Epiaquands Typic Epiaquands
Andisol	Cryands	Fulvicryands	Lithic Fulvicryands Eutric Pachic Fulvicryands Eutric Fulvicryands Pachic Fulvicryands Vitric Fulvicryands Typic Fulvicryands
	Cryands	Vitricryands	Lithic Vitricryands Aquic Vitricryands Oxyaquic Vitricryands Thaptic Vitricryands Humic Xeric Vitricryands Xeric Vitricryands Ultic Vitricryands Alfic Vitricryands Humic Vitricryands Typic Vitricryands
	Cryands	Haplocryands	Lithic Haplocryands Aquic Haplocryands Oxyaquic Haplocryands Alic Haplocryands Spodic Haplocryands Acraquoxic Haplocryands Vitric Haplocryands Thaptic Haplocryands Xeric Haplocryands Typic Haplocryands
Andisol	Torrands	Duritorrands	Petrocalcic Duritorrands Vitric Duritorrands Typyc Duritorrands
	Torrands	Vitritorrands	Lithic Vitritorrands Duric Vitritorrands Aquic Vitritorrands Calcic Vitritorrands Typic Vitritorrands
	Torrands	Haplotorrands	Lithic Haplotorrands Duric Haplotorrands Calcic Haplotorrands Typic Haplotorrands

(Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Claves para la Taxonomía de Suelos, 2006).

Continuación cuadro 1

Orden	Suborden	Grandes Grupos	Sub grupos
	Xerands	Vitrixerands	Lithic Vitrixerands Aquic Vitrixerands Thaptic Vitrixerands Alfic Humic Vitrixerands Ultic Vitrixerands Alfic Vitrixerands Humic Vitrixerands Typic Vitrixerands
Andisol	Xerands	Haploxerands	Lithic Haploxerands Aquic Haploxerands Thaptic Haploxerands Calcic Haploxerands Ultic Haploxerands Alfic Humic Haploxerands Alfic Haploxerands Humic Haploxerands Typic Haploxerands
	Vitrands	Ustivitrands	Lithic Ustivitrands Aquic Ustivitrands Thaptic Ustivitrands Calcic Ustivitrands Humic Ustivitrands Typic Ustivitrands
	Vitrands	Udivitrands	Lithic Udivitrands Aquic Udivitrands Oxyaquic Udivitrands Thaptic Udivitrands Ultic Udivitrands Alfic Udivitrands humic Udivitrands Typic Udivitrands Udivitrands
	Ustands	Durustands	Aquic Durustands Thaptic Durustands Humic Durustands Typic Durustands

(Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Claves para la Taxonomía de Suelos, 2006).

Continuación cuadro 1

Orden	Suborden	Grandes Grupos	Sub grupos
	Ustands	Haplustands	Lithic Haplustands Aquic Haplustands Dystric Vitric Haplustands Vitric Haplustands Pachic Haplustands Thaptic Haplustands Calcic Haplustands Dystric Haplustands Oxic Haplustands Ultic Haplustands Alfic Haplustands Humic Haplustands Typic Haplustands
	Udands	Placudands	Lithic Placudands Aquic Placudands Acrodoxic Placudands Hydric Placudands Typic Placudands
	Udands	Durudands	Aquic Durudands Eutric Durudands Acrodoxic Durudands Hydric Durudands Pachic Durudands Typic Durudands
Andisol	Udands	Melanudands	Lithic Melanudands Anthraquic Melanudands Aquic Melanudands Acrodoxic Vitric Acrodoxic                      Hydric Melanudands Acrodoxic Melanudands Pachic Vitric Melanudands Vitric Melanudands Hydric Pachic Melanudands Pachic Melanudands Hydric Melanudands Thaptic Melanudands Ultic Melanudands Eutric Melanudands Typic Melanudands

(Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Claves para la Taxonomía de Suelos, 2006).

Continuación cuadro 1

	Udands	Hydrudands	Lithic Hydrudands Aquic Hydrudands Acrudoxic Thaptic Hydrudands Acrudoxic Hydrudands Thaptic Hydrudands Eutric Hydrudands Ultic Hydrudands Typic Hydrudands
Andisol	Udands	Fulvudands	Eutric Lithic Fulvudands Lithic Fulvudands Aquic Fulvudands Oxyaquic Fulvudands Hydric Fulvudands Acraquoxic Fulvudands Ultic Fulvudands Eutric Pachic Fulvudands Eutric Fulvudands Pachic Fulvudands Thaptic Fulvudands Typic Fulvudands
Andisol	Udands	Hapludands	Lithic Hapludands Anthraquic Hapludands Aquic Duric Hapludands Duric Hapludands Aquic Hapludands Oxyaquic Hapludands Alic Hapludands Acrudoxic Hydric Hapludands Acrudoxic Thaptic Hapludands Acrudoxic Ultic Hapludands Acrudoxic Hapludands Vitric Hapludands Hydric Thaptic Hapludands Hydric Hapludands Eutric Thaptic Hapludands Thaptic Hapludands Eutric Hapludands Oxic Hapludands Ultic Hapludands Alfic Hapludands Typic Hapludands

(Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Claves para la Taxonomía de Suelos, 2006).

### **2.11. Suelos volcánicos en México.**

En México, la mayoría de los suelos derivados de eyectas volcánicas se localizan a lo largo del Eje Neovolcánico, también llamado Cordillera del Anáhuac, que corre casi junto al Paralelo 19 norte, en la zona septentrional del país. Este eje divide al territorio nacional en dos partes y tiene una gran importancia étnica, sociológica y económica (Etchevers, 1985).

Las eyectas provienen de los numerosos volcanes existentes en esta cordillera. En la zona occidental se ubica el Colima (3868 msnm) en el Estado del mismo nombre y el Tancítaro (3860 msnm), el Zirate (3340 msnm), el Quincero (3324 msnm) y el Paricutín (2808 msnm) en Michoacán. Estos últimos, son responsables de la formación de la llamada Meseta Tarasca, zona de gran potencial agrícola, caracterizada por suelos Andosoles.

En la parte central del Eje se encuentran los volcanes llamados: Nevado de Toluca (4558 msnm), Ajusco (3926 msnm), Popocatepetl (5422 msnm), Iztaccíhuatl (5280 msnm), Tlaloc y Telapón (aproximadamente a 4 000 msnm), La Malinche (4115 msnm), Pico de Orizaba o Citlaltepétl (5747 msnm) y el Cofre de Perote. En la zona oriental del paralelo 19, en el estado de Veracruz, se encuentran los volcanes Tuxtla (1737 msnm) y el San Martín, aunque probablemente éstos no forman parte del Eje Neo-Volcánico (Etchevers, 1985).

Todos estos volcanes han depositado a lo largo de los siglos materiales magnéticos basálticos, extrusivos, clásticos, piroclásticos, riolíticos y de otras formas complejas, a partir de los cuales se han generado los actuales suelos (Aguilera, 1961; Miehllich, 1980).

Otra zona en la cual existen suelos derivados de eyectas volcánicas se ubican en los límites de los estados de Chiapas y Tabasco, donde recientemente entró en nueva actividad el volcán Chichonal ubicado aproximadamente a los 2 200 msnm (Cavallaro *et al.*, 1984).

Depósitos de materiales ígneos se localizan en otras partes del país, destacándose los de: a) la Sierra Madre Occidental, en el sector poniente del país, a lo largo de la costa del Pacífico; b) la Sierra Madre Oriental, ubicada casi paralela a la costa del Golfo de México, en su parte norte, y c) la Sierra Madre del Sur, en la parte sur-occidental del país.

En la Sierra Madre Occidental, en los estados de Nayarit y Jalisco, se ubica una zona volcánica en la que destacan los volcanes Sangangüey, Colli, Ceboruco y Tequila, pero los suelos derivados de los materiales volcánicos en estas zonas han sido poco estudiados.

Se estima que los suelos derivados de materiales ígneos y ceniza volcánica cubren 25% de los 1 963 000 km<sup>2</sup> que constituyen el territorio mexicano (Aguilera, 1969). Esta cifra se obtuvo a partir de mapas geológicos y según algunos expertos constituiría una sobreestimación.

Los depósitos de cenizas volcánicas en México se localizan en diversos climas (fríos, templados, semiáridos y en el trópico húmedo). Las temperaturas medias anuales en la zona de estos suelos van de 7 hasta 27°C y las precipitaciones medias de 50 a 4 500 mm por año. La variedad climática ha dado origen a suelos con diversos grados de evolución (Aguilera, 1969).

Las condiciones fisiográficas y climáticas determinan que los suelos se ubiquen en condiciones topográficas variadas, desde planas a pendientes extremas, pasando por extensas zonas onduladas, con condiciones de drenaje deficiente en los valles cerrados y excesivos en las partes montañosas altas, que han influido, junto con el clima, en el desarrollo de los perfiles.

Desde el punto de vista de la clasificación. Los suelos derivados de ceniza volcánica más estudiados, han sido los de las zonas denominadas: a) Sierra Tarasca en el Estado de Michoacán (Aguilera, 1961, 1963; Arias, 1944; Cervantes,

1965); b) Sierra Nevada en los Estados de México, Puebla y Tlaxcala (Cortés, 1966; Mielich, 1980; Mitsuko, 1971); c) algunos sectores cercanos al volcán de la Malinche en el estado de Tlaxcala (Aeppli y Schonhals, 1975; Werner, 1978).

Los sistemas de clasificación empleados en estos estudios han sido desde populares hasta la taxonomía de suelos, pasando por el de la FAO/UNESCO y modificaciones de éste (Etchevers. 1985).

Arias (1944) observó que los habitantes nativos de la Sierra Tarasca reconocían dos clases de suelos según su textura: los suelos de “tupuri” o topure (tierras de jugo), de textura limo-arcillosas y los de “charanda” (o tierras rojas), de textura arcillo-limosa. En esa misma zona, Cervantes (1965) reconoció la presencia de suelos del orden Inceptisol, suborden Andético y de los Grandes Grupos Durandéptico, Ochrandéptico, Umbradéptico y Regoandéptico. Estos mismos suelos fueron clasificados también como Andosoles Húmicos, Mólicos y Ócricos (Anónimo, 1971 b).



### **III. MATERIALES Y MÉTODOS.**

#### **3.1. Descripción General del Área.**

##### **3.1.1. Localización del área.**

La ubicación geográfica del área de estudio se seleccionó con base a las coordenadas geográficas que limitaron a dicha zona, la altitud sobre el nivel del mar, con la ayuda de las cartas topográficas del INEGI (1987), la ubicación política, referida a la Entidad Federativa, Municipio, Distrito Agropecuario que la integran, empleando el Plan de Desarrollo Municipal, Síntesis Geográfica del Estado de México (INEGI,1987).

Se especificó la superficie total estudiada (en hectáreas) y/o municipio, ejidos, poblaciones y rasgos sobresalientes que colindan con el área de estudio, con el auxilio de los planos de los ejidos de esa región, ubicados en la Secretaría de la Reforma Agraria (SRA, 1995).

Se elaboró un croquis detallado de localización de la zona de estudio, empleando la carta topográfica del INEGI (1987).

##### **3.1.2 Tenencia de la tierra.**

La información se obtuvo en las oficinas estatales de la Secretaría de la Reforma Agraria, se analizó las formas de tenencia de la tierra que se presentan localmente.

##### **3.1.3 Infraestructura agrícola del área de estudio.**

Se describió la infraestructura que auxilia directa e indirectamente al proceso de producción agropecuaria. La información recabada fue respecto a vías de

comunicación, obras hidráulicas, almacenes, maquinaria, en función a recorridos de campo e información obtenida directamente de los productores.

### **3.2. Fotointerpretación de las fotografías aéreas del área de estudio.**

Adquisición de la cobertura fotográfica y cartográfica disponible.

La cobertura fotográfica se obtuvo en el Instituto de Informática, Geografía, Estadística y Catastral del Estado de México.

La zona de estudio se localizó en tres líneas de fotografías aéreas del vuelo del Valle de Toluca, las escalas de publicación son; 1:19 000 línea R1 (6), 1: 20 200 línea R1 (7<sup>a</sup>) y 1: 21 000 línea R1 (8<sup>a</sup>), el año de publicación es 1995.

Además se contó con el apoyo cartográfico de las cartas topográficas y geológicas de Toluca a escala 1:50 000 editadas por el INEGI (1987); plano general de los ejidos del Valle de Toluca a escala 1:20 000, así como la Síntesis Geográfica del Estado de México y el Atlas Ecológico de la Cuenca Alta del Río Lerma.

### **3.3. Fotoidentificación del paisaje del área de estudio.**

En esta fotoidentificación se desarrolló el trabajo siguiente:

En un mapa de escala 1:50 000 y 1:25 000 se ubicó la zona fotografiada. Examinando el mapa se determinó el medio de transporte para realizar el recorrido de campo.

Conocida en el mapa la dirección de la línea de vuelo y la zona fotografiada se señaló en las fotos aproximadamente la dirección norte.

Examinado las fotos en campo, se familiarizó con la topografía y paisajes de la región, se identificaron los accidentes más importantes tanto en la fotografía como en el mapa.

Siguiendo el plan previsto de la zona, a medida que se recorrió, se identificó en las fotografías todos los accidentes y detalles que se consideraron de interés (carreteras, ríos, canales, áreas urbanas, etc.).

Llegando a la zona en donde se ubicaron los puntos de muestreo se efectuó cuidadosamente un recorrido de la zona y se identificaron los detalles del lugar, para cerciorarse que las imágenes identificadas, correspondían a los objetos observados en el terreno.

### **3.4. Elaboración del mapa base.**

La elaboración del mapa base se fundamentó en la metodología propuesta en el Manual de Ejercicios Prácticos de Fotogrametría Elemental (Murrillo, 1974).

Dicha metodología consiste en transferir la información deseada a un modelo estereoscópico a un mapa base, corrigiendo el error debido a la inclinación de las fotografías.

El material que se empleo fue el Stereoketch, par estereoscopicos de fotografías aéreas, papel de dibujo, lápices de colores y cinta adhesiva.

Los pasos que se siguieron fueron:

Orientación del par estereoscópico de fotografías y sujetadas con cinta adhesiva.

Colocación del mapa en la mesa de dibujo.

Giro de la mesa de dibujo alrededor del eje Y hasta hacer coincidir los puntos seleccionados de ajuste.

Una vez ajustada la escala se transfirió de las fotografías al mapa toda la información fotointerpretada.

### **3.5 Procesos de Formación del Suelo.**

#### **3.5.1. Génesis del suelo.**

##### **3.5.1.1. Material parental.**

Con base a la investigación de bibliografía especializada, información del INEGI y los recorridos de campo, se definió el material que le dio origen a los suelos de la zona de estudio, en cuanto al tipo de roca, su comportamiento frente a los fluidos, y productos a que puede dar lugar al meteorizarse.

##### **3.5.1.2. Clima.**

Para hacer un análisis de la influencia del clima en la formación del suelo, se obtuvieron datos climatológicos de la zona de estudio, para definir la influencia del clima con el material parental del área de estudio.

##### **3.5.1.3. Topografía.**

Considerando las cartas topográficas, fotografías aéreas y recorridos de campo se definió la inclinación de los suelos del área de estudio y cual fue su influencia en la formación del suelo.

##### **3.5.1.4. Organismos.**

Se discutió el tipo de vegetación que existe y existió en la zona de estudio y su influencia en la formación del suelo.

### **3.5.1.5. Tiempo.**

Con el auxilio de la bibliografía geológica especializada se estimó la edad de los suelos, en función a la edad de los procesos geológicos sucedidos en la zona de estudio, tomando de referencia principal los eventos del volcán Nevado de Toluca.

### **3.6. Procesos edafogénicos.**

Para poder definir con mayor claridad la formación del suelo, se analizaron los principales procesos edafogénicos que se presentaron en los suelos de la zona de estudio, con la información de la descripción del perfil en campo y los análisis del suelo efectuados en laboratorio.

Los procesos analizados fueron: Adiciones (incremento del contenido de materia orgánica). Se efectuó analizando la presencia de vegetación, así como del análisis de la materia orgánica en laboratorio; transformaciones (meteorización, humificación, edafoturbación y desarrollo de la estructura); translocaciones (formación de duripan, petroferrización, argiluvación, queluvación y podsolización); pérdidas de componentes (eluvación, lixiviación y erosión).

### **3.7. Selección y descripción del sitio de muestreo**

La selección de los sitios de muestreo fue mediante fotointerpretación (fotografías aéreas), observando la topografía, drenaje, vegetación, zonas cultivadas, y el reconocimiento de éstos durante las visitas a campo. Una vez reconocidos y seleccionados los sitios de muestreo se realizaron los registros de las características de cada uno de ellos, determinándose los datos generales y las observaciones del sitio de muestreo que se muestran en los Cuadros 2 y 3.

Cuadro 2. Datos generales para el registro de las características del sitio de muestreo

Características	Datos
Generalidades	Nombre del estudio y del productor
	Número de perfil
	Localización del perfil
	Autor de la descripción
	Fecha de descripción
Datos de las fotografías aéreas	Fecha de toma, clave de la línea de vuelo y No. de fotografía

Comisión Nacional del Agua, 1989

Cuadro 3. Parámetros para describir el sitio de muestreo

Observaciones del sitio	Características	Unidad de medida	Parámetros	
Geomorfología	Fisiografía mayor		Sierra, montaña, volcán, cerro, karst, altiplanicie, planicie, meseta, valle, valle intermontano, planicie costera, isla.	
	Geoforma local		Abanico aluvial, barrote, cienega, cima, cráter, depresión, duna, escarpa, ladera, llanura de inundación, meandro, meseta, montículo, pie de loma, terraza de río, terraza de lago, terraza marina.	
Relieve	Altitud	Msnm		
	Pendiente	Grado		Porcentaje
		Complejidad		Casi plana, ligeramente, moderadamente, fuertemente (inclinada u ondulada), moderadamente escarpado, escarpado, muy escarpado.
		Forma		Cóncava, convexa, regular, plana, terraceda
		Largo		En metros
		Aspecto		Dirección (norte, sur, este, oeste, noroeste, suroeste, sureste, noreste)
		Posición		Ubicación del perfil (tercio superior, tercio medio, tercio inferior), con relación al lugar del muestreo
Microrelieve	Ubicación del relieve		Microdepresión, gilgai, terraceta, montículo, cárcavas, otros	
	Diferencia de elevación		Distancia entre las partes más altas y las más bajas	
	Temperatura	En el aire y en el suelo	Media de verano, media de invierno, media anual	
	Precipitación	Se anotan las primeras 3 letras de los meses, separados por un guión	Período lluvioso y seco	
	Manto freático	Profundidad		Centímetros
		Tipo		Aparente, colgado, artesiano
		Período		Meses
	Inundación y encharcamiento	Frecuencia		Ninguna, rara, ocasional, frecuente, común
		Duración		Muy breve, breve, larga, muy larga
		Período		Meses
	Escurrimiento superficial	% de la precipitación		Encharcado, lento, medio, rápido
	Clase de drenaje	De acuerdo al drenaje interno del suelo		Muy excesivamente drenado, excesivamente drenado, bien drenado, moderadamente drenado, moderadamente bien drenado, imperfectamente drenado, pobremente drenado, muy pobremente drenado, drenaje alterado
	Permeabilidad	Capacidad de transmitir al suelo agua o aire		Muy lenta, lenta, moderadamente lenta, moderada, moderadamente rápida
Salinidad	Cantidad de sales en el suelo		No salino, ligeramente salino, moderadamente salino, frecuentemente salino	

Continuación cuadro 3

Observaciones del sitio	Características	Unidad de medida	Parámetros	
Microrelieve	Sodicidad	Sodio intercambiable	No sodico, sódico	
	Pedregocidad	Porcentaje	No pedregoso, ligeramente pedregoso, muy pedregoso, muy fuertemente pedregoso, extremadamente pedregoso	
	Rocidad	Porcentaje del sustrato rocoso en el área	Se clasifica del 1 al 7	
	Erosión	Grado de erosión hídrica		Ligero, moderado, severo, muy severo
		Grado de erosión eólica		Nulo, ligero, moderado, severo, muy severo
		Clase (pérdida anual)		Ninguna, ligera, moderada, severa, muy severa
Capas restrictivas	Centímetros	Muy somero, somero. Moderadamente profundo, profundo, muy profundo		
Material parental	Mezcla litológica, mezclada, mezcla calcárea		Mezcla, conglomerado, roca ígnea, sedimentaria o metamórfica, rocas piroclásticas, material expulsado, material orgánico.	
Grado de intemperismo	Origen del suelo		Ligero, moderado, fuerte, muy fuerte	
Modo de depósito			<i>In situ</i> , coluvial, aluvial, sedimentos marinos, depósitos lacustres, residual, cenizas volcánicas y escorias, loess, depósitos eólicos arenosos, depósitos orgánicos	
Vegetación	Tipo de vegetación		Manglar, popal, tular, pastizal, matorral, chaparral, mezquital, selva, bosque	
Uso actual	Actividad actual		Agrícola, frutícola, pastoreo, forestal, áreas de poca actividad	

Comisión Nacional del Agua, 1989

### 3.8. Descripción de perfiles del suelo

El diseño de los pozos fue de tal forma que el perfil del suelo se expusiera para su óptima visualización fotográfica y descriptiva en función del recorrido del sol, para que siempre se contara por lo menos con una cara iluminada.

Antes de determinar las propiedades y cualidades de cada uno de los perfiles, se delimitó cada uno de los horizontes, esta operación se realizó con la ayuda de una navaja resistente que penetrara fácilmente entre los materiales del suelo y además que permitiera sentir las pequeñas variaciones de penetrabilidad de una capa a otra, después de esto se midió la profundidad de cada uno de ellos y se determinaron sus características de acuerdo a los parámetros indicados en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Parámetros para caracterizar a los horizontes dentro del perfil

Característica	Parámetro	
Numeración	De la superficie hacia abajo	
Profundidad	De la superficie hacia abajo	
Variación	En centímetros se determina el promedio máximo y mínimo de cada uno de los horizontes	
Límite	Claridad	Abrupto, claro, gradual, difuso
	Topografía	Plano, ondulado, irregular, quebrado.
Simbología	Horizonte y capas maestras	O, A, E, B, C, R, Transición
	Horizonte y propiedades subordinadas	a, b, c, d, e, f, g, h, i, k, m, n, o, p, q, r, s, t, u, v, w, x, y, z

Comisión Nacional del Agua, 1989

La descripción de los perfiles se realizó determinando sus propiedades morfológicas y cualidades de acuerdo al Sistema del Soil Survey Staff (SSS- USDA) empleándose el Manual de Clasificación, Cartografía e Interpretación de Suelos, con base en el Sistema de Taxonomía de Suelos, propuesta por la Comisión Nacional del agua (CNA, 1989) (Cuadro 5).

Cuadro 5. Parámetros para la obtención de las propiedades morfológicas y cualidades del perfil en campo

Propiedad	Características	Unidad de Medida	Parámetro
Color	Localización	Sistema de colores Munsell	No especificado Interior del ped Exterior del ped
	Porcentaje		Porcentaje
	Parámetro		Matiz o tinte Intensidad Pureza
Textura	Clases texturales	Al tacto	Arena, arena franca, franco arenosa, franca, franco limosa, limo, franco arcillosa, franco arcillo arenoso, franco arcillo limoso, arcilla, arcilla arenosa, arcilla limosa.
Estructura	Forma	Forma y ordenamiento de las partículas	Laminar, prismática, columnar, blocosa angular, blocosa subangular, granular, grano simple, masivo, terrón.
	Tamaño	Milímetros	Muy fina, fina, mediana, gruesa, muy gruesa (la clasificación está sujeta por la forma de la estructura presente).
	Grado de desarrollo	Al tacto	Sin estructura, débil, moderado, fuerte.

Comisión Nacional del Agua, 1979



Continuación Cuadro 5.

Propiedad	Características	Unidad de Medida	Parámetro
Consistencia en seco y húmedo	Dureza	Se ejerce presión sobre el ped.	Suelto, suave, ligeramente duro, duro, muy duro, extremadamente duro (seco).
			Suelto, muy friable, friable, firme, muy firme, extremadamente firme (húmedo).
Consistencia en mojado	Plasticidad	Grado de resistencia a la deformación de un cordón de 3 mm a un contenido de humedad	No plástico, ligeramente plástico, plástico, muy plástico
	Adherencia	Capacidad de adherirse	No adherente, ligeramente adherente, adherente, muy adherente.
	Untuosidad	Aplicación de fuerza a una muestra a capacidad de campo.	Débilmente, moderadamente, fuertemente
Consistencia en mojado	Cementación	Tipo	De acuerdo al material mineral del cual está formado.
		Clase (dureza del material)	Débilmente cementada, fuertemente cementada, extremadamente cementada
	Fluidez	Contenido de humedad natural.	Ligeramente fluido, muy fluido.
Humedad	Contenido en el suelo	Porcentaje	Seco, ligeramente húmedo, húmedo, muy húmedo, saturado.
		Punto de marchitez permanente	Seco.
		Capacidad de campo	Ligeramente húmedo, húmedo.
		Saturado	Muy húmedo, saturado.
Moteado	Cantidad	Porcentaje	Pocas, frecuentes. Abundantes
	Tamaño	Diámetro (mm)	Pequeñas, medianas, grandes.
	Contraste	Visual	Indistintas, distintas, sobresalientes
	Color	Húmedo o seco	Sistema de colores Munsell
	Naturaleza	Material del cual está formado el suelo.	
Porosidad y raíces	Cantidad	No. de poros por 10 /dc <sup>2</sup>	Muy pocos, pocos, frecuentes, abundantes
	Tamaño	mm	Micro, muy finos, finos, medianos, gruesos
	Morfología (sólo porosidad)	Forma	Vesiculares, intersticiales, tubulares
	Orientación	Dirección	Verticales, horizontales, oblicuos, caóticos.
	Continuidad (sólo porosidad)	Grado de interconexión	Continuos, discontinuos
Cutanes	Clase	Modificación de la textura, estructura	Revestimientos, caras de presión, puentes.

Comisión Nacional del Agua, 1989

Continuación cuadro 5

Propiedad	Características	Unidad de Medida	Parámetro
Cutanes	Localización	Ubicación en el perfil	En la superficie de los peds, en los fragmentos de roca, en los granos minerales, en los granos individuales, en los poros o canales de raíces, en combinación de lugares
	Cantidad	En la superficie de los peds	Muy pocos, pocos, frecuentes, abundantes, continuos
	Contraste	Grado de identificación	Indistintos, distintos, sobresalientes.
Fragmentos de roca y otros fragmentos	Tamaño	Diámetro en mm	Grava, guijarro, piedra.
	Cantidad	Porcentaje	Gravoso, guijarro, pedregoso
	Dureza (frag)		Blandos, semiduros
	Forma		Redondeados, angulares, planos
	Naturaleza (frag)	Material originario.	
Concentraciones	Cantidad	Porcentaje	Muy pocas, pocas, frecuentes, abundantes, muy abundantes.
	Tamaño	Diámetro en mm	Finas, medianas, gruesas, muy gruesas, extremadamente gruesas.
	Forma	Nódulo, concreción, otra	Redondeada, cilíndrica, laminar, hilar.
	Color	Sistema de colores Munsell	Matiz, intensidad, pureza.
	Dureza	Aplicación de fuerza	Blando, semiduro, duro.
	Naturaleza		Arcilla, carbonatos, hierro, manganeso, plintita, sales más solubles que el yeso, sílice, yeso.
	Efervescencia	Reacción al HCl	Grado de la reacción
Reacción al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>		Nula, ligera, moderada, fuerte	
Reacción al NaF		Grado de coloración	Nula, moderada, fuerte
pH		Grado de acidez o alcalinidad	Ácido, alcalino, neutro.

Comisión Nacional del Agua, 1989

### 3.9. Muestreo del perfil

El muestreo se realizó aplicando el procedimiento para el muestreo de suelos editados por la Comisión Nacional del Agua (CNA, 1989); el cual es el siguiente:

Las muestras se tomaron de los pozos recién cavados, después de realizada la descripción del perfil se tomó una muestra de 2 kg de cada horizonte del perfil y se guardó en bolsas de polietileno.

Cada bolsa se identifico con la información que a continuación se cita:

Fecha de muestreo: _____
Nombre del estudio: _____
Nombre del productor: _____
Localización del perfil: _____
Número de perfil: _____
Número de horizonte: _____
Profundidad del horizonte: _____
Nombre del técnico: _____

Comisión Nacional del Agua, 1989

Se llevaron a laboratorio para ser secadas y tamizadas y así realizar posteriormente su análisis.

### **3.10. Morfología del Suelo.**

La morfología del suelo se estudio y definió en gran parte, en campo a través de la descripción del perfil del suelo. Las características morfológicas definidas fueron:

#### **3.10.1. Horizontes genéticos.**

La nomenclatura de los horizontes genéticos expresa un juicio cualitativo respecto a la naturaleza de los cambios que según se cree han ocurrido. Por lo cual para su definición se empleó lo siguiente:

Letras mayúsculas. Se usan para designar a los horizontes y capas principales maestras, las letras empleadas son O, A, E, B, C y R, son los símbolos base a los que se agregan otras características para completar la nomenclatura. La mayoría de las capas y horizontes se representan con una sola letra mayúscula, otras requieren de dos.

Las letras minúsculas. Se utilizan como sufijos para indicar las características específicas de los horizontes y capas maestras.

Los números arábigos. Se usan tanto como sufijos para indicar subdivisiones verticales en un horizonte o capa; como prefijos para indicar falta de continuidad. Los símbolos que se emplearon fueron los establecidos por el Soil Survey Manual (1990; Schoeneberger *et al.*, 2002).

### **3.11. Clasificación del Suelo.**

#### **3.11.1. Clasificación taxonómica de las tierras del ejido.**

La metodología para clasificar suelos de acuerdo a las Claves para la Taxonomía de Suelos (USDA, 2006), es la siguiente:

- 1) Recopilar todos los datos disponibles sobre el suelo que se quiere clasificar. Es necesario contar con una descripción detallada del perfil por clasificar y tener los datos de laboratorio del mismo perfil.
- 2) Determinar si el suelo es mineral u orgánico de acuerdo a las definiciones en el sistema.
- 3) Averiguar si el suelo tiene uno o más de los horizontes diagnósticos definidos en el sistema.
- 4) Proceder con la clasificación del suelo utilizando la secuencia de claves para el orden.

#### **3.11.2. Datos para la clasificación Taxonómica.**

Los datos de laboratorio que se requieren para la clasificación taxonómica de un suelo son con la finalidad de obtener una caracterización completa del suelo en estudio, para lo cual se realizaron los siguientes análisis:

##### **3.11.2.1. Análisis físicos.**

1. Análisis del tamaño de las partículas para determinar los porcentajes de arena, limo y arcilla, con el método de Bouyoucos, eliminando previamente la materia

orgánica para facilitar la acción de los dispersantes (SEMARNAT, NOM-021, método AS-09, 2000).

2. Densidad aparente. Los terrones de las muestras no tenían consistencia suficiente para determinar la densidad aparente por el método de la parafina, por lo que se tuvo que hacer por el método de la probeta (Serrato y Landeros, 2001).

3. Densidad real. Se realizó por método del picnómetro (SEMARNAT, NOM-021, método AS-04, 2000).

4. Color del suelo. La determinación se basa en el igualamiento del color observado en el suelo tanto en seco como en húmedo respecto al color registrado en las tarjetas de color, ubicadas en cada una de las páginas de la Tabla Munsell, donde se manejan los parámetros de Hue, Value y Chroma (SEMARNAT, NOM-021, método AS-22, 2000).

5. Límite de contracción. El análisis de esta propiedad se basa en la realización de la pasta de saturación, vaciando una proporción de dicha pasta a un bote recubierto de una capa delgada de vaselina. En este procedimiento se espera el cambio de color del suelo debido a que los poros empiezan a llenarse de aire. En consecuencia el límite de contracción se determina midiendo los cambios de volumen o de color (Gandoy, 1992).

6. Límite plástico. Esta propiedad del suelo, se lleva a cabo mezclando una porción de suelo con agua hasta que adquiere plasticidad suficiente para poder moldearlo fácilmente, como si fuera plastilina. Para posteriormente formar un cilindro de 3 mm de diámetro y largo igual al ancho de la mano (Gandoy, 1992).

7. Capacidad de campo. Se empleó el método de las columnas del suelo, De la Peña (1977), dice que el método fue establecido por Colman. Las muestras del

suelo secas al aire, tamizado por malla de 2 mm, se colocan en tubos de plástico transparente.

8. Porcentaje de saturación de agua. Se realizó de acuerdo a la metodología de la pasta de saturación (Gandoy, 1992).

9. Porosidad. La porosidad se estimó aritméticamente, al contar con el dato de la densidad real y la densidad aparente (Serrato y Landeros, 2001).

10. Estabilidad de agregados. La estabilidad de los agregados se determinó utilizando sólo un tamiz.

Esta determinación se lleva a cabo con los principios y equipo desarrollado por Yoder (1936), (Gandoy, 1992).

#### **3.11.2.2. Análisis químicos.**

1. pH. La reacción del suelo se determinó con potenciómetro, La relación suelo-agua fue 1:2. Se hicieron tres determinaciones para cada muestra con agua y las otras con solución 1 N de KCl, 1 N CaCl, de acuerdo al método descrito por Schofield (SEMARNAT, NOM-021, métodos AS-02, AS-23 y 24, 2000).

2. Carbono orgánico. Se siguió el procedimiento de Walkley-Black. Esta metodología involucra la combustión húmeda de la materia orgánica con una mezcla de dicromato de potasio y ácido sulfúrico alrededor de 125°C. El dicromato que queda se titula con sulfato ferroso.

En algunos casos hubo la necesidad de utilizar menor cantidad de muestra, debido al alto contenido de carbono orgánico. Con el dato del carbono orgánico se definió la cantidad de materia orgánica (SEMARNAT, NOM-021, método AS-07, 2000).

3. Nitrógeno total. En la determinación del nitrógeno, se aplicó la metodología de Kjeldal, modificado por Brewer, hacia micro Kjeldal. La muestra se digesta en ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno con selenio como catalizador y con ello el nitrógeno se convierte en sulfato de amonio. La solución se alcaliniza y se destila con amonio. El amonio producido es atrapado en ácido bórico y titulado con ácido estandarizado (SEMARNAT, NOM-021, método AS-25, 2000).

4. Fósforo. El fósforo soluble en ácido cítrico, es necesario para determinar el contenido de P y emplearlo en la clasificación taxonómica del suelo. La muestra es extractada con una solución de ácido cítrico al 1%, los fosfatos en el extracto se determinan colorimétricamente con el método del azul de molibdeno y ácido ascórbico como agente reductor (SEMARNAT, NOM-021, método AS-26, 2000).

5. Retención de fosfatos. De acuerdo al método de Blackemore, *et al*, la muestra es equilibrada con una solución de fosfatos y se determina la proporción de fosfatos que se drenan de la solución (SEMARNAT, NOM-021, método AS-27, 2000).

6. Acidez y aluminio intercambiable. Se describen fundamentalmente la acidez del suelo. Acidez intercambiable. La acidez (H + Al) es liberada del intercambio por una solución no amortiguada del KCl. Esta también puede ser designada como acidez actual y se emplea para determinar la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE), (SEMARNAT, NOM-021, método AS-33, 2000).

En la determinación de la acidez y aluminio intercambiable, la muestra se percola con una solución de KCl 1N. La acidez que se obtiene en la solución de varias fuentes en el suelo es medida por titulación.

El aluminio intercambiable se realiza de acuerdo con el procedimiento descrito por Barnhisel y Bertsh en Page (1982).

7. Alófano. Prueba de azul de Toluidina para alofano e imogolita (Wada y Kakuto, 1985).

8. Índice melánico. Con un procedimiento alternativo simple para separar Andisoles melánicos y fúlvicos, empleando una solución de NaOH al 0.5%, centrifugando la muestra y posteriormente leer la solución por espectrofotometría (Blackemore, et al., 1987).

9. Capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables. El método utilizado es el del acetato de amonio, en el cual la muestra es percolada con acetato de amonio y las bases se miden en el percolado. Posteriormente, la muestra se percola con acetato de sodio para remover el exceso de sales y con acetato de amonio para el sodio adsorbido. El sodio en este percolado es una medida de la CIC (SEMARNAT, NOM-021, método AS-12, 2000).

10. Aluminio extractable: Método de hidróxido de potasio. El método se basa en la extracción del Al con KOH, como criterio para identificar suelos con propiedades ándicas. Una vez extraído el Al, los iones  $\text{OH}^-$  son sustituidos por el ion  $\text{F}^-$ , el cual reacciona más fuertemente con el Al. Los iones  $\text{OH}^-$  sustituidos son cuantificados mediante titulación y se consideran equivalentes al Al amorfo (Barnhissel y Bertsch, 1982).

11. Porcentaje de saturación de bases. Método de acetato de amonio (SEMARNAT, NOM-021, método AS-12, 2000).

12. Hierro, Aluminio y Silicio por oxalato: La muestra es agitada con una solución acomplejante de oxalato ácido de amonio para disolver los componentes activos o una porción de componentes de Fe, Al y Si los cuales son determinados en el extracto colorimétricamente por espectrofotómetro (SEMARNAT, NOM-021, método AS-36, 2000).

13. Hierro, aluminio por pirofosfato: La muestra es agitada con una solución de pirofosfato de sodio el cual extrae selectivamente el Fe y Al acomplejados en la

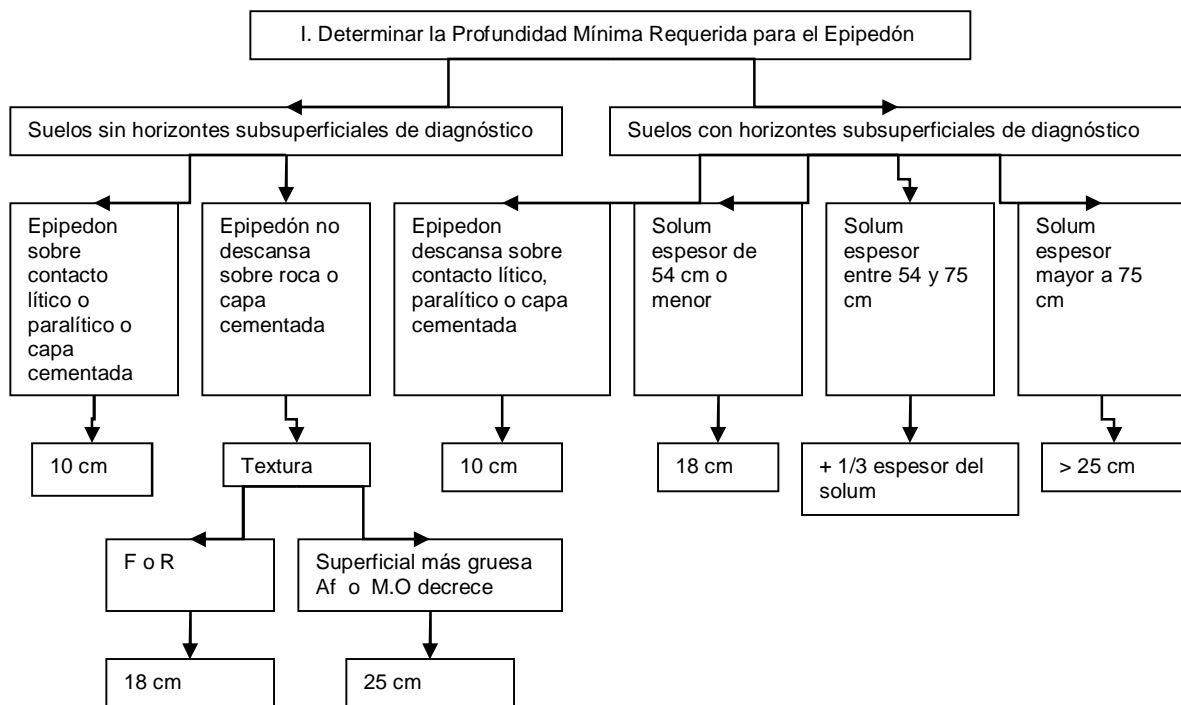


materia orgánica. El Fe y Al son determinados en el extracto colorimétricamente por espectrofotómetro (SEMARNAT, NOM-021, método AS-37, 2000).

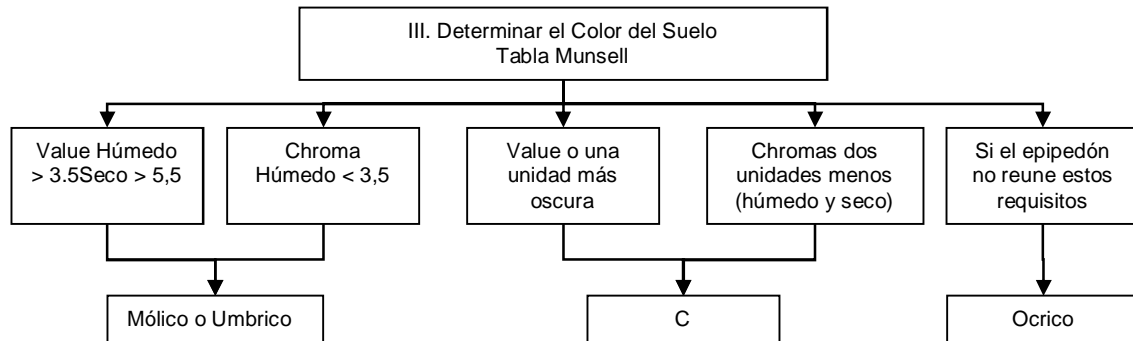
### 3.12. Horizontes y Propiedades de Diagnóstico.

Con la información obtenida en campo y laboratorio, se determinaron los horizontes de diagnóstico, así como las propiedades de diagnóstico. Los pasos para determinar la clase del epipedón fueron:

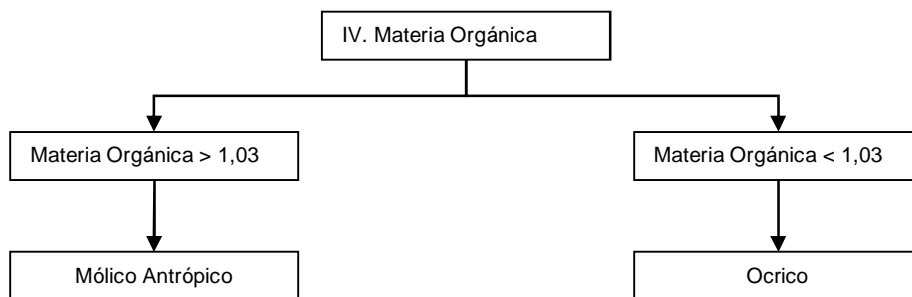
II. La profundidad arriba descrita se establece como un espesor mínimo arbitrario



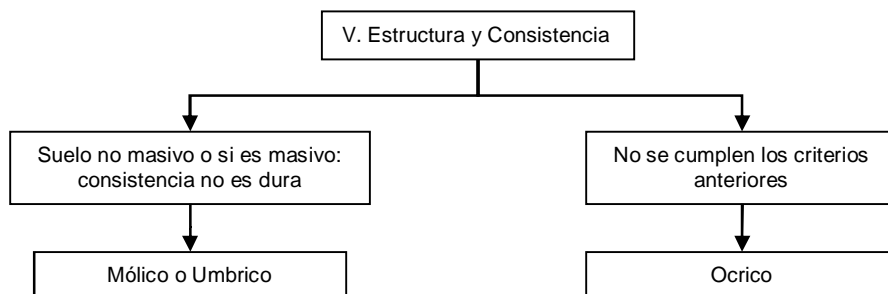
para un epipedón del perfil en particular. Pasar a III

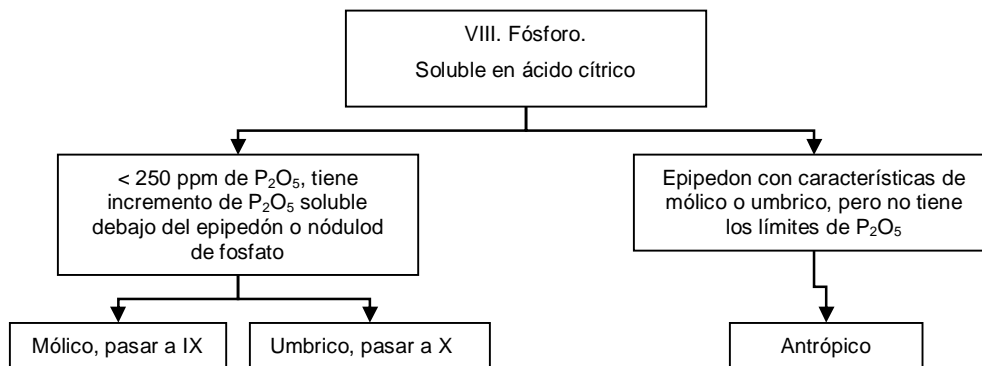
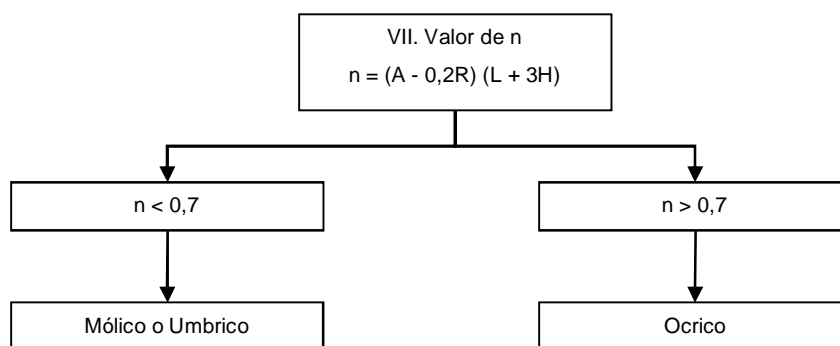
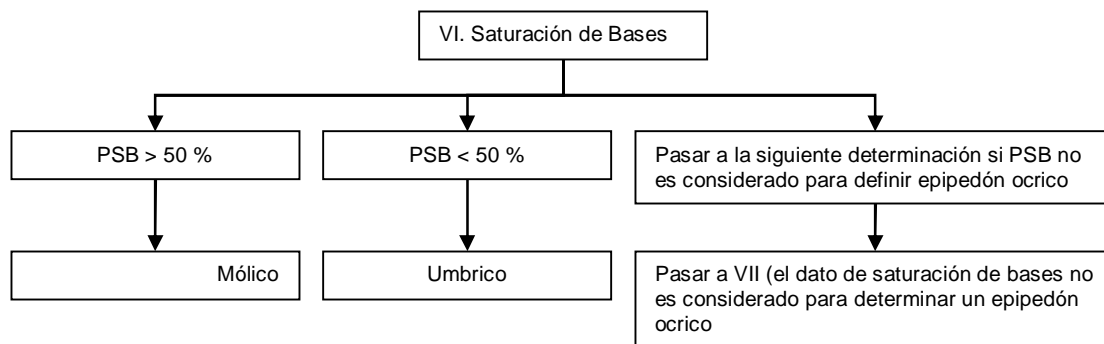


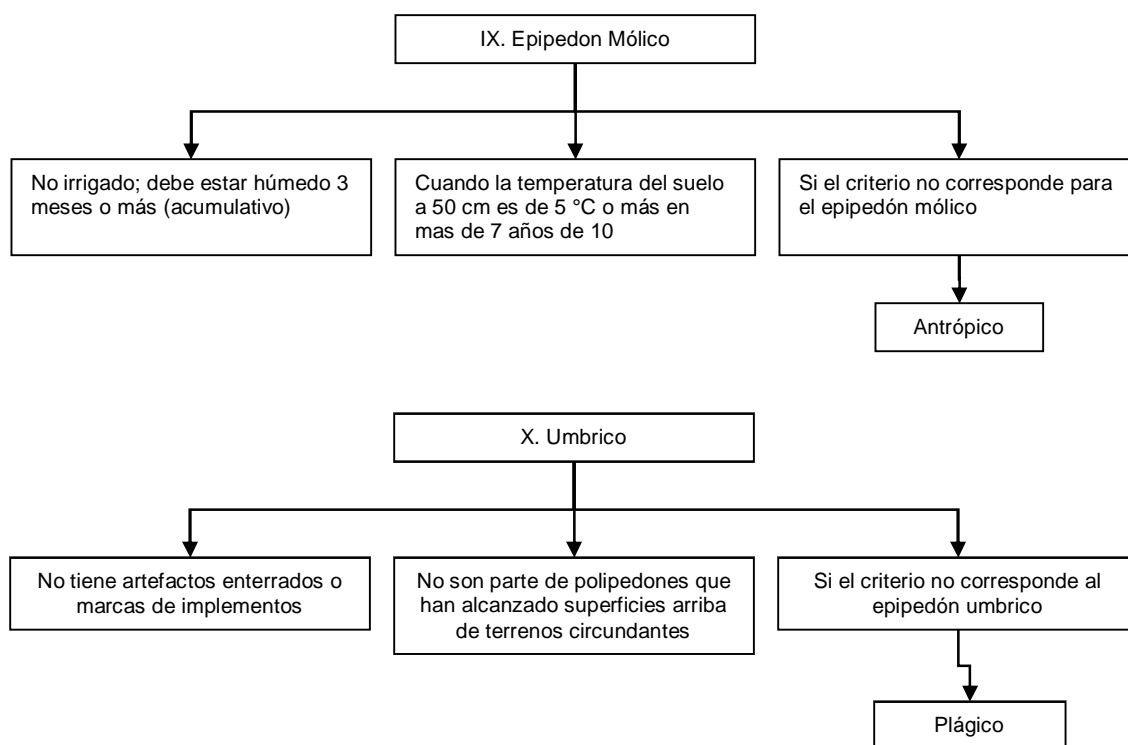
Si el epipedón reúne los requisitos de color especificados pasar a IV.



Pasar a V







### 3.13. Régimen de humedad y temperatura.

La definición de los regímenes de humedad y temperatura se llevó a través del Modelo de Simulación de Newhall's (Van Wambeke, 1987).

En el momento de la descripción de los perfiles en campo, se tomaron temperaturas a una profundidad de 25 y 50 centímetros.

#### 3.13.1. Definición del régimen de temperatura.

Se define a una profundidad de 50 cm de profundidad ( $T_{S50}$ ).

La fórmula empleada es la siguiente:

$$T_{S50} = T_a + 2,5$$

Donde:

$T_{S50}$  = Temperatura del suelo a 50 cm. de profundidad

$T_a$  = Temperatura ambiental anual

2,5 = constante

De esta fórmula se derivan las siguientes:

$$TMAs = TMAa + 2,5$$

$$TMVa = (T_{JUNIO} + T_{JULIO} + T_{AGOSTO})/3$$

$$TMla = (T_{DICIEMBRE} + T_{ENERO} + T_{FEBRERO})/3$$

Fórmulas Para el hemisferio norte.

$$TMVs = \frac{(TMVa + 2,5) - (TMVa - TMla)}{6}$$

Reglas.

$$(TMVa - TMla) \geq 5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

TMAs	Regímenes de Temperatura
< 8 °C	Frigid
8 a 15 °C	Mesic
15 a 22 °C	Thermic
> 22 °C	Hyperthermic

Si  $(TMVa - TMIa) < 5 \text{ }^\circ\text{C}$

TMA	Regímenes de Temperatura
$< 8 \text{ }^\circ\text{C}$	Isofrigid
8 a $15 \text{ }^\circ\text{C}$	Isomesic
15 a $22 \text{ }^\circ\text{C}$	Isothermic
$> 22 \text{ }^\circ\text{C}$	Isohyperthermic

### 3.13.2. Definición del régimen de humedad.

La determinación del régimen de humedad se definió con base al análisis de la precipitación y temperatura, en cuanto a su relación P/T.

Los valores y límites establecidos son los siguientes:

Relación P/T	Régimen de Humedad
$< 20$	Aridic
20 - 50	Ustic
$> 50$	Udic

## **IV. RESULTADOS**

### **4.1. Descripción general del área de estudio.**

#### **4.1.1. Ubicación de la zona de estudio**

##### **4.1.1.1. Ubicación geográfica.**

La zona de estudio se localiza entre los 99° 43' 34" y 99° 46' 30" de longitud oeste del meridiano de Greenwich y entre los 19° 14' 29" y 19° 16' 40" de latitud norte, a una altura entre los 2 750 y 3 400 msnm (Figura 1).

##### **4.1.1.2. Ubicación política**

La zona de estudio corresponde al ejido de San Cristóbal Tecolot, ubicada en el municipio de Zinacantepec, estado de México.

Comprende un total de 1 726. 73 ha. De esta superficie la zona urbana abarca una superficie de 81.27 ha, y la superficie dedicada a la agricultura son 1 645.46 ha.

La zona de estudio se localiza a sólo 1.5 km al sur de la cabecera municipal y se compone de las siguientes poblaciones; Pueblo de San Cristóbal Tecolot, Colonia Ricardo Flores Magón, el pueblo de Tejalpa y la colonia Transfiguración.

##### **4.1.1.3. Límites**

Los límites del área de estudio son: al norte con San Miguel Zinacantepec; al sur con Santa Cruz Cuahutenco, la Huerta y San Juan de las Huertas; al este con el ejido de la Huerta y ejido de San Antonio Buenavista; al oeste con San Antonio Acahulco.

#### **4.1.1.4. Vías de acceso**

La zona de estudio tiene dos vías de acceso desde la capital del Estado de México (ciudad de Toluca):

1. Por la carretera Toluca-Temascaltepec, saliendo de la ciudad de Toluca se encuentra a 10 km de recorrido una carretera hacia la derecha, lugar conocido como paraje la Huerta, de este lugar a 3 km se localiza otra desviación que conduce al lugar de estudio.
2. Por la carretera Toluca-Zitácuaro, a 7 km de la ciudad de Toluca hay una desviación hacia el poblado de Zinacantepec, tomando ésta desviación se llega a Zinacantepec y siguiendo esta vía de comunicación se llega al poblado de San Cristóbal Tecolotit, a tan solo 1,5 km al sur de la cabecera municipal (Figura 1).

#### **4.1.1.5. Infraestructura agrícola de la zona de estudio**

##### **4.1.1.5.1. Obras hidráulicas**

La infraestructura hidráulica con que cuenta la zona de estudio es aproximadamente 8 km de canal revestido, de forma trapezoidal y con diferentes dimensiones. La fuente de abastecimiento del agua es el arroyo Tejalpa y dos bordos el Tejalpa y Cuatro Árboles.

Los canales de riego revestidos se encuentran en malas condiciones, ya que en algunos tramos están ensolvados de tierra o la maleza a cubierto el canal impidiendo el paso del agua, retardando así el tiempo de riego, además los agricultores en el lugar de sus parcelas han hecho perforaciones al canal para tomar el agua y regar sus parcelas, este último aspecto ha provocado un mayor deterioro del canal de riego.



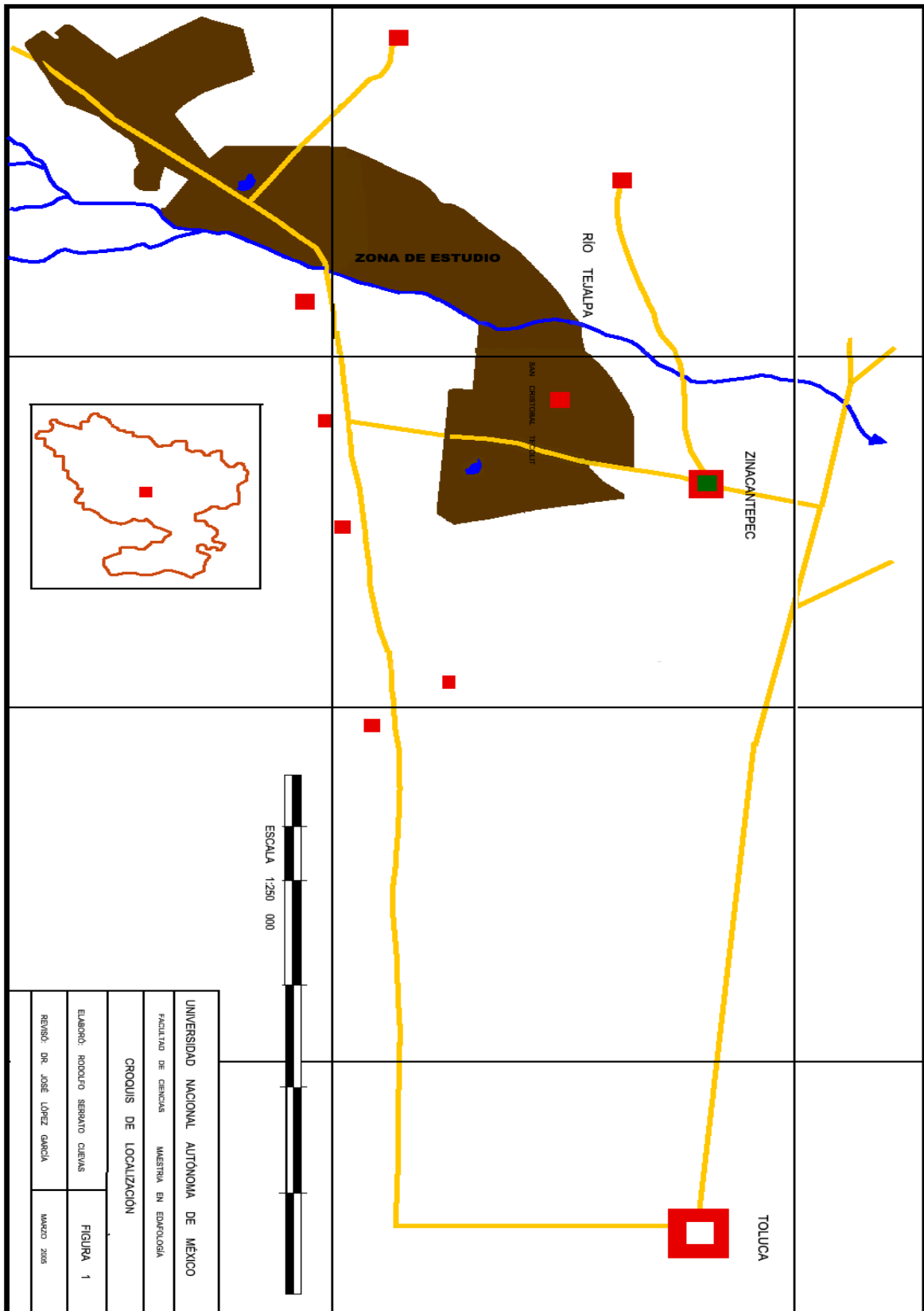


Figura 1. Croquis de localización del ejido de San Cristóbal Tecolotl.

No se cuenta con una técnica adecuada de riego, ya que ésta es principalmente por gravedad lo que provoca un desperdicio considerable de agua.

La organización con respecto a la utilización del agua de riego, esta a cargo de un juez de aguas, el cual determina el tiempo de utilización del agua para el riego (tandeo), el horario de riego es de 8 a 15 horas. Cada ejidatario aporta un trabajo de beneficio a la comunidad (habilitar caminos de terracería, limpiar besanas y canales o desensolve de bordos, etc.), por medio de faenas a cambio de la utilización del agua de riego.

Es importante mencionar que la explotación del agua es en base a “Punta de Riego” para el cultivo del maíz y riego completo para el cultivo de la papa.

#### **4.1.1.5.2. Almacenes de uso agrícola**

La zona de estudio cuenta con dos bodegas, una propia del ejido y la otra que pertenecía a la Conasupo. Esta última se entregó al ejido de San Cristóbal Tecolot, el cual la emplea para almacenamiento de semilla, fertilizantes e insumos agrícolas.

Las compras de fertilizante las realizan en las bodegas establecidas en el poblado de San Juan de las Huertas.

#### **4.1.1.5.3. Comercialización de los productos**

El producto del cultivo de la papa se comercializa directamente en el terreno, quien la compra opta por cosechar él mismo, o el dueño de la parcela la saca y el comprador la empaca.

El maíz se comercializa en el lugar donde se encuentre mejor precio y parte de la producción la destinan para el autoconsumo.

#### **4.1.1.6. Vías de comunicación de la zona de estudio**

La red de carreteras y caminos de terracería, se encuentran distribuidas de la siguiente manera: aproximadamente 3 750 km de carretera revestida de asfalto; 1 670 km de caminos empedrados en el centro del pueblo de San Cristóbal Tecolít, y los caminos principales de terracería suman aproximadamente 15 km, por lo que se establece que es una zona bien comunicada entre sí y con los ejidos y poblaciones colindantes.

Este sistema de vías de comunicación permite el fácil acceso de los insumos agrícolas empleados en la explotación agrícola, así como la extracción de las cosechas.

#### **4.1.1.7. Otra infraestructura de la zona de estudio**

El ejido de San Cristóbal Tecolít, cuenta con una mina de arena, la cual actualmente ya no está en explotación comercial, pero en años anteriores, el ingreso que obtenían de ella lo destinaban para el desarrollo del mismo ejido como uso comunitario (construcción de escuelas, calles, guarniciones, banquetas, revestimiento de canales de riego, etc.).

### **4.2. Tenencia de la tierra**

El 25 de mayo de 1925 los vecinos de San Cristóbal Tecolít perteneciente a la municipalidad de Zinacantepec del distrito de Toluca, solicitaron la “Donación de Tierras” ante el Gobierno del Estado, con apoyo a la ley del 6 de enero de 1915.

En junio de 1925 se comisionó al Ing. Felipe Flores Lizarraga, para que en el pueblo de San Cristóbal Tecolít recabara una representación censal de la Comisión Local Agraria.

De dicho censo se presentó un informe el 13 de agosto de 1925. El cual los incisos más relevantes fueron los siguientes:

a. El censo general de la población de San Cristóbal Tecolot, constaba de 1 386 individuos de los cuales 445 eran jefes de familia y solteros mayores de 18 años con derecho a la dotación ejidal.

b. Los terrenos con que pueden ser dotados al pueblo solicitante son casi su totalidad terrenos de riego y una pequeña parte es de temporal de segunda clase.

c. Con el objeto de calcular el lote que debe de corresponder a cada individuo con derecho a la dotación, resultó que sería necesario asignar 4 ha y 29 áreas de estos terrenos irrigables para cada jefe de familia con derecho a la dotación.

El 23 de noviembre de 1927 ante el representante de la Comisión Nacional Agraria, se dio cumplimiento a la resolución presidencial con fecha del 25 de noviembre de 1926.

Se dotó al pueblo de San Cristóbal Tecolot con 523 ha 23 áreas de terreno con todas sus accesiones, usos, costumbres y servidumbre. Se beneficiaron 384 campesinos.

Los terrenos se tomaron íntegramente de la Hacienda de Tajalpa, quienes en representación del pueblo en cuestión se comprometieron en respetar las siembras hechas con anterioridad.

El 24 de abril de 1931, la Secretaría de Agricultura y Fomento, a través de la Comisión Nacional Agraria, autoriza con el carácter de provisional y precaria al ejido de San Cristóbal Tecolot aprovechar las aguas del río Tejalpa para el riego de 262 ha de terrenos ejidales.

El volumen máximo que se autorizó tomar de las aguas del río Tajalpa fue de 692 244 m<sup>3</sup> anualmente, durante el periodo de riego de noviembre a mayo debiéndose derivar la cantidad de 220 l/s en tandeos durante 4 días 7 horas 30 minutos.

El 4 de julio de 1932 la Comisión Nacional Agraria concede al pueblo de San Cristóbal Tecolotit la totalidad de las aguas del río Tejalpa para el riego de sus tierras ejidales.

El 27 de septiembre de 1953 se dio cumplimiento a la resolución del presidente de la República de fecha 3 de septiembre de 1935, relativa a la ampliación de dotación al pueblo de San Cristóbal Tecolotit y su barrio de Transfiguración del municipio de Zinacantepec, Estado de México.

En esta resolución se dotó al ejido de San Cristóbal Tecolotit y su anexo barrio de San Matías Transfiguración con una superficie total de 1 203 ha, las cuales se tomaron de las fincas siguientes:

De la hacienda de la Huerta propiedad del Sr. Eduardo Henkel se tomaron 96 ha y 42 áreas de riego.

De la finca del Sr. Arcadio Henkel se tomaron 21 ha y 8 áreas de riego.

De la finca del Sr. Alfonso Henkel se tomaron 36 ha 92 áreas y 50 centiáreas de riego.

De la hacienda de Tejalpa propiedad de la razón social Trinidad Pliego y Compañía se tomaron 21 ha de riego y 995 ha de monte.

Las anteriores superficies pasaron a poder del pueblo beneficiando con todas sus accesiones, usos y servidumbres, se beneficiaron a 311 campesinos (SRA, 1995).

Cuadro 6. Dotación de tierras del Ejido de San Cristóbal Tecolot, Estado de México.

	Riego	Temporal	Monte	Pastizal	Cerril	Otras clases
Dotación	262-00-00	40-00-00	30-42-00	162-31-00	-----	29-00-00
Ampliación	186-92-00	-----	995-00-00	-----	-----	21-08-00
Total	448-92-00	40-00-00	1025-42-00	162-31-00	-----	50-08-00

Fuente: SRA, expediente de dotación de tierras No 130, 1995.

### 4.3. Recursos Físicos del Área

#### 4.3.1. Regiones Fisiográficas

Los límites del Estado de México comprenden áreas que corresponden a dos provincias fisiográficas: la del Eje Neovolcánico, que ocupa la mayor parte de la superficie estatal, y la de la Sierra Madre del Sur, en las porciones más australes de la entidad; la zona de estudio se localiza en la primera región fisiográfica, que a continuación se describe (INEGI, 1987):

#### 4.3.2. Provincia del Eje Neovolcánico

La provincia se divide en 3 subprovincias: Subprovincia Mil Cumbres, Subprovincia de los Llanos y Sierras de Querétaro e Hidalgo y la Subprovincia de los Lagos y Volcánes del Anáhuac, en la cual se encuentra el área de estudio (INEGI, 1987).

#### 4.3.3. Subprovincia de Lagos y Volcánes del Anáhuac

Abarca el Valle de Toluca (un vaso lacustre) y la Sierra del Xinantecatl, más escudo-volcánes y lomeríos contiguos. Al norte comprende el importante río Lerma y la Sierra compleja del Cerro el Pollo.

El Xinantecatl es la mole más destacada de la gran sierra volcánica compleja que domina desde el sureste a la capital del Estado de México. Alcanza su mayor elevación a 4 660 msnm (INEGI, 1987).

#### **4.3.4. Vulcanismo**

La evolución del Volcán Nevado de Toluca, la podemos referir a dos grandes etapas de actividad, separadas por un periodo de calma, caracterizado por una intensa erosión fluvial.

La primera etapa corresponde a la formación del aparato principal, el cual se edificó por una emisión sucesiva de coladas andesíticas ricas en sílice que pasaban lateralmente a derrames brechados, que en su porción más distales se transformaron en importante depósitos de conglomerados.

En la segunda etapa se reanuda la actividad volcánica, marcada por una serie de erupciones paroximáticas de tipo peleano y pliniano que producen una serie de flujos de pómez y cenizas, que se depositan en los valles radiales formados alrededor del volcán.

Esta segunda etapa se inició hace aproximadamente 60 000 años, con la aparición de flujos piroclásticos pumicíticos y dacíticos.

Después de un corto periodo de reposo se reinicia la actividad volcánica con dos importantes erupciones de tipo pliniano, la primera hace aproximadamente 24 000 años y la segunda hace 11 600 años.

La primera erupción pliniana es responsable del depósito de una capa de pómez denominada "Pómez Toluca Inferior".

Después de un reposo de 8 000 años, se presenta la segunda erupción pliniana (Toluca Pómez Superior), mucho más violenta y con emisiones mayores de materiales con una edad de 11 600 años, con una eyección de 3,5 km<sup>3</sup> de pómez,

que cubrieron principalmente la ladera NE, la planicie de Toluca, la Sierra de las Cruces y la Planicie sur de la cuenca de México (Bloomfield y Valastro, 1977b).

#### **4.3.5. Estratigrafía**

##### **4.3.5.1. Rocas del basamento**

El estrato volcán Nevado de Toluca reposa sobre un substrato de rocas metamórficas y sedimentarias, a su vez cubierto por depósitos clásticos continentales y materiales del Terciario (De Cserna y Fries, 1981). La mayor parte que forma el basamento pertenece al Mesozoico.

##### **4.3.5.2. Rocas terciarias**

Las unidades mezozoicas, se encuentran cubiertas principalmente por rocas volcánicas terciarias de composición generalmente andesíticas-dacíticas, de textura porfírica, con una asociación mineralógica de plagioclasa + hornblenda +/- biotita +/- cuarzo.

Las cuales han sido clasificadas en varias unidades y formaciones, de acuerdo al centro volcánico que las emitió.

##### **4.3.5.3. Rocas cuaternarias**

Encima de los macizos plioceno-cuaternarios, se tienen varios depósitos vulcanoclásticos cuaternarios provenientes de los centros volcánicos del San Antonio y del Nevado de Toluca, formados principalmente por lahares y depósitos de flujos y de caída y pómez. Para su descripción se ha dividido en varias formaciones (Aceves, 2000).

##### **4.3.5.4. Formación Zinacantepec**

Se describe como una unidad volcánica de lahares y depósitos vulcanoclásticos de composición dacítica. Esta formación está constituida por materiales



provenientes de varias erupciones de tipo peleano, de hace aproximadamente 60 000 años.

El vulcanismo dacítico-andesítico del Pleistoceno, cuyas lavas y materiales cineríticos forman el importante campo volcánico de la Sierra Chichinautzin.

La segunda corresponde a la actividad más reciente en el Nevado de Toluca, las erupciones plinianas ocurridas hace 24 000 y 11 600 años y cuyos productos han sido principalmente pómez de caída y cenizas, flujos piroclásticos y avalanchas y lahares (Aceves, 2000).

Estos depósitos son clasificados por Bloomfield *et al.*, 1974, 1977 como la formación “Pómez Toluca Inferior” y “Pómez Toluca Superior”.

#### **4.3.5.5. Pómez Toluca Superior**

Esta formación producto de la mayor explosión pliniana, presenta un gran espesor y amplia distribución sobre las laderas del volcán, siendo al noreste donde se encuentra mejor desarrollada esta formación. Cubre un área de más de 2 000 km<sup>2</sup>. La formación fue dividida en dos miembros por Bloomfiel *et al* (1977).

El miembro inferior esta compuesto por depósitos de flujos piroclásticos de composición dacítica de color azul-gris, con espesores de 10 a 15 metros, se encuentran principalmente sobre la ladera oeste del volcán. Mezclados con estos depósitos en la parte baja se observan lahares rellenoando valles sobre la ladera oriental del volcán. Son de color rosado y amarillo-grisáceo, compuestos con bloques de hasta un metro de lapilli de pómez.

El miembro intermedio en su parte más baja presenta una capa de 3 o 4 cm de lapilli de pómez y líticos, a la que sigue una capa estrecha de un centímetro formada por pómez del tamaño de lapilli fino y ceniza, continua una capa de tefras de 90 cm compuesta de lapilli pumicítico y bloques.

La parte baja del miembro superior es una capa de 20 cm formada de lapilli de tamaño medio, con una pequeña capa de 5 cm de ceniza gruesa en su base. La parte superior de este miembro es un depósito de caída de 2 metros de espesor, compuesta de pómez gruesa y lapilli lítico, finalmente se halla cubierta por una capa de 8 cm compuesta de pómez y líticos, intemperizada y 15 cm de lapilli grueso y cenizas también intemperizadas (Aceves, 2000).

Los principales constituyentes de los miembros intermedios y superior de la P T S son: pómez blanca cremosa, líticos compuestos de dacita gris claro sin vesículas, fragmentos subangulares de dacita claro y rosa y fragmentos angulosos de esquistos, los cristales son plagioclasa, hornblenda, hiperstena y biotita, los porcentajes de estos materiales son 66 por ciento de pómez, 33,9 por ciento de líticos y 0.1 por ciento de cristales (Bloomfield *et al.*, 1977).

#### **4.3.5.6 Depósitos relacionados con la planicie lacustre de Toluca**

Los depósitos más recientes en el área de estudio corresponden a depósitos aluviales, lacustres y piroclásticos cuaternarios localizados en la planicie de Toluca. La unidad inferior está formada por la pómez Toluca superior, ya descrita.

#### **4.3.6. Geoforma local**

La zona del altiplano de Toluca, como el resto del Cinturón Volcánico Transmexicano, representa un relieve joven modificado por la actividad Endógena y Exógena.

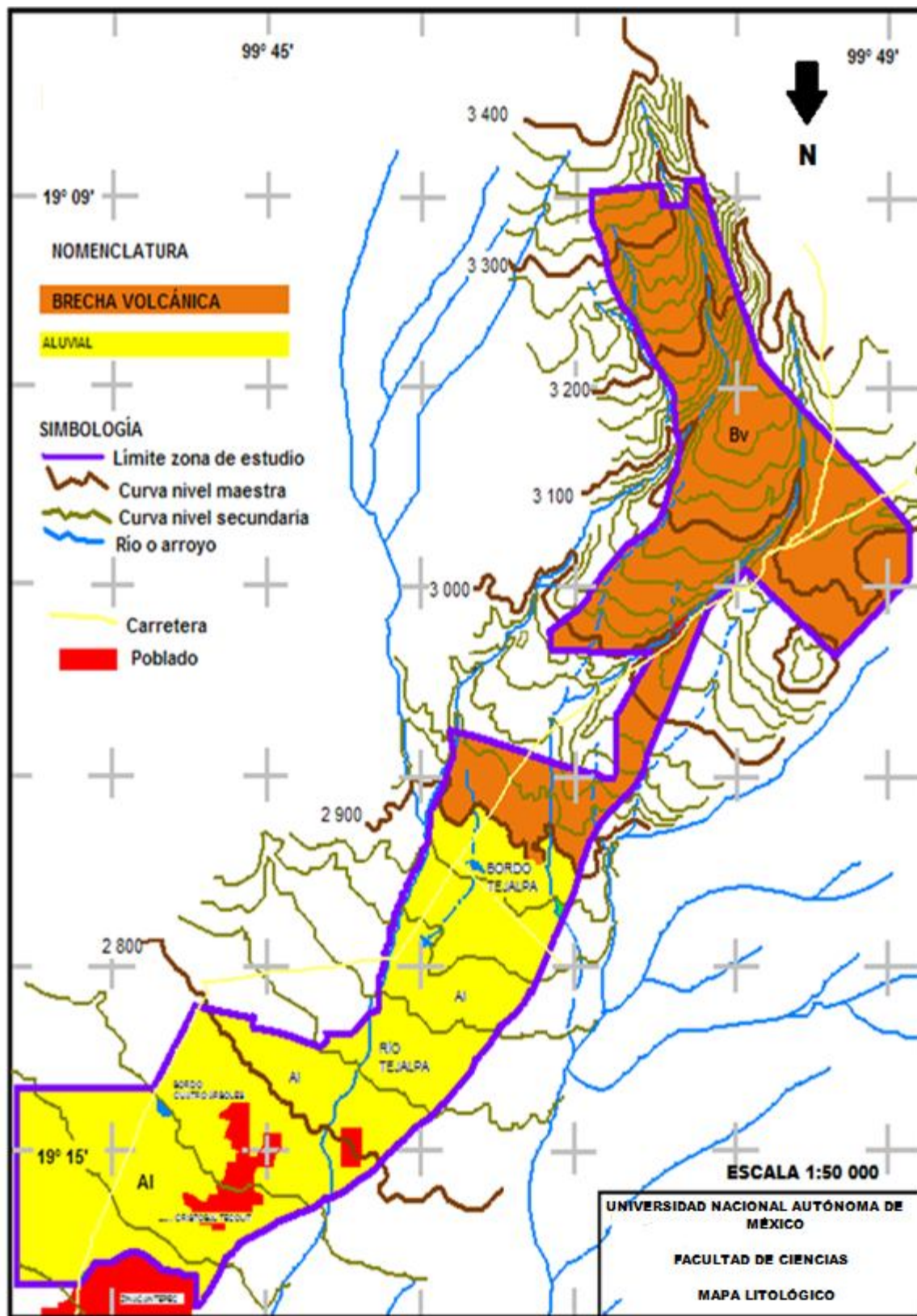


Figura 2. Litología del ejido de San Cristóbal Tecolot, estado de México.

En la zona de estudio se observan dos geofomas generales, el primero corresponde a la zona erosiva, que corresponde a laderas de forma cóncava a rectas, en las que se ubican microdepresiones y microelevaciones que no han ejercido una gran influencia en la formación del suelo.

La segunda corresponde a la zona acumulativa, que corresponde a un valle en el cual se encuentran microdepresiones y microelevaciones, los que no han influido en gran escala a la formación del suelo (Figura. 3).

#### **4.3.7. Hidrología**

##### **4.3.7.1. Cuenca del río Lerma**

El río Lerma forma parte de la región hidrológica No. 121 Lerma-Chapala-Santiago. Su cuenca tiene una superficie dentro del Estado de México de 5 548 540 km<sup>2</sup>. El río Lerma nació en los manantiales que alimentaban la Laguna de Almoloya del Río, cuyo extremo sur llega aún hasta las poblaciones de San Pedro Techuchulco y Almoloya del Río. Esta laguna era la más alta de las tres, que en escalones sucesivos, descendían hacia el norte para encauzar sus aguas hacia el Lerma. Las otras dos eran las del Lerma y la de San Bartolo.

Constituían las tres una zona lacustre en avanzado procesos de senectud natural. Con el fin de abastecer a la ciudad de México, se realizaron en la zona obras de captación de agua potable de esos manantiales y parte del subsuelo de las lagunas.

Cabe decir que, antes de las mencionadas obras, las lagunas median unos 29 km de longitud y que el actual poblado de San Pedro Tultepec era una isla.

Sin embargo, debe mencionarse que por la vertiente nororiental del Nevado de Toluca hay varios torrentes que fluyen hacia el norte, noreste y oriente y proceden del punto más alto de la cuenca. Por lo que sería correcto considerarlos como parte de los orígenes del río.

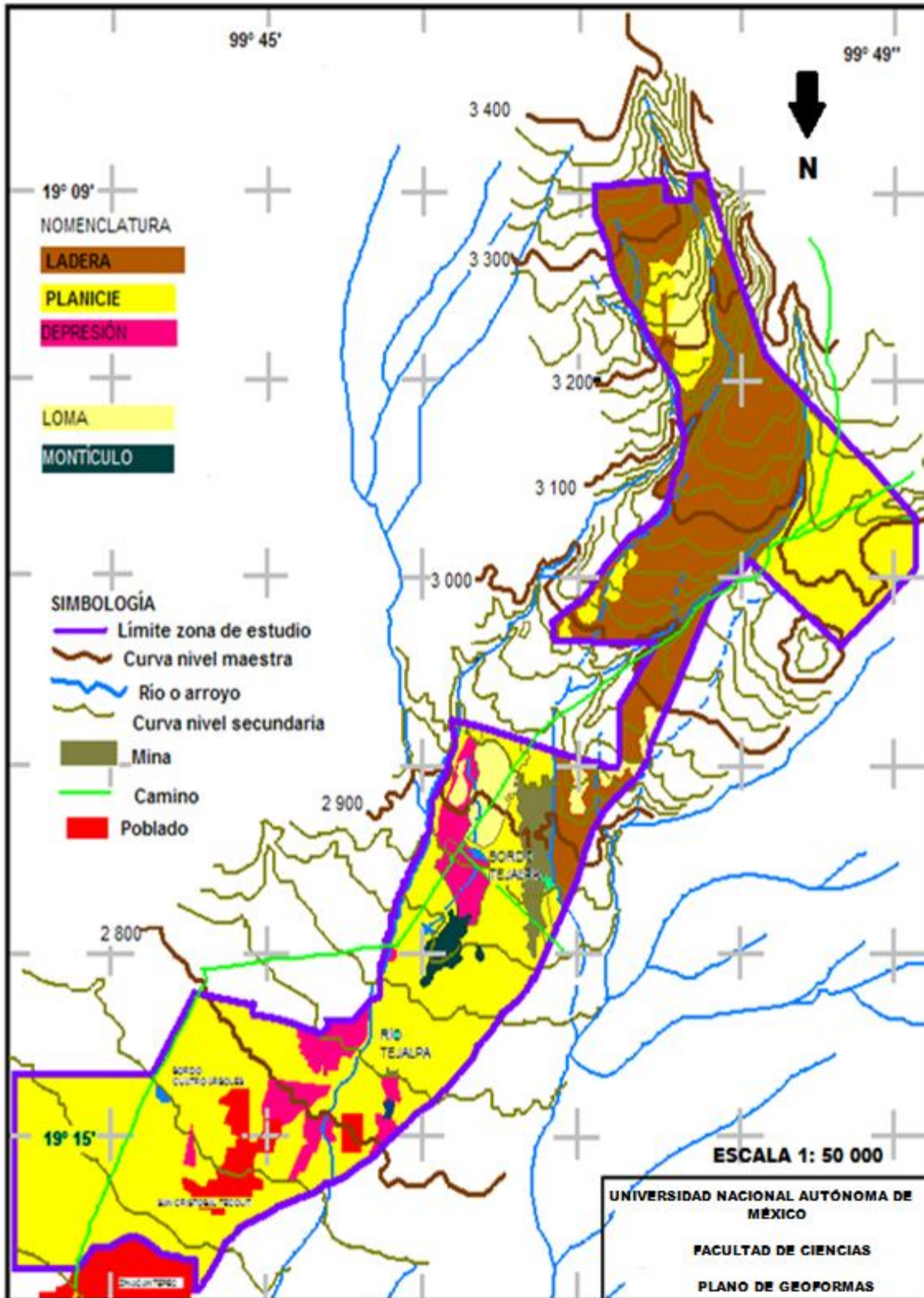


Figura 3. Geformas locales de los suelos del ejido San Cristóbal Tecolot, estado de México.

Entre los principales formadores que bajan del Nevado se pueden mencionar los ríos Tejalpa, Verdigel y Santiaguito.

Para tener una mayor apreciación de las características hidrológicas del río Lerma, en el Estado de México, ésta se dividió en 20 subcuencas con los principales escurrimientos superficiales y cuerpos de agua. De estas 20 subcuencas, en la del río Tejalpa, se ubica la zona de estudio.

#### **4.3.7.2. Subcuenca del río Tejalpa**

El arroyo Tejalpa tiene sus orígenes en las faldas del Nevado de Toluca, donde se conoce como arroyo Torrерillas, desciende desde una altitud del orden de los 4 100 msnm en dirección norte; 14 km aguas debajo de su nacimiento su caudal se incrementa al recibir por la margen izquierda al arroyo la Fábrica a la altura de San Juan de las Huertas; a partir de esta confluencia se le conoce como Arroyo Tejalpa; continua en la misma dirección pasando por los poblados de San Cristóbal Tecolít, San Miguel Zinacantepec y San Luis Mextepec; 3 km al norte de este poblado, recibe por la margen izquierda a la altura del poblado de Tecaxic; el arroyo San Pedro, este arroyo se forma de la confluencia de los arroyos de la Ciervita, Buenavista, Paso de Vázquez y pasa por San Francisco Tlacilalcalpan. A partir de esta confluencia cambia gradualmente al noreste pasando por los siguientes poblados de Calixtlahuca, San Diego Linares y Jicaltepec, para descargar sus aguas al río Lerma, 2 km al norte de Villa Seca, la Providencia. La subcuenca tiene un área de 252 km<sup>2</sup> (Figura. 4).

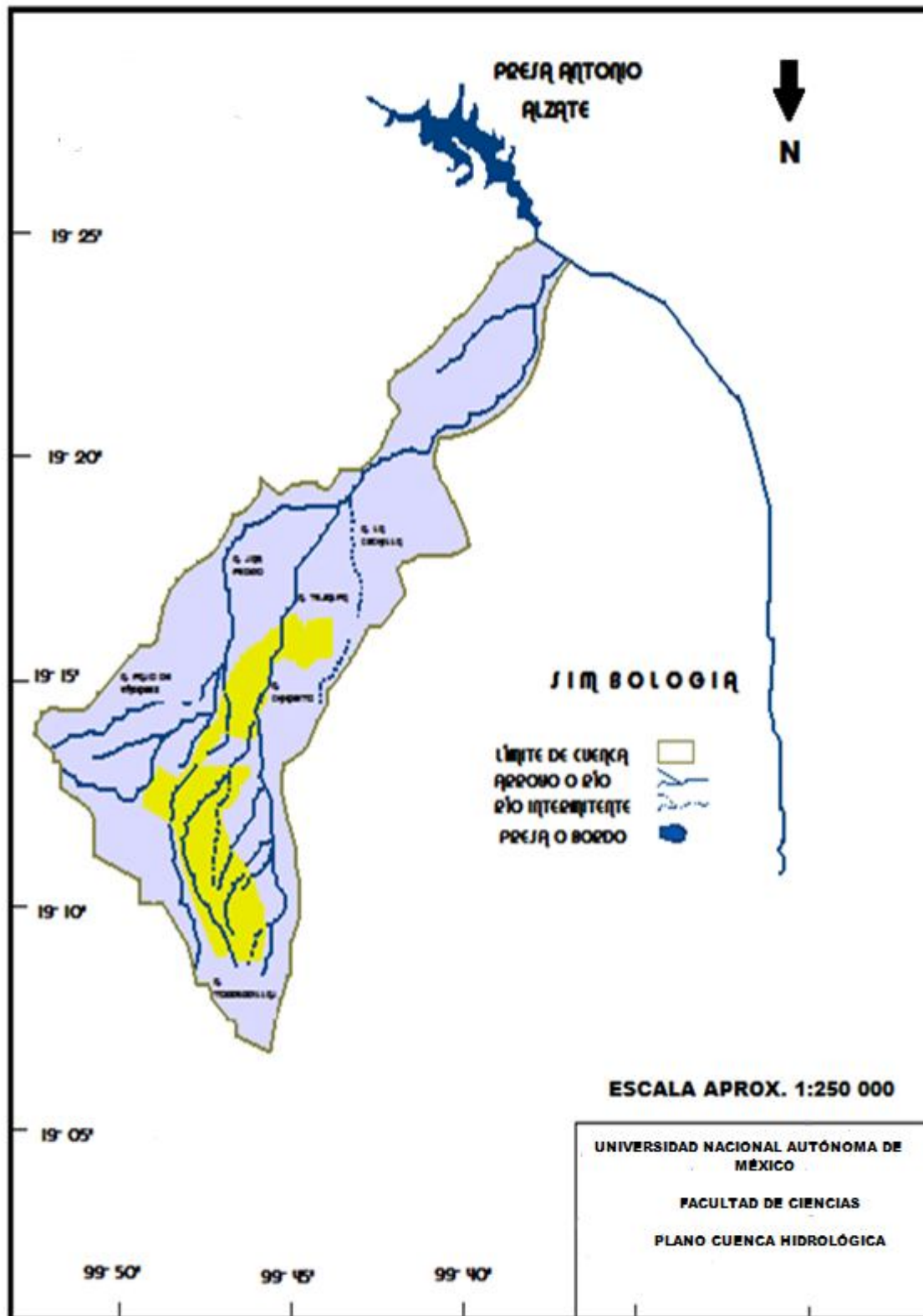


Figura 4. Subcuenca del río Tejalpa, de los suelos del ejido de San Cristóbal Tecolot, estado de México.

## 4.4. Agroclimatología

### 4.4.1. Estaciones meteorológicas

La red de estaciones climatológicas que se consideraron para detallar la influencia del clima en la zona es la siguiente:

Cuadro 7. Red de estaciones climatológicas de la zona de estudio

Estación	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
San Juan de las Huertas	19° 14' 34"	99° 45' 51"	2 840
San José del Contadero	19° 14' 05"	99° 48' 31"	3 045
Santa María del Monte	19° 19' 40"	99° 49' 40"	2 760
San Francisco Tlascilcalpan	19° 17' 45"	99° 47' 02"	2 000
Observatorio CNA	19° 17' 00"	99° 49' 00"	2721
Nevado de Toluca	19° 07'	99° 46'	4 120

Comisión Nacional del Agua, periodo de observación, 1982-1992.

### 4.4.2. Análisis de los factores climáticos.

De acuerdo con los resultados de los polígonos de Thiessen la zona de estudio se dividió en tres zonas influenciadas por las estaciones de San Juan de las Huertas, San José Contadero y una pequeña zona por la estación de San Francisco Tlalcilcalpan (Figura. 5).

#### 4.4.2.1. Temperatura.

La temperatura media anual es de 11.82°C; la época más calurosa se presenta en los meses de abril a junio, arriba de los 20°C; y la más fría de noviembre a febrero, menos de 1 °C.



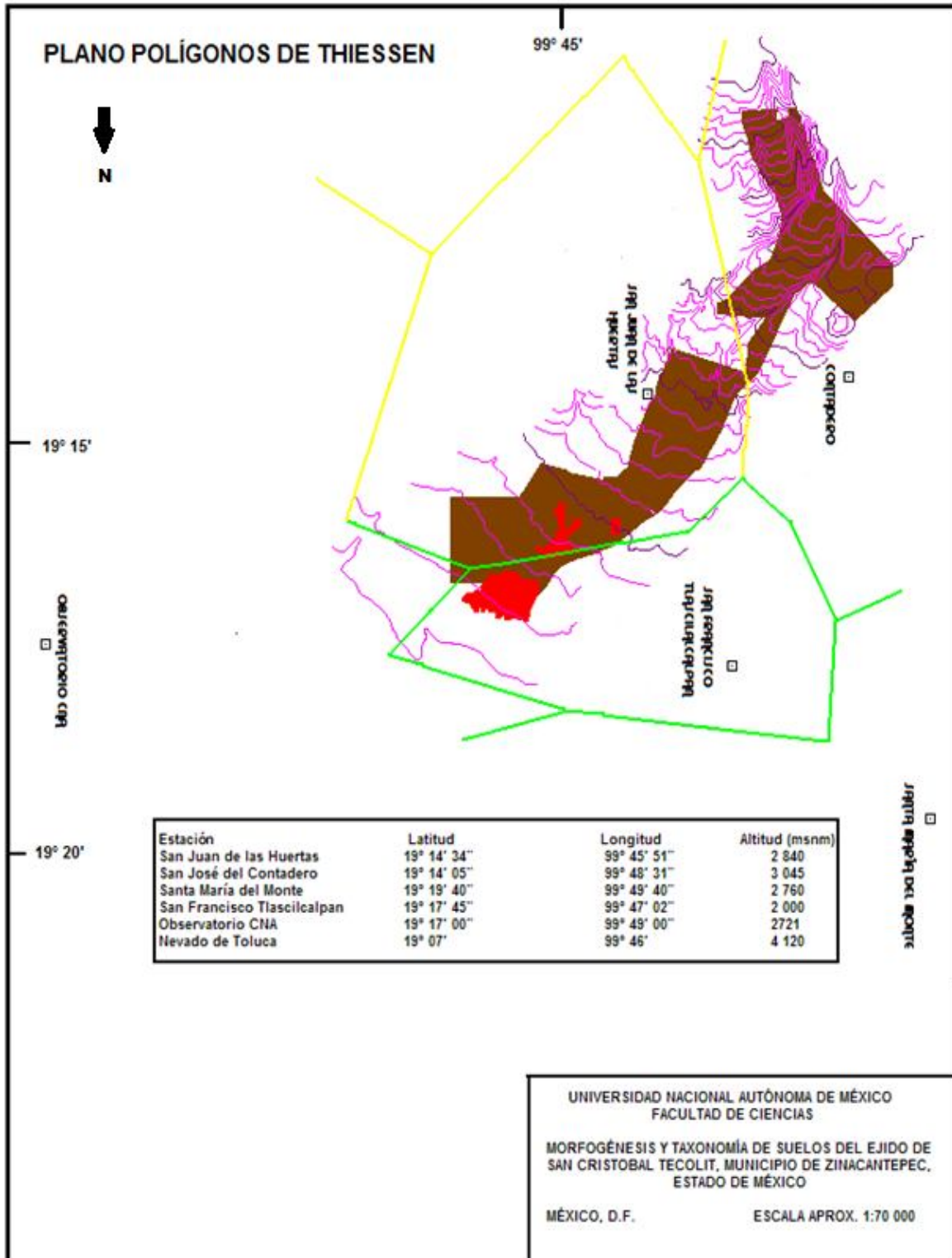


Figura 5. Polígonos de Thissen de los suelos del ejido de San Critobal Tecolotl, estado de México.

La temperatura máxima se presenta en el mes de mayo con 21.36 °C; la temperatura mínima en febrero con – 0.49 °C; y la mínima extrema en diciembre con – 5.07 °C.

La temperatura media anual 11.82 °C esta por debajo del rango de crecimiento para la mayoría de las plantas (15 a 40 °C).

La temperatura del ambiente es importante para que las plantas realicen varios procesos vitales, como son; la fotosíntesis, la respiración, la transpiración y la absorción de elementos nutritivos.

La fotosíntesis de las plantas disminuye o se incrementa de acuerdo a la intensidad de la luz.

Los procesos de respiración y transpiración disminuyen en la temporada fría, debido a la baja actividad respiratoria o la baja permeabilidad de las membranas celulares.

Los microorganismos heterótrofos son más abundantes durante la época calurosa, debido a ello la liberación de N, P y otros elementos de los residuos de materia orgánica es muy rápida.

La tasa de las reacciones que se verifican en el suelo, tanto químico como biológico son variables durante todo el año.

En la época calurosa se incrementa la actividad del intemperismo químico y la actividad biológica siempre y cuando haya una provisión adecuada de humedad. Se observa que en la época calurosa se precipitan 433.9 mm de lluvia (54.44% de la precipitación anual), con lo que provee de una adecuada humedad para las reacciones del suelo.

El suelo aumenta su acidez en la temporada calurosa y disminuye en la temporada fría, debido a la mayor actividad microbiana, tales cambios pueden afectar el desarrollo de las plantas.

#### **4.4.2.2. Precipitación.**

La precipitación anual es de 797.0 mm, la época mas lluviosa se presenta de junio a agosto representa el 57% de la lluvia que cae al suelo y la más seca de noviembre a abril, representa el 11.54% de la precipitación anual.

El agua que cae al suelo es fundamental como vehículo de transporte de nutrientes minerales, propicia el crecimiento de plantas y otros organismos. En la época seca la absorción de N y K es reducida, por efecto de la alta tensión con que el agua es retenida en el suelo.

#### **4.4.2.3. Evaporación.**

La evaporación anual es de 1 142.7 mm. Esta evaporación se relaciona estrechamente con la temperatura y la lluvia que cae al suelo, así tenemos que en los meses de septiembre a febrero, la evaporación mensual es menor a los 700 mm, debido a la disminución de la temperatura y a la precipitación pluvial.

En los meses de mayo a agosto la evaporación es arriba de los 700 mm, coincidiendo con los meses de mayor temperatura (mayo a junio), y los meses de mayor precipitación (mayo a agosto), se observa que en el mes de julio hay una disminución en la evaporación (96.24 mm), que es cuando se tiene la mayor precipitación del año (744.91 mm).

En los meses donde es mayor la evaporación que la precipitación, es indicativo de la necesidad de agua para los cultivos, ya que prácticamente toda el agua que cae al suelo es evaporada.

#### 4.4.2.4. Granizadas.

Las granizadas afectan seriamente el desarrollo foliar de los cultivos, aunque en esta zona se reportan pocos días con granizo.

Los días con granizo que se presentan en la zona de estudio, son de 2 a 5 días, y se presentan en los meses de mayo a octubre, siendo junio el mes con más frecuencia de días con granizo.

Cuadro 8. Cálculo del clima de los suelos de San Cristobal Tecolot, estación climatológica San Juan de las Huertas.

Concepto	Meses												
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annual
TE (°C)	8.7	9.5	11.1	13.1	14.3	14.4	13.4	13.3	12.9	11.7	10.3	9.1	11.82
PR (CM)	1.54	1.36	1.39	2.84	8.95	15.22	16.38	13.87	11.48	4.60	1.35	0.72	79.70
IC	2.31	2.64	3.34	4.30	4.91	4.96	4.45	4.40	4.20	3.62	2.99	2.48	44.60
EV (CM)	3.54	3.93	4.75	5.79	6.44	6.49	5.95	5.90	5.69	5.06	4.34	3.74	
FC	0.95	0.90	1.03	1.05	1.13	1.10	1.14	1.10	1.02	1.00	0.93	0.95	
EP (CM)	3.36	3.54	4.89	6.08	7.27	7.14	6.78	6.49	5.80	5.06	4.03	3.55	63.99
MH (CM)	-1.82	-2.18	-0.03	0.00	1.68	8.08	0.24	0.00	0.00	-0.46	-2.68	-2.83	
HA (CM)	2.21	0.03	0.00	0.00	1.68	9.76	10.00	10.00	10.00	9.54	6.86	4.03	
DA (CM)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.36	7.38	5.68	0.00	0.00	0.00	22.42
DE (CM)	0.00	0.00	3.46	3.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.70
ER (CM)	3.36	3.54	1.43	2.84	7.27	7.14	6.78	6.49	5.80	5.06	4.03	3.55	
ES (CM)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.34	2.44	3.45	0.86	0.00	0.00	
RP (CM)	-0.54	-0.61	-0.71	-0.53	0.23	1.13	1.41	1.13	0.97	-0.09	-0.66	-0.79	
	IH = 35.03						IP = 28.75						
	IA = 10.47						CT = 33.11						
	CONCEPTO			CLAVE				DESCRIPCIÓN					
	Categoría de humedad			PE				Moderadamente húmedo					
	Regimen d ehumedad			HA				Pequeña o nula deficiencia de agua					
	Categoría de humedad			TE				Semifrío					
	Regimen de temperatura			VA				Baja concentración de calor en verano					

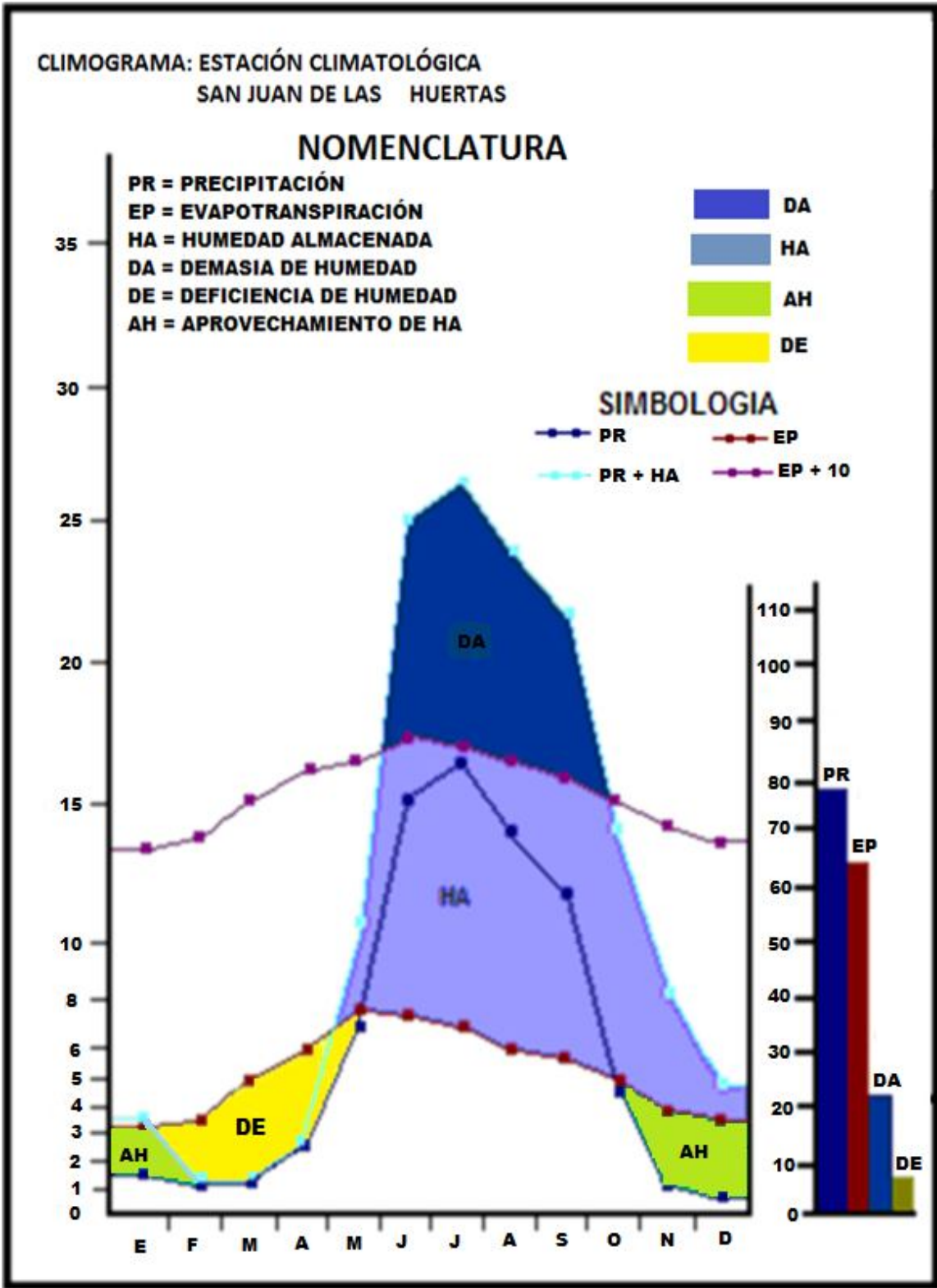


Figura 6. Climograma de la estación climatológica de San Juan de las Huertas.

## **4.5. Génesis del suelo.**

### **4.5.1. Material parental.**

Con el análisis de la bibliografía especializada y los recorridos de campo, se consideró lo siguiente:

Origen de la erupción. La evolución del Nevado de Toluca la podemos referir a dos grandes etapas de actividad, separados por un periodo de calma, caracterizado por una intensa erosión fluvial.

La primera etapa corresponde a la formación del aparato principal, el cual se edificó por una emisión sucesiva de coladas andesíticas ricas en sílice que pasaban lentamente a derrames brechados, que en sus porciones más distales se transforman en depósitos de conglomerados, las que datan entre 1,2 y 1,5 millones de años (Cantagrel *et al.*, 1981).

Al final de esta etapa el volcán alcanzaba probablemente una altura de 5 000 m. El Nevado entra posteriormente en larga fase de reposo, caracterizado por una intensa actividad erosiva.

Durante el periodo de reposo se forman importantes valles, entre los cuales destacan los del río San Jerónimo y Choltalcuatlán, así como una serie de valles menores, que posteriormente serán colmatados por lahares y depósitos volcánicos, que se transforman en conglomerados en la Sierra Cacahuamilpa.

En la segunda etapa se reanuda la actividad volcánica, marcada por una serie de erupciones paroximáticas de tipo peleano y pliniano que producen una serie de flujos de pómez y cenizas que se depositan en los valles radiales formados alrededor del volcán (Cantagrel *et al.*, 1981).

Esta segunda etapa se inicio hace aproximadamente 60 000 años con la aparición de flujos piroclásticos pumiciticos y dacíticos. Esta erupción paroximal produjo una

emisión rápida y violenta de más de 1 km<sup>3</sup> de lava de composición dacítica que marca un cambio espectacular en los productos y el dinamismo del aparato.

Después de un corto periodo de reposo se reinicia la actividad volcánica con dos importantes erupciones de tipo pliniano, la primera hace aproximadamente 24 000 años y la segunda 11 600 años.

La primera erupción pliniana es responsable del depósito de una capa de pómez denominada Pómez Toluca Inferior, con un volumen aproximado de 0,3 km<sup>3</sup>, y un espesor de más o menos 1 m en el flanco NE (Demant, 1981).

Después de un periodo de reposo de 8 000, se presenta la segunda erupción denominada Pómez Toluca Superior, mucho más violenta y con una emisión mayor de material, su edad calculada es de 11 600 años, con una eyección de 3,5 km<sup>3</sup> de pómez, que cubrieron principalmente la ladera NE, la planicie de Toluca, la Sierra de las Cruces.

Localmente los depósitos de caída alcanzan espesores de hasta 5 m. El estudio granulométrico de este depósito permite seguir el desplazamiento que siguió la columna eruptiva sobre la ladera noreste del volcán a causa de los vientos dominantes. Las ligeras variaciones que presentan la pómez y la proporción de líticos, nos muestran los pocos cambios que sufrió el régimen de emisión.

Las emisiones de tipo pliniano consisten en un chorro de gas, con gran fuerza y que lanza una cantidad enorme de piroclásticos (pómez) asociados con importantes volúmenes de material de flujo o ash flow y lahares, sin embargo, el periodo de actividad es corto (Aceves, 2000).

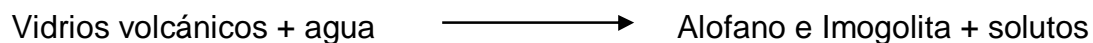
Como se puede observar el material parental de los suelos de la zona de estudio está íntimamente relacionado con el material que mayormente arrojó el Volcán Nevado de Toluca, que es la ceniza volcánica, en forma de pómez.

Las características del material parental (Pómez) son; es un vidrio volcánico. Espumoso, blanco o grisáceo, compuesto de finisimas agujas y fibras entrecruzadas de la misma composición que la obsidiana, de brillo sedoso. Se forma por enfriamiento rápido de una lava rica en gases y tiene una estructura amorfa con porosidad abundante, la totalidad de la masa está llena de poros de tamaño irregular (que habían sido espacios vacíos, llenos de gases) los cuales en general, no se comunican entre sí.

#### **4.5.2. Clima.**

##### **4.5.2.1. Precipitación.**

La zona de estudio presenta una precipitación media anual de 797 mm, determinada con el método de los poligonos de Thiessen, dicha precipitación, es suficiente para que se presente el fenómeno de andolización, ya que uno de los reactantes (agua) se agregó constantemente, lo que provocó que los solutos se eliminaran del sistema, como se especifica con la ecuación siguiente:



Como resultado se obtiene, que el material parental (ceniza volcánica) de la zona de estudio ha sufrido una meteorización intensa ya que la cantidad de alofano se incrementa en los horizontes subsuperficiales del perfil, en toda la zona, Asimismo se observa que el horizonte superficial disminuye la cantidad de alofano, debido a un mayor grado de acumulación de materia orgánica.

Lo anterior se relaciona bien con las características de la influencia de la precipitación en la formación de los andisoles, ya que cuando se cuenta con una precipitación anual (< 1 000 mm) y contando con un pH (H<sub>2</sub>O) > 4,9, son condiciones que caracteriza contar con minerales de arcilla alofanicos y menor abundancia de formación de complejos de Al/Fe-humus (Shoji *et al.*, 1981; Shoji y Fujiwara, 1984). Y precisamente relacionando lo expuesto en los dos párrafos



anteriores es lo que se presenta en la zona de estudio, a excepción del horizonte de acumulación de materia orgánica, ya que ahí es donde se forma el complejo Al/humus.

#### **4.5.2.2. Temperatura.**

El rango de intemperismo químico en las tefras incrementa remarcadamente con el incremento de la temperatura. Cuando la temperatura media anual es de 10 °C y el material parental consiste principalmente de vidrio no coloreado, esta determinado que los procesos son bastante rápidos para proporcionar propiedades ándicas al suelo ( $Al_2O_3 + \frac{1}{2} Fe \geq 2,0$  por ciento) (Shoji *et al.*, 1993).

Las condiciones anteriores son las que se presentan en la zona de estudio por lo cual la temperatura ha ejercido la influencia para la formación de los andisoles de esta zona.

#### **4.5.3. Topografía.**

La topografía interviene grandemente en la formación del suelo ya que influye principalmente en la cantidad de agua que puede penetrar en el suelo.

De acuerdo a esto, la zona de estudio se dividió en tres Sistemas Terrestres tomando como base la inclinación del suelo, dichos Sistemas son los siguientes (Figura 10):

##### **4.5.3.1. Sistema Terrestre Nevado.**

Los suelos de este sistema terrestre presentan una inclinación entre el 8 y 9%, se localiza a una altura de 3 400 a 3 100 metros, es la zona más cercana al volcán Nevado de Toluca, por lo tanto es una de las zonas de mayor influencia de acumulación del material piroclástico (piedra pómez).

Esta inclinación no ha permitido una total intemperización del material original, ya que el agua se filtra rápidamente, como lo demuestra el bajísimo porcentaje de arcilla que se ha formado.

El material piroclástico que se localizó llega a una profundidad de 2 m (profundidad a la que se realizaron los perfiles), presenta cuatro capas de ceniza, combinadas con piedra pómez (Figura 7).

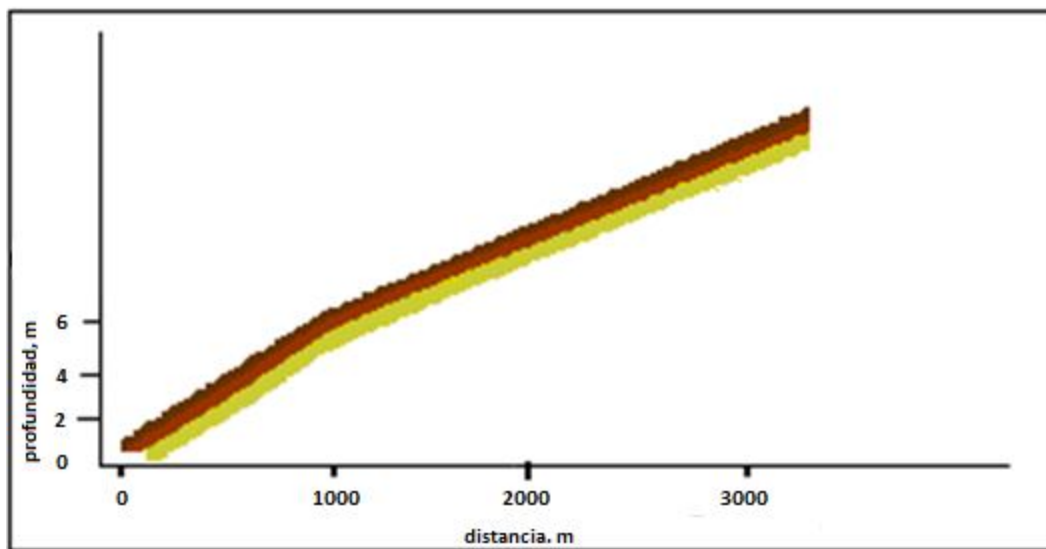


Figura 7. Sección del perfil de los suelos del sistema terrestre Nevado, del ejido de San Cristóbal Tecolot, estado de México.

#### 4.5.3.2. Sistema Terrestre Tejalpa.

Los suelos de esta toposecuencia cuentan con una pendiente del 5 al 7%, se localiza a una altura de 3 100 a 2 900 metros, es otra de la zona cercana al volcán, lo que le permite estar influenciada por las emanaciones del material piroclástico arrojado por el volcán (piedra pómez).

Esta inclinación ha permitido una mayor intemperización, debido a que el escurrimiento superficial es menor, la infiltración del agua es mayor.

En este sistema terrestre es posible localizar a una profundidad de 180 cm una capa u horizonte de arena, lo que refleja las diferentes depositaciones de material piroclástico que arrojó el volcán.

En esta toposecuencia se localizan de 3 a 6 capas de ceniza volcánica combinadas con piedra pómez (Figura 8).

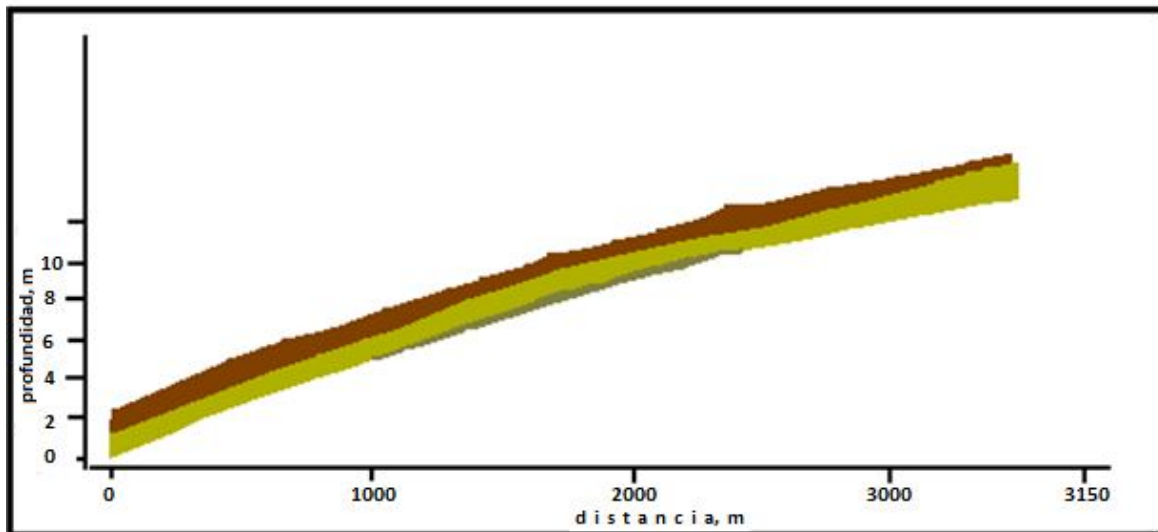


Figura 8. Sección del perfil de los suelos del sistema terrestre Tejalpa, del ejido de San Cristóbal Tecolot, estado de México.

#### 4.5.3.3. Sistema Terrestre San Cristobal.

Este sistema terrestre presenta una pendiente del 1.9 por ciento, se localiza a una altura de 2 760 a 2 900 metros, es la zona más retirada del Volcán Nevado de Toluca, pero por esto no deja de estar influenciada por el material piroclástico de origen, ya que dicho material es el que rellenó el Valle de Toluca, además por ser la zona más baja ha habido influencia del acarreo de material de las partes altas por las corrientes fluviales que atraviezan la zona (Río Tejalpa).

Debido a la menor pendiente que presenta esta toposecuencia la infiltración del agua ha sido mayor lo que ha permitido la formación de arcilla, como se denota en los perfiles ubicados en este toposforma (Figura 9).

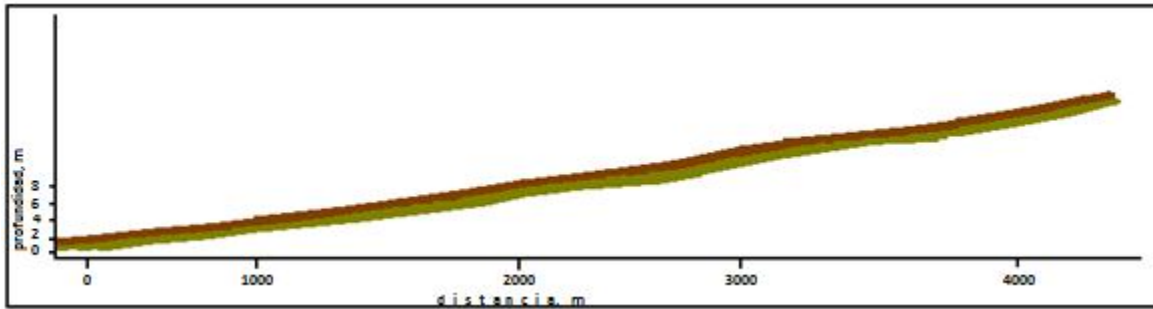


Figura 9. Sección del perfil de los suelos del sistema terrestre San Cristobal, del ejido de San Cristóbal Tecolotit.

#### 4.5.4. Organismos.

En los depósitos de tefras se establece rápidamente la vegetación porque sus propiedades físicas y químicas son favorables para el crecimiento de las plantas, que en cambio facilita el desarrollo del suelo.

La biosecuencia que más se ha notado entre andisoles con árboles y vegetación de pasto ha sido notada. Así se tiene que el pasto es un fuerte andisolizador y ha sido observado que contribuye grandemente a la formación de epipedones muy oscuros ricos en humus o andisoles melánicos.

Las tefras son comúnmente de grano fino, vesicular y no consolidado que contribuyen a tener capacidad de disponibilidad de agua para las plantas superiores y alta superficie por área que a su vez deriva una rápida liberación de nutrientes por intemperismo.

Estas condiciones favorecen el rápido re-establecimiento de plantas superiores como pioneras. Como sucedió en la zona de estudio ya que anteriormente fue una zona boscosa, con vegetación de pastos, como aún se pueden observar en las partes más altas del Nevado de Toluca. Esto dio origen a un horizonte superficial muy oscuro y rico en materia orgánica y su acumulación en los horizontes subsuperficiales, pero de color mucho más claros que el superficial (Shoji *et al.*, 1993).

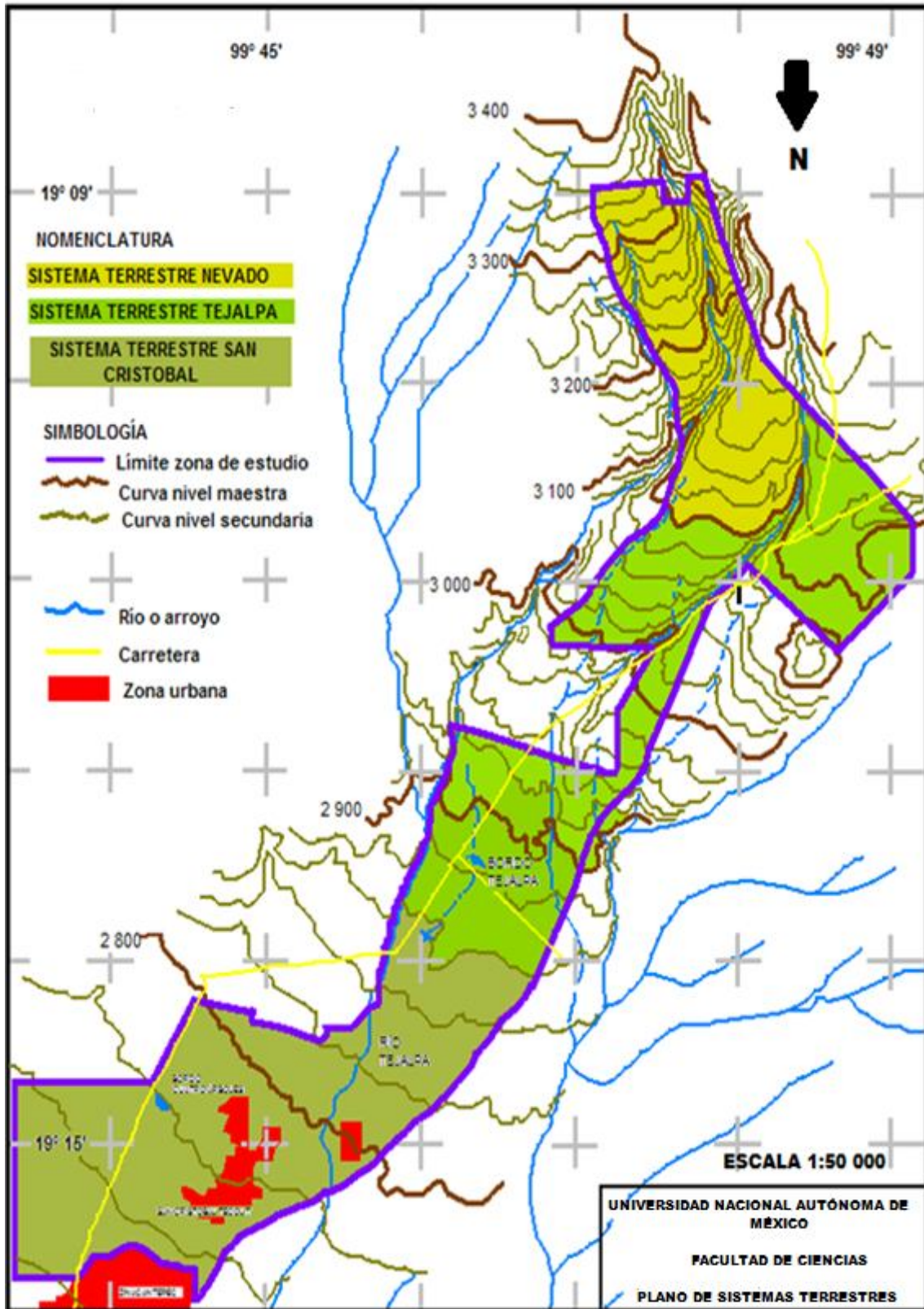


Figura 10. Sistemas terrestres de los suelos del ejido de San Cristóbal Tecolotl, estado de México.

Las condiciones físicas y químicas de los suelos de la zona de estudio han permitido la existencia de organismos del genero animal, principalmente roedores que han marcado su influencia en la formación del suelo, ya que al hacer sus galerías o madrigueras llevan material del subsuelo a la superficie y viceversa, ocasionando una mezcla del suelo. Otro factor que ha marcado su influencia en la formación del suelo es la vegetación antes mencionada debido a la acumulación de sus residuos y su posterior descomposición, lo que dio origen a la materia orgánica de esto suelos.

#### **4.5.5. Tiempo.**

Para estimar la edad de los suelos de la zona de estudio se analizaron tres conceptos que son los siguientes:

a. Tiempo cero de andisoles. Las tefras son comúnmente dominadas por partículas de vidrios volcánicos con vesículas grandes que pueden retener agua y rápidamente pusieron en libertad nutrientes minerales para el establecimiento de las plantas superiores, como ya se describió anteriormente.

b. Desarrollo de la secuencia de los horizontes de andisoles. Los andisoles presentan un rápido cambio o desarrollo en la secuencia de los horizontes con el tiempo.

El rango de desarrollo en los perfiles de andisoles es determinado por varios factores, tales como la humedad y temperatura del suelo, tipo de roca y textura de las tefras, etc.

La relación entre la edad de andisoles y su secuencia de horizontes se consideró tomando en cuenta los siguientes parámetros (Shoji *et al.*, 1993):

Horizontes	Edad
A (humic) – C	Varios 100 años
A (humic) – Bw (coloreado) – C	Varios cientos – 1 000 años
A (humic) – Bw (cambico) – C	1 000 – varios miles de años
A (melanico o fúlvico) – Bw (cambico) – C	varios miles de años o más viejos

De acuerdo a estos parámetros y los horizontes que se presentan en cada toposecuencia podemos decir que los suelos de la zona de estudio se encuentran de la siguiente forma:

Sistema	Horizontes	Años
Terrestre		
Nevado	A (melanico o fulvico) – Bhw – C	Más de 1 000
Tejalpa	A (melanico o fulvico) – Bhw – C	Más de 1 000
San Cristobal	A (Humico) – Btw - C	Más de 1 000

La edad estimada en el cuadro anterior si esta dentro del intervalo establecido ya que si consideramos que la última erupción del volcán Nevado de Toluca, denominada Toluca Pómez Superior que ha sido datada hace 11 600 años.

c. Entierro de andisoles. Los andisoles ocurriendo en la vecindad de los volcanes frecuentemente desarrollan un multiseccum, cuando la edad se incrementa, después ellos son formados por depósitos intermitentes de tefras.

La intensa lixiviación del medio ambiente favorece la formación de alofano, imogolita y ferrehidrita en todo el horizonte excepto en el más alto de los horizontes de humus que presenta preferencialmente formaciones de complejos de Al/Fe – humus. Después el horizonte húmico es enterrado por un nuevo depósito de tefras, formación de arcilla en el horizonte enterrado produce horizontes no humicos similares (Saigusa *et al.*, 1978).

Las tefras sobrecargan continuamente de adiciones de materia orgánica de la vegetación en el horizonte húmico enterrado y el pH (H<sub>2</sub>O) de los horizontes aumenta.

Así la adición de tefras detiene la formación de Al/Fe – humus pedogenético y lleva a favorecer la formación de alofano e imogolita.

Más adiciones de depósitos gruesos de tefras cambian las condiciones de intemperismo de los suelos enterrados. Horizontes del suelo profundamente enterrados son sujetos a la acumulación de bases y sílice que migran de los horizontes del suelo superpuestos y favorece la formación de haloisita en el horizonte enterrado. Así, la sección del perfil es dividido en las zonas de lixiviación y acumulación. El límite entre las dos zonas es dependiente de varios factores, tales como la precipitación, evapotranspiración, retención de agua, drenaje, vegetación (Saigusa *et al.*, 1978).

#### **4.6. Procesos edafogénicos.**

La formación del suelo de la zona de estudio se vio favorecida por los procesos edafogénicos siguientes:

##### **4.6.1. Adiciones.**

Este proceso corresponde principalmente a la acumulación de la materia orgánica en la superficie de los suelos.

En la actualidad en los sistemas terrestres Nevado y Tejalpa se presentó la mayor acumulación de materia orgánica en los horizontes superficiales, cuya profundidad y porcentaje de materia orgánica varía de la siguiente forma.



Sistema Terrestre	Profundidad en cm	Porcentaje promedio de materia orgánica
Nevado	0 – 28	7.2
Tejalpa	0 - 57	8.43

Esta gran acumulación de materia orgánica permite definir horizontes morfogenéticos Húmicos, así como horizontes de diagnóstico Mólicos, lo que permite contar con un horizonte muy rico y de características físicas favorables para el buen desarrollo de las raíces de las plantas, además de acuerdo al tamaño de partículas que se presentan permiten el movimiento de la materia orgánica a los horizontes subsuperficiales.

#### **4.6.2. Transformaciones.**

##### **4.6.2.1. Meteorización.**

Si se ha considerado como material parental a las tefras arrojadas por el Volcán Nevado de Toluca, y uno de los parámetros que se consideran para definir la intemperización de estos materiales es la presencia de alofano e imogolita.

De acuerdo a esto los suelos de la zona de estudio, presentan altas cantidades de alofano e imogolita definido en campo y laboratorio, en casi todo el perfil, a excepción de los horizontes húmicos en los cuales la presencia de alofano e imogolita es baja. Por lo tanto estos suelos se encuentran en un estado medio de intemperización, reafirmando esto con la presencia de material sin intemperizar en el tamaño de grava y en un porcentaje de 20% del total del material analizado.

##### **4.6.2.2. Humificación.**

Las propiedades físicas que permitieron el establecimiento de las plantas superiores y pastos adquirieron gran importancia en el desarrollo del suelo ya que sus desechos se convirtieron en el material que le dio origen a la materia orgánica

del suelo, que en la actualidad se encuentra irreconocible debido al alto grado de humificación que sufrieron, dando origen a un material humificado oscuro de consistencia muy suave y ligero.

#### **4.6.2.3. Edafoturbación.**

Es el fenómeno que ocurre en el suelo debido a la macro fauna, que se localiza en la zona de estudio, provocando cambios posicionales del material edáfico, ocasionando una severa mezcla, este proceso de bioturbación se da en casi toda la profundidad del perfil, en el cual el material edáfico de los horizontes subsuperficiales es llevado a la superficie cuando la macrofauna realiza conductos en el subsuelo que los utiliza como lugares para vivir, cuando estos lugares son abandonados, se rellenan de material de los horizontes superiores. En campo éstos se conocen con el nombre de crotovinas. Además se presenta un límite de horizonte muy especial, denominado ondulado, y formando otra característica edafogenética conocida como lenguas.

Esta bioturbación se ve más marcada en los sistemas terrestres Nevado y Tejalpa, y parte del San Cristobal, debido a que en esta última toposecuencia la pendiente es menor y el suelo se presenta de mayor consistencia (más duro) por lo cual los macroorganismos no pueden hacer fácilmente sus madrigueras.

#### **4.6.2.4. Formación de Fragipanes.**

En el sistema terrestre San Cristobal a una altitud de 2 860 a 2 700 metros de altura, se localizó un fragipan, el cual presenta una textura franco arcillo arenosa a franco arcillosa, densidad aparente de  $1.25 \text{ g/cm}^3$ , es duro cuando está seco, y firme cuando está húmedo pero se rompe cuando se le presiona, es pobre en materia orgánica y su drenaje es deficiente.

### **4.6.3. Translocaciones.**

Queluviación. La queluviación que se presenta en los suelos de la zona de estudio es la translocación de la materia orgánica, la cual se ha movido a través de todo el perfil presentando la mayor cantidad de materia orgánica en los horizontes superficiales decreciendo con la profundidad.

En el sistema terrestre San Cristobal, se presenta menor cantidad de materia orgánica en la superficie, pero aún así la materia orgánica se ha movido a través del perfil.

### **4.6.4. Pérdidas de componentes.**

#### **4.6.4.1. Erosión.**

Las observaciones de campo, permitieron establecer que principalmente en los sistemas terrestres Nevado y Tejalpa se presenta la pérdida del material edáfico en forma de erosión hídrica y eólica.

La erosión eólica es muy común en la zona en los meses de febrero, marzo y abril, ya que es la época en que el viento se presenta con mayor intensidad, y combinado esto con la fragilidad del material edáfico, hace que se levanten grandes tolveneras acarreado las partículas del suelo a otras partes fuera de la zona de estudio.

La erosión hídrica es la que se presenta con mayor intensidad ya que el agua de lluvia actúa sobre el suelo por un periodo más prolongado, realizando el acarreo de las partículas del suelo por la corriente superficial que se forma en estos sistemas terrestres, por lo cual la forma de erosión que es muy común observar en la zona es la de canales o surcos, debido nuevamente a la gran fragilidad que tiene el material edáfico.

#### **4.7. Morfología del Suelo.**

La nomenclatura de los horizontes morfogenéticos en cada toposecuencia fué la siguiente:

##### **4.7.1. Sistema Terrestre Nevado.**

La morfología que presenta esta toposecuencia se representa por un horizonte de acumulación de materia orgánica, que es del 11.73%, el color del horizonte en seco es 2.5 Y 3/2 a 2.5 Y 3/1 que corresponde al pardo grisáceo muy oscuro a gris muy oscuro, con una estructura granular y un bajo contenido de arcilla (2.6%), estos datos permiten definir un horizonte morfogenético A. Las características subordinadas presentes en este horizonte es la perturbación por labranza, quedando definido finalmente éste horizonte como Ap. Se presenta un subhorizonte con las mismas condiciones, pero con una mayor acumulación de materia orgánica 13.70 y no cuenta con otras condiciones subordinadas, por lo cual se clasifica como un horizonte morfogenético A1.

Se cuenta con dos capas subsuperficiales al horizonte A1 de acumulación de materia orgánica de 2.73, su color es más claro que los horizontes sobreyacentes, siendo 2.5 Y 6/4 a 2.5 Y 6/3, que corresponde a un color pardo amarillento brillante, con estructura granular a blocosa subangular, calificándose como un horizonte morfogenético B2 y B22. Las propiedades subordinadas en estos horizontes son el desarrollo de color y estructura, así como la acumulación de materia orgánica, por lo tanto la nomenclatura final del horizonte morfogenético es Bhw1 y Bhw2.

Las dos últimas capas de los perfiles de la toposecuencia, presentan una menor acumulación iluvial de materia orgánica con valor de 1.95 a 1.75%, color más claro que los horizontes B, siendo éste 2.5 Y 8/1, el color que le corresponde es blanco, cuentan con intemperismo fuera de la zona de mayor actividad biológica, muy bajo el contenido de arcilla (4.4 a 3.4%), densidad aparente más alta, estructura

granular, lo que hace que se califique como un horizonte morfogenético C. Las propiedades subordinadas son acumulación iluvial de materia orgánica y desarrollo de estructura, correspondiendo por lo tanto a un horizonte morfogenético Chw1 y Chw2.

La secuencia final de los horizontes morfogenéticos en esta toposecuencia es la siguiente:

Ap – A1 – Bhw1 – Bhw2 – Chw1 – Chw2.

#### **4.7.2. Sistema terrestre Tejalpa.**

La morfología de este sistema terrestre se representa por un horizonte de acumulación de materia orgánica, del 11.82 por ciento, el color del horizonte en seco es 2.5 Y 4/2 que corresponde al pardo grisáceo oscuro, con una estructura blocosa subangular débil y moderado contenido de arcilla (13.6 por ciento), estos datos permiten definir un horizonte morfogenético A. Las características subordinadas presentes en este horizonte es la perturbación por labranza, quedando definido finalmente éste horizonte como Ap. Se presenta un subhorizonte con las mismas condiciones y la acumulación de materia orgánica de 17.25 por ciento y no cuenta con otras condiciones subordinadas, por lo cual se clasifica como un horizonte morfogenético A1.

Los horizontes subsuperficiales son tres capas en las que se presentó el movimiento de materia orgánica cuyos valores varían de 1.41 a 1.81%, su color es más claro que los horizontes sobreyacentes, siendo 2.5 Y 5/4 que corresponde a un color pardo olivo brillante, con estructura blocosa subangular débil, calificándose como un horizonte morfogenético B2, B22 y B23. Las propiedades subordinadas en estos horizontes son el desarrollo de color y estructura, así como la acumulación iluvial de materia orgánica, por lo tanto la nomenclatura final del horizonte morfogenético es:

Bhw1, Bhw2 y Bhw3.

Las dos últimas capas de los perfiles del sistema terrestre, presentan una menor acumulación iluvial de materia orgánica con valor de 0.81 a 1.20 por ciento, color más claro que los horizontes B, siendo éste 2.5 Y 7/4 a 2.5 Y 5/3, amarillo pálido a pardo olivo brillante respectivamente, cuentan con intemperismo fuera de la zona de mayor actividad biológica, bajo el contenido de arcilla (9.6 a 11.6%), densidad aparente más alta (1.09-1.15 Mg m<sup>-3</sup>), estructura blocosa subangular débil, lo que hace que se califique como un horizonte morfogenético C. Las propiedades subordinadas son acumulación iluvial de materia orgánica y desarrollo de estructura, correspondiendo por lo tanto a un horizonte morfogenético Chw1 y Chw2.

La secuencia final de los horizontes morfogenéticos en esta toposecuencia es la siguiente:

Ap – A1 –Bhw1- Bhw2- Bhw3 – Chw1 – Chw2

#### **4.7.3. Sistema terrestre San Cristobal.**

La morfología de este sistema terrestre se representa por un horizonte de menor acumulación de materia orgánica, que es del 3.70, el color del horizonte en seco es 10 YR 5/2 que corresponde al pardo grisáceo, con una estructura blocosa subangular y con un contenido de arcilla, del 16.8%, estos datos permiten definir un horizonte morfogenético A.

Las características subordinadas presentes en este horizonte es la perturbación por labranza, quedando definido finalmente éste horizonte como Ap.

Se presenta un subhorizonte con las mismas condiciones y la acumulación de materia orgánica es 1.4 por ciento, las condiciones subordinadas son el desarrollo de color, con una disminución de arcilla, cuyo valor es de 10.8 por ciento, por lo cual se clasifica como un horizonte morfogenético B(w) en formación.

Las última capas del perfil del sistema terrestre, presentan una menor acumulación iluvial de materia orgánica con valor de 0.47 a 0.66 por ciento, color más claro que el horizonte Bw, siendo éste 10 YR 7/1 a 10 YR 6/1, color gris brillante y gris, cuentan con intemperismo fuera de la zona de mayor actividad biológica, mayor contenido de arcilla de 24.8 a 34.8 por ciento, densidad aparente más alta, estructura blocosa subangular, y un incremento de arcilla, lo que hace que se califique como un horizonte morfogenético Ctw1 y Ctw2.

La secuencia final de los horizontes morfogenéticos en esta toposecuencia es la siguiente:

Ap – B(w) – Ctw1 – Ctw2

#### **4.8. Horizontes de Diagnóstico.**

##### **4.8.1. Sistema terrestre Nevado.**

La parte superficial del suelo presenta un solum de 65 cm de profundidad, la profundidad requerida para el epipedón es de 30 cm, el value en seco es de 3 y en húmedo de 2 a 3 y chroma de 2 en seco y 2 en húmedo, el contenido de carbono orgánica es mayor al 6.0%, con una estructura granular débil, y tiene propiedades ándicas en todo su espesor, correspondiendo a un epipedón MELÁNICO.

El endopedión que se presenta, cuenta con una textura de arena francosa, con estructura granular a blocosa subangular con alto contenido de alofano, capacidad de intercambio catiónico de 25.6 a 37.4 cmol kg<sup>-1</sup>, existen evidencias de alteración, como es la disminución regular de la materia orgánica con la profundidad y no existe cementación que provoque endurecimiento, lo que permite calificar al endopedión como CÁMBICO.

#### **4.8.2. Sistema terrestre Tejalpa.**

Los horizontes superficiales constituyen un solum de 130 cm de profundidad, del cual la profundidad requerida para el epipedón es de 57 cm, el contenido de materia orgánica es muy alto con valores de 11.83 a 17.21 por ciento, con una estructura blocosa subangular débil, el valor de  $n$  es menor de 1, un índice melánico menor de 1.7, para que finalmente se defina como epipedón MELÁNICO.

El endopedión presenta una textura areno francosa, con estructura blocosa subangular débil, alto contenido de alofano, capacidad de intercambio catiónico de 15.3 a 24.0  $\text{cmol kg}^{-1}$ , presenta evidencias de alteración principalmente una disminución regular de la materia orgánica con la profundidad, no existe cementación que provoque endurecimiento, estas características definen a un endopedión CÁMBICO.

#### **4.8.3. Sistema Terrestre San Cristobal.**

En este sistema terrestre, los horizontes superficiales constituyen un solum de 34 cm de profundidad, profundidad requerida para el epipedón, el contenido de materia orgánica es medio con valores de 3.70 por ciento, con una estructura blocosa subangular, el valor de  $n$  es de 0.20, el value en seco es 5 y en húmedo de 3, estas características ubican al horizonte en el epipedón ÓCRICO.

El endopedión presenta una textura franco arenosa, con un ligero decremento de arcilla 10.8 por ciento, con estructura blocosa subangular débil, con menor por ciento de alofano, capacidad de intercambio catiónico de 21  $\text{cmol kg}^{-1}$  presenta evidencias de alteración a través de la disminución regular de la materia orgánica con la profundidad, es duro en seco, pero no cementado, estas características definen a un endopedión CÁMBICO.

El último horizonte presenta una textura franco arcillo arenosa a franco arcillosa, cuenta con un contenido muy bajo de materia orgánica 0.47 a 0.66 por ciento,



tiene una alta densidad aparente  $1.32 \text{ Mg m}^{-3}$ , consistencia dura en seco, en húmedo firme que le permite romperse, las características de este endopedión lo califica como un FRAGIPAN.

#### **4.9. Taxonomía del Suelo.**

Con los datos analizados en lo que se refiere a los horizontes morfogenéticos y de diagnóstico, se contó con la información necesaria para analizar las claves que se requerían para definir la taxonomía del suelo de la zona de estudio, en las categorías altas de acuerdo a las Claves de la Taxonomía del Suelo (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 2006).

##### **4.9.1. Sistema Terrestre Nevado.**

###### **4.9.1.1. Orden del suelo.**

Las claves requeridas empleadas para definir esta taxa, se definieron considerando las propiedades ándicas, las cuales son:

Propiedad	Rango	Condición ándica
Aluminio extractable + 1/2 de fierro extractable	3.25 – 3.44	Si
Densidad aparente $\text{Mg m}^{-3}$	0.99 a 1.32	Si
Vidrio volcánico (%)*	13.75 – 16.60	Si

\* Valor estimado de acuerdo a la siguiente expresión:  $\text{vidrio} > 35 - 15(\text{Al}_{\text{oxa}} + \frac{1}{2} \text{Fe}_{\text{oxa}})$

Por lo tanto, el suelo del sistema terrestre Nevado, presenta propiedades Andicas, en todo el perfil, lo que lo califica como un ANDISOL.

###### **4.9.1.2. Suborden del suelo.**

Las claves requeridas empleadas para definir esta taxa, están en función a las siguientes características:

Propiedad	Rango
Segregaciones de reducción.*	No se presentaron
Chromas en húmedo	2
Values en húmedo	2 a 3
Régimen de temperatura	Isofrígido
Régimen de humedad	Údico
Retención de humedad a 1 550 kPa.	29.60 – 9.17 kPa
Contacto lítico o paralítico	No se presentan.

Los datos establecidos en la tabla, permite definir un suborden: UDANDS.

#### 4.9.1.3. Gran grupo del suelo.

Las claves requeridas empleadas para definir esta taxa, están en función a las siguientes características:

Propiedad	Rango
Régimen de temperatura	Isofrígido
Horizonte plácico	No se presentó
Capa cementada, no pierde consistencia dentro del agua	No se presentó
Retención de agua a 1 500 Kpa, en muestras secadas al aire	29.60 – 9.17 kPa
Contacto lítico o paralítico	No se presentó
Epipedón melánico*	Si se presentó
Contacto lítico o paralítico en los primeros 35 cm	No se presentó
Carbono orgánico requerido para epipedón melánico y color de mólico	6.82 por ciento carbono orgánico y color pardo grisáceo oscuro y pardo muy oscuro
Duripan dentro de los 125 cm	No se presentó
Régimen de humedad	Údico

De acuerdo a los datos que se encuentran en el cuadro se pudo definir un gran grupo conocido como MELANUDANDS.

#### 4.9.1.4. Sub grupo del suelo.

Las claves requeridas empleadas para definir esta taxa, estan en función a las siguientes características:

Propiedad	Rango
Contacto lítico dentro de los 50 cm	No se presenta
Más de 2.0 cmol(+) kg <sup>-1</sup> de aluminio en una capa de 10 cm dentro de los 25 a 50 cm de profundidad	Menos de 2.0 cmol
Retención de agua a 1 500 Kpa de 70 porciento o más en suelo no secado.	No se cumple
Más de 3.0 porciento de carbono orgánico y colores del epipedón mólico en una capa de 10 cm dentro de los 25 a 100 cm de profundidad	No cumple con el color
Más de 5.0% de carbono orgánico y colores de un epipedón mólico en por lo menos 60 cm de los 70 cm superiores del suelo	No cumple con la profundidad
Menos de 2.0 cmol(+) kg <sup>-1</sup> de aluminio en algún subhorizonte de 30 cm o más de profundidad	Si se cumple
Saturación de bases de menos de 36% en todo el horizonte argílico	No se cumple
2% o más de segregaciones de reducción	No se cumple
Chromas dominantes en húmedo de 1 o menos	No se cumple
Otros cromas diferentes en cualquier horizonte que tienen valores en húmedo de 3 o menos	Si se cumple, son de 2 a 3
Suma de bases mayor de 25 cmol(+) kg <sup>-1</sup> en algún subhorizonte de 15 cm entre los 25 y 75 cm de profundidad	Menor a 25 cmol(+)kg <sup>-1</sup>
Horizonte argílico dentro de los 150 cm y la saturación de bases es menor de 35% en todo el horizonte argílico	No se cumple

Del análisis realizado en el cuadro anterior podemos definir que el sistema terrestre Nevado presenta el subgrupo: TYPIC

#### **4.9.1.5. Descripción del suelo Typic Melanudands**

El estudio biosecuencial del suelo del sistema terrestre Nevado presenta un ecosistema de pino y pasto que contribuyeron grandemente a la génesis de los Melanudands y a que la materia orgánica de los Melanudands presenten un alto grado de humificación.

Este suelo tiene distintas características morfológicas, un horizonte medio en profundidad, con humus muy oscuro (0 – 28 cm), formado de la acumulación de ceniza volcánica de 16 000 a 1 000 años, presenta un índice melánico menor de 1.70. De lo anterior, es obvio que el color melánico de Andisoles es determinado por el alto contenido de materia orgánica del suelo de 11.73 por ciento y humus con un alto grado de humificación.

Hay diferencias significativas, en la consistencia entre los horizontes húmicos y horizontes no húmicos observadas en campo. Todo el humus presenta friabilidad, ligera adherencia y ligera plasticidad, consistencia común para andisoles alofánicos. En contraste, los horizontes no húmicos presentan consistencia friable, adherentes y ligeramente plásticos.

Las grandes cantidades de compuestos de Al y Fe activos inhiben la completa dispersión de las partículas de arcilla. El pedón exhibe densidades aparentes bajas de menos de  $1.0 \text{ Mg m}^{-3}$  y valores de retención de agua a 1 500 kPa que se observaron como medios de acuerdo a la clase del tamaño de partículas.

El dato analítico de la materia orgánica indica que el suelo del sistema terrestre es rico en humus característico de Andisoles melánicos. El pedón presenta concentraciones de carbono orgánico mayores de 6.0 por ciento y un índice melánico menor de 1.7 en el horizonte húmico.

Los valores de la CIC varían de 86 a 48  $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$ . Comparando los contenidos de arcilla y carbono orgánico indican que la materia orgánica del suelo contribuye mayormente a los valores altos de la CIC. El suelo es intensamente lixiviado, por lo tanto, la saturación de bases es extremadamente baja (< 5%).

Hay diferencias notables en los valores de pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ) y Al extractable en KCl entre los horizontes húmicos (Ap, Ah) y los horizontes no húmicos (Bw1, Bw2). Se presentan valores de acidez y Al extractable moderados que son severamente tóxicos a las raíces de ciertas plantas. Por otra parte los horizontes sin humus son ligeramente ácidos y tienen Al extractable mayor de  $2.0 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ .

Todos los horizontes del suelo contienen valores de Al y la mitad de Fe extractables en oxalato ácido mayor de 2.0 por ciento, presentan en su mayor parte retención de P más grandes que 70% en los horizontes húmicos y menos de ese porcentaje en los horizontes no húmicos: las altas relaciones de Al extractable en pirofosfato de sodio al Al extractable en oxalato ácido en los horizontes húmicos indican que el Al activo en estos horizontes es en su mayor parte complejados con la materia orgánica del suelo.

Con base en los datos morfológicos y de caracterización descritos arriba, el suelo del sistema terrestre se describe como un Typic Melanudands según la Clave de la Taxonomía del Suelo (Soil Survey Staff, 1990, 1992).

#### **4.9.1.5.1. Descripción del Perfil Representativo de Melanudands (Perfil 1).**

Localización	Ejido San Cristóbal Tecolít, Municipio de Zinacantepec, Estado de México
Clasificación	Typic Melanudans
Fisiografía	Tierras altas de montaña
Posición geomorfológico	En la ladera de la montaña

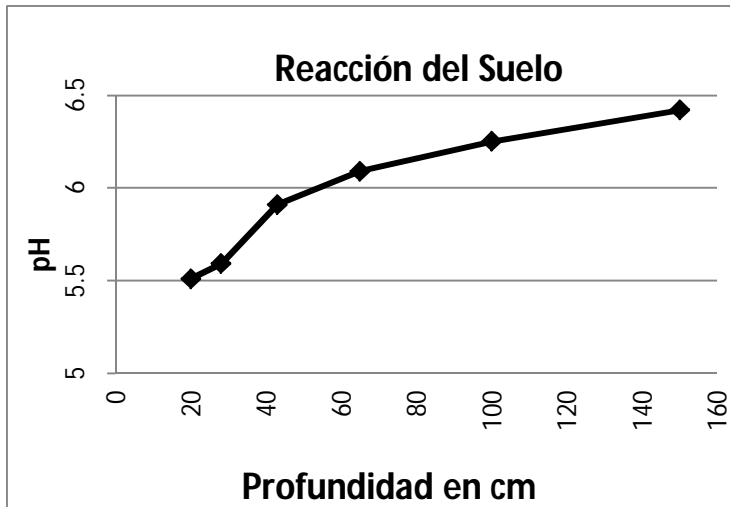
Características de la pendiente	Moderadamente Inclinada 10%, orientada hacia el norte, con una forma cóncava. La posición del perfil fue el tercio medio de la pendiente.
Microrelieve	Montecillos derivados del transporte de material del subsuelo a la superficie por macrofauna subterránea (tuzas)
Elevación	3 100 msnm.
Temperatura del aire (°C)	Anual 10.4 Verano 13.09 Invierno 9.15
Temperatura del suelo	Anual 14.18 Verano 13.03 Invierno 10.4 Régimen de temperatura ISOFRÍGIDO
Precipitación	855.05 mm Régimen de humedad ÚDICO
Nivel freático	No observado
Drenaje	Rápido
Permeabilidad	Muy excesivamente drenado
Pedregosidad	Moderada, 15 a 30 porciento
Salinidad	No se observo
Uso del suelo	Agrícola
Vegetación	Relictos de pastos y Pinos. Cultivo de papa.
Erosión o depositación	Incipiente
Material parental	Ceniza volcánica
Horizontes de diagnóstico	Melánico, Cámbico

- Ap 0 – 20 cm Franco arenoso gravoso; color en seco pardo grisáceo oscuro (2.5 Y 3/2), en húmedo pardo muy oscuro (10 YR 2/2); límite de horizonte gradual y plano; estructura granular gruesa y débil; suelto, friable, ligeramente adherente y plástico, fuertemente untuoso; seco; raíces muy finas frecuentes y verticales; fragmento de rocas del tamaño de gravas subangulares; reacción al HCl nula, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ligera, NaF fuerte. Presencia de crotovinas; resistencia a la penetración 1.41 kg cm<sup>-1</sup>.
- A1 20 – 28 cm Franco arenoso muy gravoso; color en seco pardo olivo oscuro (2.5 Y 3/3), en húmedo pardo muy oscuro (10 YR 2/2); límite de horizonte abrupto y ondulado; estructura granular muy gruesa débil; suelto, friable, plástico y ligeramente adherente, fuertemente untuoso; seco; raíces muy finas frecuentes verticales; reacción al HCl nula, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ligera, NaF fuerte; presencia de crotovinas; resistencia a la penetración 0.91 kg cm<sup>-1</sup>.
- Bhw1 28 – 43 cm Arenoso francoso gravoso; color en seco pardo amarillento brillante (2.5 Y 6/4), en húmedo pardo amarillento oscuro (10 YR 3/4); límite de horizonte claro y plano; estructura granular muy gruesa débil; suelto, friable, plástico y ligeramente adherente, fuertemente untuoso; ligeramente húmedo; raíces muy finas muy pocas verticales; fragmentos de roca del tamaño de guijarros subangulares; reacción al HCl nula, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ligera, NaF fuerte; presencia de crotovinas; resistencia a la penteración 2.80 kg cm<sup>-1</sup>.

- Bhw2 43 – 65 cm Arenos franco gravoso; color en seco pardo amarillento brillante (2.5 Y 6/3), en húmedo pardo amarillento oscuro (10 YR 3/4); límite de horizonte gradual y plano; estructura bloques subangulares gruesos débil; suelto, friable, muy ligeramente plástico y ligeramente adherente, fuertemente untuoso; húmedo; raíces muy finas muy pocas verticales; fragmentos de roca del tamaño de guijarros subangulares; reacción al HCl nula, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> muy ligera, NaF fuerte; presencia de crotovinas; resistencia a la penetración 3.0 kg cm<sup>-1</sup>.
- Chw1 65–100 cm. Franco arenoso gravoso; color en seco blanco (2.5 Y 8/1), en húmedo pardo grisáceo (2.5 Y 5/2); límite de horizonte abrupto y plano; estructura granular muy gruesa débil; suelto, friable, muy ligeramente plástico y ligeramente adherente, fuertemente untuoso; húmedo; fragmentos de roca del tamaño de guijarros y piedras angulares; reacción al HCl nula, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> muy ligera, NaF muy ligera; presencia de crotovinas; resistencia a la penetración 2.85 kg cm<sup>-1</sup>.
- Chw2 100-150 cm Arenos francos gravoso; color en seco blanco (2.5 Y 8/1), en húmedo pardo grisáceo (2.5 Y 5/2); estructura granular muy gruesa moderada; suelto, friable, muy ligeramente plástico y ligeramente adherente, fuertemente untuoso; húmedo; fragmentos de roca del tamaño de guijarros angulares; reacción al HCl nula, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> muy ligera, NaF muy ligera; presencia de crotovinas; resistencia a la penetración 2.75 kg cm<sup>-1</sup>.



#### 4.9.1.5.2. Interpretación agronómica de los datos físicos y químicos del suelo.



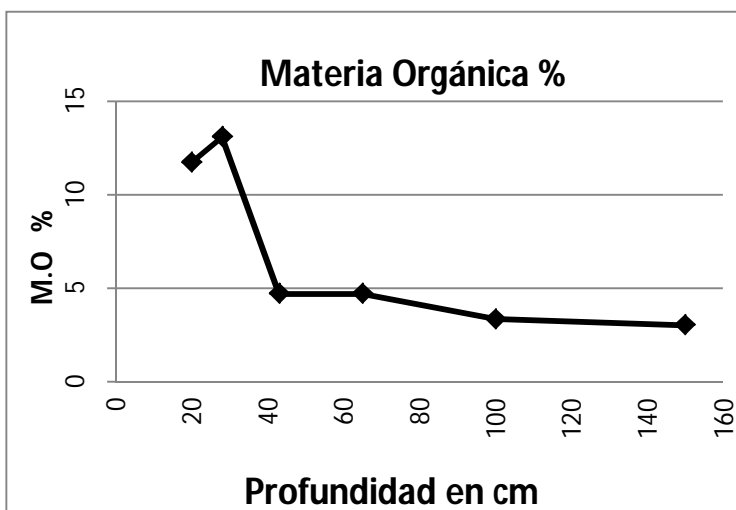
##### Reacción del suelo

El pH en agua es moderadamente ácido, rango en el cual se inician los problemas de fijación del fósforo, como compuestos insolubles no aprovechables por la planta. Esto debido a que se inicia la solubilidad del Fe y Al.

La degradación de la materia orgánica presenta dificultades y se realiza más lenta, además no hay buena asimilación del N y K.

Estas condiciones son más graves en los dos primeros horizontes ya que representa la profundidad de mayor enraizamiento de las plantas.

Lo anteriormente comentado se agrava mucho más si consideramos el pH determinado en KCl, pues los valores están en el rango fuertemente ácidos.



##### Materia Orgánica

La materia orgánica es alta hasta una profundidad de 28 cm, esta cantidad puede contrarrestar el efecto del pH bajo por su capacidad amortiguadora.

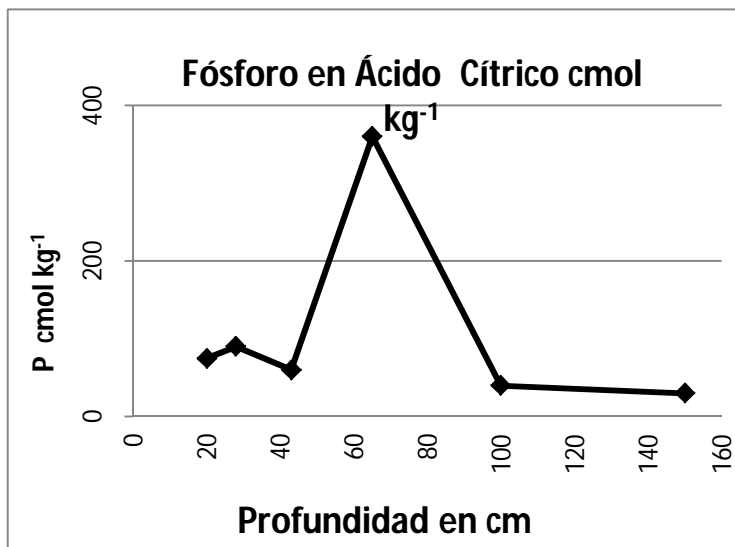
Es una fuente importante de elementos nutritivos, así como auxiliadora para que

el suelo tenga mayor capacidad de retención de humedad, agregación de las partículas individuales del suelo, el humus formado constituye un almacén para los

cationes intercambiables, altos contenidos de materia orgánica reducen la densidad aparente, lo que ayuda a la agregación de los minerales primarios.

Se recomienda incorporar como mínimo los residuos de cosecha, para mantener el nivel de materia orgánica del suelo.

El nivel de la materia orgánica se reduce drásticamente con la profundidad, lo que se refleja en una disminución de los beneficios que aporta la materia orgánica.

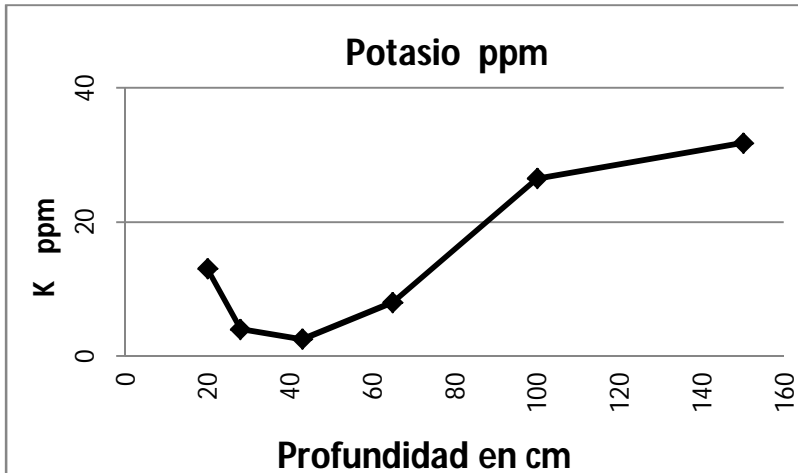


Fósforo.

El fósforo es un elemento vital para el crecimiento radicular de las plantas, pero a la vez es un elemento que fácilmente se pone no disponible para las plantas, ya que fácilmente se fija con elementos tales como el Fe y Al.

Los valores de este elemento en el perfil, es medio en el primer horizonte, lo que representa que el suelo tiene poca capacidad de masa para proporcionar este elemento, en el resto del perfil es bajo por lo tanto se cuenta con poca disponibilidad de fósforo para el abastecimiento de las plantas, por lo cual es común observar deficiencias de fósforo en el cultivo de maíz en las primeras etapas de desarrollo.

Por lo que es necesario el aporte de fósforo en forma de fertilizantes, por ejemplo el difosfato amónico.



### Potasio.

El potasio presente en este suelo es muy pobre, por lo que no influye fuertemente en el crecimiento de los cultivos.

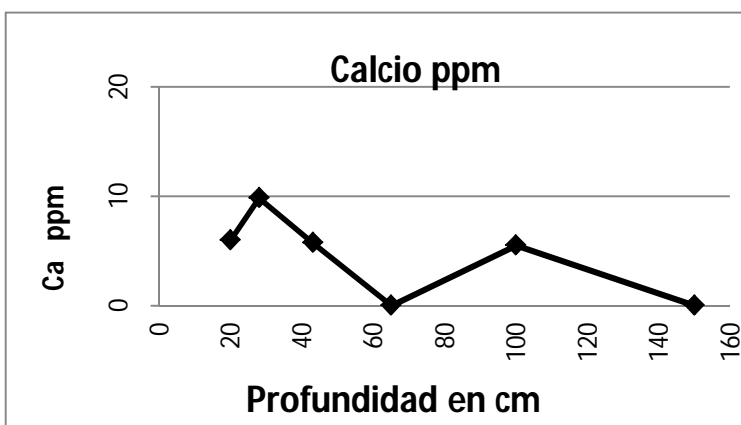
Esta poca cantidad no entra al proceso de

retrogradación (fijación del K) por el suelo ya que éste posee bajo porcentaje de arcilla.

El potasio tiende a agotarse rápidamente ya que es usado por las plantas durante su ciclo vegetativo, y la poca cantidad presente en el suelo no abastecerá suficientemente de potasio a las plantas.

La materia orgánica podría proporcionar potasio, pero la mayoría de este elemento se pierde en el proceso de humificación, debido a que la mayor cantidad de potasio se encuentra en el sistema vacuolar.

Otro factor que ha provocado la baja cantidad de potasio, ha sido la pérdida por el drenaje tan rápido del suelo, debido al alto porcentaje de arena que presenta. Siendo necesario la aportación de potasio en forma de fertilizantes, por ejemplo el cloruro de potasio.



### Calcio

El calcio es muy pobre a través de todo el perfil, presentándose un pequeño incremento en el horizonte A2, debido al movimiento del calcio por efecto del agua de drenaje.

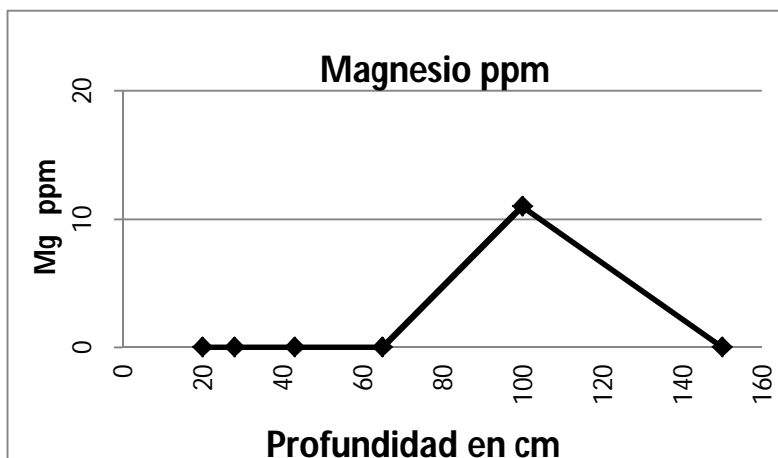
El calcio es importante para la planta, pues interviene en procesos edáficos y fisiológicos.

Pero con los niveles que se presentan, los beneficios del calcio son pocos, pues no ayudan al suelo a flocular a las partículas individuales del suelo, por lo tanto, no favorece en gran medida a la estabilidad estructural.

Es poco su efecto en la neutralización de la acidez del suelo, es escaso su valor en el intercambio catiónico entre la solución y el complejo.

No llega a formar fosfohumatos de calcio que son benéficos para reducir la retrogradación del fósforo.

Se ve frenado su efecto en la evolución de la materia orgánica. Por lo tanto, se puede ver afectada la actividad de los tejidos meristemáticos de las raíces y tallos, provocando lento crecimiento de las plantas.



#### Magnesio

El magnesio es muy pobre en todo el perfil, y siendo uno de los elementos constituyentes de la molécula de clorofila es importante considerar el bajo contenido que existe en el suelo.

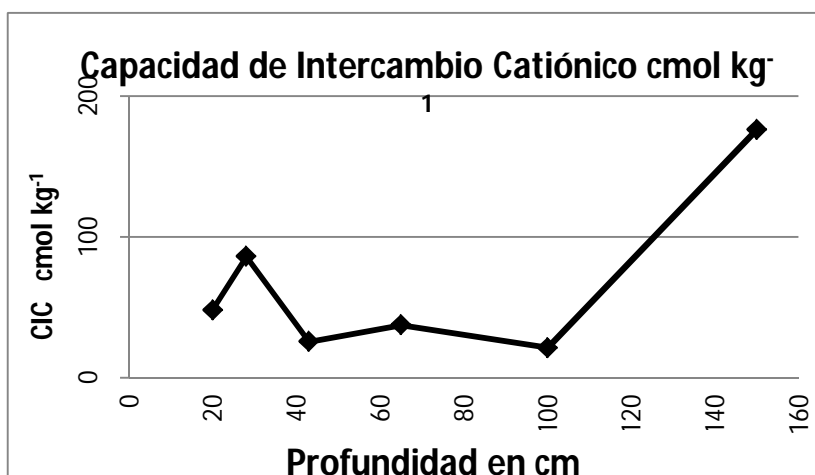
El magnesio es indispensable, además, para la formación de otros pigmentos (carotenos y xantofilas) y como activador de numerosos sistemas enzimáticos interesados en el metabolismo de los glúcidos y en la síntesis proteica, funciones que se verán detenidas por la falta de este elemento en el suelo.

En forma orgánica puede aparecer también formando parte de un compuesto de reserva la fitina (fosfato cálcico y magnésico de inositol) que se acumula en las semillas y otros órganos de reserva.

Otras funciones importantes del magnesio que se verán afectadas por su bajo contenido son; su forma mineral como  $Mg^{2+}$  será vía en los jugos celulares,

retardándose su trasladándose con facilidad desde las partes más viejas de la planta a las más jóvenes, no intervendrá en la movilización de los fosfatos tanto en el suelo como en la planta, desfavoreciendo la formación de ATP y los procesos de fosforilación.

No es raro encontrar esos bajos valores de magnesio ya que en los suelos de textura gruesa de las regiones húmedas la deficiencia del magnesio se manifiesta por regla general. Estos suelos normalmente contienen tan sólo pequeñas cantidades de magnesio cambiante, condición que se agrava por la adición de grandes cantidades de sales fertilizantes que contienen poco o nada de este elemento.



Capacidad de Intercambio Catiónico. La capacidad de intercambio catiónico es muy alta en los horizontes Ap y A1, lo que no concuerda con la baja cantidad de bases que tienen el

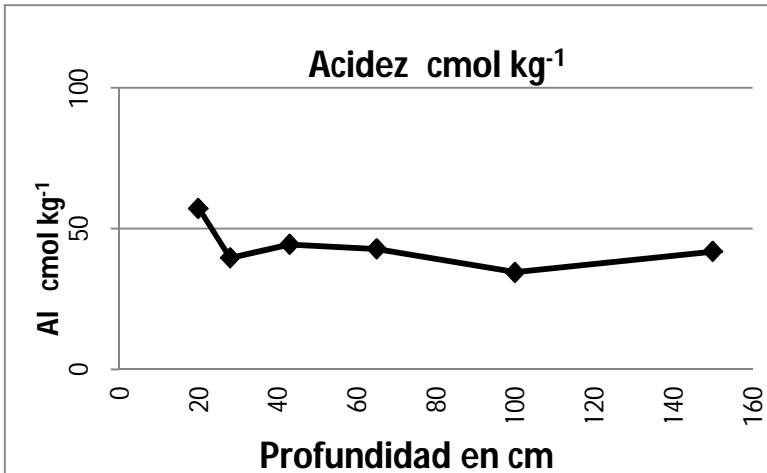
suelo, pero este valor alto se ve favorecido por el alto porcentaje de materia orgánica del suelo y de los minerales de alofano que se presentan.

Si consideramos esta alta capacidad de intercambio se diría que es un suelo muy fértil, pero hay que considerar al aluminio intercambiable que también presenta valores muy altos, así como hidrógeno intercambiable en cantidades moderadas.

Considerando esto último, se debe tener cuidado con este factor químico.

Con la profundidad, el valor del intercambio catiónico disminuye, decreciendo a la vez su importancia en la fertilidad del suelo.

Por lo anterior es importante mejorar el intercambio iónico, esto se podrá lograr al mejorar el pH con el encalado, ya que éste introduce al suelo al ion más importante en el intercambio, como lo es el  $\text{Ca}^{2+}$ .



Acidez del suelo en KCl.

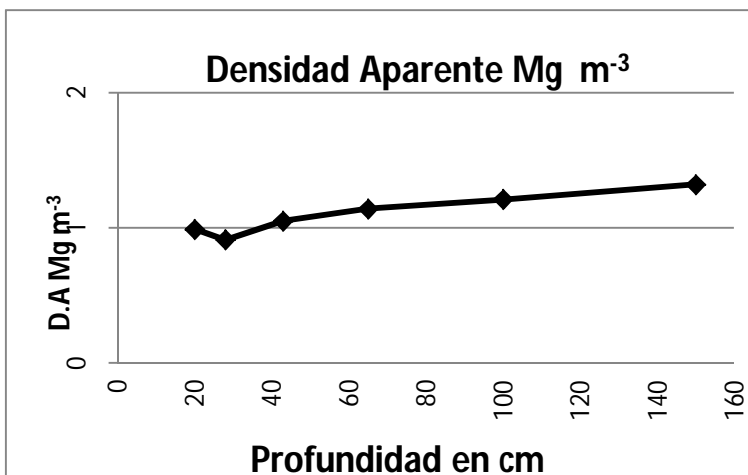
La acidez del suelo es muy alta como valor total y prácticamente en todo el perfil.

Al observar la figura podemos detectar que existe una interrelación entre el aluminio

intercambiable y el hidrógeno intercambiable, mientras que el aluminio se presenta de mayor a menor a través de la profundidad, el hidrógeno va en aumento con la profundidad.

La importancia de esta determinación es que el alto valor del aluminio se volverá tóxico, si no hay electrolitos que puedan bajar la concentración de este elemento.

La principal repercusión de la alta presencia de aluminio es la retrogradación que se efectúa con el fósforo, poniendo a este elemento como un compuesto insoluble no aprovechable para las plantas.



Densidad aparente. La densidad aparente en los dos primeros horizontes es baja, representando un suelo con presencia de ceniza volcánica, en cuanto a la estructura, se puede decir que este factor ayuda a contar con una

estructura granular buena para el desarrollo radicular, movimiento de agua y aire.

En el resto del perfil se incrementa el valor de la densidad, debido principalmente al alto contenido de arena, que influye principalmente en el movimiento rápido del

agua, ocasionando pérdida de elementos nutritivos para el crecimiento de las plantas.

Cuadro 9. Propiedades Físicas de Andisoles del Sistema Terrestre Nevado.

Perfil	Horizonte	Profundidad cm	Color		Arena	Limo	Arcilla	Clase textural
			seco	húmedo				
1	Ap	0-20	2.5 Y 3/2 Pardo grisáceo oscuro	10 YR 2/2 Pardo muy oscuro	68.8	28.6	2.6	Fa
	A1	20-28	2.5 Y 3/3 Pardo olivo oscuro	10 YR 2/2 Pardo muy oscuro	69.2	27.5	3.3	Fa
	Bhw1	28-43	2.5 Y 6/4 pardo amarillento brillante	10 YR 3/4 pardo amarillento oscuro	77.2	21.6	1.2	Af
	Bhw2	43-65	2.5 Y 8/1 Pardo amarillento brillante	10 YR 3/4 Pardo amarillento oscuro	73.2	23.4	3.4	Af
	Chw1	65-100	2.5 Y 8/1 Blanco	2.5 Y 5/2 Pardo grisáceo	67.2	28.4	4.4	Fa
	Chw2	100-150	2.5 Y 8/1 Blanco	2.5 Y 5/2 Pardo grisáceo	71.2	25.4	3.4	Af

Continuación cuadro 9.

Perfil	Horizonte	Profundidad cm	Densidad real Mg m <sup>-3</sup>	Densidad aparente Mg m <sup>-3</sup>	Porosidad %	Capacidad de campo %	Punto marchitez permanente %
1	Ap	0-20	2.47	0.99	59.91	46.72	26.24
	A1	20-28	2.47	0.91	61.54	48.27	27.11
	Bhw1	28-43	2.46	1.05	57.31	35.44	19.91
	Bhw2	43-65	2.49	1.14	54.22	31.20	17.52
	Chw1	65-100	2.52	1.21	51.98	26.75	15.02
	Chw2	100-150	2.45	1.32	46.12	24.49	13.75

Continuación cuadro 9.

Perfil	Horizonte	Profundidad cm	Saturación agua %	Valor n	Límite de contracción %	Límite plástico %	Estabilidad estructural
1	Ap	0-20	55.81	0.13	17.36	6.85	23.79
	A2	20-28	55.92	0.55	23.22	22.92	25.07
	Bhw1	28-43	35.52	0.89	13.44	14.43	18.18
	Bhw2	43-65	34.60	0.62	10.22	7.07	9.89
	Chw1	65-100	19.18	0.69	8.48	23.85	19.16
	Chw2	100-150	18.52	0.88	8.32	37.50	16.50

Cuadro 10. Propiedades Químicas de Andisoles del Sistema Terrestre Nevado.

Perfil	Horizonte	Profundidad cm	C %	Materia orgánica %	Capacidad intercambio catiónico cmol kg <sup>-1</sup>	pH		
						H <sub>2</sub> O	KCl	CaCl
1	Ap	0-20	6.82	11.73	48.0	5.51	4.98	4.32
	A1	20-28	7.60	13.07	86.0	5.59	5.08	4.42
	Bhw1	28-43	2.73	4.69	25.6	5.91	5.45	4.93
	Bhw2	43-65	2.73	4.69	37.4	6.09	5.34	4.90
	Chw1	65-100	1.95	3.35	21.2	6.25	5.08	5.03
	Chw2	100-150	1.75	3.01	176.4	6.42	4.94	4.19

Continuación cuadro 10

Perfil	Horizonte	Nitrógeno total %	P (ác. Cítrico) Cmol kg <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup> ppm	Ca <sup>++</sup> ppm	Mg <sup>++</sup> ppm	Na <sup>+</sup> ppm
1	Ap	0.34	75.0	13.0	6.0	T	5.0
	A1	0.37	90.0	4.0	9.85	T	7.0
	Bhw1	0.13	60.0	2.5	5.75	T	6.0
	Bhw2	0.06	360.0	8.0	T	T	6.8
	Chw1	0.03	40.0	26.5	5.5	11.0	9.0
	Chw2	0.02	30.0	31.8	T	T	10.0



Continuación cuadro 10.

Perfil	Horizonte	Profundidad cm	Saturación de bases %	Al ext. KCl Cmolkg <sup>-1</sup>	H-ext. KCl Cmol kg <sup>-1</sup>	Al amorfo %	Si en oxalato %
1	Ap	0-20	1.45	57.2	6.0	1.26	0.30
	A2	20-28	1.41	39.6	7.6	1.40	0.40
	Bhw1	28-43	1.83	44.4	7.6	1.31	0.45
	Bhw2	43-65	1.34	42.8	12.0	1.17	0.38
	Chw1	65-100	8.49	34.4	24.4	0.32	0.33
	Chw2	100-150	4.84	41.8	14.2	0.45	0.45

Continuación cuadro 10

Perfil	Horizonte	Profundidad cm	Fe	Al	Fe	Al	Alo + ½
			pirofosfato %	oxalato %	oxalato %	pirofosfato %	Feo
1	Ap	0-20	0.33	3.12	0.63	3.17	3.44
	A2	20-28	0.11	2.93	0.63	2.91	3.25
	Bhw1	28-43	0.10	2.95	0.65	3.11	3.28
	Bhw2	43-65	T	2.98	0.91	2.95	3.44
	Chw1	65-100	T	3.07	0.41	2.86	3.28
	Chw2	100-150	T	3.16	0.56	2.86	3.44

Continuación cuadro 10

Perfil	Horizonte	Profundidad cm	Alofano azul toluidina	Alofano %	Retención P %	Ferrihidrita %	Al/Si	Alp/Alo
1	Ap	0-20	+/-	2.13	72.14	1.07	-0.17	1.01
	A2	20-28	+/-	2.84	79.20	1.07	0.05	0.99
	Bhw1	28-43	+	3.20	72.74	1.11	-0.36	1.05
	Bhw2	43-65	+	2.70	37.81	1.55	0.08	0.98
	Chw1	65-100	+	2.34	21.50	0.70	0.63	0.93
	Chw2	100-150	+	1.63	15.00	0.95	1.30	0.90

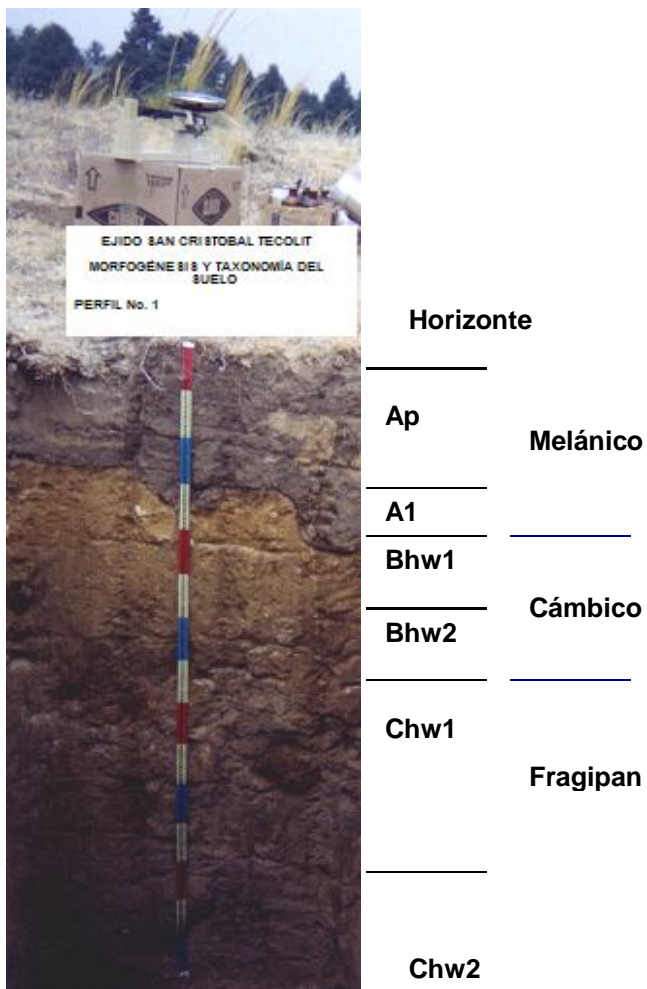


Figura 12. Perfil representativo de los suelos del Sistema Terrestre Nevado (TYPIC MELANUDANDS)



Figura 13. Panorámica del sitio del perfil representativo del Sistema Terrestre Nevado (TYPIC MELANUDANDS).

## 4.9.2. Sistema Terrestre Tejalpa

### 4.9.2.1. Orden del suelo.

Las claves para definir esta taxa, se definieron considerando las PROPIEDADES ÁNDICAS, las cuales son:

Propiedad	Rango	Condición ándica
Aluminio extractable + 1/2 de fierro extractable	3.11 – 3.54	Si
Densidad aparente Mg m <sup>-3</sup>	0.89 - 1.15	Si
Vidrio volcánico (%)*	11.65 – 18.10	Si

\* Valor estimado de acuerdo a la siguiente expresión: vidrio > 35 – 15(Al<sub>oxa</sub> + ½ Fe<sub>oxa</sub>)

Por lo tanto, el suelo del topografía Tejalpa, presenta propiedades Andicas, en todo el perfil, lo que lo califica como un ANDISOL.

### 4.9.2.2. Suborden del suelo.

Las claves requeridas empleadas para definir esta taxa, están en función a las siguientes características:

Propiedad	Rango
Segregaciones de reducción.*	No se presentaron
Chromas en húmedo	2
Valores en húmedo	2 a 3
Régimen de temperatura	Isofrío
Régimen de humedad	Údico
Retención de humedad a 1 550 Kpa.	27.18 – 6.41
Contacto lítico o paralítico	No se presentan.

Los datos establecidos en la tabla, permite definir un suborden: UDANDS.

#### 4.9.2.3. Gran grupo del suelo.

Las claves requeridas empleadas para definir esta taxa, están en función a las siguientes características:

Propiedad	Rango
Régimen de temperatura	Isofrígido
Horizonte plácico	No se presentó
Capa cementada, no pierde consistencia dentro del agua	No se presentó
Retención de agua a 1 500 Kpa, en muestras secadas al aire	27.28 – 6.41
Contacto lítico o paralítico	No se presentó
Epipedón melánico**	Si se presentó
Contacto lítico o paralítico en los primeros 35 cm	No se presentó
Carbono orgánico requerido para epipedón melánico y color de mólico	6.86 – 10.01 porciento
Duripan dentro de los 125 cm	No se presentó
Régimen de humedad	Údico

De acuerdo a estos datos se definió un gran grupo conocido como MELANUDANDS.

#### 4.9.2.4. Subgrupo del suelo.

Las claves requeridas empleadas para definir esta taxa, están en función a las siguientes características:

Propiedad	Rango
Contacto lítico dentro de los 50 cm	No se presenta
Más de 2.0 cmol(+) kg <sup>-1</sup> de aluminio en una capa de 10 cm dentro de los 25 a 50 cm de profundidad	Más de 2.0 cmol(+) kg <sup>-1</sup>
Retención de agua a 1 500 Kpa de 70% o más en suelo no secado.	No cumple
Más de 3.0% de carbono orgánico y colores del epipedón mólico en una capa de 10 cm dentro de los 25 a 100 cm de profundidad	No cumple con el color
Más de 5.0% de carbono orgánico y colores de un epipedón mólico en por lo menos 60 cm de los 70 cm superiores del suelo	No se cumple
Menos de 2.0 cmol(+) kg <sup>-1</sup> de aluminio en algún subhorizonte de 30 cm o más de profundidad y que tienen 70% o más de agua retenida a 1 500 kPa.	No se presenta la segunda condición
Saturación de bases de menos de 36% en todo el horizonte argílico	Si cumple
2% o más de segregaciones de reducción	No se presentan
Chromas dominantes en húmedo de 1 o menos	No se cumple
Otros cromas diferentes en cualquier horizonte que tienen valores en húmedo de 3 o menos	Si se cumple, son de 2 a 3
Suma de bases mayor de 25 cmol(+) kg <sup>-1</sup> en algún subhorizonte de 15 cm entre los 25 y 75 cm de profundidad	No cumple
Horizonte argílico dentro de los 150 cm y la saturación de bases es menor de 35% en todo el horizonte argílico	No se presenta

De acuerdo a los datos se define un subgrupo definido como: ALIC PACHIC.

#### **4.9.2.5. Descripción del suelo Alic Pachic Melanudands**

El estudio biosecuencial del suelo del sistema terrestre Nevado presenta un ecosistema de pino y pasto que contribuyeron grandemente a la génesis de los Melanudands y a que la materia orgánica de los Melanudands presenten un alto grado de humificación.

Como se describe a continuación, estos suelos tienen distintas características morfológicas de un horizonte profundo muy oscuro de humus (0 – 57 cm), formado de la acumulación de ceniza volcánica de 16 000 a 1 000 años. Presenta un índice melánico menor de 1.70. De lo anterior, es obvio que el color melánico de Andisoles es determinado por el alto contenido de materia orgánica del suelo y humus con un alto grado de humificación.

Hay diferencias significativas en la consistencia entre los horizontes húmicos y horizontes no húmicos. Todo el humus presenta friabilidad y ligera adherencia y plasticidad, consistencia común para andisoles alofánicos. Los horizontes no húmicos presentan la misma consistencia friable, ligeramente adherentes y ligeramente plásticos.

Las grandes cantidades de compuestos de Al y Fe activos extraídos con oxalato ácido inhiben la completa dispersión de las partículas de arcilla. El pedón exhibe densidades aparentes bajas de menos de  $1.0 \text{ g cm}^{-3}$  en los horizontes húmicos.

El dato analítico de la materia orgánica indica que el suelo del sistema terrestre es rico en humus característico de Andisoles melánicos. El pedón presenta concentraciones de carbono orgánico mayores de 6.0 por ciento y un índice melánico menor de 1.7 en el horizonte húmico (0 – 57 cm).

Los valores de la CIC varían de 27.3 a 19.3  $\text{cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ . Comparando los contenidos de arcilla y carbono orgánico, se presenta que la materia orgánica del suelo contribuye mayormente a los valores altos de la CIC. Porque el suelo es

intensamente lixiviado, la saturación de bases es extremadamente baja (< 5%), a excepción de los dos últimos horizontes que aumenta ligeramente arriba de 5 por ciento. No existe diferencias notables en los valores de pH (H<sub>2</sub>O) y Al extractable en KCl entre los horizontes húmicos (Ap, Ah) y los horizontes no húmicos (Bhw1, Bw2, Bhw3). Los valores de acidez moderada y Al extractable en KCl que son severamente tóxicos a las raíces de ciertas plantas. Por otra parte los horizontes sin humus son ligeramente ácidos y tienen Al extractable en KCl mayor de 2.0 cmol(+) kg<sup>-1</sup>.

Todos los horizontes del suelo contienen valores de Al y la mitad de Fe extractables en oxalato ácido mayor de 2.0% y presentan en su mayor parte retención de P más grandes que 60% en los horizontes húmicos y más de 80% en los horizontes no húmicos: las altas relaciones de Al extractable en pirofosfato de sodio al Al extractable en oxalato ácido en los horizontes húmicos indican que el Al activo en estos horizontes es en su mayor parte complejados con la materia orgánica del suelo.

Con base en los datos morfológicos y de caracterización descritos arriba, el suelo del sistema terrestre se describe como un Alic Pachic Melanudands según la Clave de la Taxonomía del Suelo (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 2006).

#### **4.9.2.5.1 Descripción del Perfil Representativo de Alic Pachic Melanudands (Perfil 5).**

ocalización	Ejido San Cristóbal Tecolít, Municipio de Zinacantepec, estado de México		
Clasificación	Alic Pachic Melanudans		
Fisiografía	Tierras altas de montaña		
Posición geomorfológica	Lomerios de la montaña		
Características de la pendiente	Moderadamente	Inclinada	10%,

orientada hacia el norte, con una forma cóncava-convexa. La posición del perfil fue el tercio inferior de la pendiente.

Microrelieve	No se observó.	
Elevación	3 100 metros snm.	
Temperatura del aire (°C)	Anual 10.4 Verano 13.09 Invierno 9.15	
Temperatura del suelo	Anual 14.18 Verano 13.03 Invierno 10.4	
	Régimen de temperatura ISOFRÍGIDO	
Precipitación	855.05 mm	
	Régimen de humedad ÚDICO	
Nivel freático	No observado	
Drenaje	Rápido	
Permeabilidad	Bien drenado	
Pedregosidad	No se observó.	
Salinidad	No se observó	
Uso del suelo	Agrícola	
Vegetación	Relictos de pastos y Pinos. Cultivo de papa.	
Erosión o depositación	Incipiente	
Material parental	Cenizas volcánicas	
Horizontes de diagnóstico	Melánico, Cámbico, Plácico	
Ap	0 – 45 cm	Franco arenoso; color en seco pardo grisáceo oscuro (2.5 Y 4/2), en húmedo pardo muy oscuro (10 YR 2/2); límite de horizonte claro y ondulado; estructura bloques subangulares muy gruesa y débil; suelto, friable, ligeramente adherente y plástico, fuertemente untuoso; seco; raíces muy finas



frecuentes y verticales; fragmento de rocas del tamaño de gravas redondeadas menos del 15%; reacción al HCl nula, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> moderada, NaF fuerte; resistencia a la penetración 1.105 kg cm<sup>-1</sup>.

A1 45 – 57 cm Franco arenoso muy gravoso; color en seco pardo olivo (2.5 Y 4/3), en húmedo pardo muy oscuro (10 YR 2/2); límite de horizonte abrupto y quebrado; estructura bloques subangulares muy gruesa débil; suelto, friable, ligeramente plástico y ligeramente adherente, fuertemente untuoso; seco; raíces muy finas frecuentes verticales; reacción al HCl nula, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> fuerte, NaF fuerte; presencia de crotovinas; resistencia a la penetración 0.95 kg cm<sup>-1</sup>.

Bhw1 57 – 72 cm Arena francoso gravoso; color en seco pardo olivo brillante (2.5 Y 5/4), en húmedo pardo oscuro (10 YR 3/3); límite de horizonte claro y quebrado; estructura bloques subangulares muy gruesa débil; suelto, friable, ligeramente plástico y ligeramente adherente, fuertemente untuoso; húmedo; raíces muy finas pocas verticales; fragmentos de roca del tamaño de guijarros subangulares; reacción al HCl nula, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> moderado, NaF fuerte; resistencia a la penetración 1.42 kg cm<sup>-1</sup>.

Bhw2 72 – 84 cm Arenoso francoso gravoso; color en seco pardo olivo brillante (2.5 Y 5/4), en húmedo pardo oscuro (10 YR 3/3); límite de horizonte abrupto y plano; estructura bloques subangulares muy gruesos débil; suelto, friable, ligeramente plástico y ligeramente adherente, fuertemente untuoso; húmedo; raíces muy finas frecuentes verticales; fragmentos de roca del tamaño de guijarros subangulares; reacción al

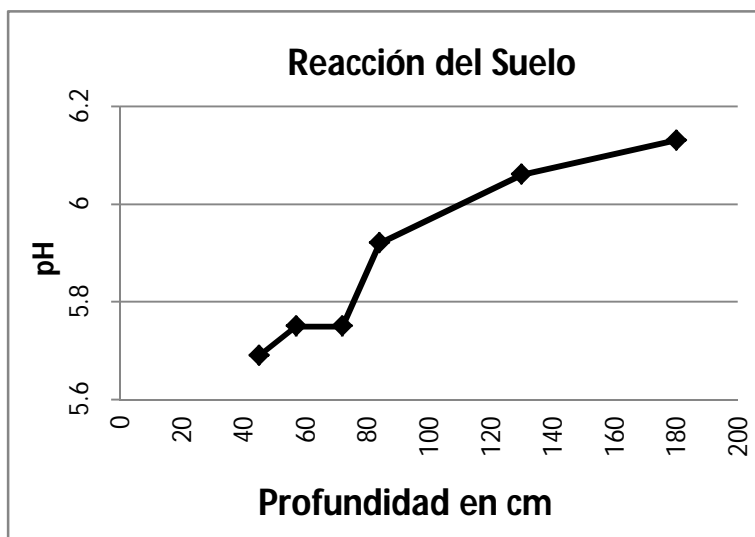
HCl nula, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> moderada, NaF fuerte; resistencia a la penetración 1.0 kg cm<sup>-1</sup>.

Bhw3 84 – 130 cm Franco arenoso gravoso; color en seco pardo olivo brillante (2.5 Y 5/4), en húmedo pardo oscuro (10 YR 3/2); límite de horizonte gradual y plano; estructura bloques subangulares muy gruesa débil; suelto, friable, muy ligeramente plástico y ligeramente adherente, fuertemente untuoso; húmedo; raíces muy pocas, muy finas verticales; fragmentos de roca del tamaño de guijarros y piedras angulares; reacción al HCl nula, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> moderada, NaF fuerte; resistencia a la penetración 1.5 kg cm<sup>-1</sup>.

Chw1 130-180 cm Franco arenoso gravoso; color en seco pardo olivo brillante (2.5 Y 5/3), en húmedo pardo grisáceo oscuro (10 YR 4/2); estructura bloques subangulares muy gruesa débil; suelto, friable, muy ligeramente plástico y ligeramente adherente, fuertemente untuoso; húmedo; fragmentos de roca del tamaño de guijarros angulares; raíces muy pocas muy finas verticales; reacción al HCl nula, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> moderada, NaF fuerte; resistencia a la penetración 1.42 kg cm<sup>-1</sup>.

Chw2 180-200 cm Franco arenoso gravoso; color en seco amarillo pálido (2.5 Y 7/4), en húmedo pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4); estructura bloques subangulares gruesa débil; suelto, friable, muy ligeramente plástico y ligeramente adherente, fuertemente untuoso; húmedo; fragmentos de roca del tamaño de guijarros angulares; raíces muy pocas muy finas verticales; reacción al HCl nula, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> muy ligera, NaF fuerte; resistencia a la penetración 1.32 kg cm<sup>-1</sup>.

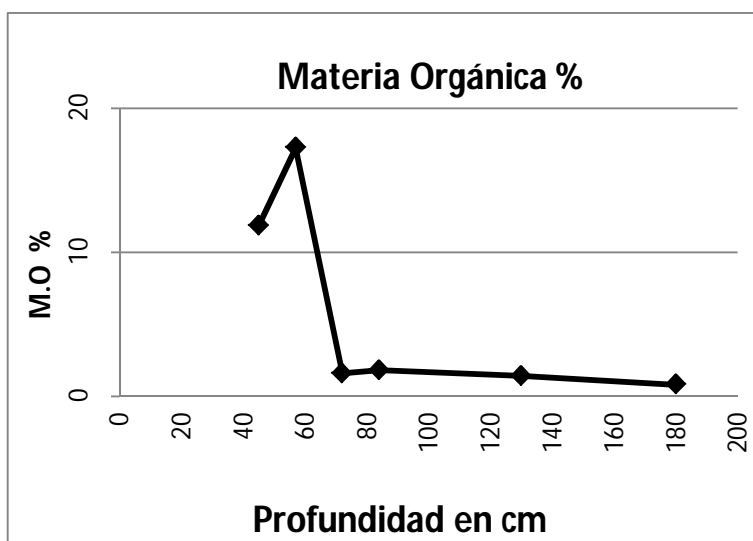
#### 4.9.2.5.2. Interpretación agronómica de los suelos del sistema terrestre Tejalpa.



##### Reacción del suelo

El pH en los dos primeros horizontes es ligeramente ácido, valores que no representan mucho problema, aunque podría presentarse el inicio de la liberación de Al y Fe que son capaces de fijar el fósforo y transformarlo en

no disponible para las plantas.



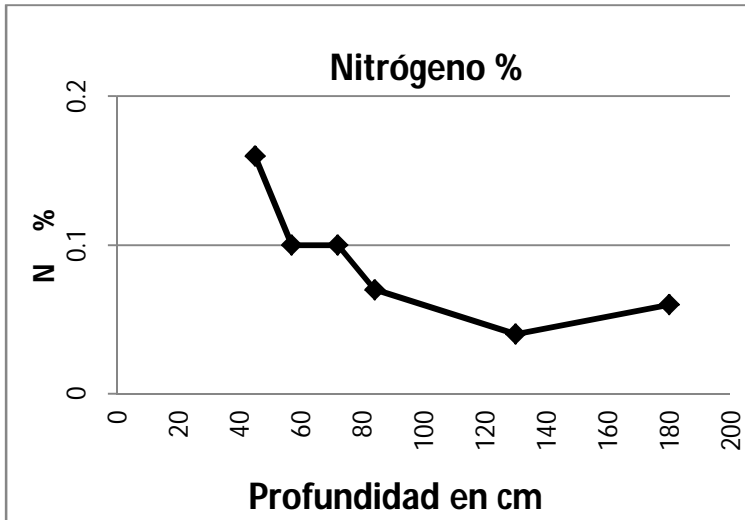
##### Materia orgánica

En los dos primeros horizontes son valores muy altos, lo que se relaciona con la productividad del suelo, contribuyendo al crecimiento de las plantas a través de su efecto sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del

suelo, lo que puede reflejar en una mejor nutrición y desarrollo de los cultivos.

Por lo tanto, lo anterior influye en la fertilidad del suelo y en consecuencia en la nutrición de las plantas, y la actividad microbiana.

En el resto del perfil baja drásticamente el contenido de materia orgánica, lo que se refleja en la disminución de las condiciones mencionadas en el párrafo anterior.



### Nitrógeno

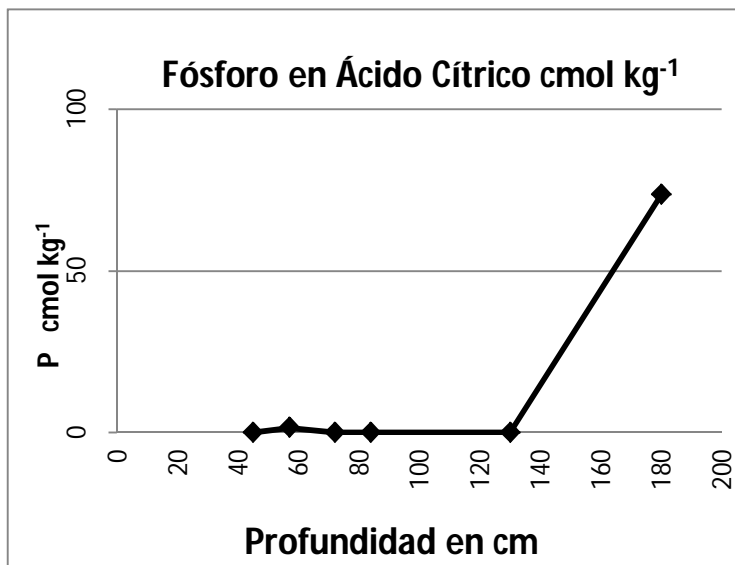
Por la influencia del contenido de la materia orgánica en los dos primeros horizontes, el nitrógeno es medio, y es sabido que este elemento es un constituyente esencial de las proteínas, importante para el vigor y

salud de la planta, así mismo influyen en la calidad del alimento.

Por lo tanto si el nitrógeno es bajo, como tiende a ser este suelo en la superficie, el crecimiento disminuye.

Un crecimiento retardado de la planta con hojas descoloridas es un signo de deficiencia de proteínas en la planta, y puede indicar una deficiencia de nitrógeno en el suelo, lo que puede ocurrir en los suelos estudiados, si no se abastece al suelo de este elemento.

En el resto del perfil el suelo no abastece prácticamente nada de nitrógeno para el crecimiento de las plantas, ya que su nivel es muy bajo.



### Fósforo

El fósforo presente en el suelo estudiado es muy bajo y tiende presentarse en trazas, esta condición es grave si se considera que éste elemento es esencial de varias funciones de la planta. Pues es el elemento principal en la transferencia de la energía de un punto a

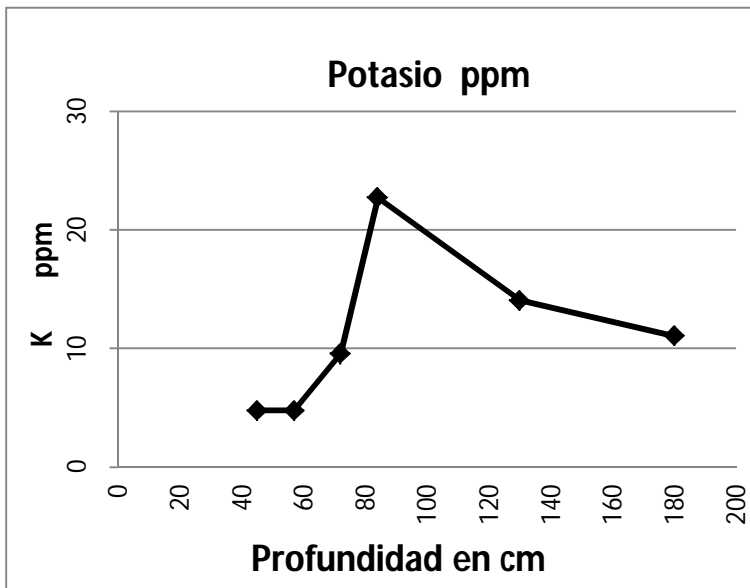
otro.

El efecto que se observa del fósforo es el color y vitalidad de la planta y el tiempo de florecimiento y maduración, así mismo el fósforo incrementa el tamaño de la semilla.

Otros aspectos importantes de este elemento es su presencia en la síntesis de proteínas, como un constituyente del DNA y RNA; también los nódulos de las leguminosas requieren un amplio suministro de fósforo para la fijación del nitrógeno, y las semillas contienen una gran cantidad de fósforo.

Pero el rol que juega el fósforo en la transferencia de energía es la actividad más importante y uno de los más afectados por una deficiencia.

Las cantidades que presenta el perfil de fósforo no satisfacen las necesidades de las plantas, por lo tanto es muy posible que se presenten deficiencias de fósforo en las plantas cultivadas en esta zona.



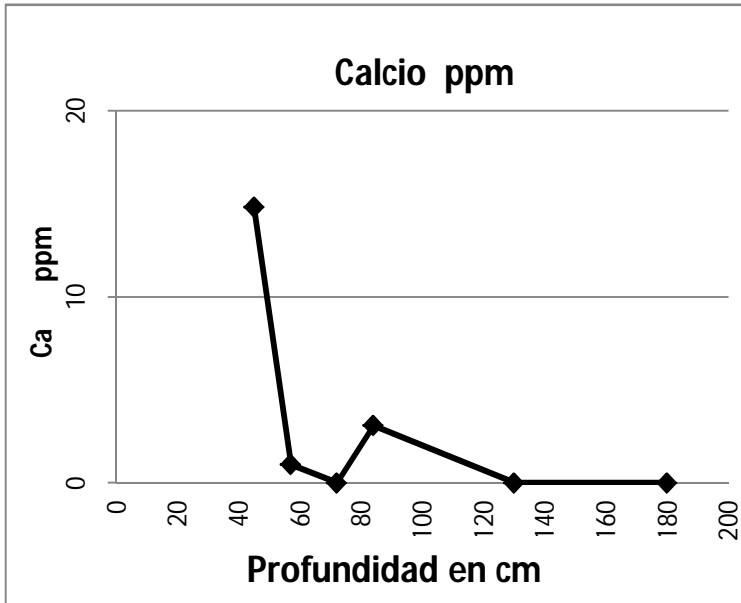
#### Potasio

Este elemento es el tercer macronutriente que requieren las plantas para su crecimiento y desarrollo.

Su importancia radica en que su única función es como un regulador de las actividades metabólicas.

El  $K^+$  es muy móvil en el suelo, y más con las altas

concentraciones de arena que presentan los suelos estudiados, pero su lixiviación se minimiza por el intercambio de cationes y por su fijación en los cristales de arcilla, aunque en estos suelos no son muy favorables estas condiciones lo cual se refleja en la baja cantidad de potasio presente en los suelos estudiados.

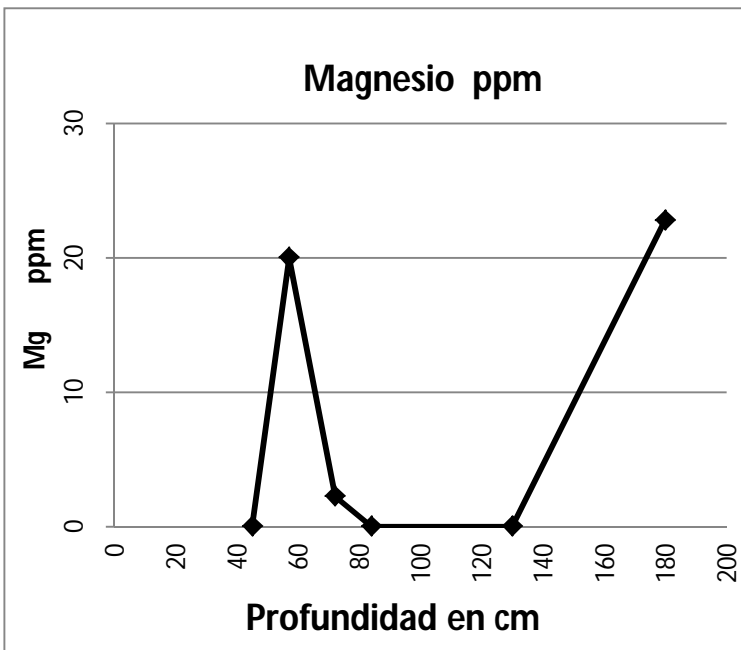


**Calcio.**  
 El  $\text{Ca}^{2+}$  es necesario en las membranas celulares y en los puntos de crecimiento de las raíces de las plantas. Al ser parte de la pared celular, controla el movimiento en y fuera de la célula.

El  $\text{Ca}^{2+}$  tiene dos efectos principales en el suelo. Uno es su acción como un agente de

unión en la agregación de las partículas del suelo, por lo tanto, así es importante en el desarrollo de una buena estructura del suelo.

El segundo efecto del calcio es como un nutriente rellenedor, ocupa espacios que de otro modo serían tomados por los elementos ácidos



**Magnesio**  
 El  $\text{Mg}^{2+}$  es importante como el único constituyente metálico en la clorofila de las plantas, en el metabolismo del fósforo, y de otras funciones.

En el suelo, el intercambio catiónico es el único medio de sujetar el magnesio contra la pérdida.

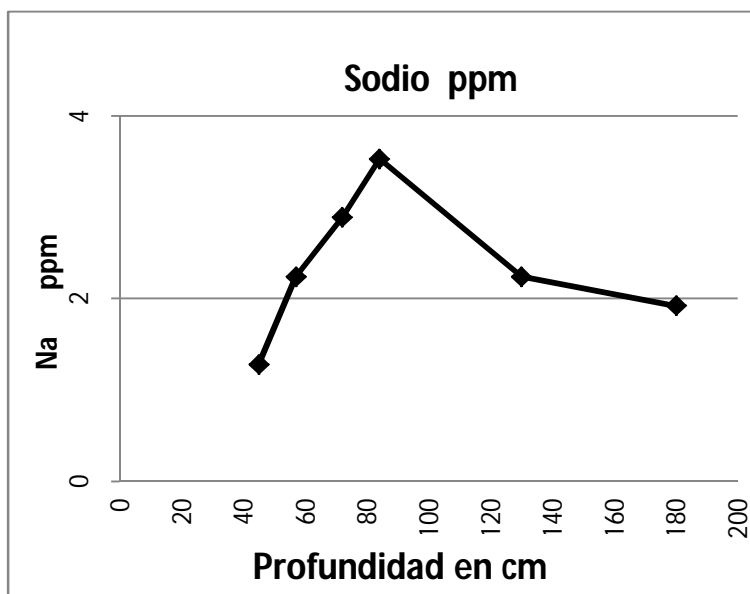
Otras funciones del magnesio son su actuación

como regulador de varios procesos metabólicos, como lo es su involucramiento en operaciones donde intervienen el fósforo; así una aparente deficiencia de fósforo puede algunas veces ser dispuestas con fertilizantes magnésicos.

En suma el magnesio influye en el metabolismo del nitrógeno y es importante en la asimilación de dióxido de carbono durante la fotosíntesis.

Es un elemento muy fácilmente lixiviable en áreas húmedas como la zona en estudio.

Por otro lado, las cantidades de magnesio determinadas son bajas, lo cual no abastece a las plantas de este elemento y pueda ser común que se presenten problemas en el crecimiento y desarrollo de los cultivos explotados en este sistema terrestre.



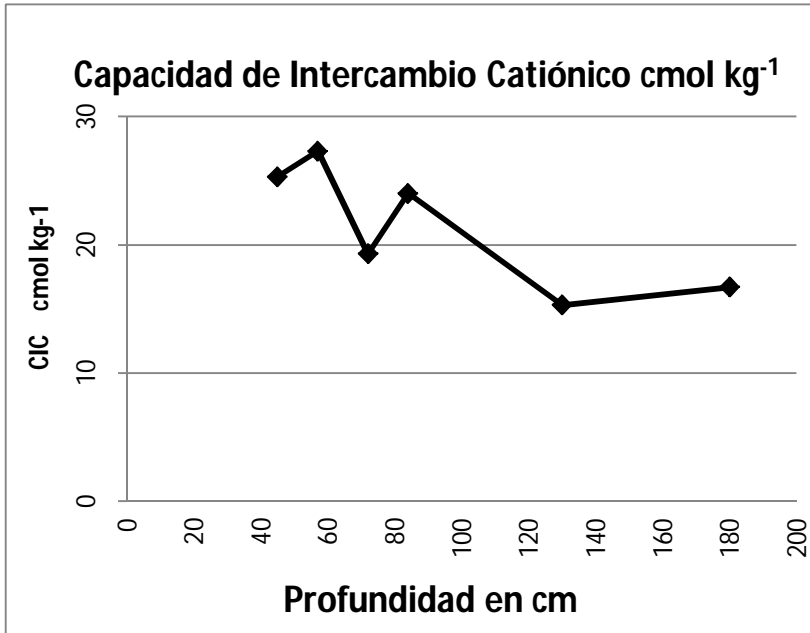
#### Sodio

Es sabido que el  $\text{Na}^+$  no es un elemento esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Pero es importante mencionar que a altas concentraciones en el suelo, su influencia principal es en el deterioro de las propiedades físicas

del suelo, principalmente en la destrucción de la estructura, que conlleva a una baja permeabilidad y movimiento de humedad en el suelo, repercutiendo en el abastecimiento de agua para la planta.

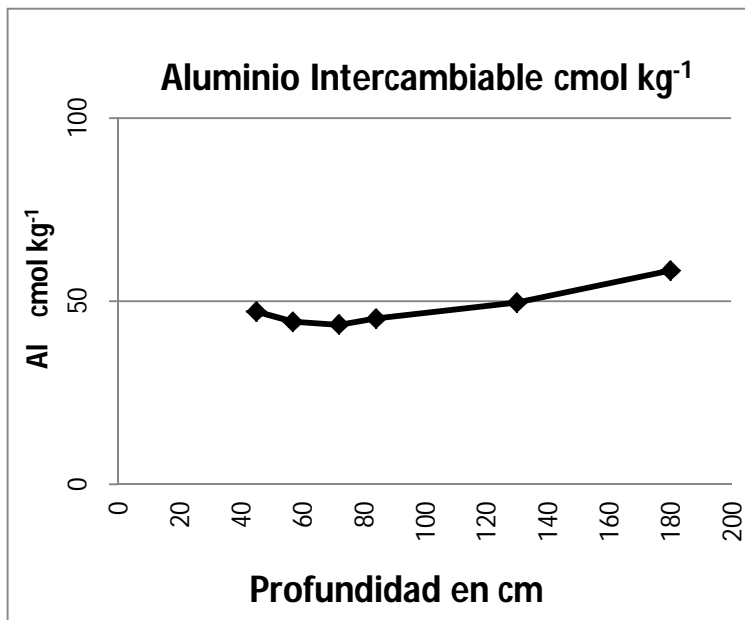
Pero con los valores que se presentan en los suelos estudiados las concentraciones de este elemento son bajas, lo que no provoca problemas de sodicidad.



Capacidad de intercambio catiónico  
 Los valores de la capacidad de intercambio catiónico son medios, los valores principales se presentan en los dos primeros horizontes siendo importante esto ya que es la masa del suelo en donde se

desarrolla la mayor actividad del suelo, como crecimiento de la mayor cantidad de raíces, por lo tanto, se requiere que esta parte del perfil cuente con un abastecimiento de elementos nutritivos que le permitan crecer a la raíz y dicho crecimiento se refleje en la parte aérea de la planta.

En el resto del perfil, baja el nivel de la capacidad de intercambio catiónico, afectandose el abastecimiento de elementos nutritivos a las plantas.



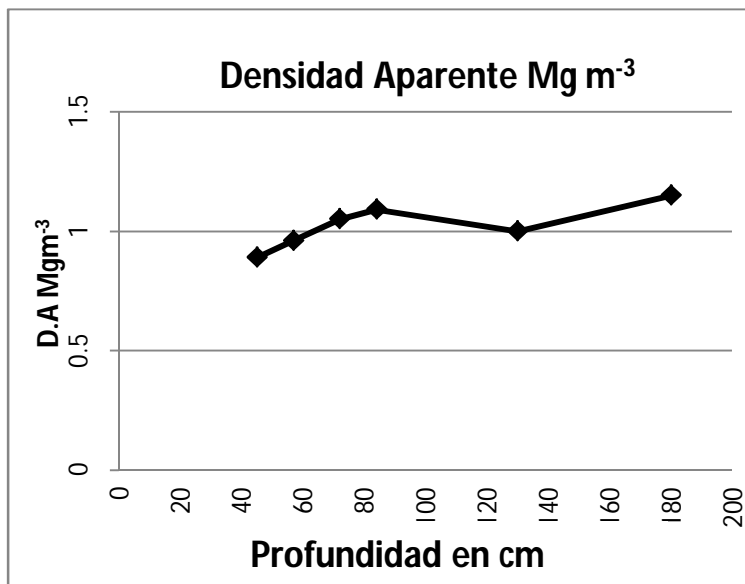
Aluminio intercambiable.  
 Elemento no esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas.  
 Pero importante en el tipo de suelos clasificados de la zona de estudio, ya que permitió que los suelos presentaran propiedades ándicas.

Las cantidades detectadas son altas, pues no bajan de



40 cmol(+) kg<sup>-1</sup>, estas cantidades se pueden transformar en tóxicas, sobre todo si no se cuida el pH del suelo (no permitir que se acidifique el suelo), pues si se presenta poco fósforo con el incremento de la acidez, se llevaría a cabo una mayor fijación del fósforo.

Otro aspecto a considerar es que estas altas cantidades de aluminio, puede estar reflejándose en el intercambio cationico de los suelos estudiados.



Densidad del suelo.

La densidad aparente en los dos primeros horizontes es baja la cual corresponde a suelos sueltos y friables.

Son suelos que no presentan ninguna dificultad en la preparación para la siembra de los cultivos que se explotan en la zona de estudio. Facilita

el movimiento de agua y aire, así como la penetración de las raíces.

En el resto del perfil se incrementa la densidad aparente lo que va en relación con la cantidad de arena de estos suelos y la baja cantidad de materia orgánica, originando que se lleve a cabo un movimiento muy rápido del agua, con la consecuente pérdida de elementos nutritivos por lixiviación, esto se refleja en la baja cantidad de elementos nutritivos con los que cuenta el suelo, así como la media capacidad de intercambio catiónico.

Cuadro 11. Propiedades Físicas de Andisoles de los Suelos del Sistema Terrestre Tejalpa.

Perfil	Horizonte	Profundidad cm	Color				Arena	Limo	Arcilla	Clase textural
			seco		húmedo					
5	Ap	0-45	2.5 Y 4/2	Pardo grisáceo oscuro	10 YR 2/2	Pardo muy oscuro	77.2	9.2	13.6	Fa
	A1	45-57	2.5 Y 4/3	Pardo olivo	10 YR 2/2	Pardo muy oscuro	74.8	15.6	9.6	Fa
	Bhw1	57-72	2.5 Y 5/4	Pardo olivo brillante	10 YR 3/3	Pardo oscuro	84.8	3.6	11.6	Af

Continuación cuadro 11

Perfil	Horizonte	Profundidad cm	Color				Arena	Limo	Arcilla	Clase textural
			seco		húmedo					
5	Bhw2	72-84	2.5 Y 5/4	Pardo olivo brillante	10 YR 3/3	Pardo oscuro	82.8	11.6	5.6	Af
	Bhw3	84-130	2.5 Y 5/4	Pardo olivo brillante	10 YR 3/3	Pardo oscuro	72.8	15.6	11.6	Fa

Continuación cuadro 11

	Chw1	130-180	2.5 Y 5/3	Pardo olivo brillante	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro	80.8	9.6	9.6	Fa
5	Chw2	180-200	2.5 Y 7/4	Amarillo pálido	10 YR 4/4	Pardo amarillento oscuro	74,8	13,6	11,6	Fa

Continuación cuadro 11.

Perfil	Horizonte	Profundidad cm	Densidad real Mg m <sup>-3</sup>	Densidad aparente Mg m <sup>-3</sup>	Porosidad %	Capacidad de campo %	Punto marchitez permanente %	Saturación agua %
5	Ap	0-45	2.28	0.89	60.96	50.93	28.29	22.39
	A1	45-57	2.10	0.96	54.28	27.95	15.53	34.0
	Bhw1	57-72	2.26	1.05	53.53	34.76	19.31	32.75
	Bhw2	72-84	2.76	1.09	60.50	40.09	22.27	41.07
	Bhw3	84-130	2.47	1.00	59.51	18.86	10.48	24.78
	Chw1	130-180	2.67	1.15	56.92	32.31	17.95	34.65
	Chw2	180-200		1.09		38.49	21.38	

Continuación cuadro 11.

Perfil	Horizonte	Profundidad cm	Valor n	Límite de contracción %	Límite plástico %	Estabilidad estructural
5	Ap	0-45	-1.15	24.35	27.26	33.66
	A1	45-57	-1.00	17.71	28.10	18.49
	Bhw1	57-72	-3.85	15.66	31.59	28.03
	Bhw2	72-84	-6.65	18.27	36.79	23.58
	Bhw3	84-130	-4.17	13.99	32.65	15.44
	Chw1	130-180	-5.90	13.44	29.63	21.95
	Chw2	180-200		14.73	56.29	34.25

Cuadro 12. Propiedades Químicas de Andisoles de los Suelos del Sistema Terrestre Tejalpa.

Perfil	Horizonte	Profundidad cm	Carbono %	Materia orgánica %	Capacidad intercambio catiónico cmol kg <sup>-1</sup>	pH		
						H <sub>2</sub> O	KCl	CaCl
5	Ap	0-45	6.86	11.82	25.3	5.69	5.41	4.77
	A1	45-57	10.01	17.25	27.3	5.75	5.37	4.85
	Bhw1	57-72	0.92	1.58	19.3	5.75	5.28	4.85
	Bhw2	72-84	1.05	1.81	24.0	5.92	5.21	4.97
	Bhw3	84-130	0.82	1.41	15.3	6.06	5.34	5.08
	Chw1	130-180	0.47	0.81	16.7	6.13	5.47	5.10
	Chw2	180-200	0.70	1.20	10.7	6.81	5.67	5.49

Continuación cuadro 12.

Perfil	Horizonte	Nitrógeno %	Fósforo (ác. Cítrico) Cmol kg <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup> ppm	Ca <sup>2+</sup> ppm	Mg <sup>2+</sup> ppm	Na <sup>+</sup> ppm	Saturación de bases %
5	Ap	0.16	T	4.78	14.84	T	1.28	2.13
	A1	0.10	1.5	4.78	0.99	20.0	2.24	3.95
	Bhw1	0.10	T	9.56	T	2.22	2.89	2.38
	Bhw2	0.07	T	22.70	3.09	T	3.53	3.29
	Bhw3	0.04	T	14.04	T	T	2.24	3.00
	Chw1	0.06	73.5	11.05	T	22.78	1.92	9.10
	Chw2	0.03	T	19.12	T	16.67	4.17	12.71

Continuación cuadro 12.

Perfil	Horizonte	Profundidad cm	Al ext. KCl Cmolkg <sup>-1</sup>	H-ext. KCl Cmol kg <sup>-1</sup>	Al amorfo %	Sí en oxalato %	Fe pirofosfato %	Fe oxalato %
5	Ap	0-45	47.2	T	1.67	0.35	0.53	0.54
	A1	45-57	44.4	T	0.81	0.45	0.18	0.60
	Bhw1	57-72	43.6	T	0.90	0.40	0.38	0.78
	Bhw2	72-84	45.2	T	0.45	0.38	T	0.84
	Bhw3	84-130	49.6	T	0.45	0.33	T	0.65
	Chw1	130-180	58.4	T	0.50	0.35	0.20	0.57
	Chw2	180-200	55.2	T	0.68	0.30	T	1.11

Continuación cuadro 12.

Perfil	Horizonte	Profundidad cm	Al pirofosfato	Al oxalato	Alo + ½ Feo	Alofano azul toluidina	Alofano	Retención P
			%	%			%	%
5	Ap	0-45	2.79	2.84	3.11	+/-	2.49	76.72
	A1	45-57	3.02	3.20	3.50	+/-	3.20	64.88
	Bhw1	57-72	2.72	3.15	3.54	+/-	2.84	62.24
	Bhw2	72-84	2.75	3.08	3.50	+/-	2.70	67.21
	Bhw3	84-130	2.84	3.05	3.38	+/-	2.34	92.04
	Chw1	130-180	2.79	2.99	3.28	+/-	2.49	78.61
	Chw2	180-200	2.97	2.98	3.54	+	2.13	99.45

Continuación cuadro 12.

Perfil	Horizonte	Profundidad	Ferrihidrita	Al/Si	Alp/Alo
		cm	%		
5	Ap	0-45	0.98	0.14	0.98
	A1	45-57	1.02	0.40	0.94
	Bhw1	57-72	1.33	1.08	0.86
	Bhw2	72-84	1.43	0.86	0.89
	Bhw3	84-130	1.11	0.63	0.93
	Chw1	130-180	0.97	0.57	0.93
	Chw2	180-200	1.89	0.03	0.99

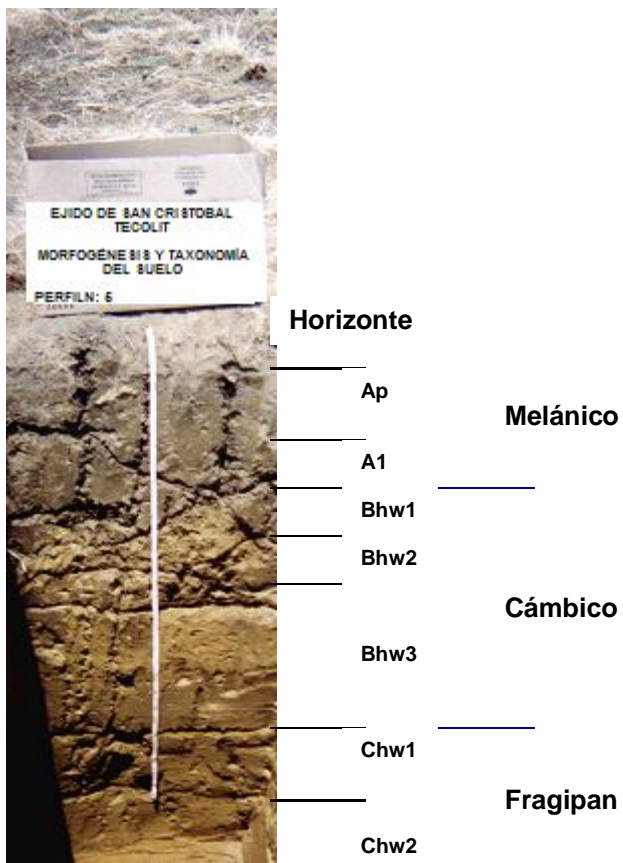


Figura 14. Perfil representativo de los suelos del Sistema Terrestre Tejalpa (ALIC PACHIC MELANUDANDS)



Figura 15. Panorámica del sitio del perfil representativo del Sistema Terrestre Tejalpa (ALIC PACHIC MELANUDANDS).

### 4.9.3. Sistema Terrestre San Cristobal.

#### 4.9.3.1. Orden suelo.

Las claves para definir esta taxa, se realizó considerando las PROPIEDADES ÁNDICAS, las cuales son:

Propiedad	Rango	Condición ándica
Aluminio extractable en oxalato + 1/2 de fierro extractable en oxalato	2.70 – 3.81	Si
Densidad aparente Mg m <sup>-3</sup>	1.14 – 1.05	No
Vidrio volcánico (%)*	5.50 – 22.3	Si

Las características anteriores definen un suelo con propiedades ándicas, en todo el perfil, lo que lo califica como un ANDISOL. A pesar de que la densidad aparente es alta, debido a que la zona es de acumulación y la más explotada en la agricultura, además de que son suelos más someros.

#### 4.9.3.2. Suborden del suelo.

Las claves requeridas para definir esta taxa, están en función a las siguientes características:

Propiedad	Rango
Segregaciones de reducción.*	No presenta
Chromas en húmedo	2
Values en húmedo	3
Régimen de temperatura	Isofrígido
Régimen de humedad	Údico
Retención de humedad a 1 550 Kpa.	8.71 – 3.06

\* Segregaciones de reducción, ejemplo: moteado y concreciones, que fueron formados como resultado de la reducción y la solubilización de fierro y/o manganeso, su translocación, concentración, y su reoxidación y precipitación en forma de óxidos.

Los datos establecidos en la tabla, permite definir un suborden: VITRANDS, considerando principalmente la retención de humedad a 1 500 kPa.

#### 4.9.3.3. Gran grupo del suelo.

Las claves requeridas para definir esta taxa, están en función a las siguientes características:

Propiedad	Rango
Régimen de humedad ústico	Údico

De acuerdo a los datos se definió un gran grupo conocido como UDIVITRANDS, ya que no cumple con el requisito del régimen de humedad ústico, pues estos suelos presentan un régimen de humedad údico.

#### 4.9.3.4. Subgrupo del suelo.

Las claves requeridas para definir esta taxa, están en función a las siguientes características:

Propiedad	Rango
Contacto lítico dentro de los 50 y 100 cm	No se presenta
Dos por ciento o más de segregaciones redox	No se presenta
Chromas dominantes en húmedo de 2 o más	2
Values en húmedo de 3 o menos	3
Entre 25 y 100 cm, una capa de 10 cm o más de espesor con más de 3% carbono orgánico	No se cumple
Colores de epipedón mólico en todo su espesor	No se cumple
Horizonte espódico, con horizonte eluvial asociado con su límite superior dentro de los 125 cm de la superficie	Ócrico



De acuerdo a los datos este suelo no cumple con los requisitos establecidos, por lo tanto se define en el subgrupo TYPIC.

Del análisis realizado anteriormente podemos definir que el sistema terrestre San Cristobal presenta el siguiente suelo: TYPIC UDIVITRANDS

#### **4.9.3.5. Descripción del suelo Typic Udivitrands**

Suelos ligeramente intemperizados, tienen las cantidades más bajas de productos de intemperización entre los Andisoles.

Su génesis esta primariamente determinada por la edad (formado por acumulación de ceniza volcánica de 16 000 años), propiedades químicas, mineralógicas y textura de las tefras y condiciones climáticas (Shoji *et al.*, 1993).

Formado de depósitos intermitentes de capas de ceniza. La humedad y temperatura del suelo son udico e isofrigid, respectivamente.

El pedón tiene un perfil que consiste de horizontes A (B) C y presenta un grado bajo de intemperización.

El horizonte A es relativamente delgado (25 cm), faltando los requerimientos para horizontes melánico, fúlvico, y suelos superficiales húmicos, el horizonte Bw esta ligeramente desarrollado.

El bajo grado de intemperización se refleja en los horizontes de diagnóstico ocrico y cámbico.

Todos los horizontes presentan friabilidad a firmeza, plástico, adherente, prácticamente en todo el perfil (Hokkaido Soil Classification Comité, 1979).

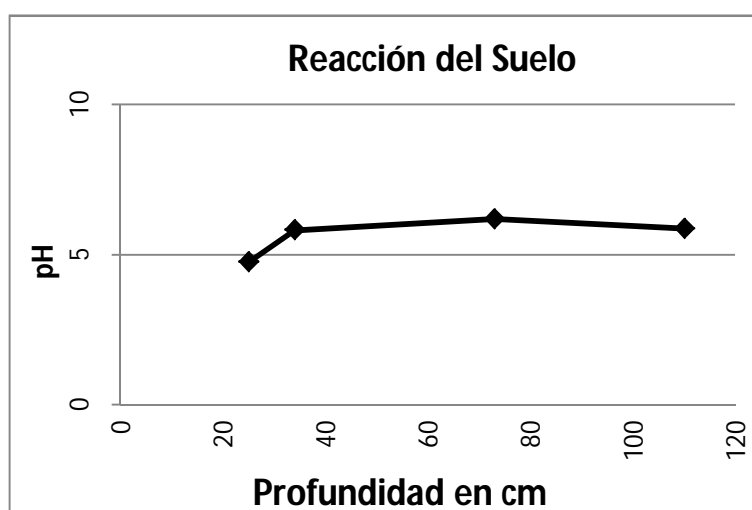
#### 4.9.3.5.1. Descripción del Perfil Representativo de Udivitrands (perfil 4)

Localización	Ejido San Cristóbal Tecolit, Municipio de Zinacantepec, estado de México
Clasificación	Typic Udivitrands
Fisiografía	Valle.
Posición geomorfológica	Planicie
Características de la pendiente	Casi plana, orientada hacia el norte, con una forma plana. La posición del perfil fue el tercio inferior de la pendiente.
Microrelieve	No se observó.
Elevación	2 700 msnm.
Temperatura del aire (°C)	Anual 10.4 Verano 13.09 Invierno 9.15
Temperatura del suelo	Anual 14.18 Verano 13.03 Invierno 10.4 Régimen de temperatura ISOFRÍGIDO
Precipitación	855.05 mm Régimen de humedad ÚDICO
Nivel freático	No observado
Drenaje	Medio
Permeabilidad	Bien drenado
Pedregosidad	No se observó.
Salinidad	No se observó.
Uso del suelo	Agrícola
Vegetación	Arvense. Cultivo de maíz.
Erosión o depositación	Incipiente
Material parental	Cenizas volcánicas
Horizontes de diagnóstico	Ócrico, Cámbico y Fragipan.

- Ap 0 – 25 cm Franco arenoso; color en seco pardo grisáceo (10 YR 5/2), en húmedo gris muy oscuro, (10 YR 3/1); límite de horizonte claro y plano; estructura terrón; consistencia ligeramente dura, friable, ligeramente plástico y adherente, débilmente untuoso; seco; poros abundantes muy finos y medianos, vesiculares; raíces finas frecuentes y verticales; permeabilidad moderadamente lenta; reacción al HCl nula, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> moderada, NaF moderada.
- Bw 25 – 34 cm: Franco arenoso; color en seco gris (10 YR 6/1), en húmedo gris muy oscuro (10 YR 3/1); límite de horizonte claro y plano; estructura bloques subangulares muy gruesa moderado; fuerte, firme, plástico y adherente, débilmente untuoso; ligeramente húmedo; motas muy pocas, indistintas, pequeñas, color naranja; poros abundantes finos vesiculares; raíces finas pocas verticales; permeabilidad lenta; reacción al HCl nula, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ligera, NaF moderada.
- Ctw1 34– 73 cm Franco arcillo arenoso; color en seco gris brillante (10 YR 7/1), en húmedo pardo grisáceo (10 YR 5/2); límite claro y plano; estructura bloques subangulares muy gruesa, grado de desarrollo fuerte; ligeramente duro, firme, plástico y adherente, ligeramente untuoso; motas pocas, indistintas, pequeñas; húmedo; poros abundantes finos y vesiculares; raíces muy finas pocas y verticales; permeabilidad lenta; reacción al HCl nula, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ligera, NaF moderada.

Ctw2 73 - 110 cm Franco arcilloso; color en seco gris (10 YR 6/1), en húmedo gris oscuro (10YR 4/1); estructura blocosa subangular, grado de desarrollo fuerte; consistencia ligeramente duro, húmedo firme, mojado plástico y adherente; ligeramente untuoso; suelo muy húmedo; poros abundantes, finos, vesiculares; fragmentos de roca grava pocos redondeados; permeabilidad lenta; reacción al HCl nula, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> nula, NaF moderada.

#### 4.9.3.5.2. Interpretación agronómica de los datos físicos y químicos del suelo.

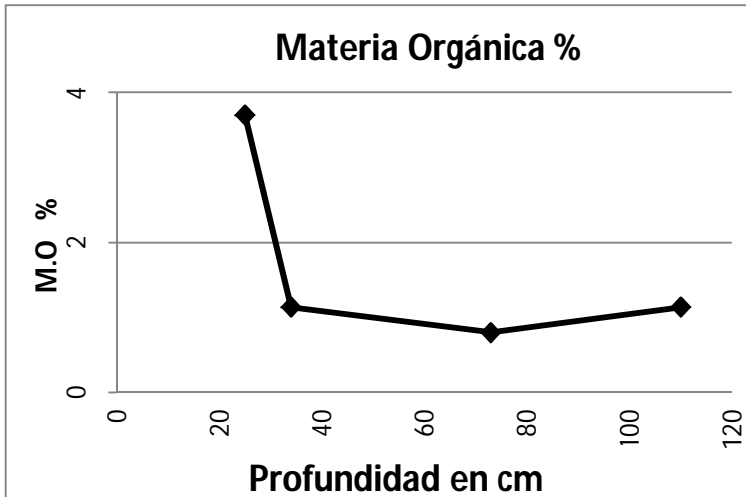


#### Reacción del suelo

El pH en agua es ácido a moderadamente ácido, rango en el cual se inician los problemas de fijación del fósforo, como compuestos insolubles no aprovechables por la planta. Esto debido a que se presenta la solubilidad

del Fe y Al.

La degradación de la materia orgánica presenta dificultades y se realiza más lenta, además no hay buena asimilación del nitrógeno y potasio. Estas condiciones son más graves en el primer horizonte ya que representa la profundidad de mayor enraizamiento de las plantas.



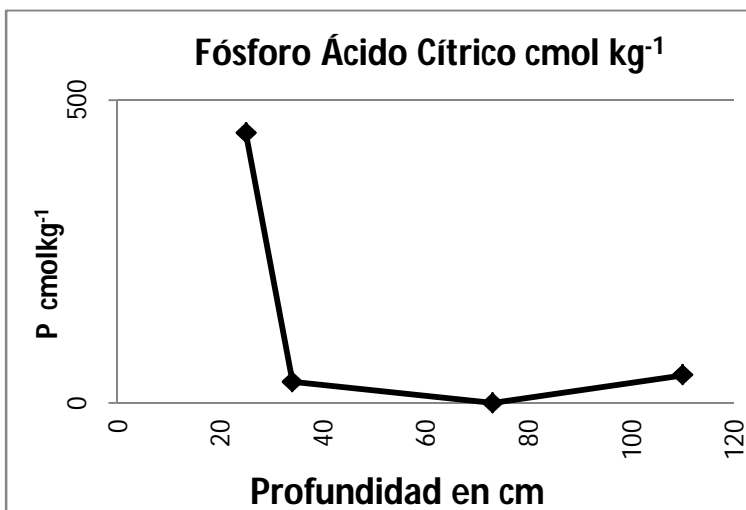
### Materia orgánica

La materia orgánica es alta hasta una profundidad de 25 cm, esta cantidad puede contrarrestar el efecto del pH bajo por la capacidad amortiguadora que posee esta materia orgánica.

Es una fuente importante de elementos nutritivos, así

como auxiliadora a que el suelo tenga mayor capacidad de retención de humedad, agregación de las partículas individuales del suelo, el humus formado constituye un almacén para los cationes intercambiables, altos contenidos de materia orgánica reducen la densidad aparente, lo que ayuda a la agregación de los minerales primarios.

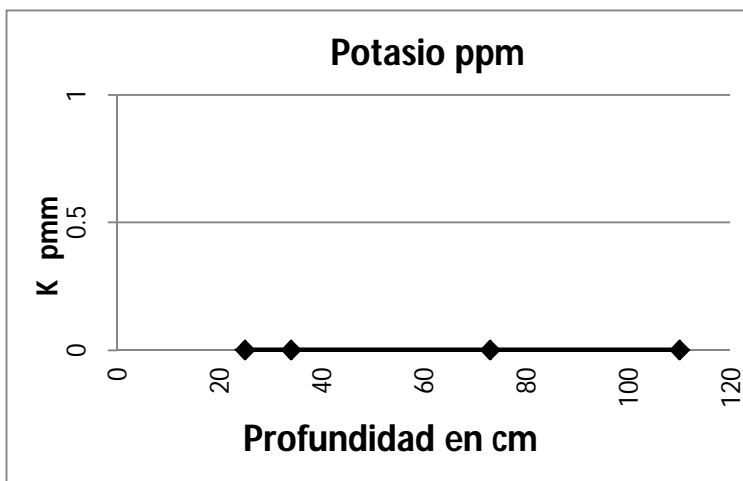
Se recomienda incorporar como mínimo los residuos de cosecha, para mantener el nivel de materia orgánica del suelo. El nivel de la materia orgánica se reduce drásticamente con la profundidad, lo que se refleja en una disminución de los beneficios que aporta la materia orgánica.



### Fósforo

El P es un elemento vital para el crecimiento radicular de las plantas, pero a la vez es un elemento que fácilmente se pone no disponible para las plantas, ya que fácilmente se fija con elementos tales como el Fe y Al.

Los valores de este elemento en el perfil, es alto en el primer horizonte, lo que representa que el suelo tiene capacidad de masa para proporcionar este elemento, en el resto del perfil se encuentra de bajas cantidades a trazas en el tercer horizonte, por lo tanto se cuenta con poca disponibilidad de P para el abastecimiento de las plantas, siendo común observar deficiencias de fósforo en el cultivo de maíz en las primeras etapas de desarrollo. Por lo que es necesario el aporte de fósforo en forma de fertilizantes.



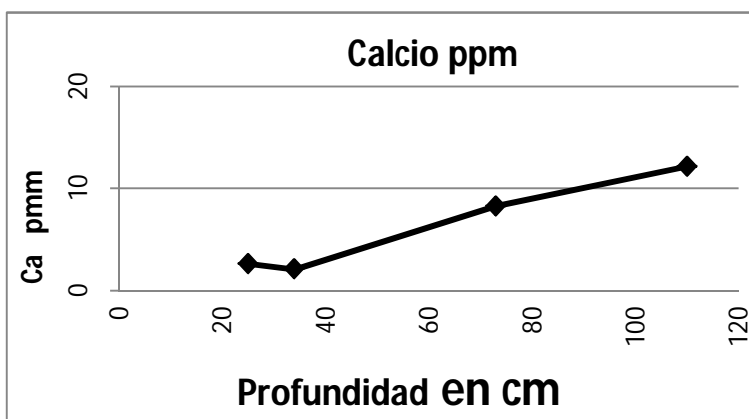
Potasio.

El  $K^+$  presente en este suelo esta en el rango de trazas, por lo que influye en el crecimiento de los cultivos, además esta poca cantidad no entra al proceso de retrogradación (fijación del K) por el suelo

ya que éste posee bajo porcentaje de arcilla.

La materia orgánica podría proporcionar  $K^+$ , pero la mayoría de este elemento se pierde en el proceso de humificación, debido a que la mayor cantidad de potasio se encuentra en el sistema vacuolar.

Siendo necesario la aportación de  $K^+$  en forma de fertilizantes



Calcio

El  $Ca^{2+}$  es muy pobre a través de todo el perfil, presentándose un pequeño incremento en los horizontes C, debido probablemente al movimiento del calcio por

efecto del agua de drenaje.

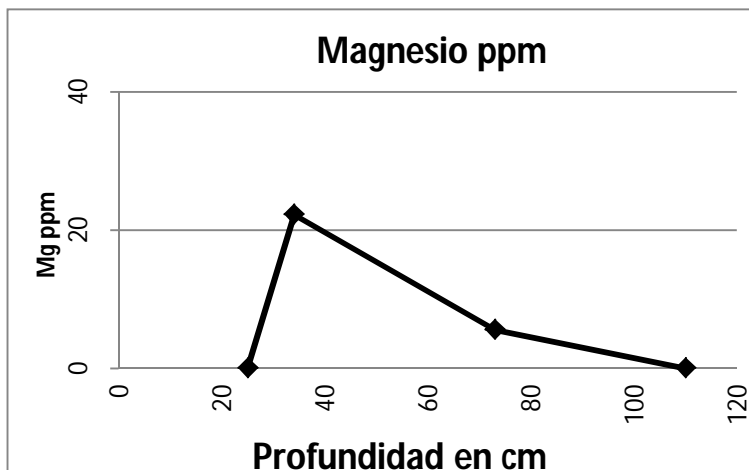
El  $\text{Ca}^{2+}$  es importante para la planta, pues interviene en procesos edáficos y fisiológicos.

Pero con los niveles que se presentan, los beneficios del  $\text{Ca}^{2+}$  son pocos, pues no ayudan al suelo a flocular a las partículas individuales del suelo, por lo tanto, no favorece en gran medida a la estabilidad estructural.

Es poco su efecto en la neutralización de la acidez del suelo, es escaso su valor en el intercambio catiónico entre la solución y el complejo.

No llega a formar fosfohumatos de calcio que son benéficos para reducir la retrogradación del fósforo. Se ve frenado su efecto en la evolución de la materia orgánica.

Por lo tanto, se puede ver afectada la actividad de los tejidos meristemáticos de las raíces y tallos, provocando el lento crecimiento de las plantas.



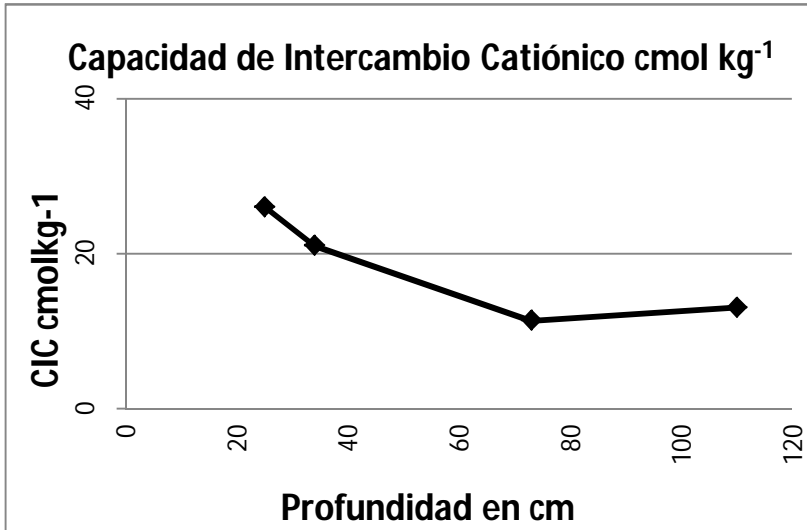
#### Magnesio

El  $\text{Mg}^{2+}$  es muy pobre en todo el perfil, y siendo uno de los elementos constituyentes de la molécula de clorofila es importante considerar el bajo contenido que existe en el suelo.

El  $\text{Mg}^{2+}$  es indispensable, además, para la formación de otros pigmentos (carotenos y xantofilas) y como activador de numerosos sistemas enzimáticos interesados en el metabolismo de los glúcidos y en la síntesis proteica, funciones que se verán detenidas por la falta de este elemento en el suelo.

En forma orgánica puede aparecer también formando parte de un compuesto de reserva la fitina (fosfato cálcico y magnésico de inositol) que se acumula en las semillas y otros órganos de reserva.

Otras funciones importantes del  $Mg^{2+}$  que se verán afectadas por su bajo contenido son; su forma mineral como  $Mg^{2+}$  será baja en los jugos celulares, trasladándose con facilidad desde las partes mas viejas de la planta a las mas jóvenes, no intervendrá en la movilización de los fosfatos tanto en el suelo como en la planta, desfavoreciendo la formación de ATP y los procesos de fosforilación.



Capacidad de Intercambio Catiónico  
La capacidad de intercambio catiónico es media en los horizontes Ap y Bw, lo que no concuerda con la baja cantidad de bases que tienen el suelo, pero este valor

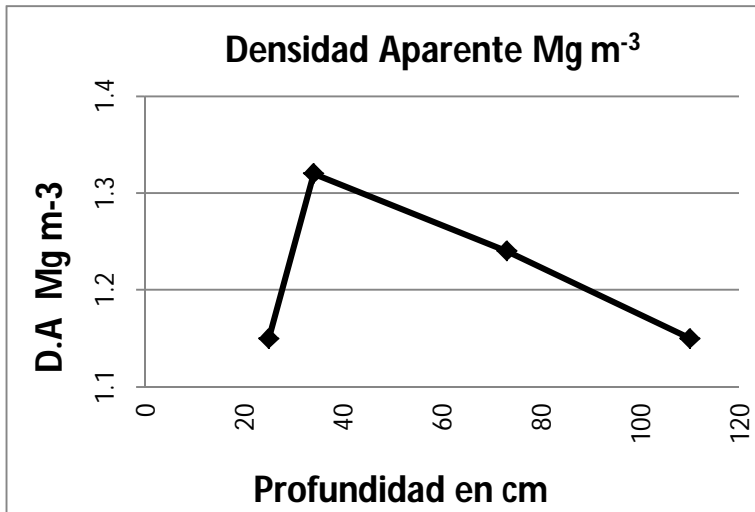
medio se ve favorecido por el contenido de materia orgánica del suelo y de los minerales de alofano que se presentan.

Si consideramos esta moderada capacidad de intercambio se diría que es un suelo fértil, pero hay que considerar al Al intercambiable que también presenta valores muy altos. Considerando esto último, se debe tener cuidado con este factor químico.

Con la profundidad, el valor del intercambio catiónico disminuye, afectando a la vez su importancia en la fertilidad del suelo.

Por lo anterior es importante mejorar el intercambio iónico, esto se podrá logra al mejorar el pH con el encalado, ya que éste introduce al suelo al ion más importante en el intercambio, como lo es el  $Ca^{2+}$ .





### Densidad aparente

La densidad aparente en todo el perfil es alta, representado una compactación del suelo, posiblemente por las labores agrícolas, este factor podría deteriorar a la estructura del suelo y afectar el desarrollo

radicular, para el crecimiento de las plantas.

Cuadro 13. Propiedades Físicas de Andisoles del Sistema Terrestre San Cristobal.

Perfil	Horizonte	Profundidad cm	Color			Arena	Limo	Arcilla	Clase textural	
			seco	Húmedo						%
4	Ap	0-25	10 YR 5/2	Pardo grisáceo	10 YR 3/1	Gris muy oscuro	55.2	28.0	16.8	Fa
	Bw	25-34	10 YR 6/1	Gris	10 YR 3/1	Gris muy oscuro	69.2	20.0	10.8	Fa
	Ctw1	34-73	10 YR 7/1	Gris brillante	10 YR 5/2	Pardo grisáceo	53.2	22.0	24.8	Fra
	Ctw2	73-110	10 YR 6/1	Gris	10 YR 4/1	Gris oscuro	39.2	26.0	34.8	Fr

Continuación cuadro 13.

Perfil	Horizonte	Profundidad cm	Densidad real Mg m <sup>-3</sup>	Densidad aparente Mg m <sup>-3</sup>	Porosidad %	Capacidad de campo %	Punto marchitez permanente %
4	Ap	0-25	2.34	1.15	50.85	14.75	7.97
	Bw	25-34	2.65	1.32	50.18	27.90	15.08
	Ctw1	34-73	2.52	1.24	50.79	26.68	14.42
	Ctw2	73-110	2.28	1.15	49.56	30.34	16.40

Continuación cuadro 13.

Perfil	Horizonte	Profundidad cm	Saturación agua %	Valor n	Límite de contracción %	Límite plástico %	Estabilidad estructural
4	Ap	0-25	33.53	0.20	14.18	19.30	0.36
	Bw	25-34	27.08	1.70	8.26	27.36	0.35
	Ctw1	34-73	43.87	0.66	12.54	30.43	1.07
	Ctw2	73-110	68.70	0.49	21.13	15.38	21.50

Cuadro 14. Propiedades Químicas de Andisoles del Sistema Terrestre San Cristobal.

Perfil	Horizonte	Profundidad cm	C %	Materia orgánica %	Capacidad intercambio catiónico cmol kg <sup>-1</sup>	pH		
						H <sub>2</sub> O	KCl	CaCl
4	Ap	0-25	2.15	3.70	26.00	4.74	4.66	3.79
	Bw	25-34	0.66	1.14	21.00	5.81	5.56	4.74
	Ctw1	34-73	0.47	0.80	11.33	6.18	5.53	5.07
	Ctw2	73-110	0.66	1.14	13.00	5.86	5.38	5.00

Continuación cuadro 14

Perfil	Horizonte	Profundidad cm	Nitrógeno total %	Fósforo (ác. Cítrico) Cmolkg <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup> ppm	Ca <sup>2+</sup> ppm	Mg <sup>2+</sup> ppm	Na <sup>+</sup> Ppm
4	Ap	0-25	0.02	446.06	T	2.60	T	T
	Bw	25-34	0.20	35.12	T	2.06	22.22	T
	Ctw1	34-73	0.06	T	T	8.25	5.56	T
	Ctw2	73-110	0.08	46.06	T	12.15	T	T

Continuación cuadro 14

Perfil	Horizonte	Profundidad cm	Saturación de bases %	H-ext. KCl Cmol kg <sup>-1</sup>	Al amorfo %	S en oxalato %	Fe pirofosfato %	Fe oxalato %
4	Ap	0-25	2.57	T	N.D	0.18	0.008	0.16
	Bw	25-34	4.61	T	N.D	0.23	0.013	0.07
	Ctw1	34-73	3.88	T	N.D	0.20	T	0.03
	Ctw2	73-110	2.30	T	N.D	0.20	T	0.13

Continuación cuadro 14

Perfil	Horizonte	Profundidad cm	Al pirofosfato %	Al oxalato %	Alo + ½ Feo	Alofano azul toluidina	Alofano %	Retención de P %	Ferrihidrita %
4	Ap	0-25	2.53	3.30	3.38	+/-	1.28	66.0	0.27
	Bw	25-34	2.49	3.22	3.26	+/-	1.63	48.0	0.12
	Ctw1	34-73	2.93	3.16	3.18	+/-	1.42	52.0	0.05
	Ctw2	73-110	2.48	3.12	3.19	+/-	1.42	65.0	0.22

Continuación cuadro 14

Perfil	Horizonte	Profundidad cm	Al/Si	Alp/Alo	Carbonatos %
4	Ap	0-25	4.28	0.77	8.40
	Bw	25-34	3.17	1.29	8.88
	Ctw1	34-73	1.15	1.07	8.40
	Ctw2	73-110	3.20	1.25	

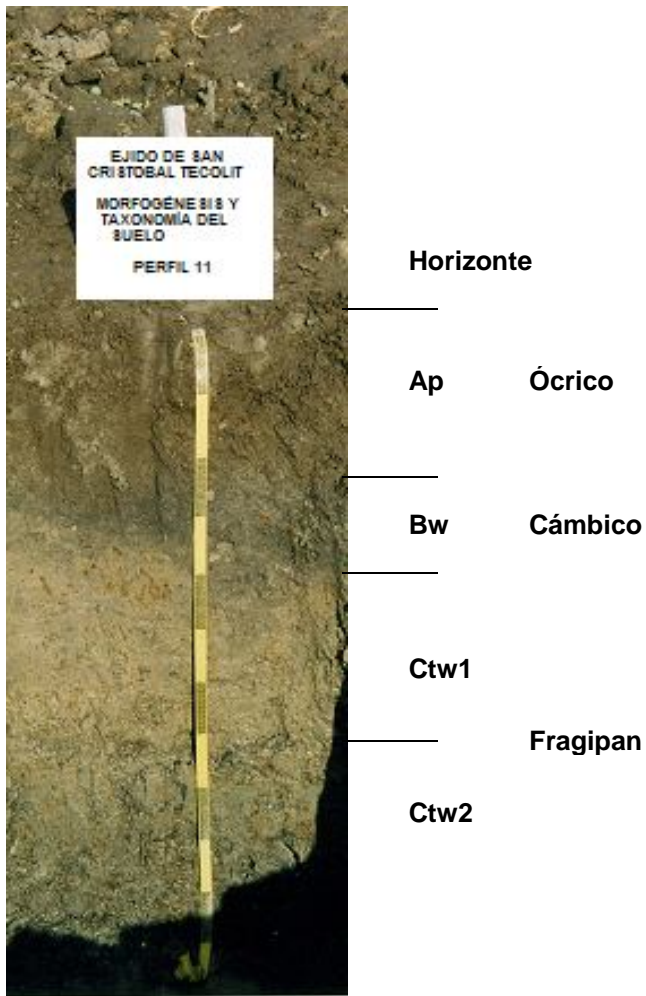


Figura 16. Perfil representativo de los suelos del Sistema Terrestre San Cristobal (TYPIC UDIVITRANDS)



Figura 17. Panorámica del sitio del perfil representativo del Sistema Terrestre San Cristobal (TYPIC UDIVITRANDS).

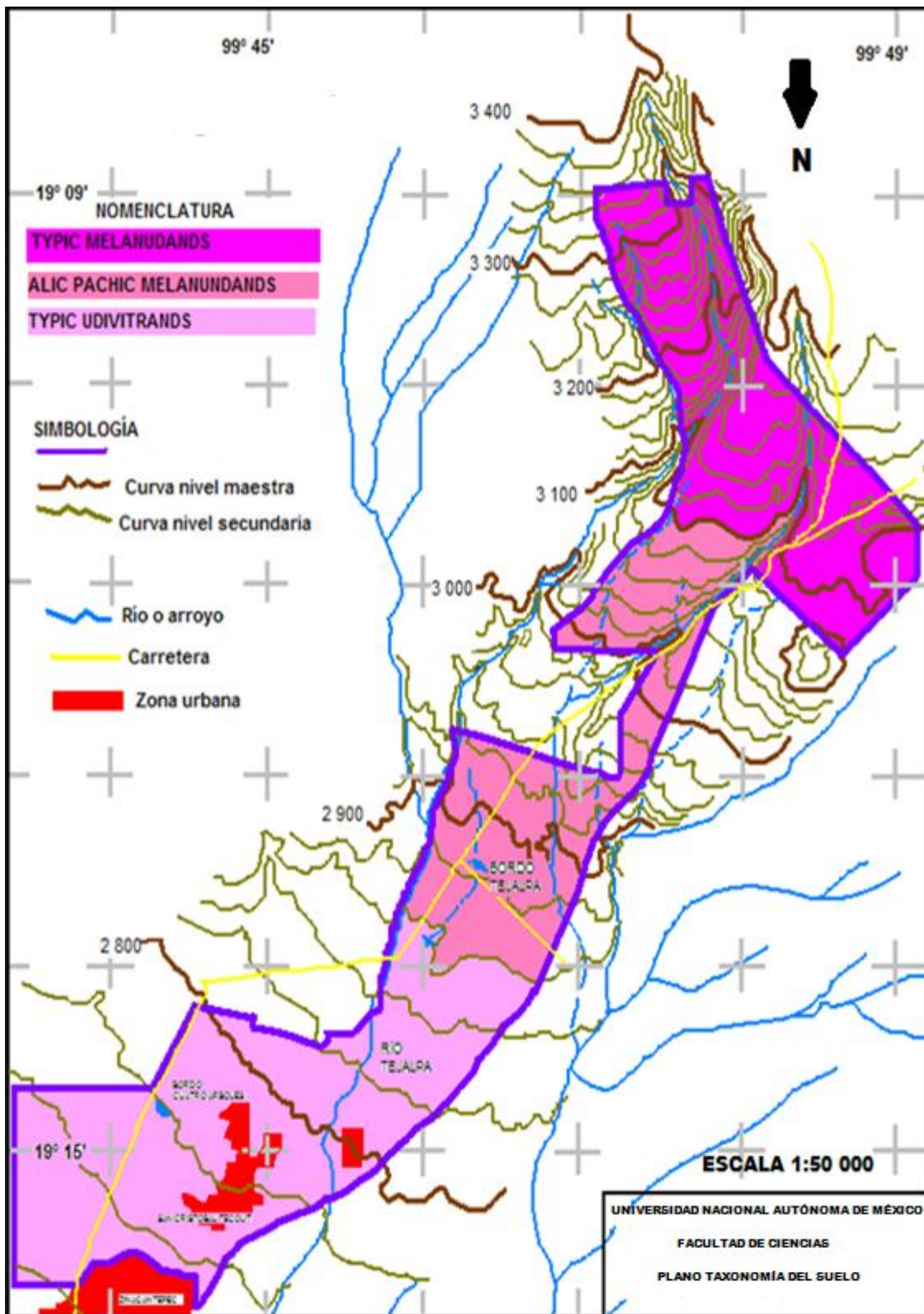


Figura 18. Clasificación taxonómica de los suelos del ejido de San Cristóbal Tecolotl, estado de México.

## V. CONCLUSIONES

Las condiciones climáticas templado subhúmedas, el material volcánico producto de la erupción del nevado de Toluca (pumitas, ceniza volcánica), y la vegetación de bosque de coníferas y pastizales naturales, fueron los factores que determinaron la acumulación de materia orgánica, que en conjunto con la presencia de Al y Fe permitieron la andosolización, proceso indispensable para la formación de los andisoles.

Por fisiografía, se separaron en tres sistemas terrestres denominados, Nevado, Tejalpa y San Cristóbal.

Respecto a la morfología del suelo, la zona de estudio se definió de la siguiente forma: el sistema terrestre Nevado, Ap-A1-Bhw1-Bhw2-Chw1-Chw2; el sistema terrestre Tejalpa presentó la secuencia morfológica, Ap-A1-Bhw1-Bhw2-Chw1-Chw2, finalmente el sistema terrestre San Cristóbal, su secuencia morfológica es, Ap-Bw-Ctw1-Ctw2.

La acumulación de materia orgánica en los horizontes superficiales fue un factor primordial para el desarrollo de horizontes húmicos que en conjunto con el material parental derivaron una densidad aparente baja y un por ciento de  $Al_o + Fe_o > 2.0$ , factores necesarios para la definición del Orden Andisol.

Asimismo, los dos primeros sistemas terrestres (Nevado, Tejalpa) presentan un régimen de humedad údico, ubicándolos en el suborden Udands, exhibieron un horizonte Melánico derivado del índice melánico menor del 1,72, clasificándose en Gran Grupo Melanudands.

Para el sistema terrestre Nevado, las condiciones de la suma de bases es menos a  $25 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$  y no se cuenta con un horizonte argílico, condiciones que lo definen en el subgrupo Typic.

Para el sistema terrestre Tejalpa, por contar con más de  $2.0 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$  de Al, saturación de bases menor de 36 por ciento, lo ubicaron en el Subgrupo Alic Pachic.

Para este sistema San Cristobal, la retención de humedad a  $1500 \text{ kPa}$  es muy baja, factores que permitieron definirlo en el Suborden Vitrand. El índice melánico es mayor a 1,72, y el régimen de humedad es údico, factores que permitieron ubicarlo en el Gran Grupo Udivitrand. Este sistema terrestre, no cumple con ninguna de las condiciones para otro Subgrupo que el Typic.

## VI. LITERATURA CITADA

Aceves Quesada José Fernando. 2000. Geología y Geomorfología del Volcán Nevado de Toluca. Tesis, UNAM, México. P: 37-59.

Aeppli H. y E. Schonnals. 1975. Los suelos de la Cuenca de Puebla- Tlaxcala. Investigaciones acerca de su formación y clasificación. Fundación alemana para la investigación científica, México.

Aguilera H. N. 1961. Génesis y clasificación de algunos suelos de la Meseta Tarasca, Mich. México. Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México. (Folleto Técnico 1).

Aguilera H. N. 1963. Algunas consideraciones, características, génesis y clasificación de los suelos de ando. Pp. 233-247. In: Memorias del 1er Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. México, D.F.

Aguilera N. N. 1969. Distribución geográfica y características de los suelos derivados de cenizas volcánicas de México. En: Primer Panel sobre Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas de América Latina. IICA, Turrialba, Costa Rica.

Alcalá de J. M. Ortiz S. C.A. Gutiérrez C. M.C. 2001. Clasificación de los suelos de la Meseta Tarasca, Michoacán. Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Posgraduados, Montecillos, México.

Anónimo. 1971b. Dirección de Agrología. Informe de Actividades de mayo 1967 a septiembre 1970. Revista de Ingeniería Hidráulica, México. 25: 71-78.



Aquinos A. T. and Inoue K. 1999. Morphological, Physical, and Chemical Properties of Andisols of the Kitakami Mountain Range, Japan. *Soil Sci. Plant Nutr.* 45 (1). 15-36.

Arias P.P. 1944. La región devastada por el volcán Parícutín. Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México.

Barnhissel, R. y M. Bertsch, 1982. Aluminium, In Page et al., (Eds). *Methods of Soil Analysis. Part. 2 (Agronomy). Secon Edition.* ASACSSA-SSSA. Madison, Wis. U.S.A.

Blakemore, L.C., P.L. Searle and B.K. Daly. 1987. *Methods for Chemical Analysis of Soils.* N.Z. Soil Bur. Sci. Rep. 80A. Soil Bureau. Lower Hutrt, New Zealand.

Bloomfield, K. Sánchez Rubio y L. Wilson. 1977a. "Plinian eruption of Nevado de Toluca Volcano", Mexico. *Sonderdruck aus der Geologishen Rundschau Bands.* Stuttgart. 68: 120-146.

Bloomfield, K. y S. Valastros jr. 1977b. "Late Quaternary tephracronology of Nevado de Toluca Volcano, Central México". *Overeas Geol. Miner. Resource* 46: 1-15.

Besoain M.E. 1957. *Mineralogía de las arcillas de algunos suelos volcánicos de Chile.* Agric. Técnica, Santiago de Chile.2: 110-163.

Birrel K.S. 1964. Some properties of volcanic ash soils. *FAO World Resour. Rep.* 14: 74-81.

Birrel K.S. and Gradwell M. 1964. Ion-exchange phenomena in some soils containing amorphous mineral constituents. *J. Soil Sci.* 7: 130-143.

Bullard F.M. 1984. Volcanoes of the Earth, 2<sup>nd</sup> revised edition. University of Texas Press, Austin.

Breemen van N. and Buurman P. 2002. Soil Formation. Second Edition. Kluwer Academia Publishers. Dordrecht, The Netherland.

Cantagrel, J.M. C. Robin y P. Vincent. 1981. "Les grandes étapes d'évolution d'un volcan andésitique composite: Exemple du Nevado de Toluca (Mexique)" Bull. Vulcanologie, 44 (2): 177-188.

Cavallaro N. Etchevers J.D. García L.D. 1984. The nature of the volcanic material from the Chichonal Volcano (México) and its effect on agricultural production. Panel Internacional d Suelos Volcánicos, Tenerife, España.

Cervantes R. L.G. 1965. Génesis y clasificación de algunos suelos de la Meseta Tarasca, Michoacán. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

Comisión Nacional del Agua. 1989. Manual de Clasificación, Cartografía e Interpretación de Suelos, con base en el Sistema de Taxonomía de Suelos. Jiutepec, Morelos, México.

Cortés L. A. 1966. Estudio Pedológico de la Zona Oriental del Iztaccihuatl en Suelos Derivados de Rocas y Cenizas Volcánicas Andesíticas. Tesis. C.P. Texcoco, México.

Cserna, Z de y C. Fries Jr. 1981. "Resumen de la geología de la hoja de Taxco, Estado de Guerrero, México y Morelos". Mapa de texto explicativo. Carta Geológica. Hoja Taxco 14 Q-h (7), serie 1:100 000, No. 15. Instituto de Geología, UNAM.

De la Peña, I. 1977. El Buen Uso y Manejo del Agua de Riego. Boletín Técnico No. 8 del Comité Directivo del Distrito de Riego. No. 28-42. Oficina de Riego y Drenaje. Cd. Obregón Sonora, México.

Demant, A. 1981a. Interpretación geodinámica del volcanismo del Eje Neovolcánico Transmexicano. "Revista del Instituto de Geología, UNAM, 5 (2): 217-222.

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. 2006. Claves para la Taxonomía de Suelos. Traducción al Español de la Décima Edición., por Ortiz S.C. y Gutiérrez C. M.C. Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas. Campus Montecillos, Texcoco, Estado de México. pp: 77- 96.

Dethier D.P. Pelear D.R. and Frank D. 1981. Alteration of new volcanic deposits. In: R.W. Lipman and D.R. Mullineaux (Editions). The 1980 Eruptions of Mount St. Helens, Washington U.S. Geological Survey Professional Paper 1250, pp: 649-665.

Dixon J.B and Leed S.B. 1977. Minerals in Soil Environments. Soil Science Society of America. USA.

Duchaufour P. 1982. Andosols. In: T.R. Paton (translated), Pedology: Pedogenesis and Classification. George Allen and Unwin, London, Boston, and Sydney, pp: 196-210.

Dudal R. Haggins G.M and Pecrot A. 1983. Utilization of soil resource inventories in agricultural development. Proc. 4<sup>th</sup> Int. Soil Classification Workshop, Rwanda, 2 to 12 June, 1981. Part 1: Papers, Abos-AGCD, Brussels, Belgium, pp: 6-12.

Egawa, T., and Sekiya, K. 1956. Soil and Plant Food 2:75-82.

Eswaran H. Bliss N. Lytle D and Lammers D. 1992. The 1: 30 000 000 Map of Major Soil Regions of the World (in preparation).

Etchevers J.D. 1985. Un cuarto de siglo de investigación en los suelos volcánicos de México. Serie Cuadernos de Edafología 1. Centro de Edafología, Colegio de Posgraduados, Chapingo, México.

FAO/UNESCO. 1974. Soil Map of the World, 1:5 000 000. Vol 1, Legend. Unesco-Paris.

Farmer V. C. and Russell J.D. 1990. The structure and genesis of allophanes and imogolite their distribution in nonvolcanic soils. In: M.H.B. Hayes and A. Herbillon (Editors), Soil Colloids and their Association in soil Aggregates. Proc NATO Advanced Studies Workshop, Ghent. 1985., Plenum, New York. Pp: 165-178.

Fields M. 1955. Clay mineralogy of New Zealand soils. Part II. Allophan and related mineral colloids. N.Z. Jour. Sci. Tech. 37 (3): 336-350.

Field M. and Perrot K.W. 1966. New Zealand Jour. Sci. 9: 623-629 (E).

FitsPatrick E.A. 1971. Andosols. In: Pedology, A system Approach to Soil Science. Oliver and Boyd, Edimburgh, pp. 165-167.

Gandoy Bernassoni W. 1992. Manual de laboratorio para el manejo físico de suelos. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México.

Hokkaido Soil Classification Committee. 1979. Soil classification of agricultural land in Hokkaido, 2nd approximation. Misc. Publ. Hokkaido Nat. Agr. Exp. Sta., 17 1-79.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1987. Síntesis Geográfica, Nomenclatura y Anexo Cartográfico del Estado de México. 1ª Reimpresión, México. p: 223

Ishizuka Y. y Black C.A. 1977. Soil Derived from Volcanic Ash in Japan. Centro Internacional de Maíz y Trigo (CYMMYT), México, D.F.

Ito, T, Shoji, S., Shirato, Y, and Ono, E. 1991b. Differentiation of a spodic horizon from a buried A horizon. Soil Sci. Am. J., 55: 438-442.

Jackson M.L. 1962. Interlayering of expansible layer silicates in soil chemical weathering. Clays Clay Miner. 11: 29-46.

Kamoshita Y. 1955. Principal soil type (great soil group) in Japan. Soil and Plant Food, 1:99-101.

Kanno I. 1961. Genesis and classification of main genetic soil types in Japan, I. Introduction and Humic Allophane soils. Bull. Kyushu Agr. Exp. Sta, 7: 13-185 (in Japanese, with English abstract).

Katsui Y. 1978. Distribution of volcanoes. In: Volcanoes. Urban Kubota, No. 15, Osaka, pp. 30-40 (in Japanese).

Kobo K., and Akatsuka K. 1951. Jour. Sci. Soil and Manure, Japan 22:151.

Kutsuna K, and Nomoto K. 1961a. Jour. Sci. Soil and Manure, Japan 32: 183-186 (J).

Leamy M.L. Smith G.D. Colmet-Daage F and Otowa M. 1980. The morphological characteristics of Andisols. In: B.K.G. Theng (Editor), Soil with Variable Charge. DSIR, Lower Hutt, pp. 17-34.

Leamy M.L. 1984. Andisols of the world. In: Congreso Internacional de Suelos Volcánicos, Comunicaciones, Universidad de la Laguna Secretariado de Publicaciones, serie informes 13 pp. 368-387.

Leamy M.L. Clayden B. Parfitt R.L: Kinloch D.I. and Childs C.W. 1988. The Andisol proposal, 1988. Final proposal of the International Committee on the Classification of Andisols (ICOMAND). New Zealand Soil Bureau, Lower Hutt, New Zealand.

Leamy M.L. Clayden B. Parfitt R.L: Kinloch D.I. and Childs C.W. 1988. Final proposal of the International Committee of Andisols (ICOMAND). New Zealand Soil Bureau, DSI, Low Hutt.

Luciano de P. F. 1974. Estudio de las relaciones agua-suelo en suelos de cenizas volcánicas de la parte Central de México. Tesis Maestro en Ciencias. C.P. Texcoco, México.

Mielich G. 1980. Los suelos de la Sierra Nevada de México. Fundación Alemana para la Investigación Científica, México. (Suplemento Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala 7).

Misono, S., and Kishita, A. 1957b. Nat. Inst.Agric. Sci., Japan, Bull. B7: 123-160.

Mitsuko T., M.L. 1971. Estudio de suelos derivados de cenizas volcánicas del Nevado de Toluca, Estado de México. Univeridad Nacional Autónoma de México, Facultad de Cienicas, México, D.F.

Murillo, F. J. A. 1974. Ejercicios Prácticos de Fotogrametría Elemental. Centro Interamericano de Fotointerpretación. Bogota, Colombia. pp: 15-45.

Neal V.E. 1985. Parent materials of Andisols. In: F.H. Beinroth, W:L: Luzio, F.P. Maldonado and Eswaran (Editors), Proceeding of the Sixth International Soil

Classification Workshop, Chile and Ecuador. Part 1: Paper. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, Santiago de Chile, pp: 9-19.

Otowa M. 1986. Morphological and classification. In: K. Wada (Editor), Ando Soils in Japan. Kyushu University Press, Fukuoka, Japan, p: 3-20.

Rodríguez T.S. Gutiérrez C. M.C. Hidalgo M. C. Ortiz S C.A. 1999. Intemperismo en tepetates y cenizas volcánicas y su influencia en la formación de Andisoles. Colegio Posgraduados, Montecillos, México.

Saigusa, M., Shoji, S. and Kato, T. 1978. Origin and nature of halloysite in Ando soils from Towada Tephra, Japan, Geoderma, 20: 115-129.

Schoeneberger, P.J., Wysocki, D.A., Benham, E.C., and Broderson, W.D. (editors), 2002. Field book for describing and sampling soils, Version 2.0. Natural Resources Conservation Service, National Soils Survey Center, Lincoln, N.E. pp. 2-2 – 2-5.

Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. 2000. Norma Oficial Mexicana de Procesos de Análisis de Suelos y Certificación de Laboratorios. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Suelos. Texcoco, México.

Secretaría de la Reforma Agraria. 1995. Expediente de dotación de tierras No. 130. Población de San Cristobal Tecolot, Municipio de Zinacantepec, México.

Seki, T. 1913. Zwei vulkanogene lehms aus Japan. Landw. Versuch. Sta. 79/80: 871- 890.

Sekiya K. 1970. Methods for Determination of Nutrients Elements in Soils. Yokendo Pub. Co., Tokio, pp. 225-257.

Serrato. C.R. y Landeros. F.V. 2001. Instructivo para análisis de suelos. Propiedades Físicas. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias Agrícolas. Toluca, México.

Serrato. C.R. y Landeros. F.V. 2001. Instructivo para análisis de suelos. Propiedades Químicas. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias Agrícolas. Toluca, México.

Shoji, S. 1984. Genesis and properties of nonallophanic Andisols. *J. Clay Sci. Japan*, 24: 152:165.

Shoji S. 1986. Mineralogical characteristics. I. Primary minerals. In: K. Wada (editor), *Ando Soils in Japan*, Kyushu University Press, Fukuoka, Japan, pp. 21-40.

Shoji S. 1988. Separation of melanic and fulvic Andisols. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 34: 303-306.

Shoji, S. and Fujiwara, J. 1984. Active Al and Fe in the humus horizons of andosols from northeastern Japan: Their forms, properties, and significance in clay weathering. *Soil Sci.*, 137: 216-226.

Shoji S., Kobayashi S., Yamada I and Masui J. 1975. Chemical and mineralogical studies on volcanic ashes. I. Chemical composition of volcanic ashes and their classification. *Soil Sci. Plant Nut.*, 21: 311-318.

Shoji, S., Yamada, I. and Kurashima, K. 1981. Mobilities and related factors of chemical elements in the topsoils of Andosols in Japan: 2. Chemical and Mineralogical composition of size fractions and factors influencing the mobilities of major chemical elements. *Soil Sci.* 132: 330-346.



Shoji S, and Ono T. 1978. Physical and chemical properties and clay mineralogy of Andosols from Kitakami, Japan. *Soil Sci.*, 126: 297-312.

Shoji S, Nanzyo M, Dahlgren R. 1993. *Volcanic Ash Soils. Genesis, Properties and Utilization.* Elsevier, Amsterdam.

Simonson R.W. 1979. Origin of the name "Ando soils". *Geoderma*, 22: 333-335.

Smith G.D. 1978. A preliminary proposal for the reclassification of Andepts and some Andic subgroups. New Zealand Soil Bureau, Lower Hutt, New Zealand.

Soil Survey Staff. 1975. *Soil Taxonomy, A basic system of soil classification for making and interpreting soil survey.* USDA-SCS Agric. Handb. 436. U.S. Gov. Office, Washington, D.C.

Soils Survey Staff. 1990. *Keys to Soil Taxonomy, 4th edition.* Aid, USDA-SMSS Technical Monograph No. 19, Blacksburg, Virginia.

Soils Survey Staff. 1992. *Keys to Soil Taxonomy, 4th edition.* Aid, USDA-SMSS Technical Monograph No. 19, Blacksburg, Virginia.

Sudo T. 1953. *Clay Mineralogy.* Pp. 174-178. Iwanami Pub. Co., Tokio.

Swindale L.D. and Sherman G.D. 1964 Hawaiian soils from volcanic ash. Report on the "Meeting on the classification and correlation of soils from volcanic ash". *World Soil Resources. Report 14.* FAO, Roma.

The Third Division of Soils. 1973. *Criteria for making soil series and a list of soil series. The first approximation.* Nat. Inst. Agr. Res., Japan (in Japanese).

The Third Division of Soils. 1982. Classification of cultivated soils in Japan. Nat. Inst. Agr. Res., Japan.

Uchiyama N., Abe K. and Tsuchiya. 1954. Research on soil types of arable land, Tochigi Prefecture. Bull. Nat. Inst. Agr. Sci., B3: 43-139.

Van Wambeke, A. 1987. Soil Moisture and Temperature Regimes of Central America Caribbean Mexico. SMSS Technical Monograph # 16. Soil Conservation Service, US Department Agriculture. pp 20-25.

Wada K. 1989. Allophane and imogolite. In: J.B.Dixon and S.B. Weed (Editors). Minerals in soils Environment, 2<sup>nd</sup> ed., Soil Science of America. Madison, Wi, pp. 1051-1087.

Wada. 1985. The distinctive properties of andisols. In: B.A. Stewart (Editor), Advances in Soil Science, Springer-Verlag, New York, 2: 173-229.

Werner G. 1978. Los suelos de la Cuenca alta de Puebla y Tlaxcala. Fundación alemana para la investigación científica. México. (Suplemento Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala 6).

Wright C.A. 1964. The "Andosols" or "Humic Allophane" Soils of South America. In Meeting of the Classification and Correlation of soils from Volcanic Ash, Japan, 1964. FAO-Unesco, pp. 9-22.

Yamada S., et al. 1935. Agriculture and Horticulture, Japan, Tokio 10, No 3, pp. 23-26 (J).

Yamada S. 1951. A method to Survey volcanogenous soils and volcanogenous soils in Hokkaido. Bull. Hokkaido Nat. Agr. Exp. Sta., 44: 1-93 (in Japanese).

Yamada I. and Shoji S. 1975. Relationship between particle size and mineral composition of volcanic ashes. *Tohoku J. Agr. Res.* 26: 7-10.

Yamada J. and Shoji S. 1983. Properties of volcanic glasses and relationships between the properties of tephra and volcanic zones. *Jap. J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 54: 311-318.

Yamada I. 1988. Tephra as parent material. In : D.I. Kinloch, S. Shoji, F.H. Beinroth and H. Eswaran (Editors), *Proc. Of the 9<sup>th</sup> Int. Soil Classification Workshop*, for the Soil Management Support Services, Washington, D.C., U.S.A., pp: 509-519.

Yoshida M. 1957. *Jour. Sci. Soil land Manure, Japan* 28: 195-198 (J).

Yoshida M. 1960a. *Jour. Sci. Soil land Manure, Japan* 31: 415-418 (J).

Yoshida M. 1960b. *Jour. Sci. Soil land Manure, Japan* 31: 447-450 (J).

Yoshida M. 1961. *Science (Japan)* 31: 310-313 (J).

Yoshinaga N. and Aomine S. 1962. Imogolite in some Ando soils. *Soil Sci. Plant Nutr.* 8: 22-29.

Yoshinaga N. 1988. Mineralogy of andisols. In: D.I. Kinloch, S. Shoji, F.H. Beinroth and H. Eswaran (Editors), *Proc. of the 9<sup>th</sup> Int. Soil Clasification Worshop, Japan. 20 July to 1 august, 1987*. Publ. by Jap. Committee for 9<sup>th</sup> Int. Soil Classification Workshop Soil Management Support Services, Washington, D.C. U.S.A., pp: 45-59.