

00369



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

FISICOQUIMICA Y MINERALOGIA
DE ANDOSOLES DE LA REGION
DE TEZIUTLAN, ESTADO DE
PUEBLA

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS
-EDAFOLOGIA-**

P R E S E N T A

MIGUEL ANGEL VALERA PEREZ

DIRECTOR DE LA TESIS:

M. EN C. NICOLAS AGUILERA HERRERA

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está 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.

INDICE GENERAL

	PAGINA.
INDICE DE TABLAS.	vi
INDICE DE FIGURAS.	x
INDICE DE FOTOGRAFIAS.	xii
RESUMEN.	xiii

CONTENIDO

I.- INTRODUCCION.	1
I.1.- DEFINICION DE ANDOSOL.	3
I.2.- JUSTIFICACION.	5
I.3.- HIPOTESIS.	6
I.4.- OBJETIVOS.	6
I.5.- METAS.	6
II.- ANTECEDENTES.	7
II.1.- DISTRIBUCION DE LOS ANDOSOLES EN EL MUNDO.	8
II.2.- LOCALIZACION Y SUPERFICIE DE LOS ANDOSOLES EN MEXICO.	8
II.3.- ANTECEDENTES DE INVESTIGACION SOBRE ANDOSOLES EN MEXICO.	11
II.4.- ANTECEDENTES DE INVESTIGACION SOBRE ANDOSOLES DE LA REGION DE TEZIUTLAN, ESTADO DE PUEBLA.	13
III.- DESCRIPCION DE LA ZONA ESTUDIADA.	19
III.1.- LOCALIZACION.	20
III.2.- FISIOGRAFIA.	20
III.2.1.- Eje Neovolcánico.	23
III.2.2.- Sierra Madre Oriental.	24
III.3.- GEOLOGIA.	24
III.3.1.- Cuaternario.	25

	PAGINA.
III.3.2.- Terciario superior.	25
III.3.3.- Paleozoico.	25
III.3.4.- Jurásico Medio.	26
III.3.5.- Jurásico Superior.	26
III.3.6.- Cretácico Inferior.	26
III.4.- OROGRAFIA.	26
III.4.1.- Declive Austral de la Sierra de Puebla.	26
III.4.2.- Sierra de Puebla.	28
III.4.3.- Declive del Golfo.	30
III.5.- HIDROGRAFIA.	30
III.5.1.- Subcuenca del río Apulco.	31
III.5.2.- Subcuenca del río Cedro Viejo.	32
III.5.3.- Subcuenca del río Masonate.	32
III.5.4.- Subcuenca del río María de la Torre.	32
III.5.5.- Subcuenca del río Solteros.	32
III.6.- CLIMA.	33
III.6.1.- Clima $C(W_1)(w)$.	36
III.6.2.- Clima $C(E)w_2$.	36
III.6.3.- Clima $C(w_2)$.	36
III.6.4.- Clima $C(m)$.	37
III.6.5.- Clima $C(fm)$.	37
III.6.6.- Clima $(A)C(fm)$.	37
III.7.- SUELOS.	38
III.7.1.- Regosoles.	38
III.7.2.- Litosoles.	39
III.7.3.- Luvisoles.	39
III.7.4.- Feozems.	40
III.7.5.- Rendzinas.	40
III.7.6.- Andosoles.	41
III.8.- VEGETACION.	41
III.8.1.- Bosque de Pino y asociaciones de Encino-Pino y Pino-Encino.	42
III.8.2.- Bosque de Oyamel.	46
III.8.3.- Bosque Mesófilo de Montaña.	47
III.9.- AGRICULTURA Y GANADERIA.	49

	PAGINA.
IV.- MATERIALES Y METODOS.	51
IV.1.- TRABAJO DE GABINETE.	52
IV.1.1.- Delimitación de la región en estudio, fotointerpretación y selección de sitios de verificación y muestreo.	52
IV.1.2.- Determinación de los regímenes de humedad de los suelos.	53
IV.2.- TRABAJO DE CAMPO Y OBTENCION DE LAS MUESTRAS DE SUELO.	53
IV.3.- ANALISIS FISICOS Y QUIMICOS DE LAS MUESTRAS DE SUELO.	54
IV.3.1.- Preparación de las muestras de suelo para el análisis.	54
IV.3.2.- Color de suelo.	54
IV.3.3.- Densidad aparente.	55
IV.3.4.- Densidad real.	55
IV.3.5.- Textura.	56
IV.3.6.- Porcentaje de materia orgánica y porcentaje de carbono orgánico.	56
IV.3.7.- Índice melánico.	57
IV.3.8.- Nitrógeno total.	57
IV.3.9.- Retención de fosfatos.	57
IV.3.10.- Aluminio y hierro activos o extraíbles con el reactivo oxalato ácido.	59
IV.3.11.- pH en NaF.	61
IV.3.12.- pH.	61
IV.3.13.- Capacidad de intercambio catiónico.	61
IV.3.14.- Bases intercambiables y porcentaje de saturación de bases.	62
IV.4.- ANALISIS MINERALOGICO.	62
IV.4.1.- Preparación de las muestras para el análisis mineralógico.	63
IV.4.2.- Análisis Químico Elemental de las fracciones tierra fina y arcilla.	64
IV.4.3.- Análisis por Espectroscopía Infrarroja de la fracción arcilla.	64

IV.4.4.- Análisis por Microscopía Electrónica de Transmisión de la fracción arcilla.	64
IV.4.5.- Análisis por Difracción de Rayos X de la fracción arcilla.	65
V.- RESULTADOS Y DISCUSION.	66
V.1.- CARACTERISTICAS AMBIENTALES Y MORFOLOGICAS.	67
V.1.1.- Ambiente y morfología de los Andosoles.	67
V.1.2.- Selección de los perfiles de suelo.	69
V.1.3.- Localización de los perfiles de suelo.	71
V.1.4.- Resultados y discusión sobre el ambiente y la morfología de los Andosoles de la región de Teziutlán.	73
V.2.- PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS.	137
V.2.1.- Características físicas y químicas de los Andosoles de la región de Teziutlán.	137
V.2.2.- Color del suelo.	155
V.2.3.- Densidad aparente.	157
V.2.4.- Densidad real.	165
V.2.5.- Textura y agregación microestructural.	168
V.2.6.- Contenidos en materia orgánica y carbono orgánico.	177
V.2.7.- Contenidos en nitrógeno y relación C/N.	190
V.2.8.- Adsorción de aniones y retención de fosfatos.	192
V.2.9.- Aluminio y hierro activos.	198
V.2.10.- Valores de pH determinados en NaF.	200
V.2.11.- Reacción del suelo.	203
V.2.12.- Capacidad de intercambio catiónico y bases cambiables.	208
V.3.- MINERALOGIA.	216
V.3.1.- Componentes minerales de los Andosoles.	216
V.3.2.- Formación y transformación de los minerales en los Andosoles.	223
V.3.3.- Procesos de pérdida de sílice en los Andosoles de la región de Teziutlán.	228

V.3.4.- Componentes minerales de la fracción arcilla de los Andosoles de la región de Teziutlán.	232
V.4.- CLASIFICACION DE LOS ANDOSOLES.	257
V.4.1.- El nuevo orden Andisol de la Soil Taxonomy.	257
V.4.2.- Propiedades ándicas en la Soil Taxonomy 1990.	258
V.4.3.- Clasificación de los suelos de la región de Teziutlán con base al sistema de clasificación de suelos Soil Taxonomy.	260
VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	271
VI.1.- CONCLUSIONES DEL TRABAJO.	272
VI.1.1.- Conclusiones generales.	272
VI.1.2.- Conclusiones sobre el ambiente y la morfología de los suelos.	272
VI.1.3.- Conclusiones sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos.	274
VI.1.4.- Conclusiones sobre la mineralogía de los suelos.	276
VI.2.- RECOMENDACIONES.	278
VII.- REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.	280

INDICE DE TABLAS.

	PAGINA.
II.2.1.- Estimación del porcentaje de los suelos dominantes en la República Mexicana.	10
II.2.2.- Superficie y extensiones (%) de las diez unidades FAO/UNESCO de suelos dominantes en la República Mexicana.	11
V.4.1.1.- Algunas características ambientales y morfológicas del perfil No. 30.	79
V.4.1.2.- Algunas características ambientales y morfológicas del perfil No. 35.	83
V.4.1.3.- Algunas características ambientales y morfológicas del perfil No. 36.	87
V.4.1.4.- Algunas características ambientales y morfológicas del perfil No. 41.	91
V.4.1.5.- Algunas características ambientales y morfológicas del perfil No. 62.	96
V.4.1.6.- Algunas características ambientales y morfológicas del perfil No. 63.	100
V.4.1.7.- Algunas características ambientales y morfológicas del perfil No. 84.	104
V.4.1.8.- Algunas características ambientales y morfológicas del perfil No. 6.	109
V.4.1.9.- Algunas características ambientales y morfológicas del perfil No. 20.	113
V.4.1.10.- Algunas características ambientales y morfológicas del perfil No. 87.	117
V.4.1.11.- Algunas características ambientales y morfológicas del perfil No. 110.	121
V.4.1.12.- Algunas características ambientales y morfológicas del perfil No. 111.	126
V.4.1.13.- Algunas características ambientales y morfológicas del perfil No. 118.	130
V.2.1.1.- Características físicas y químicas del perfil No. 30.	138
V.2.1.2.- Características físicas y químicas del perfil No. 35.	139
V.2.1.3.- Características físicas y químicas del perfil No. 36.	140
V.2.1.4.- Características físicas y químicas del perfil No. 41.	141
V.2.1.5.- Características físicas y químicas del perfil No. 62.	142
V.2.1.6.- Características físicas y químicas del perfil No. 63.	143
V.2.1.7.- Características físicas y químicas del perfil No. 84.	144
V.2.1.8.- Características físicas y químicas del perfil No. 6.	145
V.2.1.9.- Características físicas y químicas del perfil No. 20.	146

V.2.1.10.- Características físicas y químicas del perfil No. 87.	147
V.2.1.11.- Características físicas y químicas del perfil No. 110.	148
V.2.1.12.- Características físicas y químicas del perfil No. 111.	150
V.2.1.13.- Características físicas y químicas del perfil No. 118.	152
V.2.3.1.- Algunos resultados de la densidad aparente de Andosoles reportados por diferentes autores.	158
V.2.3.2.- Datos analíticos de Andosoles representativos del distrito de Mt. Aso, Japón.	161
V.2.3.3.- Valores de la densidad aparente del horizonte B2 del perfil de suelo número 109 de la región de Teziutlán, obtenidos mediante los diferentes métodos seleccionados.	162
V.2.3.4.- Datos físicos y químicos para un típico Hídrandept.	165
V.2.4.1.- Densidad de partícula de varios materiales constituyentes de suelos volcánicos y densidad real de varios Andosoles.	166
V.2.4.2.- Algunos resultados de la densidad real de Andosoles de México, reportados por diferentes autores.	167
V.2.5.1.- Diferentes unidades microestructurales presentes en horizontes B de Andosoles.	172
V.2.5.2.- Cambios en los resultados de la textura de los Andosoles de la región de Teziutlán, cuando el análisis mecánico de estos suelos se realiza por dos métodos diferentes.	175
V.2.6.1.- Contenido de carbono y relación C/N de Andosoles de Japón.	177
V.2.6.2.- La relación entre el clima, la vegetación, y el contenido de carbono de Andosoles en Sudamérica.	178
V.2.6.3.- Algunos resultados de contenidos en materia orgánica reportados para Andosoles por diferentes autores.	180
V.2.6.4.- Resumen sobre los resultados obtenidos para los contenidos en materia orgánica de los Andosoles de la región de Teziutlán, Puebla, México.	182
V.2.6.5.- Relación entre el clima y el contenido de carbono de Andosoles de la región de Teziutlán, Puebla, México.	183
V.2.6.6.- Contenido de carbono y relación C/N de Andosoles de la región de Teziutlán, Puebla, México.	185
V.2.6.7.- Relación entre los contenidos de carbono orgánico, aluminio y hierro extraíbles con el reactivo de Tamm y retención de fosfatos.	191
V.2.8.2.- Modificación de algunas propiedades de los Andosoles de la región de Teziutlán con la variación de la humedad ambiental.	195

V.2.8.1.- Algunos resultados de porcentajes de retención de fosfatos por Andosoles, reportados por diferentes autores.	196
V.2.9.1.- Algunos resultados de los porcentajes de aluminio y hierro activos (extraíbles en el reactivo de Tamm) en Andosoles, reportados por diferentes autores.	199
V.2.10.1.- Algunos resultados sobre los valores del pH en NaF 1N de Andosoles, reportados por diferentes autores.	201
V.2.11.1.- Algunos resultados de pH reportados para Andosoles por diferentes autores.	205
V.2.11.2.- Relación entre el pH, la acidez intercambiable y los contenidos de aluminio y hierro extraíbles con el reactivo de Tamm, en Andosoles de la región de Teziutlán.	207
V.2.12.1.- Algunos resultados de la capacidad de intercambio catiónico, contenidos en bases cambiables y porcentaje de saturación en bases reportados para Andosoles por diferentes autores.	209
V.2.12.2.- Desarrollo de carga negativa a diferentes valores de pH, para suelos y ácidos húmicos.	213
V.2.12.3.- Comparación de los resultados del análisis químico elemental de la fracción tierra fina y la fracción arcilla, con la C.I.C., el % de V y los contenidos en bases cambiables, para Andosoles de la región de Teziutlán.	215
V.3.1.1.- Nomenclatura y clasificación de materiales arcillosos no cristalinos.	219
V.3.2.1.- Componentes minerales del suelo formados por pedogénesis en Andosoles bajo un clima templado húmedo y vegetación de pasto natural.	225
V.3.3.1.- Resultados del análisis químico elemental de la fracción tierra fina y sus relaciones de alteración química de Andosoles de la región de Teziutlán, Estado de Puebla, México.	230
V.3.3.2.- Resultados del análisis químico elemental de la fracción arcilla y relaciones de alteración química de Andosoles de la región de Teziutlán, Estado de Puebla, México.	231
V.3.4.1.- Resultados del análisis por Difracción de Rayos X en polvo desorientado de la fracción arcilla de suelos de la región de Teziutlán, Estado de Puebla; horizonte Ap (0-30 cm) del perfil 63.	236
V.3.4.2.- Resultados del análisis por Espectroscopía Infrarroja de la fracción arcilla de suelos de la región de Teziutlán, Estado de Puebla; horizonte Ap (0-30 cm) del perfil 63.	239
V.3.4.3.- Resultados del análisis por Espectroscopía infrarroja de la fracción arcilla de suelos de la región de Teziutlán, Estado de Puebla; horizontes A1 (0-13 cm), B21 (13-20 cm) y B22 (20-42 cm) del perfil 84.	241

V.3.4.4.- Resultados del análisis por Espectroscopía Infrarroja de la fracción arcilla de suelos de la región de Teziutlán, Estado de Puebla; horizontes A1 (0-20 cm), C1 (20- 40 cm) y B2b (40-60 cm) del perfil 6.	245
V.3.4.5.- Resultados del análisis por Difracción de Rayos X en polvos desorientados de la fracción arcilla de suelos de la región de Teziutlán, Estado de Puebla; horizonte A1 (0-15 cm) del perfil 110.	248
V.3.4.6.- Resultados del análisis por Difracción de Rayos X en polvos desorientados de la fracción arcilla de suelos de la región de Teziutlán, Estado de Puebla; horizonte B2 (40-106 cm) del perfil 110.	249
V.3.4.7.- Resultados del análisis por Espectroscopía Infrarroja de la fracción arcilla de suelos de la región de Teziutlán, Estado de Puebla; horizontes A11 (0-15 cm), A12 (15-40 cm), B21b (42-69 cm) y B22b (70-106 cm) del perfil 110.	250
V.3.4.8.- Resultados del análisis por Difracción de Rayos X en polvos desorientados de la fracción arcilla de suelos de la región de Teziutlán, Estado de Puebla; horizonte C (42-69 cm) del perfil 118.	252
V.3.4.9.- Resultados del análisis por Espectroscopía Infrarroja de la fracción arcilla de suelos de la región de Teziutlán, Estado de Puebla; horizontes A1 (0-10 cm), B2 (10-42 cm) y C1 (42-69 cm) del perfil 118.	253

INDICE DE FIGURAS.

	PAGINA.
II.1.1.- Suelos derivados de materiales ígneos y cenizas volcánicas en México.	9
III.1.1.- Localización de la región de Teziutlán en el Estado de Puebla, México.	21
III.1.2.- Municipios comprendidos en la región de Teziutlán, Estado de Puebla, México.	22
III.4.1.- Curvas de nivel cada 500 msnm. Región de Teziutlán, Estado de Puebla.	27
III.6.1.- Climas de la región de Teziutlán, Estado de Puebla.	34
III.6.2.- Precipitación Media Anual en la región de Teziutlán, Estado de Puebla.	35
V.1.2.1.- Unidades de suelo FAO/UNESCO (1989), correspondientes a la zona de suelos volcánicos, en la región de Teziutlán, Estado de Puebla.	70
V.1.3.1.- Localización de los perfiles de suelo en el mapa topográfico de la región de Teziutlán, Estado de Puebla.	72
V.3.2.1.- Diagrama de las tres fases de composición para Andosoles, suelos aluviales, suelos inundados derivados de aluviones, suelos Rojos y Amarillos y suelos derivados de dunas arenosas.	163
V.2.6.1.- Relación entre el carbono y el aluminio más hierro extraíbles con pirofosfato en Andosoles.	187
V.2.6.2.- Relación entre carbono total menos carbono extraído con pirofosfato y aluminio más hierro extraídos con ditionito-citrato menos aluminio más hierro extraídos con pirofosfato en Andosoles.	188
V.2.8.1.- Relación entre el contenido de carbono y la adsorción de fosfato de Andosoles utilizados en el cultivo de arroz y sin plantas cultivadas, con diferencias en si contienen o no alofano e imogolita.	193
V.2.12.1.- Características de la carga eléctrica de Andosoles y pumicitas intemperizadas, con diferencias en la composición de sus materiales coloidales, determinadas usando soluciones de cloruro de amonio con diferentes concentraciones.	211
V.3.1.1.- Representación esquemática de la estructura de un esferúl de alofano.	221
V.3.1.2.- Relación postulada entre la unidad estructural de la imogolita y de la gibbsita.	222
V.3.2.1.- Relación entre la acumulación de humus y la formación de alofano e imogolita en Andosoles.	227
V.3.4.1.- Diagramas de Difracción de Rayos X, en polvo desorientado, de la fracción arcilla de Andosoles de la región de Teziutlán, Estado de Puebla.	237
V.3.4.2.- Diagramas de Difracción de Rayos X, en agregados orientados, de la fracción arcilla de Andosoles de la región de Teziutlán, Estado de Puebla.	238

V.3.4.3.- Espectro de absorción infrarroja de la fracción arcilla con materia orgánica, perfil 63, horizonte Ap (0-30 cm).	240
V.3.4.4.- Espectros de absorción infrarroja de la fracción arcilla con materia orgánica, perfil 84, horizontes A1 (0-13 cm), AB (13-20 cm) y B2 (20-42 cm).	242
V.3.4.5.- Espectros de absorción infrarroja de la fracción arcilla con materia orgánica, perfil 6, horizontes Ap (0-20 cm), C1 (20-40 cm) y B2b (40-60 cm).	246
V.3.4.6.- Espectros de absorción infrarroja de la fracción arcilla con materia orgánica, perfil 110, horizontes A11 (0-15 cm), A12 (15-40 cm), B21 (40-70 cm) y B22 (70-106 cm).	251
V.3.4.7.- Espectros de absorción infrarroja de la fracción arcilla con materia orgánica, perfil 118, horizontes A1 (0-10 cm), B2 (10-23 cm) y C1 (23-36 cm).	254
V.4.2.1.- Variación del porcentaje de vidrio en la fracción tierra fina del suelo y los contenidos en aluminio más la mitad del hierro extraíbles con el reactivo oxalato ácido.	259
V.4.3.1.- Mapa de suelos (Soil Taxonomy, 1990), correspondiente a la zona de suelos volcánicos de la región de Teziutlán, Estado de Puebla.	262
V.4.3.2.- Climograma de la estación Teziutlán (21-089).	263
V.4.3.3.- Climograma de la estación Las Minas (21-054).	264
V.4.3.4.- Climograma de la estación Tlatlauquitepec (21-095).	265
V.4.3.5.- Climograma de la estación Cuetzalan (21-026).	266
V.4.3.6.- Climograma de la estación Zacapoaxtla (21-101).	267
V.4.3.7.- Climograma de la estación San Juan Apulco (21-069).	268
V.4.3.8.- Climograma de la estación Huahuaxtla (21-037).	269
V.4.3.9.- Climograma de la estación Zautla (21-106).	270

INDICE DE FOTOGRAFIAS.

PAGINA.

V.1.4.1.- Perfil No. 30. Andosoles de la región de Teziutlán, Estado de Puebla.	78
V.1.4.2.- Perfil No. 35. Andosoles de la región de Teziutlán, Estado de Puebla.	82
V.1.4.3.- Perfil No. 36. Andosoles de la región de Teziutlán, Estado de Puebla.	86
V.1.4.4.- Perfil No. 41. Andosoles de la región de Teziutlán, Estado de Puebla.	90
V.1.4.5.- Perfil No. 62. Andosoles de la región de Teziutlán, Estado de Puebla.	95
V.1.4.6.- Perfil No. 63. Andosoles de la región de Teziutlán, Estado de Puebla.	99
V.1.4.7.- Perfil No. 84. Andosoles de la región de Teziutlán, Estado de Puebla.	103
V.1.4.8.- Perfil No. 6. Andosoles de la región de Teziutlán, Estado de Puebla.	108
V.1.4.9.- Perfil No. 20. Andosoles de la región de Teziutlán, Estado de Puebla.	112
V.1.4.10.- Perfil No. 87. Andosoles de la región de Teziutlán, Estado de Puebla.	116
V.1.4.11.- Perfil No. 110. Andosoles de la región de Teziutlán, Estado de Puebla.	120
V.1.4.12.- Perfil No. 111. Andosoles de la región de Teziutlán, Estado de Puebla.	125
V.1.4.13.- Perfil No. 118. Andosoles de la región de Teziutlán, Estado de Puebla.	129
V.3.4.1.- Sílice coloidal, horizonte A1 (0-13 cm) del perfil 84.	243
V.3.4.2.- Fibra de haloisita en una lámina de mica, horizonte AB (13-20 cm) del perfil 84.	244
V.3.4.3.- Haloisitas globulares y fibrosas, horizonte A1 (0-20 cm) del perfil 6 (31920 aumentos).	247
V.3.4.4.- Haloisitas globulares y fibrosas, horizonte B2 (10-23 cm) del perfil 118 (20520 aumentos).	255
V.3.4.5.- Haloisitas globulares y fibrosas, horizonte C1 (23-36 cm) del perfil 118 (15960 aumentos).	256

RESUMEN

Los Andosoles han demandado particular atención, por muchas razones, como lo son su distribución geográfica y su origen fácilmente identificable. Se ha demostrado que éstos muestran distintas propiedades que no son encontradas en suelos derivados de otros materiales bajo la misma vegetación y clima.

Los Andosoles presentan una problemática seria respecto a su uso agrícola debido a sus propiedades físicas y químicas particulares, especialmente en lo referente a su alta capacidad de fijación de fosfatos y sus también altos contenido en aluminio y hierro activos, lo que ocasiona una baja productividad de los suelos al generarse condiciones de poca o nula disponibilidad de fósforo para las plantas entre otros efectos nocivos.

Las regiones con suelos derivados de cenizas volcánicas y otros materiales ígneos en México, cubren aproximadamente una cuarta parte del los 1'963,000 Km² de la superficie total del país, muchos de estos suelos son Andosoles.

Dada la importancia de los Andosoles para México, como recurso natural "renovable", es indispensable el acrecentar y actualizar nuestros conocimientos sobre estos suelos. Uno de los aspectos es analizar su composición mineralógica en relación con las propiedades físicas y químicas que ésta les confiere, en especial aquellas propiedades originadas por la presencia de materiales denominados ándicos, lo que nos permitirá diseñar tecnologías y métodos de explotación adecuados para su conservación y óptima explotación.

Tomando en cuenta lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivos:

- 1.- Establecer la relación entre la composición mineralógica de la fracción arcilla y las características fisicoquímicas más importantes de los Andosoles con las diferentes condiciones de humedad ambiental; y

- 2.- Profundizar en el conocimiento de la mineralogía y propiedades fisicoquímicas de los materiales presentes en los Andosoles, particularmente de aquellos suelos desarrollados en climas templado húmedos.

Para lo cual se consideró el cuantificar las características fisicoquímicas consideradas como de diagnóstico en estos suelos; y por otra parte, también el determinar la composición mineralógica de la fracción arcilla de los suelos y su posible relación con las diferentes condiciones ambientales de humedad.

Para la realización del trabajo de tesis se partió de los estudios que son sus antecedentes, en particular del inventario de suelos que se efectuó como parte del proyecto "Evaluación del Recurso Suelo de la Región de Teziutlán".

Se efectuó la delimitación de la zona en estudio en fotografías aéreas y en mapas, posteriormente se realizó la fotointerpretación delimitando las unidades de suelo y localizando los sitios de muestreo. El trabajo de campo consistió en el descubrimiento de perfiles de suelo, su descripción y toma de muestras de suelo.

Las muestras fueron puestas a secar al aire, bajo techo y a temperatura ambiente, por un periodo de alrededor de dos semanas. Una vez secas las muestras, se separó la fracción de tierra fina mediante un tamiz de malla No. 10.

Las determinaciones físicas y químicas efectuadas a las muestras de suelo fueron: color, densidad aparente, densidad real, textura, % de materia orgánica, índice melánico, nitrógeno total, retención de fosfatos, aluminio y hierro activos, pH en NaF, pH en agua y en KCl, capacidad de intercambio catiónico y porcentaje de saturación de bases. Posteriormente se separó la fracción arcilla de las muestras de suelo para efectuársele el análisis mineralógico.

Se realizó el análisis químico elemental de las fracciones tierra fina y arcilla mediante métodos de Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X. A la fracción arcilla se le realizó también los análisis por Espectroscopía Infrarroja, por Microscopía Electrónica de Transmisión y por difracción de rayos X.

Los resultados de realizar el inventario de los suelos de la región de Teziutlán, permitieron identificar como Andosoles a 52 de los perfiles descritos, los cuales fué posible organizar en dos grupos en función de sus características morfológicas, físicas y químicas contra las condiciones ambientales de humedad a que están sometidos. El límite de separación de ambos grupos de Andosoles fue establecido sobre la isoyecta de los 800 mm.

Se encontró que existe una relación entre el aumento en la humedad ambiental, con el aumento en el valor de las propiedades ándicas y con el cambio en la composición mineralógica de la fracción arcilla de los suelos.

Los resultados permitieron concluir que el clima, y en particular, el régimen de humedad, da origen a diferencias significativas en los procesos de intemperización de Andosoles, por lo que la composición mineralógica de los mismos también presentará importantes diferencias, sobre todo en sus fracciones de tamaño de partícula más pequeño.

Por medio del presente trabajo fué posible establecer la relación entre la composición mineralógica de la fracción arcilla y las características fisicoquímicas más importantes de los Andosoles con las diferentes condiciones de humedad ambiental.

I.- INTRODUCCION.

Los suelos formados a partir de materiales piroclásticos vítricos han demandado particular atención, por muchas razones, como lo son su distribución geográfica, su origen fácilmente identificable, y sus propiedades distintivas (Leamy, et al., 1980), se ha demostrado que éstos presentan propiedades que no son encontradas en suelos derivados de otros materiales bajo la misma vegetación y clima (Wada, 1985).

La mayoría de los suelos estudiados han sido formados a partir de cenizas volcánicas, pero estos suelos también llegan a formarse a partir de otros materiales piroclásticos vítricos acumulados al caer de la atmósfera después de una erupción volcánica o por procesos de arrastre y depósito causados por el agua o el viento.

Thorp y Smith (1949) primero los reconocieron como un gran grupo de suelos y dieron el nombre tentativo de suelos de Ando. La palabra Ando, que ha sido comúnmente asociada con suelos de ceniza volcánica, fue introducida en 1947 durante un reconocimiento de suelos en Japón por científicos Americanos (Simonson, 1979), el nombre es connotativo de suelos formados de cenizas volcánicas, con horizontes superficiales oscuros y que presentan reacción ácida, es derivado del japonés Anshokudo el cuál es un término descriptivo de uso común que significa oscuro (an), color (shoku), y (do) suelo.

Parte del nombre se conservó como un elemento formativo en el nuevo sistema de nomenclatura definido en la clasificación de suelos desarrollado por la FAO (1974), pero en la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1990), se modificó a propuesta de G. D. Smith (1979, citado por Leamy et al., 1980), quien introdujo el empleo del término Andisol, el argumento para ello fué que la vocal de union "o" esta supuestamente restringida a elementos formativos del idioma griego, y en el caso del término Andosol, se esta mezclando el idioma japonés con el griego.

Un análisis sobre las definiciones de Andosol (FAO, 1989) y Andisol (Soil Survey Staff, 1990) nos permiten, sin mayor dificultad, considerarlos como términos sinónimos, por lo cual en lo subsecuente se utilizará el término Andosol por ser el más ampliamente difundido y solo en el caso muy específico de hacer referencia al sistema de clasificación de suelos Soil Taxonomy se empleará el término Andisol.

Los Andosoles se han definido (Leamy, et al, 1980; Wada, 1985) como suelos minerales que presentan un horizonte A1 pardo oscuro a negro, con un espesor promedio de 30 cm, de estructura migajón fina o granular con un contenido de materia orgánica de cerca del 8 % en promedio y niveles superiores al 30 % en los miembros más oscuros del grupo, este horizonte puede calificar como epipedón hístico, melánico, mólico, úmbrico u ócrico. Algunos miembros del grupo tienen distintos horizontes B con más arcilla que los horizontes A, pero el miembro más joven es esencialmente un suelo AC.

En el caso de presentar horizonte B, éste puede ser cámbico, plácico, duripán o fragipán, nunca pueden presentar un horizonte argílico, nátrico, espódico, u óxico a menos que se trate de un horizonte sepultado (FAO, 1989; Soil Survey Staff, 1990).

Estos suelos se presentan en climas de húmedos a perhúmedos con temperaturas variadas desde mesotérmico frío a tropical, son importantes las condiciones de humedad, puesto que en climas muy secos los materiales volcánicos no dan origen a Andosoles (FitzPatrick, 1984).

En condiciones naturales presentan vegetación variada dependiendo del clima donde se desarrollaron, esta vegetación puede ser de bosque templado húmedo e incluso de selva tropical (Leamy, et al, 1980). Thorp y Smith (1949) tuvieron algunas dificultades en decidir si los Andosoles deberían ser colocados en el orden zonal o intrazonal, debido a que ellos no sabían si el color oscuro del suelo era causado por la vegetación o por el material parental del suelo.

FitzPatrick (1984), señala que la formación de Andosoles es un proceso muy rápido, resultante de la gran área superficial del material parental. Una parte importante de este proceso es la hidrólisis de la ceniza volcánica, la cual se intemperiza inicialmente a palagonita^{*1} amarilla, parda o anaranjada. Se piensa que la palagonita es un aluminio-silicato amorfo que contiene calcio, magnesio y potasio pero

*1 Palagonita: Variedad de basalto propio de ciertas rocas que se han formado en el fondo del mar y que contienen gran cantidad de agua.

cambia con rapidez a alofano. Después de la hidrólisis se forman también óxidos amorfos, "minerales de rango corto"^{*2} y minerales microcristalinos de hierro, aluminio y silicio que están distribuidos en el suelo con bastante uniformidad.

El otro proceso importante es la humificación parcial de la materia orgánica, la cuál forma un complejo estable con el aluminio y hierro activos^{*3} y con el alofano y minerales semejantes (Wada, 1985).

Los Andosoles son, en términos generales, suelos que tienen densidad aparente de la fracción menor de 2 mm de 0.85 g/cm³ o más baja y un complejo de intercambio dominado por minerales de rango corto y/o tienen un 60 % o más de ceniza volcánica u otros materiales piroclásticos vítricos en el limo o en la arena y en la fracción grava. Esta definición implica que no todos los suelos derivados de materiales piroclásticos vítricos son Andosoles (Wada, 1985).

En resumen, se puede decir que actualmente se definen los Andosoles como suelos desarrollados en cenizas volcánicas y otros materiales piroclásticos con un complejo de intercambio que es dominado por compuestos húmicos y minerales de rango corto de aluminio y en ocasiones de hierro; o una matriz dominada por vidrio volcánico.

*2 Minerales de Rango Corto: Son aquellos anteriormente denominados amorfos, pero que se ha demostrado recientemente que el arreglo de los átomos en estos minerales no es enteramente fortuito. Los átomos que forman los minerales se comportan como esferas con un radio definido y tienen su propia tendencia a la coordinación. Esto resulta en algún orden en su arreglo, como se comprueba por la presencia de tetraedros discretos de SiO₄ en la sílice vítrea. Sin embargo, el orden en estos materiales es local y no repetitivo (orden de rango corto) comparado con lo encontrado en materiales cristalinos (orden de rango largo). Por todo lo anterior, el término mineral amorfo que era aplicado al alofano y minerales semejantes, a sido sustituido por el de "mineral no cristalino" (Bunn, 1961) o más explícitamente "mineral de rango corto" (Wada, 1989).

*3 Aluminio y hierro activos: El alofano, la imogolita y otras formas menos cristalinas de minerales de aluminio y hierro son disueltas por tratamiento con el reactivo oxalato ácido o reactivo de Tamm (Wada, 1989), Esto es explicado por el hecho de que estos minerales tienen una gran área específica superficial y una alta reactividad química, por lo que son más sensibles a la disolución química en comparación con los minerales arcillosos cristalinos. Las formas de aluminio y hierro extraídas de esta manera, son las que reaccionan con los fosfatos en el proceso de retención, por lo que se les ha denominado "aluminio y hierro activos".

Presentan uno o más horizontes de diagnóstico o mínimamente un epipedón ócrico. Retienen grandes concentraciones de fosfatos y de agua, y sus densidades aparentes son siempre comparativamente bajas en la mayoría de los horizontes, aunque los valores absolutos varían con el grado de intemperización, humedad del suelo, clima, y en muy pocos casos con el grado de cementación por sílice u otros cementantes (Wada, 1985).

I.2.- JUSTIFICACION.

Los Andosoles representan entre el 5 y el 20 % del total de la superficie nacional cultivada (Ortiz, 1981), además de sostener gran parte de los recursos forestales del Distrito Federal y Estados de México, Puebla, Tlaxcala, Morelos, Michoacán, Veracruz, Chiapas, Colima, Jalisco, Nayarit, Hidalgo, Querétaro y Guanajuato. Presentan una problemática seria respecto a su uso agrícola debido a sus propiedades físicas y químicas particulares, especialmente en lo referente a su alta capacidad de retención de fosfatos y su también alto contenido en aluminio y hierro activos, lo que ocasiona una baja productividad de los suelos al generarse condiciones de poca o nula disponibilidad de fósforo para las plantas entre otros de los efectos nocivos.

Dada la importancia de los Andosoles para México, como recurso natural "renovable", es indispensable el acrecentar y actualizar nuestros conocimientos sobre estos suelos. Uno de los aspectos es analizar su composición mineralógica en relación con las propiedades físicas y químicas que ésta les confiere, en especial aquellas propiedades originadas por la presencia de materiales denominados ándicos (alofano, imogolita, minerales alofánicos, complejos alofano-humus y aluminio-humus), lo que nos permitirá diseñar tecnologías y métodos de explotación adecuados para su conservación y uso óptimo.

En el Estado de Puebla, la región de Teziutlán, si bien es cierto que es una de las más importantes por su producción agropecuaria; también es una de las regiones menos estudiadas en lo referente a sus recursos naturales renovables como lo son sus suelos. En esta región se presentan condiciones ambientales que permiten el

estudio de Andosoles desarrollados en condiciones de climas templados pero con diferentes condiciones de humedad.

I.3.- HIPOTESIS.

El clima, en particular el régimen de humedad, dá origen a diferencias significativas en los procesos de intemperización de Andosoles, por lo que su composición mineralógica también presentará importantes diferencias, sobre todo en sus fracciones de tamaño de partícula más pequeño.

I.4.- OBJETIVOS.

1.- Establecer la relación entre la composición mineralógica de la fracción arcilla y las características físicas y químicas más importantes de los Andosoles.

2.- Comparar dicha relación con las diferentes condiciones de humedad ambiental.

3.- Profundizar en el conocimiento de la mineralogía y propiedades físicas y químicas de los materiales presentes en los Andosoles, particularmente de aquellos suelos desarrollados en climas templado húmedos.

I.5.- METAS.

1.- Caracterizar, para la zona en estudio, las propiedades físicas y químicas consideradas como de diagnóstico en estos suelos; tales como: densidad aparente, retención de fosfatos y concentración de aluminio y hierro activos.

2.- Tipificar la composición mineralógica de la fracción arcilla de los suelos y su relación con las diferentes condiciones ambientales de humedad.

II.- ANTECEDENTES.

II.1.- DISTRIBUCION DE LOS ANDOSOLES EN EL MUNDO.

La distribución de los Andosoles todavía no puede estar claramente esbozada, ya que más allá de las declaraciones, aún está siendo probada (Leamy *et al.*, 1980), sin embargo, el Mapa Mundial de Suelos de la FAO (1974) revela que la asociación de suelos dominada por Andosoles ocupa alrededor de cien millones de hectáreas, o 0.76 % del área total de los suelos del mundo (Dudal, 1976). No obstante, los suelos formados sobre material volcánico no están distribuidos en regiones zonales bastas, y aunque están asociados con zonas volcánicas, en una escala global no ocupan grandes áreas en ningún lugar. Un análisis más detallado de las láminas del mapa de suelos del mundo muestra que más de 124 millones de hectáreas, o sea el 0.84 % de la superficie de los suelos del mundo está ocupada por asociaciones de suelos las cuales tienen algún Andosol (Leamy *et al.*, 1980).

Los suelos de cenizas volcánicas se presentan primeramente en asociación con las mayores zonas tectónicas del globo, la zona de actividad volcánica y tectónica que circunda el pacífico es un ejemplo de este patrón. La distribución y propiedades de los suelos de cenizas volcánicas en la región del Pacífico han sido documentadas en Japón (Yamanaka y Yamada, 1964; Yamada, 1977); en Corea (Shin, 1965) y Kamchatka (Liverovskii, 1971); en Alaska (Simonson y Rieger, 1967), y otros Estados de la Union Americana (Flach, 1965); en México (Aguilera, 1969) y América Central (Rico, 1965; McConaghy, 1969; Martini, 1969; Colmet-Daage *et al.*, 1970).

II.2.- LOCALIZACION Y SUPERFICIE DE LOS ANDOSOLES EN MEXICO.

Aguilera (1969) reporta que las regiones con suelos derivados de cenizas volcánicas y materiales ígneos en México cubren aproximadamente una cuarta parte de los 1'963,000 Km² de la superficie total del país (figura II.2.1.), muchos de estos suelos son considerados en la actualidad como Andosoles. La FAO (1976) estimó a los Andosoles como una de las unidades de suelo dominantes en la República Mexicana, puesto que ocupan junto con Kastanozems, Litosoles

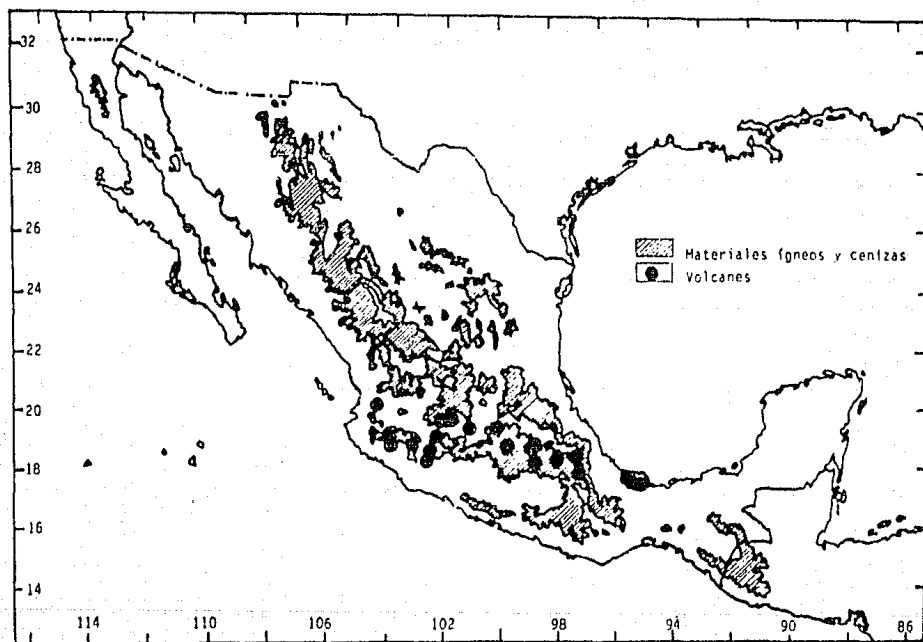


Figura II.2.1.- Suelos derivados de materiales ígneos y cenizas volcánicas en México (Aguilera, 1969).

y Luvisoles el 62 % de su superficie (tabla II.2.1.). Por otra parte, Ortiz (1981) considera que, dentro de las diez unidades de suelos dominantes en nuestro país, los Andosoles vítricos ocupan el décimo lugar con una superficie de 7.3×10^3 ha, equivalentes al 3.6 % de la superficie nacional (tabla II.2.2.).

Tabla II.2.1.- Estimación del porcentaje de los suelos dominantes en la República Mexicana (FAO, 1976).	
SUELOS:	% QUE OCUPAN DE LA SUPERFICIE DEL PAIS
Kastanozems, Litosoles, Luvisoles y Andosoles.	62 %
Xerosoles, Yermosoles, Vertisoles, Regosoles y Rendzinas.	30 %
Acrisoles, Gleysoles, Feozems, Fluvisoles, Nitosoles, Planosoles, Solonetz y Solonchaks.	8 %

En México, la mayor parte de los suelos de origen volcánico se localizan a lo largo del eje neovolcánico que corre casi junto al paralelo 19° Norte, en la zona septentrional del país (Etchevers, 1985). Todos los volcanes que pertenecen a este eje han depositado a lo largo de los siglos, materiales basálticos magmáticos, extrusivos, clásticos, riolíticos y de otras formas complejas, a partir de los cuales se han generado los actuales suelos (Aguilera, 1969; Miehlich, 1980).

Otra región del país en la cual existen suelos de origen volcánico se ubica en los límites de los Estados de Chiapas y Tabasco (Cavallaro *et al.*, 1984).

Depósitos de materiales ígneos se localizan en otras partes del país, destacándose los de la Sierra Madre Occidental, los de la Sierra Madre Oriental y los de la Sierra Madre del Sur.

Cuadro II.2.2.- Superficie y porcentaje de las diez unidades FAO de suelos dominantes en la República Mexicana (Ortíz, 1981).

UNIDAD DE SUELO	SUPERFICIE (10 ⁶ ha)	(%)
Litosol	29.2	14.6
Luvisol crómico	13.5	6.7
Rendzina	13.4	6.7
Castañozem lúvico	13.2	6.6
Castañozem háplico	11.1	5.5
Vertisol pélico	9.5	4.7
Regosol éutrico	9.3	4.6
Yermosol lúvico	8.7	4.3
Yermosol háplico	8.2	4.1
Andosol vitrico	7.3	3.6

II.3.- ANTECEDENTES DE INVESTIGACION SOBRE ANDOSOLES EN MEXICO.

Los primeros trabajos sobre suelos derivados de materiales piroclásticos en México se iniciaron hace aproximadamente un cuarto de siglo (Etchevers, 1985). Esto tuvo origen en el especial interés que el maestro Nicolás Aguilera, uno de los iniciadores de la edafología en nuestro país, ha tenido siempre por estos suelos.

A partir de ello, en México se han realizado importantes trabajos sobre Andosoles, los cuales han contemplado aspectos de su génesis y clasificación (Aguilera, 1961, 1963, 1965 y 1969; Aguilera et al., 1970; Cervantes, 1965; Cortés, 1966; García, 1970 y 1984;

Guajardo, 1967; Aeppli y Schonhals, 1975; Mitsuko, 1971; Werner, 1978; Miehllich, 1980; Geissert et al., 1987); Características físicas y químicas (Moncada, 1960; Guajardo, 1967; CIMMYT, 1969 y 1974; Lavín y Aguilera, 1972; Miramontes, 1972; Ramos, 1972; Aeppli y Schonhals, 1975; Luciano, 1974; Laird, 1974; Cajuste, 1979; Gutiérrez, 1980; Alvares, 1982; Etchevers et al., 1982; García, 1970 y 1984; Etchevers et al., 1986a y 1986b; Hidalgo et al., 1986; Chapa, 1987; Hidalgo; 1988); y Fertilidad y Manejo (Navarro et al., 1962; Turrent 1962; Puente, 1964; Peña et al., 1971a, 1971b y 1971c; Plancarte, 1971; Werner, 1976; Trinidad et al., 1980; Castillo, 1975; Cortés, 1975; Baus, 1980; Etchevers et al., 1984) entre otros aspectos.

Especial atención merecen los estudios que sobre mineralogía se han efectuado en Andosoles de México. La mineralogía de los suelos de México ha sido estudiada desde hace más de 40 años (Aguilera, 1949; Aguilera y Hernández, 1953). Con respecto al estudio mineralógico de los Andosoles es importante hacer mención de los trabajos realizados por Aguilera (Aguilera y Inohuye, 1961; Aguilera, 1963 y 1969), Baus (1980), Cervantes (1965), Guajardo (1967), Miramontes (1972), Ramos (1972), Miehllich (1980), Alvares (1982), García (1970 y 1984) e Hidalgo et al. (aprobado para su publicación en la revista "Turrialba", comunicación personal).

La mayoría de ellos coinciden en que los principales componentes de la fracción 0.2-4 μ en los suelos de México son: alofano, haloisita, metahaloesita, óxidos e hidróxidos de aluminio con predominio de gibbsita, caolinita y en algunos casos, ligera presencia de esmectita.

Aguilera (1969), señala que los suelos del Popocatepetl así como los del Parícutín, como suelos derivados de cenizas volcánicas de basaltos de olivino, contienen piroxenos, hornblenda, augita, feldespatos y vidrio volcánico. En los suelos del Iztaccihuatl, las cenizas volcánicas que los originan son de andesita, de labradorita y de hiperstena. Las cenizas volcánicas de hialoandesita originan los suelos del Nevado de Toluca, de los valles cercanos y de la ciudad de Toluca. Los suelos del Valle de Puebla derivan de cenizas volcánicas de riódacita, labradorita y dacita.

Los productos del intemperismo originan materiales minerales arcillosos como haloisita, metahaloisita y caolinita; los coloides minerales dominantes en suelos con mayor intemperismo son la haloisita y la caolinita; en suelos más jóvenes domina el alofano; la gibbsita se encuentra en los suelos que contienen haloisita; los suelos de muy bajo intemperismo contienen micas y montmorillonita.

Un estudio sumamente completo sobre la mineralogía de Andosoles mexicanos fue el reportado por García (1984), en éste fue determinada la mineralogía de Andosoles del Estado de Veracruz, de Hueytamalco en el Estado de Puebla y del Nevado de Toluca en el Estado de México. En este trabajo fueron identificados y cuantificados los minerales constituyentes de las diferentes fracciones granulométricas de los suelos.

Hidalgo et al. (aprobado para su publicación en la revista "Turrialba", comunicación personal), utilizando procedimientos de dilución selectiva (con oxalato ácido de amonio, pirofosfato de sodio y ditionito-citrato-bicarbonato), espectroscopía infrarroja, difracción de rayos X y microscopía electrónica de transmisión y barrido; identifico la presencia de alofano e imogolita en un Andosol de la Sierra Nevada de México; siendo éste el primer trabajo donde se identifica la presencia de imogolita en un suelo de este país.

II.4.- ANTECEDENTES DE INVESTIGACION SOBRE ANDOSOLES DE LA REGION DE TEZIUTLAN, ESTADO DE PUEBLA.

Son pocos los trabajos que se han realizado sobre los Andosoles de la región de Teziutlán, éstos han estado dirigidos a estudiar desde la distribución y características de estos suelos hasta algunos aspectos de su fertilidad y productividad.

Ponce (1978), con el propósito de buscar las relaciones entre la variabilidad en las prácticas agrícolas tradicionales de producción de maíz y frijol y las unidades de levantamiento fisiográfico a nivel de "sistema terrestre", en la zona de Zacapoaxtla, estableció que existe un alto grado de asociación entre la variabilidad de la

tecnología agrícola tradicional y las delimitaciones de sistemas terrestres y facetas, con un nivel alto de probabilidad; también se concluyó que es factible en base a un esquema de clasificación de tierras en sistemas terrestres y facetas, y con la tecnología tradicional y datos de rendimientos, definir las diferentes condiciones ambientales que constituyen los agrohabitats para maíz y frijol; finalmente, que determinando los factores limitativos de la producción se pueden preparar, mediante ajuste de rendimientos, recomendaciones óptimas de producción a corto plazo que constituyen una primera aproximación a los niveles óptimos de insumos. En opinión del autor de este trabajo, la programación lineal constituyó una metodología adecuada para optimizar sistemas agrícolas tradicionales, por el hecho de que puede reconocer las restricciones reales bajo las cuales el agricultor produce.

Sánchez (1980), realizó un estudio muy completo sobre las características de los Andosoles de los municipios de Hueytamalco, Ayototco, San José Acateno y Teziutlán; reporta que los ocho perfiles estudiados se caracterizan por la acumulación de materia orgánica, textura de migajones así como densidad aparente baja. En todos los perfiles la reacción del suelo es ácida y fuertemente ácida, además es común que presenten deficiencias en bases, en general todos los perfiles dieron reacción positiva a la presencia de alofanos.

Lozano et al. (1983) y Hernández (1984), reportan que los suelos de la zona baja del Plan Zacapoaxtla se encuentran sobre una topografía muy accidentada, por lo que las labores culturales que realizan los campesinos para el acondicionamiento de sus suelos agrícolas son mínimas. Sí a ésto agregamos que los suelos fueron desmontados recientemente, da como resultado que su estructura no favorezca la disponibilidad de los nutrientes para las plantas. El uso de fertilizantes da resultados adecuados en el aumento de la producción pero implica un gasto exagerado, puesto que los resultados del análisis químico demuestran que se trata de suelos potencialmente ricos en nutrientes, por lo que se puede esperar que en condiciones adecuadas de la estructura del suelo, la necesidad de fertilización sea disminuida considerablemente, con el consecuente ahorro en fertilizantes. Para

este trabajo se determinó en las muestras obtenidas de diferentes perfiles la porosidad diferencial, capacidad hídrica, densidad, contenido de materia orgánica, N, P, K, Ca, Mg y pH entre otras variables. El análisis estadístico demostró la existencia de una alta correlación entre las propiedades físicas e hídricas de los suelos con la presencia de nutrientes disponibles, con lo que se corroboró la necesidad de dar al suelo un manejo diferente con el fin de mejorar su estructura, y por consiguiente se pueda explotar al máximo su riqueza potencial.

Calderón et al. (1983 a y b), realizaron varios estudios preliminares sobre la fertilización de maíz y frijol criollos, en el municipio de Zoquiapan. Encontrando que los suelos estudiados presentan serias limitaciones para su explotación agrícola debido a sus propiedades físicas y no tanto por sus niveles de nutrimentos disponibles. Aún con estas limitantes, determinó que las dosis de fertilización recomendadas para maíz y frijol criollos fueron 100-60-20 y 40-40-20 respectivamente.

Calderón et al. (1984), probaron la adaptación y respuesta a la fertilización química del maíz V-524 en la "Zona Baja del Plan Zacapoaxtla", encontrando una muy buena adaptación de esta variedad de maíz a las condiciones ecológicas de la zona, recomendando la dosis de fertilización 40-40-10.

Zárate (1986), con el fin de evaluar la fertilidad de los suelos volcánicos de praderas de la región de Teziutlán, encontró que la principal limitante en el uso agrícola de estos suelos la constituye el fósforo, cuya deficiencia se puede catalogar como grave. De los suelos estudiados, el 17 % no presentaron problemas en la disponibilidad de este elemento, el 73 % tuvieron en un inicio deficiencias severas en mayor o menor grado, que posteriormente disminuyeron (incluso se redujeron los síntomas de carencia) y sólo el 10 % presentaron deficiencias graves durante el ensayo.

Morales (1987), estudió la respuesta a la fertilización química de N, P, K, de plantas de maíz híbrido 503 y variedad 524, en el municipio de Zoquiapan. Se encontró en base al análisis estadístico y económico que el maíz híbrido 503 dió el mejor rendimiento con la

fórmula de fertilización 46-20-13.

Peregrina (1986) y Valera et al. (1984, 1986a y 1987) al estudiar suelos del municipio de Zoquiapan, trataron de determinar los efectos que tendría la extracción y eliminación de diferentes fracciones orgánicas, sobre la capacidad de intercambio catiónico de la fracción coloidal de los suelos, y los efectos de los métodos más comunes para la separación de las diferentes fracciones de la materia orgánica en la determinación de la C.I.C. Las conclusiones obtenidas fueron que para los coloides de los suelos estudiados la fracción que más contribuye a la C.I.C. es la orgánica con un 61 % a diferencia de la mineral que sólo aporta el 39 % restante; y que la fracción orgánica extraída con hidróxido de sodio al 0.5 % contribuye a la C.I.C. de la fracción coloidal de estos suelos sólo en un 24.1 %.

Valera et al. (1986b), al realizar el inventario de suelos de la región de Teziutlán, obtuvieron la información básica sobre los suelos de la región, con especial interés en la problemática presentada por los suelos de origen volcánico.

Valera et al. (1988 a y b), con el objetivo de evaluar los niveles de cobre y hierro de los suelos volcánicos de la región de Teziutlán, realizaron una selección del extractante más apropiado para los suelos volcánicos de la región y posteriormente determinó los niveles de cobre y hierro disponibles en muestras de suelo provenientes de 17 perfiles, 11 Andosoles háplicos y 6 Andosoles úmbricos. Los resultados demostraron que las extracciones con EDTA y ácido clorhídrico 0.1 N eran equivalentes, por lo que se optó por el uso del ácido clorhídrico 0.1 N como solución extractante para las muestras de suelo volcánico. De la evaluación se encontró que en los horizontes A de todos los Andosoles estudiados, las cantidades de cobre variaron entre 0.1 y 0.3 ppm y los de hierro entre 3.2 y 18.3 ppm, en los horizontes B ésta variación fue entre 0.1 y 0.75 ppm para cobre y entre 4.45 y 15.6 ppm para hierro. La concentración de hierro en los suelos siempre fue mayor que la de cobre. Para los Andosoles háplicos se encontró que en sus horizontes ócricos, el contenido promedio de cobre fue de 0.17 ppm y el de hierro de 7.2 ppm, en sus horizontes cámbicos, el contenido de cobre fue de 0.33 ppm y el de hierro 8.49 ppm, con

tendencia a que los contenidos en éstos cationes fueran siempre superiores en los horizontes B con respecto a los horizontes A. Para los Andosoles úmbricos, se encontró que en sus horizontes úmbricos el contenido promedio de cobre fue de 0.22 ppm y el de hierro de 5.5 ppm y en sus horizontes cámbicos, el contenido de cobre fue de 0.25 ppm y el de hierro de 11.5 ppm, se encontró que los contenidos en cobre prácticamente no cambiaban entre los horizontes A y B de los andosoles mólicos.

Lara *et al.* (1989), realizaron el levantamiento fisiográfico de la zona de "Los Oyameles", en la región de Teziutlán. Los resultados arrojados por el estudio llevaron a concluir que en la zona de Los Oyameles se esta dando un uso actual del suelo diferente a su uso potencial, lo que ha trascendido en una explotación irracional del recurso suelo y con ello la aceleración de la erosión y degradación del mismo. A su vez se observaron problemas importantes de tala inmoderada del bosque, como consecuencia de la falta de programas de explotación del mismo.

Saucedo (Saucedo *et al.*, 1989; Saucedo, 1990), realizando la caracterización física de los suelos de origen volcánico del municipio de Tlatlauquitepec, encontró que estos suelos presentan, en general, condiciones físicas adecuadas para su uso agropecuario o forestal, pero también presentan un alto riesgo de erosión hídrica por lo que se recomienda tener algunas restricciones en cuanto a su manejo.

Tobón (1990), realizó un inventario de los suelos de la zona Zacapoaxtla-Cuetzalan, además de una colecta de monolitos de suelo. Los resultados obtenidos mostraron la complejidad con que se entrelazan las diferentes unidades de suelo en la zona, destacando particularmente las relaciones entre Andosoles y Luvisoles.

Simón (1991), evaluó la fertilidad de los suelos de la región de Teziutlán destinados a la explotación del cultivo de maíz, con el fin de dar un diagnóstico preliminar de la respuesta de los cultivos al efecto de la fertilización química. Los resultados obtenidos mostraron que estos suelos presentan actualmente niveles macronutrimientales bajos; también se demostró que para el caso de los contenidos de P, K, Ca y sulfatos, éstos no presentaron cambios significativos antes de la

siembra o después de la cosecha de maíz.

Romero y colaboradores (Tobar, 1991; Cruz et al., 1992; Romero et al., 1992), realizaron trabajos cuyos principales objetivos fueron: seleccionar un método de análisis químico para determinar fósforo disponible en los suelos de la región de Teziutlán destinados al cultivo de maíz, determinar el grado de correlación existente entre materia seca y concentración de fósforo y cuantificar la capacidad de fijación de fósforo por los suelos. Encontró que los métodos Bray P-2 y Mehlich 1 presentaron la mejor precisión y mayor correlación entre las variables analizadas; con respecto a la fijación de fósforo, ésta fue significativamente alta.

Lara (De Jesús, 1992; Lara et al., 1992), realizaron la caracterización física y química con fines de clasificación técnica y por uso potencial de los suelos de la zona Zautla-Tenextatiloyan, en la región de Teziutlán. Los resultados mostraron que menos del 50% de las facetas estudiadas presentaron un uso acorde con el uso potencial propuesto; las principales restricciones para el uso y manejo que se le da a los suelos de la zona son, en orden decreciente de importancia: pendiente, erosión potencial, acidez, profundidad efectiva del suelo, obstrucciones, drenaje y clima; el uso dominante actual del suelo, agrícola extensivo, está minando las potencialidades del mismo, puesto que la agricultura implementada es bastante rudimentaria y tiende a extraer del suelo altas cantidades de materiales, sin que sean restituidos éstos, de manera significativa; por último, la vegetación de la zona ha sido sumamente perturbada y marginada, existen numerosas extensiones que prácticamente carecen de ella.

Romero (1992), estudió el efecto de la fertilización nitrogenada y fosfórica sobre el rendimiento de maíz de temporal en el distrito de desarrollo rural de Teziutlán, encontrando que el maíz tuvo una respuesta positiva en el incremento de su rendimiento por unidad de superficie en función de la aplicación del fertilizante. Sin embargo, en relación a la utilidad económica que reciben los productores por su cosecha anual, ésta no retribuye lo invertido.

III.- DESCRIPCION DE LA ZONA ESTUDIADA.

III.1.- LOCALIZACION.

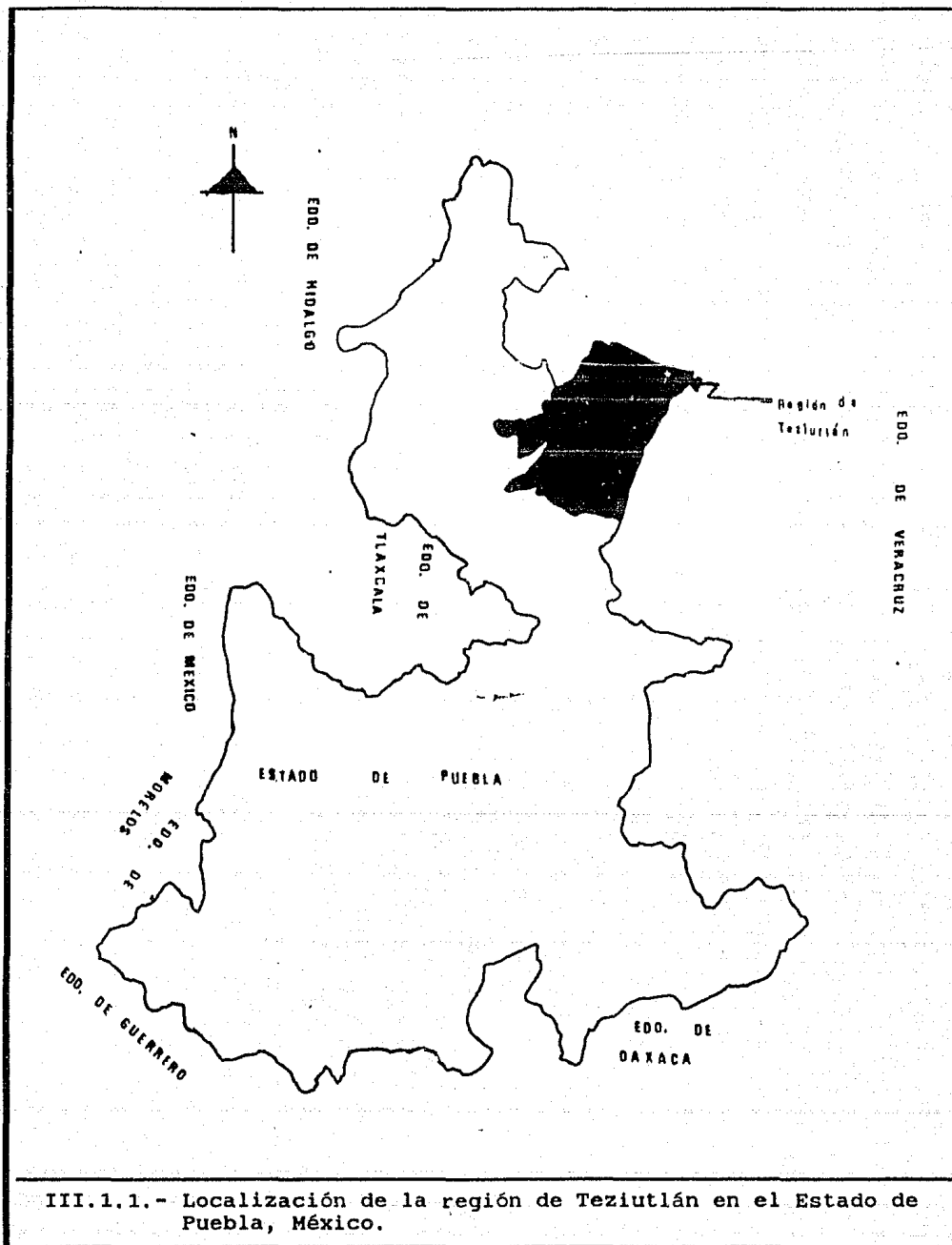
La zona estudiada en este trabajo corresponde a la región socioeconómica "II- Teziutlán", de acuerdo con la división realizada por el gobierno del estado de Puebla con fines de planeación. Esta región, que denominaremos en adelante como región de Teziutlán, se encuentra en la porción nor-oriental del estado de Puebla (figura III.1.1.), entre los paralelos 19°37'30'' y 20°14'54'' de latitud norte y los meridianos 97°07'42'' y 97°43'30'' de longitud occidental, colinda al norte y oriente con el estado de Veracruz, al sur con los municipios de Tepeyahualco y Cuyuaco, y al poniente con los municipios de Tetela de Ocampo, Cuautempan, Zongozotla, Zapotitlán de Méndez, Huehuetla, Hueytlalpan, Ixtepec y Caxhuacan.

La región de Teziutlán comprende los municipios de: Tuzamapan de Galeana, Tenampulco, Hueytamalco, San José Acateno, Atlequizayan (Ignacio Allende), Jonotla, Ayotoxco de Guerrero, Huitzilán de Serdán, Xochitlán de Romero Rubio, Zoquiapan, Nauzontla, Cuetzalan del Progreso, Xochiapulco, Zacapoaxtla, Zaragoza, Tlatlauquitepec, Yaonáhuac, Hueyapan, Teteles, Atempán, Chignautla, Teziutlán y Xiutetelco (figura III.1.2.), abarcando una superficie aproximada de 2203 Km², de la cual el 38.4 % son suelos derivados de material piroclástico o magmático, es decir, aproximadamente 846 Km² (Gobierno del estado de Puebla et al., 1988).

Es en la zona donde se localizan los suelos derivados de material piroclástico o magmático donde se realizó el estudio comprendido en este trabajo, por lo que se procederá a describir sus características geográficas y ambientales más relevantes.

III.2.- FISIOGRAFIA.

La región de Teziutlán se encuentra comprendida entre las provincias fisiográficas denominadas: Eje Neovolcánico, Sierra Madre Oriental y Llanura Costera del Golfo Norte (INEGI, 1981). La zona estudiada en esta región forma parte de las provincias Eje Neovolcánico



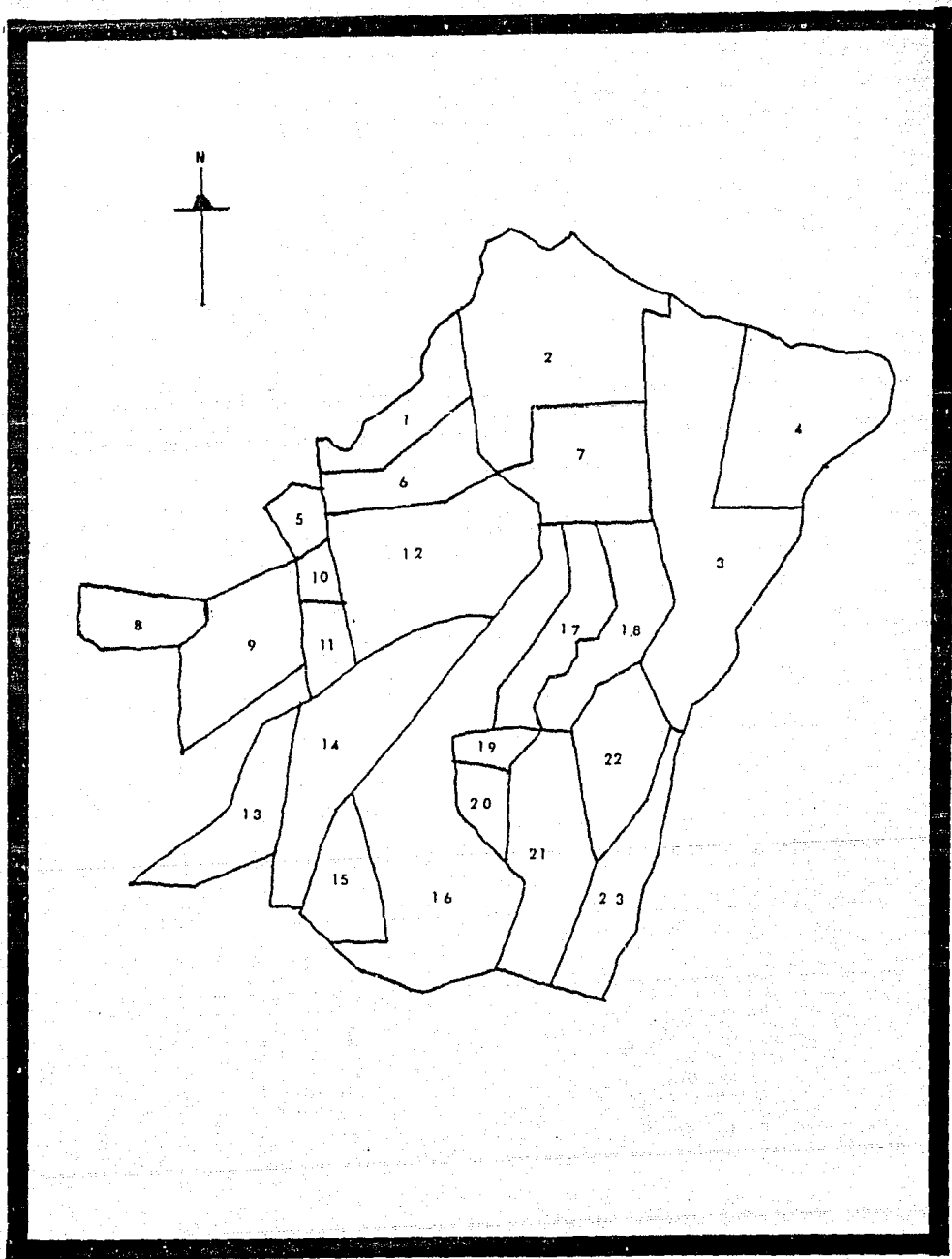
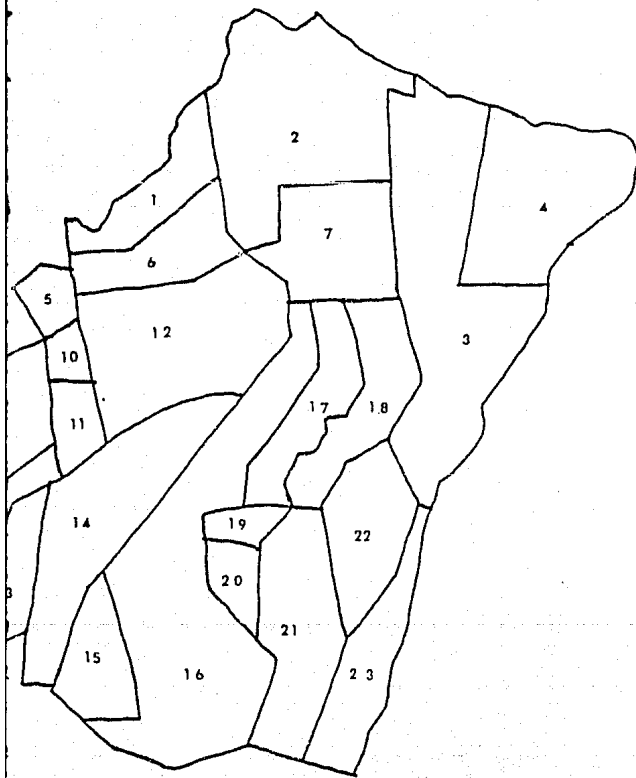


Figura III.1.2.- Municipios comprendidos en la región de Teziutlán, Estado de Puebla.



CLAVE

Número:	Nombre del Municipio:
1	Tuzamapan de Galeana
2	Tenampulco
3	Hueytamalco
4	San José Acateno
5	Ignacio Allende
6	Jonotla
7	Ayotloxco de Guerrero
8	Huitzilán de Serdán
9	Xochitlán de Romero Rubio
10	Zoquiapán
11	Nauczontla
12	Cuetzalan del Progreso
13	Xochiapulco
14	Zacapoaxtla
15	Zaragoza
16	Tlatlauquitepec
17	Yaonáhuac
18	Hueyapan
19	Teteles de Avila Castillo
20	Atempan
21	Chignautla
22	Teziutlán
23	Xiuteteico

y Sierra Madre Oriental.

III.2.1.- Eje Neovolcánico.

Esta provincia fisiográfica se puede caracterizar como una enorme masa de rocas volcánicas de todas las clases, acumulada en innumerables y sucesivos episodios volcánicos iniciados a mediados del Terciario (unos 35 millones de años atrás) y continuados hasta el presente.

La constituyen grandes sierras volcánicas, coladas lávicas, conos dispersos o en enjambre, amplios escudo-volcanes de basalto, depósitos de arena y cenizas dispersos entre llanuras. Presenta también lo que se denomina propiamente "Eje Neovolcánico", la cadena de grandes estratovolcanes, entre ellos el Volcán de Colima, el Popocatepetl, el Iztaczíhuatl, el Matlalcuéyetl (Malinche) y el Citlaltépetl (Pico de Orizaba), que casi en línea recta atraviesan alpaís más o menos sobre el paralelo 19°. Otro rasgo esencial lo integran las cuencas cerradas ocupadas por lagos, como los de Pátzcuaro, Texcoco y Totolcingo (laguna del Carmen, en los estados de Puebla y Tlaxcala), o por depósitos de lagos antiguos (Zumpango, Chalco, Xochimilco, diversos llanos del Bajío Guanajuatense).

En la zona estudiada, la provincia del Eje Neovolcánico se subdivide en las subprovincias denominadas: Lagos y Volcanes de Anáhuac y Chiconquiaco.

III.2.1.1.- Subprovincia Lagos y Volcanes de Anáhuac.- En ella se encuentra la gran caldera de Teziutlán, quizás la más grande de Norteamérica, que tiene un diámetro de 30 Km aproximadamente (INEGI, 1987). En esta subprovincia están comprendidos los municipios de Xiutetelco, Chignautla, Atempan, Teteles y Zaragoza, además de parte de los municipios de Teziutlán, Hueyapan, Yaonáhuac, Tlatlauquitepec, Zacapoaxtla y Xochiapulco.

III.2.1.2.- Subprovincia de Chiconquiaco.- Esta subprovincia constituye el remate oriental del eje neovolcánico. Penetra a la zona por el noreste y comprende en ella al municipio de Hueytamalco y parte de los municipios de Teziutlán, Hueyapan, Yaonáhuac

y Tlatlauquitepec.

III.2.2.- Sierra Madre Oriental.

Esta provincia fisiográfica se extiende más o menos paralela al Golfo de México, desde la frontera norte del país hasta su límite con el Eje Neovolcánico, en las cercanías de Teziutlán.

Es fundamentalmente un conjunto de sierras menores de estratos plegados, dichos estratos son de rocas sedimentarias marinas antiguas (del Cretácico y del Jurásico Superior), entre las que predominan las calizas, quedando en segundo término las areniscas y las lutitas. Las rocas ígneas son poco comunes, pero las estructuras plegadas están cubiertas por rocas piroclásticas en las zonas cercanas a Teziutlán.

En el territorio Poblano se encuentra la porción más al sur de esta provincia fisiográfica, esta porción es conocida como subprovincia del Carso Huasteco y en ella está comprendida la porción nor-occidental de la zona estudiada.

III.2.2.1.- Subprovincia del Carso Huasteco.- Es una sierra plegada que difiere en dos aspectos, fundamentalmente, con relación a las otras subprovincias de la Sierra Madre Oriental. Por un lado, presenta un fuerte grado de disección, inclusive desarrollo de cañones, por la acción de importantes ríos que fluyen en ella; por el otro, posee un grado de expresión de rasgos propios de un carso mayor.

En esta subprovincia se encuentran comprendidos los municipios de Cuetzalan, Xochiapulco, y parte de los municipios de Zacapoaxtla, Hueyapan, Yaonáhoac, Tlatlauquitepec, Nauzontla, Xochitlán, Huitzilán y Zoquiapan.

III.3.- GEOLOGIA.

La zona comprende varios estratos geológicos (INEGI, 1984a y 1984b; Gobierno del estado de Puebla et al., 1988), todos ellos con importante contaminación por cenizas volcánicas, que han dado origen a Andosoles que frecuentemente se encuentran sepultando a suelos mucho

más antiguos (Paleosuelos^{*4}), mostrando también diferentes discontinuidades litológicas. Recorriendo en dirección de sur a norte se identifican los estratos Cuaternario, Terciario Superior, Paleozóico, Jurásico Medio, Jurásico Superior y Cretácico Inferior.

III.3.1.- Cuaternario.

Predominando en el sur, corresponde aproximadamente al 75 % de la superficie de la región estudiada y comprende parte o la totalidad de los municipios de Zaragoza, Zacapoaxtla, Nauzontla, Cuetzalan, Atempán, Teteles, Yaonáhuac, Hueyapan, Teziutlán, Xiutetelco y Hueytamalco. Presenta rocas ígneas de los tipos de toba básica y ácida, y brecha volcánica básica y ácida, y depósitos no consolidados de cenizas volcánicas.

III.3.2.- Terciario superior.

Ocupando una pequeña franja en el centro y predominando en el oriente de la región, comprendiendo parte de los municipios de Xochiapulco, Zacapoaxtla, Nauzontla, Cuetzalan, Tlatlauquitepec, Yaonáhuac, Hueyapan y Hueytamalco. Presenta rocas de los tipos de toba ácida y basalto.

III.3.3.- Paleozoico.

En pequeñas zonas al sur de la presa "La Soledad" en los municipios de Tlatlauquitepec y Zacapoaxtla; al poniente del poblado de "Aire Libre" entre los municipios de Teziutlán y Hueyapan. Presenta roca metamórfica del tipo de esquistos.

*4.- Paleosuelo: Suelo que se ha formado en un pasado geológico más o menos lejano, en el que imperaban condiciones climatológicas diferentes de las actuales, con un tipo de vegetación también distinto; ciertos paleosuelos afloran, en tanto que otros, calificados de suelos fósiles, están cubiertos por suelos más recientes (De Galiana, 1979).

III.3.4.- Jurásico Medio.

Al norte del municipio de Teziutlán y sur de los municipios de Hueyapan y Yaonáhuac; en algunas partes de los municipios de Tlatlauquitepec, Zacapoaxtla, Xochiapulco y Nauzontla. Presenta rocas sedimentarias de los tipos limolita y arenisca.

III.3.5.- Jurásico Superior.

En algunas partes de los municipios de Xochiapulco, Zacapoaxtla, Nauzontla, Tlatlauquitepec, Cuetzalan, Yaonáhuac, Hueyapan y Hueytamalco. Presentando rocas de los tipos caliza y lutita.

III.3.6.- Cretácico Inferior.

Al norte y poniente de la región, comprendiendo importantes porciones de los municipios de Tlatlauquitepec, Zacapoaxtla y Cuetzalan. Presentando roca caliza.

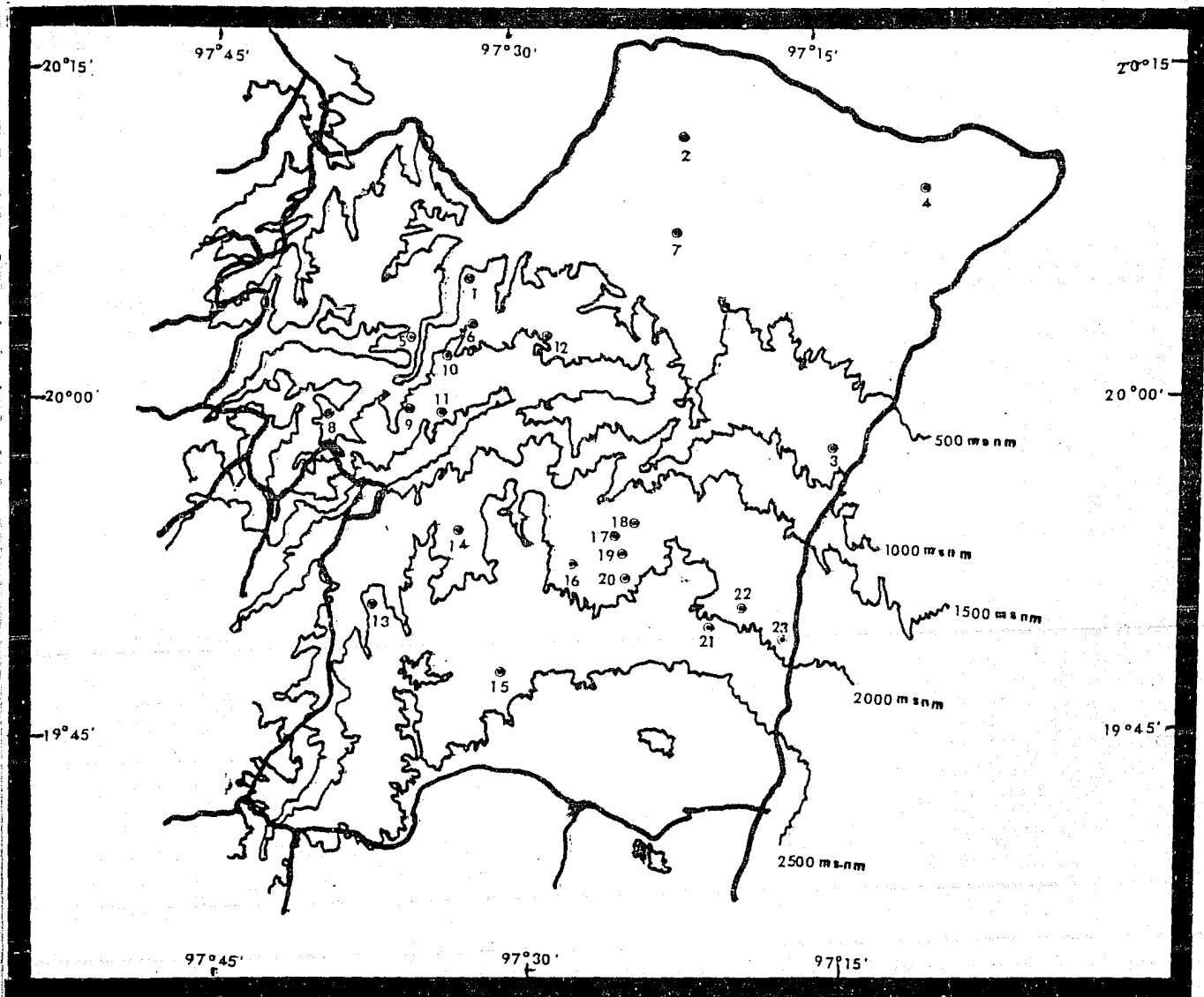
III.4.- OROGRAFIA.

La zona recorrida pertenece a tres regiones morfológicas, de la cota 2500 msnm hacia el sur al Declive Austral de la Sierra de Puebla; de la misma cota hacia el norte a la Sierra de Puebla o Sierra Norte; y de la cota 1000 msnm hacia el norte al Declive del Golfo (Gobierno del estado de Puebla et al., 1988). En la figura III.4.1., se presenta un plano con las curvas de nivel cada 500 msnm, con el fin de tener una idea general sobre lo complicado de la orografía de la región.

III.4.1.- Declive Austral de la Sierra de Puebla.

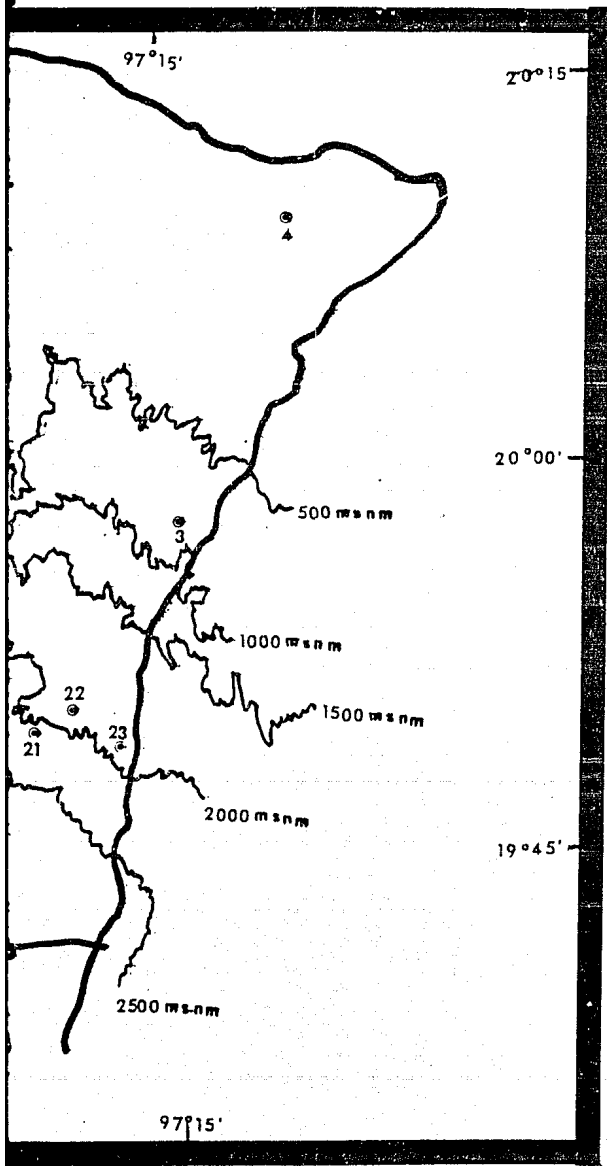
Es un descenso de la sierra bastante irregular hacia los Llanos de San Juan, a 2400 msnm. Los Llanos de San Juan son una planicie de origen lacustre que ocupa la parte norte de la meseta poblana; está

Figura III.4.1.- Curvas de nivel cada 500 msnm.
Región de Teziutlán, Estado de Puebla.



T
M
U
A
T
15

1 cada 500 msnm.
Puebla.



SIMBOLOGIA.

- LIMITE DE LA REGION.
● POBLACION.
~ CURVA DE NIVEL EN msnm.

Escala 1 : 400 000.

Número:	POBLACION:
1	Tuzamapan
2	Tenampulco
3	Hueytamalco
4	Acateno
5	Attequizayán
6	Jonotla
7	Ayotoxco
8	Hutzilan
9	Xochillán
10	Zoquiapán
11	Nauzonlla
12	Cuetzalan
13	Xochiapulco
14	Zacapoaxtla
15	Zaragoza
16	Tlatlauquitepec
17	Yaonduhac
18	Hueyapan
19	Teoteles
20	Atempan
21	Chignautla
22	Teziutlán
23	Xiutetelco

Tesis de Maestría en Ciencias, Edafología.
Miguel Angel Valera Pérez.
UNAM, Facultad de Ciencias, Depto. de Biología.
Agosto de 1993.

Tomado de la Carta Topográfica E14-3 (INEGI,
1982)

formada por una pequeña cuenca endorreica, cuya parte más baja esta ocupada por la laguna de Totolcingo. En el Declive Austral de la Sierra de Puebla se encuentra el extremo sur de los municipios de Xiutetelco, Chignautla y Tlatlauquitepec.

III.4.2.- Sierra de Puebla.

Forma parte de la Sierra Madre Oriental en su porción occidental y del Eje Neovolcánico en sus porciones sur y oriental, está formada por sierras más o menos individuales, paralelas, comprimidas, las unas contra las otras formando grandes o pequeñas altiplanicies intermontañas que aparecen frecuentemente escalonadas hacia la costa.

El relieve de la parte oriental de la Sierra de Puebla es en general montañoso; conforme más se introduce uno en la zona, a una altitud mayor a los 2500 msnm, se rebasa el complejo montañoso de Vigea Alta y se llega a una meseta donde existen muchas evidencias de actividad volcánica relativamente reciente, éstas consisten en la presencia del cráter denominado Jalapaxquillo, además de un gran número de géysers en las proximidades de la población de Los Humeros. En este sitio se encuentra una planta termoeléctrica en construcción, aprovechando la actividad geotérmica de la zona, existen varias instalaciones por las que escapa vapor de agua, con altas concentraciones de azufre y boro. Al oriente de la población de Los Humeros se presentan algunas depresiones, y el cerro de la Viola (2960 msnm). El declive es constante hacia el sur y hacia el norte. Conforme se avanza rumbo al norte, el relieve se vuelve más pronunciado hasta conformar una topografía bastante abrupta e irregular, con algunos cerros aislados como lo son: El Pinal, Colihuite, Comal y Cuevas; y continuos ascensos y descensos. En esta parte están comprendidas la porción central y norte del municipio de Xiutetelco, la porción sudoriental del de Chignautla y el sur de Teziutlán y Hueytamalco.

En la parte central de la Sierra de Puebla se presenta una gran diversidad orográfica; al sur se levanta un amplio pero bajo sistema montañoso, de no más de 200 m de altura sobre el nivel del valle, y culmina en los cerros Soltepec e Hilillo; destaca este complejo por la

gran superficie que abarca. A partir del mismo hacia el norte, se presenta un descenso suave, constante e irregular con algunos cerros aislados como el Tezompa, Cacaloapan y Tesivio, hasta culminar en un valle intermontano, en el cual se asientan las poblaciones de Chignautla, Atempan, Teteles, Hueyapan y Tlatlauquitepec.

Entre las poblaciones de Los Humeros y Los Oyameles, es especialmente sobresaliente el que la roca dominante es el basalto, lo cual provoca la formación de un malpaís, originando una diferenciación muy evidente con respecto a los suelos de las zonas anteriores. También destacan las formaciones montañosas de Los Oyameles con más de 3000 msnm.

El relieve de la zona es muy accidentado; como característica topográfica principal presenta un pronunciado, irregular y larguísimo declive de más de 25 Km de largo que se inicia al sur, en las formaciones montañosas de Los Oyameles con más de 3000 msnm, y culmina en la rivera del río Apulco, a menos de 800 msnm, paralela al declive, se alza una larga sierra que se inicia al poniente de la ciudad de Tlatlauquitepec, y culmina 15 Km después; una ramificación de la misma, cruza de oeste a este la zona interrumpiendo momentáneamente el descenso. Los picos más importantes de esta sierra, de sur a norte, son los siguientes: Las Animas, El Cabezón, Chignautla, Acamalotla, Cuatetzin, Punta La Bandera, La Cumbre de Mirador y Tepequez. En esta parte están comprendidos los municipios de Atempan, Teteles y Zaragoza; la parte sur de Hueyapan y Yaonáhuac; Teziutlán; y la parte central de Chignautla y Tlatlauquitepec.

El extremo poniente de la Sierra de Puebla es bastante accidentado; presenta numerosas y largas sierras, aunque no siempre bien definidas, que le confieren una topografía muy irregular, destacando las siguientes: la sierra de más de 15 Km de largo que se inicia en el cerro Tomaquilo y termina en el cerro Infiernillo, recorriendo la parte oriente de sur a norte, destacan en ella los cerros como el Cuacuilco, Tomaquilo, Ahuatepec, Nexpan, Zacatamingo, Xochitepec y Tepetzintan; la larga sierra que se levanta al extremo poniente, de unos 15 Km, y que tiene muchas ramificaciones sobre una de las cuales se asienta Zacapoaxtla, presenta numerosos cerros, dentro de

los más importantes se encuentran La Loma, Coyoco, Peña Blanca, Chicharosco, San Pedro, Tonancingo, Caxtepecuaco, Aguacatépetl, Ocotepec, Ixmiocan, Chismoso, Teopantepeich, Taxinoltépet y Xihuancuaco; una sierra más bien corta formada por lomas, se levanta al oriente del poblado de Zacapoaxtla; la única parte de la zona que presenta una topografía plana, es la localizada al sur.

En las proximidades de Cuetzalan se presenta una sierra baja que atraviesa de este a oeste la parte sur del municipio; la sierra se levanta 1400 msnm, presenta una serie de picos más o menos alineados que se prolongan hasta los límites con el municipio de Tlatlauquitepec.

En esta parte están comprendidos los municipios de Zacapoaxtla, Xochiapulco, Nauzontla, Zoquiapan, Xochitlán, Huitzilán y sur de Cuetzalan.

III.4.3.- Declive del Golfo.

Es el septentrional de la Sierra de Puebla, hacia la llanura costera del Golfo de México, caracterizado por numerosas chimeneas volcánicas y lomas aisladas. Del río Apulco hacia el norte, el relieve asciende abruptamente más de 600 m en menos de 2 Km para culminar en una sierra que atraviesa de este a oeste donde destaca el cerro Hueytepec y el Jilotépetl; de la sierra hacia el norte el relieve desciende definitivamente, aunque presenta algunos cerros aislados como El Campanario. En esta región esta comprendida la parte norte de los municipios de Cuetzalan, Tlatlauquitepec, Yaonáhuac, Hueyapan, Teziutlán y casi la totalidad del de Hueytamalco.

III.5.- HIDROGRAFIA.

La Sierra Nor-Oriental del estado de Puebla queda comprendida en la parte sur de la Región Hidrológica No. 27, ésta se conforma por las cuatro cuencas de los ríos Tuxpan, Cazones, Tecolutla y Nautla, que desembocan en el Golfo de México. Los arroyos que dan origen a éstas importantes corrientes, nacen en la Sierra de Puebla o Sierra

Norte, en los distritos de Huauchinango, Zacatlán y Teziutlán.

La Sierra de Puebla constituye el sitio donde ocurre la mayor precipitación pluvial del estado, en consecuencia en ella se generan corrientes de régimen torrencial, corrientes con gastos de consideración aún en la época de estiaje, además de la formación de grandes avenidas de origen ciclónico, dando lugar a que los ríos funcionen como colector general de escurrimiento de las aguas superficiales regionales que fluyen hacia el Golfo de México (Castañeda, 1987).

La región de Teziutlán pertenece a la vertiente septentrional del estado, comprende parte de las cuencas de los ríos Tecolutla y Nautla y se caracteriza por presentar ríos jóvenes e impetuosos con gran cantidad de caídas; a excepción de los cortos arroyos intermitentes que descienden del complejo montañoso meridional hacia el sur y que propiamente pertenecen a la cuenca endorréica de los Llanos de San Juan (Gobierno del estado de Puebla et al., 1988). Esta región es de gran importancia, pues aporta a la cuenca del río Tecolutla una superficie hidrológica de 2275.81 Km², en la que destaca la subcuenca del río Apulco; por otra parte, también a la cuenca del río Nautla, la región aporta una superficie hidrológica de 373.27 Km² (Castañeda, 1987).

III.5.1.- Subcuenca del río Apulco.

El Apulco se caracteriza por ser un río de corriente caudalosa que tiene un largo recorrido por la Sierra de Puebla, después de formar el vaso de la presa "La Soledad" prosigue su camino en dirección noreste. Ya fuera del estado, se une al río Tecolutla, que desemboca en el Golfo de México.

Son afluentes del Apulco en la zona los ríos: Acongo, Agua Santa, Ahuacatlán, Ajocotzingo, Atemeza, Atemochicha, Atepolihui, Atexcaco, Ayohuacateno, Balastreta, Calapan, Chalchihuapan, Chichicat, Chichilaco, Chorrorrito, Comalco, Coxolesco, Cuautlamingo, Cuxateno, Hueyateno, Huichautla, Jardín, La rosa, Malacayotán, Mina de Guadalupe, Ochiateno, Ocotlán, Tajcuilol, Tepetitlán, Teziutanapan, Tixapán,

Tochimpa, Tozán, Trapiche de Agua, Tzoncáyolt, Santiago, Viga Ancha, Xalacapan, Xalahui, Xaltenango, Xochihuitzaloyan, Xocololoyaco, Xucayucan, Zempoala, Zitaicuautila y Zoquitaque.

Dentro de la subcuenca del río Apulco están comprendidos los municipios de Atempan, Cuetzalan, Chignautla, Hueyapan, Huitzilán, Nauzontla, Teteles, Teziutlán, Tlatlauquitepec, Xochiapulco, Xochitlán, Zacapoaxtla, Zaragoza, Zoquiapan....

III.5.2.- Subcuenca del río Cedro Viejo.

Este río se forma de la confluencia de los ríos Xoyoquilla y Las Margaritas, ya fuera del estado de Puebla se une al Tecolutla, que desemboca en el Golfo de México. Son afluentes del Cedro Viejo los ríos Xoloatl, Pahuapan, Mazolapa, Poza Verde, Blanco, Mixiate, Berrosta, Ateta y Caja de Agua.

Dentro de la subcuenca del río Cedro Viejo está comprendida parte de los municipios de Chignautla, Hueytamalco y Teziutlán.

III.5.3.- Subcuenca del río Masonate.

Este río nace en Hueyapan y confluye al río Tecolutla en el estado de Veracruz, tiene como afluentes a los ríos Los Altos y El Paso. Cruza por los municipios de Teziutlán y Hueytamalco.

III.5.4.- Subcuenca del río María de la Torre.

Uno de los principales formadores del río Nautla, que desemboca en el Golfo de México. Son afluentes del María de la Torre los ríos Jalacingo, Chivo, Ixtipac y Ixtlahuaca.

Dentro de la subcuenca del río María de la Torre están comprendidos los municipios de Hueytamalco, Teziutlán y Xiutetelco.

III.5.5.- Subcuenca del río Solteros.

Este se origina en el municipio de Hueytamalco, tiene como

afluentes a los ríos Puente de Piedra, Cucharas, Tlacuilolapan, Arroyo Blanco y Sotusco. Desemboca en una laguna cercana a la costa del Golfo de México, al norte de la Barra de Nautla.

III.6.- CLIMA.

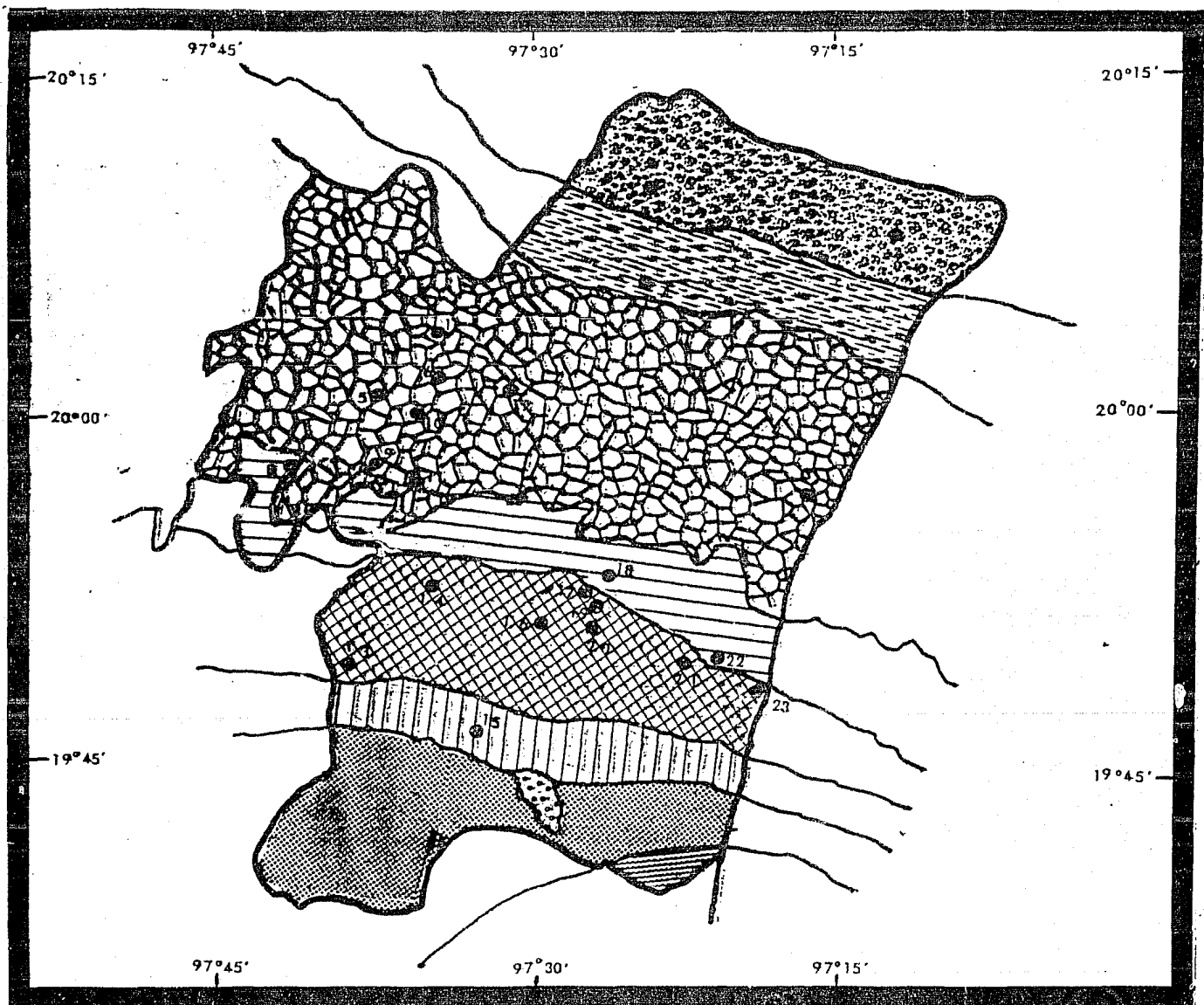
En la región se presentan seis climas dispuestos en franjas latitudinales que marcan la transición de los climas templados de la sierra norte a los climas cálidos del declive del Golfo de México (figura III.6.1.), esto es consecuencia de su posición geográfica y de su orografía (INEGI, 1987; Gobierno del estado de Puebla *et al.*, 1988).

En lo referente a la temperatura, el factor que domina sobre sus variaciones es la altitud, que origina que en las partes más altas del sur y centro de la región dominen los climas templados, mientras que en las partes del declive del Golfo de México dominen los climas cálidos y semicálidos.

Con respecto a la precipitación (figura III.6.2.), podemos afirmar que la distribución de lluvias, obedece primordialmente, al efecto combinado del régimen de vientos a que está sujeta esta región a través del año, y a la orografía que determina marcados contrastes en las diferentes localidades, según la exposición de las cadenas montañosas a las corrientes aéreas, ya que algunos lugares como por ejemplo Teziutlán, recibe una precipitación promedio anual de 1609.9 mm (García, 1988), se encuentra en posición barlovento a las corrientes de masas de vientos que provienen del Golfo de México; y por diferenciar otra condición de humedad podemos mencionar a Zautla, que se encuentra protegida por la cadena montañosa de la Sierra de Puebla, lo cual la ubica en posición de sotavento, que tiene una precipitación promedio anual de 558.5 mm.

En el verano y parte del otoño la corriente que domina en toda la región, penetra principalmente por el oriente, y al ascender sobre los flancos de la abrupta serranía, descargan en forma de abundante lluvia, frecuentemente de carácter tempestuoso, el abundante contenido de vapor de agua que traen de su largo recorrido sobre el Golfo de

Figura III.6.1.- Climas de la región de Teziutlán,
Estado de Puebla.

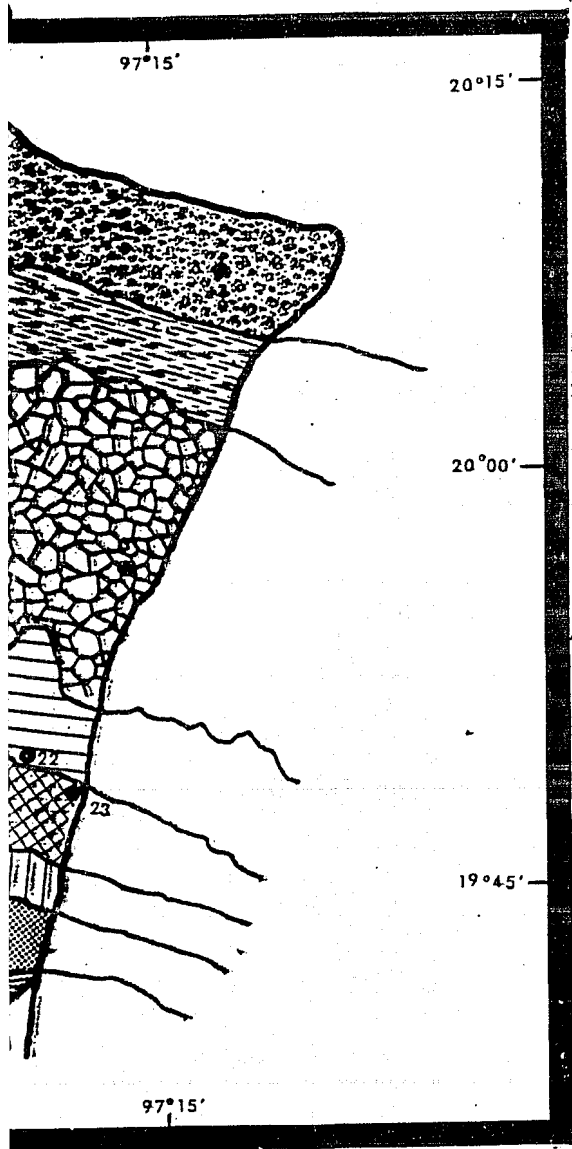


Escala 1

Testa de
Miguel
UNAM, 8
Agosto

Tomado
(INEGI,

ión de Teziutlán,

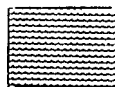


SIMBOLOGIA.

— LIMITE DE LA REGION.

● POBLACION.

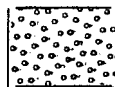
CLIMA:



$C(w_0)(w)$.



$C(w_1)(w)$.



$C(E)w_2$



$C(w_2)$



$C(m)$



$C(fm)$



$(A)C(fm)$



$Af(m)$



$Am(f)$

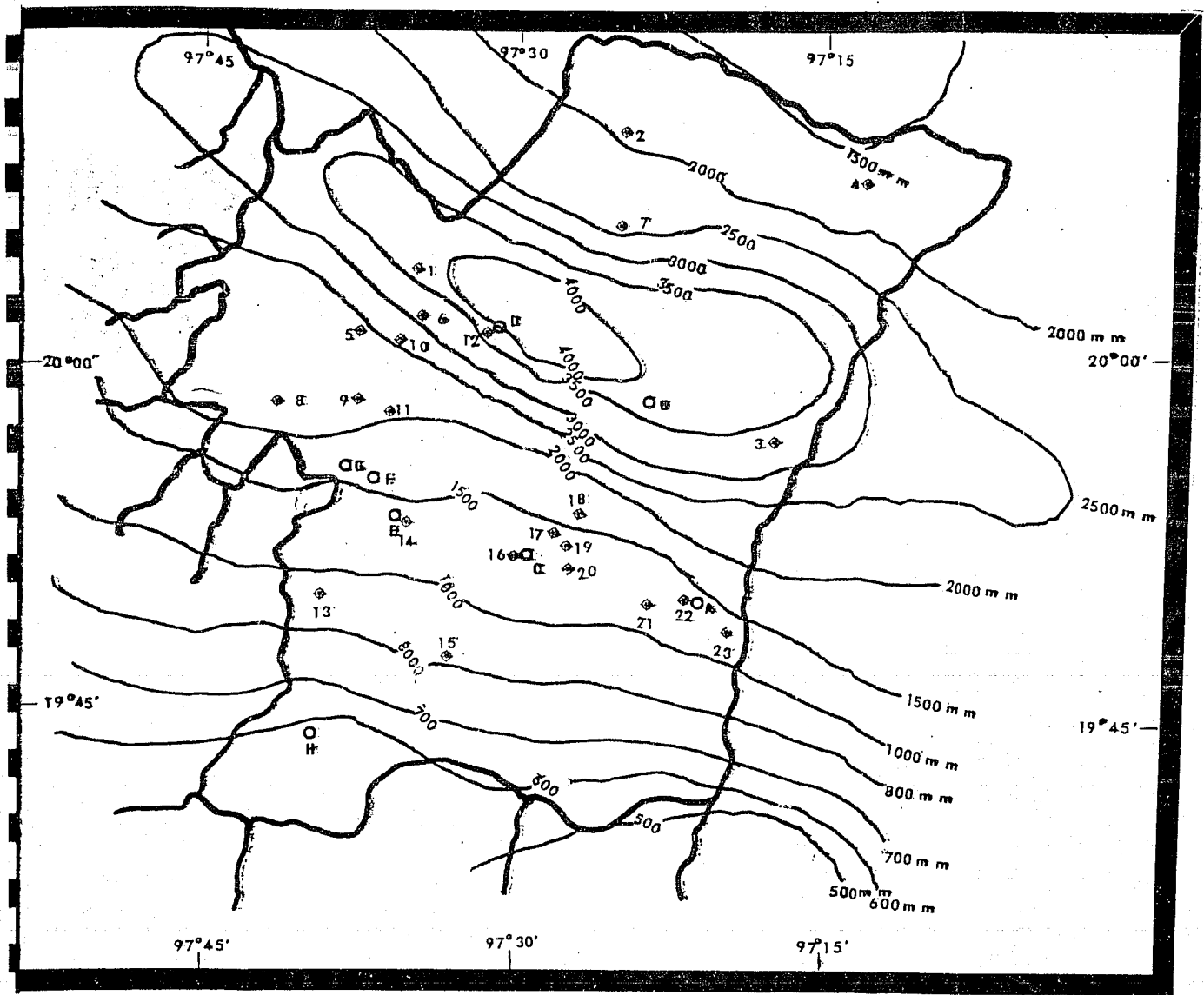
Escala 1 : 400 000.

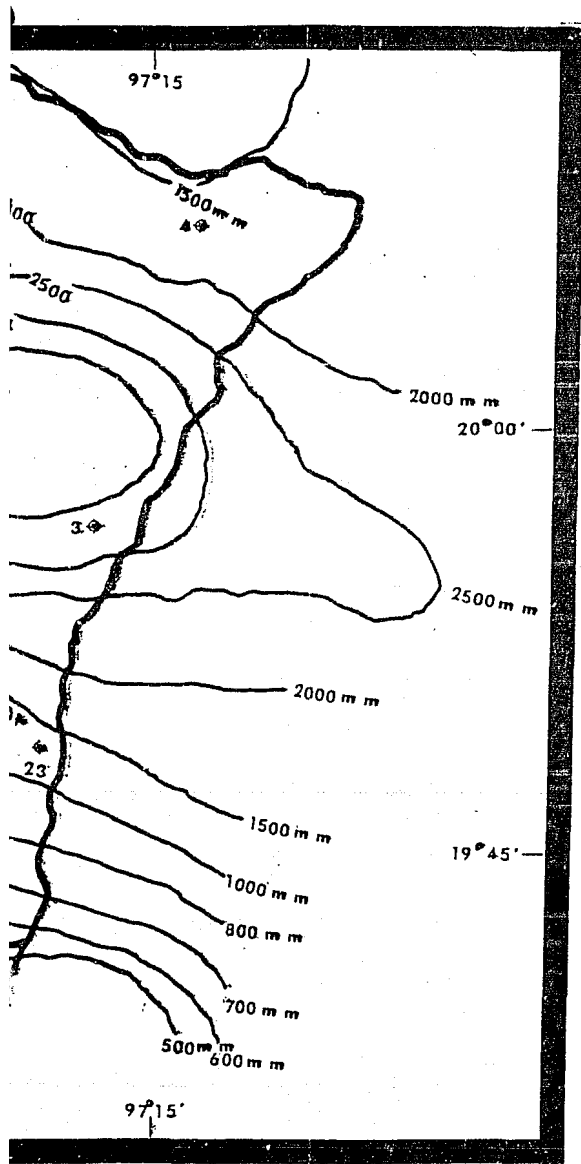
Número:	POBLACION:
1	Tuzamapan
2	Tenampulco
3	Hueytamalco
4	Acateno
5	Allequizayan
6	Jonotla
7	Ayotoxco
8	Huitzilán
9	Xochitlán
10	Zoquiapán
11	Nauczontla
12	Cuetzalan
13	Xochiapulco
14	Zacapoaxtla
15	Zaragoza
16	Tlailauquitepec
17	Yaonáhuac
18	Hueyapan
19	Teteles
20	Atempan
21	Chignautla
22	Teziutlán
23	Xitotetelco

Tesis de Maestría en Ciencias, Edafología.
Miguel Angel Valera Pérez.
UNAM, Facultad de Ciencias, Depto. de Biología.
Agosto de 1993.

Tomado de la Carta de Efectos Climáticos E14-3
(INEGI, 1982)

Figura III.6.2.- Precipitación Media Anual en la región de Teziutlán, Estado de Puebla.





SIMBOLOGIA.

- LIMITE DE LA REGION.
◆ POBLACION.
○ ESTACION METEOROLOGICA.
— 800 ISOVECTAS.(m m)

Escala 1 : 400 000.

Número:	POBLACION:
1	Tuzamapan
2	Tenampulco
3	Hueytamalco
4	Acateno
5	Attequizayan
6	Jonotla
7	Ayotexco
8	Huitzilán
9	Xochitlán
10	Zoquitapán
11	Nauzonitla
12	Cuetzalan
13	Xochiapulco
14	Zacapoaxtla
15	Zaragoza
16	Tlaltlauquitepec
17	Yaonáhuac
18	Hueyapan
19	Teteles
20	Atempan
21	Chignautla
22	Teziutlán
23	Xiutotolco

ESTACIONES METEOROLOGICAS

	clave
A TEZIUTLAN	(21-089)
B LAS MINAS	(21-054)
C TLATLAUQUITEPEC	(21-095)
D CUETZALAN ¹	(21-020)
E ZACAPOAXTLA	(21-101)
F SAN JUAN APULCO	(21-069)
G HUAHUAXTLA	(21-087)
H ZAUTLA	(21-100)

* Clave con la que son identificadas las estaciones meteorológicas en las cartas de INEGI.

Tests de Maestría en Ciencias, Edafología.
Miguel Angel Valera Pérez.
UNAM, Facultad de Ciencias, Depto. de Biología.
Agosto de 1993.

Tomado de la Carta de Climas E14-3 (INEGI, 1982)

México y parte del Océano Atlántico. Durante el invierno son las masas de aire frío, provenientes de noreste a sureste partiendo de los territorios de E.U.A. y Canadá, las que invaden la región, produciendo los denominados "Nortes", que son estados del clima caracterizados por descenso de la temperatura, nublados persistentes, lloviznas y ráfagas violentas de viento.

De este mecanismo de circulación de vientos y producción de lluvias, resulta una de las características sobresalientes: que esta región muestra tener una de las zonas de mayor precipitación pluvial del estado de Puebla, en el municipio de Cuetzalan; pero también, una de las zonas más secas, en los límites con el municipio de Tepeyahualco, en el declive austral de la sierra.

De acuerdo con el sistema de clasificación climática de Köppen, los climas de la región de Teziutlán son los siguientes.

III.6.1.- Clima $C(W_1)(w)$.

Clima templado subhúmedo, con lluvias en verano; temperatura media anual entre 12 y 18°C; temperatura del mes más frío entre -3 y 18°C; precipitación invernal con respecto a la anual es menor del 5 %. Ocupa una franja al extremo sur de la región afectando la parte sur de los municipios de Chignautla, Tlatlauquitepec, Xiutetelco, Zacapoaxtla y Zaragoza.

III.6.2.- Clima $C(E)w_2$.

Clima semifrío subhúmedo, con lluvias en verano; temperatura media anual entre 5 y 12°C; precipitación del mes más seco menor de 40 mm.; la precipitación invernal con respecto a la anual es entre 5 y 10.2 %. Se localiza en una pequeña parte de las áreas montañosas del sureste de los municipios de Tlatlauquitepec y Zaragoza.

III.6.3.- Clima $C(w_2)$.

Clima templado subhúmedo, con lluvias en verano; temperatura

media anual entre 12 y 18°C; temperatura del mes más frío entre -3 y 18°C; precipitación del mes más seco menor de 40 mm; porcentaje de la precipitación invernal con respecto a la anual es entre 5 y 10.2. Se presenta en una franja al sur de la región afectando la parte central del municipio de Zaragoza; y la parte sur de los municipios de Chignautla, Tlatlauquitepec, Xiutetelco y Zacapoaxtla.

III.6.4.- Clima C(m).

Clima templado húmedo con abundantes lluvias en verano; temperatura media anual entre 12 y 18°C; temperatura del mes más frío entre -3 y 18°C; precipitación del mes más seco menor de 40 mm; porcentaje de precipitación invernal con respecto al total es mayor de 5. Se presenta en la parte central de la región afectando al municipio de Atempan; sur de los municipios de Teteles, Teziutlán y Xochiapulco; parte central de los de Chignautla, Tlatluquitepec, Xiutetelco y Zacapoaxtla; y norte del de Zaragoza.

III.6.5.- Clima C(fm).

Clima templado húmedo con lluvias todo el año; temperatura media anual entre 12 y 18°C; temperatura en el mes más frío entre -3 y 18°C; precipitación del mes más seco mayor de 40 mm; la precipitación invernal con respecto a la anual es menor de 18. Se presenta en la parte norte de la región, afectando el norte de los municipios de Chignautla, Teteles, Tlatlauquitepec, Xiutetelco, Xochiapulco y Zacapoaxtla; y sur de Hueyapan, Huitzilán, Teziutlán, y Xochitlán.

III.6.6.- Clima (A)C(fm).

Clima semicálido subhúmedo con lluvias todo el año; temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío entre -3 y 18°C; precipitación del mes más seco mayor de 40 mm, el porcentaje de lluvia invernal con respecto a la anual es menor de 18. Se presenta en el extremo sur de la región afectando los municipios de Cuetzalan y

Nauzontla; norte de los de Hueyapan, Huitzilan, Teziutlán, Tlatlauquitepec, Xiutetelco y Xochitlán; y sur de los de Hueytamalco, Zacapoaxtla y Zoquiapan.

III.7.- SUELOS.

En el sur y centro de la zona es clara la predominancia de suelos de origen volcánico, como los Andosoles; también existe presencia de Litosoles (Leptosoles en la nueva clave FAO, 1989), Regosoles y Luvisoles. En la parte norte, después de la presa "La Soledad", predominan los Luvisoles, asociados con Litosoles, Andosoles, Feozems y Rendzinas (INEGI, 1984c, 1984d y 1987). Las principales unidades de suelo son las siguientes.

III.7.1.- Regosoles.

Estos suelos son muy parecidos al material del que se originan, su color es gris, pardo o pardo amarillento; en la capa superficial, la materia orgánica aportada por la vegetación natural no ha tenido todavía una influencia significativa.

Una parte de estos suelos se encuentra ocupando zonas muy localizadas de la parte volcánica de la sierra y el área correspondiente a su declive austral, derivan de material piroclástico y son fundamentalmente Regosoles dístricos. Presentan fase lítica de superficial a profunda, son de moderada a fuertemente ácidos, pues su saturación de bases es media y la cantidad de bases intercambiables es baja.

También son localizados en algunas partes de la sierra que corresponden al Carso Huasteco, derivan de material sedimentario y pueden ser calcáricos o éutricos. Los Regosoles calcáricos van de ligera a moderadamente alcalinos, pues su saturación de bases es muy alta, la cantidad de bases intercambiables es de muy alta a moderada. Los Regosoles éutricos son moderadamente ácidos, su saturación de bases va de alta a muy alta, la cantidad de bases intercambiables es de alta

a baja.

Esta unidad de suelos se presenta en los municipios de Cuetzalan, Chignautla, Hueyapan, Tlatlauquitepec, Xiutetelco y Zaragoza.

III.7.2.- Litosoles.

Se localizan en el área extensa de malpaís entre las poblaciones de Los Humeros y Los Oyameles, al sur de los municipios de Chignautla y Tlatlauquitepec; también se pueden encontrar en la parte septentrional del río Apulco, derivando de material sedimentario. Esta unidad de suelos se presenta en algunas zonas de los municipios de Cuetzalan, Chignautla, Hueytamalco, Nauzontla, Tlatlauquitepec, Xochiapulco, Xochitlán, Zacapoaxtla y Zoquiapan.

III.7.3.- Luvisoles.

La mayoría de ellos, si no es que todos, son paleosuelos y en muchas ocasiones han sido sepultados o rejuvenecidos por nuevos aportes de material piroclástico del periodo Cuaternario. Se han originado de diversas rocas, desde ígneas del Terciario Superior; sedimentarias como lutitas, calizas, limolitas y areniscas de los periodos Cretácico Inferior y Jurásico Medio y Superior; y metamórficas como esquistos del Paleozoico. Las altas precipitaciones de la zona donde se han formado estos suelos han propiciado la traslocación de arcilla, de los tipos haloisita y metahaloisita fundamentalmente, de los horizontes superiores hacia uno más profundo, dando origen a un horizonte B argílico; además han causado una gran y profunda desbasificación de los suelos, lo que se refleja en su baja saturación de bases y pH ácido. Ocupan una extensa área en el norte de la región y en ocasiones presentan fase lítica profunda (entre los 50 y 100 cm de profundidad).

Esta unidad de suelos se presenta en los municipios de Cuetzalan, Huitzilán, Nauzontla, Tlatlauquitepec, Xochiapulco, Xochitlán y Zoquiapan.

III.7.4.- Feozems.

Estos suelos se distribuyen en las llanuras y algunas mesetas de la región, donde son profundos; también pueden encontrarse sobre las sierras, donde son más someros y están limitados por una fase lítica.

En el perfil de estos suelos se dan ciertos cambios con respecto a los demás descritos. En primer lugar, el horizonte A está enriquecido con humus estabilizado por la presencia de elevadas a moderadas concentraciones de iones calcio. En segundo lugar, la saturación de bases de todo el perfil de suelo es superior al 50 %, con abundante presencia de iones calcio.

Pueden presentar horizonte B tanto cámbico como argílico y derivan de casi cualquier tipo de roca, aunque de preferencia de aquellas ricas en material calcáreo como calizas o lutitas, también pueden originarse en algunas ocasiones de material ígneo, pero en estos casos el suelo debe de estar próximo y en una posición orográfica tal, que esté siendo contaminado por un aporte permanente de bases provenientes de un material rico en ellas, como lo es por ejemplo la roca caliza, esta situación se presenta en las zonas de transición entre roca ígnea y sedimentaria.

Se presentan en el extremo norte de la zona, en los municipios de Hueytamalco, Huitzilán y Xochiapulco.

III.7.5.- Rendzinas.

Estos suelos se derivan de rocas calizas, por lo cual tienen cantidades altas o muy altas de carbonato de calcio. Al ser intemperizadas en estas zonas de clima semicálido y cálido húmedo, dichas rocas producen materiales muy finos, que determinan las texturas arcillosas o franco arcillosas de los suelos. Por otro lado, la formación de complejos entre el calcio del suelo y la materia orgánica aportada por la vegetación natural (Selva Baja, Bosque Mesófilo y algunos pastizales inducidos), ha producido la melanización del suelo en todo su perfil; debido a ello, los colores que presentan son gris muy oscuro, negro o pardo grisáceo muy oscuro. Tales características

confieren una alta fertilidad natural a estos suelos, pero su utilización se ve restringida, ya que se encuentran limitados por el lecho rocoso a menos de 50 cm de profundidad; además, el hecho de encontrarse en sierras y lomeríos representa graves riesgos de erosión.

Se presentan en el límite de la zona de suelos volcánicos y suelos derivados de material sedimentario, en el municipio de Cuetzalan.

III.7.6.- Andosoles.

Debido a que son el tema de este trabajo, solo se mencionarán algunas de sus características en esta sección.

Se localizan a partir de la cota 2500 msnm hacia el norte; predominan los Andosoles vítricos, órticos y mólicos. Presentan fase lítica que varía de superficial a profunda.

Estos suelos están ampliamente distribuidos en la región, localizándose superficies importantes de ellos en los municipios de Atempan, Cuetzalan, Chignautla, Hueyapan, Hueytamalco, Huitzilán, Nauzontla, Teteles, Teziutlán, Tlatlauquitepec, Xiutetelco, Xochiapulco, Xochitlán, Zacapoaxtla, Zaragoza y Zoquiapan.

III.8.- VEGETACION.

La región de Teziutlán ha perdido la mayor parte de su vegetación original, que debe haber consistido en bosques de Pino y Encino, de Pino y Oyamel y Mesófilo de Montaña. En la actualidad se presentan grandes zonas de pastizal inducido al sur y áreas dedicadas a la agricultura de temporal que han crecido a costa de los bosques, amenazando con acabar con ellos.

Las zonas boscosas consisten en: Bosque de Pino, asociaciones de Encino-Pino y Pino-Encino, en la mayor parte de la superficie forestal de la región; Bosque de Oyamel, se presenta en forma de pequeños rodales en las partes más altas y húmedas al oeste de la

región; Bosque Mesófilo de Montaña, se presentan algunos restos al norte y noreste de la región; y Matorral Xerófilo, en el extremo sureste de la región, en los límites con el estado de Veracruz, donde predomina el Izotal y las Opuntias (Rzedowski, 1981; Gobierno del estado de Puebla et al., 1988).

III.8.1.- Bosque de Pino y asociaciones de Encino-Pino y Pino-Encino.

De acuerdo con Critchfield y Little (1966), existen en México 35 especies del género Pinus, número que representa el 3' % del total de especies que los mismos autores reconocen para el mundo entero.

En la región de Teziutlán, los pinares no constituyen generalmente el único tipo de vegetación prevaleciente, pues compiten o asocian con otras especies de árboles como encino (Quercus) y a veces con oyamel (Abies religiosa), cedro (Cupressus), madroño (Arbutus), capulín (Prunus), aile (Alnus), guayamé (Pseudotsuga) tlacoguilla (Clethra) y tejocote (Crataegus) (Rzedowski, 1981). En esta comunidad el estrato arbustivo se conforma de enebros (Juniperus), escobilla (Baccharis), jarilla (Senecio), árbol maría (Eupatorium), hierba del carbonero (Archibaccharis), salvia (Salvia), hierba de pulga (Stevia), capulincillo (Ribes), janajuana (Helianthemum), tacotillo (Vernonia), capitaneja (Verbesina), pingüica (Arctostaphylos), palo de mula (Monnia) chaquirilla (Ceanothus), aretillo (Fuchsia), cachuiche (Vaccinium), sensitiva (Mimosa), mora (Rubus), maguey (Agave), hiedra (Rhus), ramón (Cercocarpus), igualadilla (Eriosema), sauce (Salix), isioche (Satureja), zacatechichi (Calea), pegarropa (Desmodium) y chacuaco (Cestrum); y en el herbáceo las familias de plantas: Compositae, Gramineae, Leguminosae, Labiatae, Scrophulariaceae, Rosaceae, Pteridaceae, Umbelliferae, Commelinaceae, Umbelliferae, Liliaceae, Caryophyllaceae, Geraniaceae, Boraginaceae, Cyperaceae, Cruciferae, Onagraceae, Oxalidaceae, Rubiaceae, Valerianaceae y Polypodiaceae.

La mayoría de las especies mexicanas de pinos, poseé afinidades hacia los climas templados a fríos y semihúmedos y hacia los suelos ácidos, pero también existen diferencias notables entre una especie y

otra, y algunas que no se ajustan a estas normas prosperan en lugares francamente calientes, en los lugares húmedos, en los semiáridos, así como sobre suelos alcalinos. Es por ello que en las comunidades forestales de la región de Teziutlán, se pueden establecer diferencias suficientes entre ellas en base a la zona donde se desarrollan, quedando agrupadas para fines descriptivos en tres zonas: Declive Austral de la Sierra de Puebla, Porciones Sur y Oriental de la Sierra de Puebla y Porción Occidental de la Sierra de Puebla.

En la zona que corresponde al Declive Austral de la Sierra de Puebla, correspondiente al extremo sur de los municipios de Xiutetelco, Chignautla y Tlatlauquitepec, bajo la influencia de un clima $C(W_1)(w)$ y sobre Regosoles y Andosoles se desarrolla una comunidad vegetal compuesta por pinos (Pinus) y encinos (Quercus) fundamentalmente, y en menor proporción táscate (Juniperus flaccida).

En esta zona de suelos someros y muy erosionados y con poca humedad ambiental predominan los pinos del tipo P. rudis y P. teocote,

Los encinares, relativamente secos y bajos se componen fundamentalmente de Q. resinosa, también se pueden identificar algunos ejemplares de Q. magnolifolia acompañados frecuentemente de Q. conspersa y Q. peduncularis.

En la Sierra de Puebla, en sus porciones sur y oriental, que forman parte del Eje Neovolcánico y correspondiente a los municipios de Xiutetelco, Teziutlán, Chignautla, Atempan, Teteles y Zaragoza; y la parte sur de los de Tlatlauquitepec, Yaonáhuac, Hueyapan y Hueytamalco; bajo la influencia de climas de los tipos $C(W_1)(w)$, $C(E)w_2$, $C(w_2)$, $C(m)$ y $C(fm)$; y sobre Litosoles, Regosoles, Andosoles y Luvisoles, se desarrolla una comunidad vegetal compuesta por pinos (Pinus) y encinos (Quercus) fundamentalmente, y en menor proporción otros árboles como táscate (Juniperus), oyamel (Abies), madroño (Arbutus).

De acuerdo con Loock (1950), P. montezumae es la especie más abundante en el Eje Neovolcánico y en muchos sitios forma bosques puros, frecuentemente bien desarrollados. En sitios un poco más húmedos suele mezclarse o ceder lugar a P. pseudostrobus y P. patula, en cambio, en suelos muy someros como en la zona de malpaís, predominan el P. rudis y P. teocote. En las vertientes inferiores, del lado

nororiental de la sierra, a menos de 2000 msnm, P. oocarpa y P. michoacana son los más comunes, formando por lo general bosques bajos y espaciados, en los cuales también pueden intervenir P. lawsonii, P. herrerae, P. pringlei, P. leiophila y P. patula, además de especies de Quercus. A elevaciones superiores a 2700 msnm prevalecen bosques de P. hartwegii mezclados con algunos ejemplares de Abies religiosa.

En la zona comprendida entre las poblaciones de Los Humeros y Los Oyameles, se observan rodales de árboles coetaneos, propiciados por el manejo humano para la explotación forestal de la madera, los troncos de los pinos presentan buenas características como son: de diámetro similar a todo lo largo del tronco, fustes muy rectos y ramas solo en la parte alta del árbol. También se observaron algunos árboles con características inadecuadas para la explotación forestal, con troncos muy angostos.

En algunas áreas se observaron árboles "padres" (semilleros), con características fenotípicas deseables, que constituyen la fuente de regeneración del bosque, con el fin de obtener una buena producción de madera de buena calidad. Cabe destacar que el sitio observado presentó una buena regeneración.

Los árboles sometidos a la incidencia de los vapores emanados de la planta geotérmica de Los Humeros, presentan las características de estar enfermos, destaca lo amarillento del follaje, lo que significa que seguramente están siendo afectados por la presencia de azufre y boro en grandes cantidades. Se observan así mismo árboles aislados y muy ramificados (debido a la ausencia de una poda natural), en los cuales es posible distinguir entrenudos muy cortos, ésto constituye un indicador de crecimiento lento debido a las condiciones ambientales adversas ya mencionadas. En este sitio se pudo observar de manera muy clara la diferente sensibilidad y/o resistencia genética que pueden presentar diferentes plantas ante condiciones desfavorables del ambiente y que se manifiestan fenotípicamente. Ante las mismas condiciones ambientales se observan dos especies diferentes de Pinus que reaccionan de manera diferente, una que presenta clorosis foliar exclusivamente en el ápice, mientras que otra presente una clorosis muy acentuada de la base al ápice mostrando un mayor daño que la anterior.

Se observa finalmente una zona de gran perturbación próxima a una chimenea de la planta geotérmica, donde toda la vegetación de gramíneas amacolladas está completamente quemada.

En la zona de malpaís, los árboles tienen fundamental importancia para la retención y filtración del agua, lo cual contribuye a evitar la erosión y recargar los mantos acuíferos.

Klink (1973), reporta para la zona la presencia de encinares caducifolios de tipo seco formados por *Q. resinosa*, *Q. glaucooides*, *Q. obtusata*, *Q. rugosa*, *Q. crassifolia*, así como otros con *Q. castanea*, *Q. obtusata*, *Q. crassipes*, *Q. magnolifolia* y *Q. conspersa*.

En la Sierra de Puebla, pero ahora en su porción occidental, que forma parte de la Sierra Madre Oriental, comprendiendo los municipios de Zacapoaxtla, Xochiapulco, Nauzontla, Zoquiapan, Xochitlán, Huitzilán y el extremo sur de Cuetzalan; bajo climas de los tipos $C(W_1)(w)$, $C(w_2)$, $C(m)$ y $C(fm)$; y sobre Litosoles, Regosoles, Andosoles y Luvisoles, se desarrolla una comunidad vegetal compuesta por pinos (*Pinus*) y encinos (*Quercus*) fundamentalmente, y en menor proporción madroños (*Arbutus xalapensis*), táscate (*Juniperus flaccida*), tlacoguilla (*Clethra*), ailes (*Alnus*) y tepecuilote (*Cornus*).

Los bosques de pino en esta zona de la Sierra Madre Oriental están formados fundamentalmente por *P. patula*, este árbol forma bosques altos y extensos entre los 1800 y 3000 msnm, en sitios donde la precipitación media anual es superior a 1000 mm y las laderas tienen una influencia significativa de neblinas durante todo el año. Como ya se señaló, estos bosques, al menos en gran parte, parecen ser secundarios y mantenidos artificialmente gracias a las actividades humanas. *P. patula* se presenta a menudo en masas puras, pero a veces se acompaña de otros árboles, principalmente *P. pseudostrobus*, *P. ayacahuite* y algunos *Quercus*, especies que también tienen afinidades, aunque más moderadas, por climas o microclimas húmedos de altura. Las comunidades de *P. patula*, *P. tenuifolia* y *P. pseudostrobus*, a semejanza de las de *P. strobus* var. *chiapensis* viven en colindancia con el Bosque Mesófilo de Montaña, como se pudo apreciar en la zona de Cuetzalan y Mazatepec, pues sus exigencias ecológicas son aparentemente similares.

Entre 1600 y 2500 msnm son comunes los bosques de Q. mexicana, en otros lugares prevalece Q. crassifolia, pero en ambos casos se trata en general de un bosque bajo (6 a 12 m) y moderadamente denso; en cambio las comunidades también presentes de Q. affinis, Q. trinitatis, Q. galeottii, Q. xalapensis, Q. sartorii, Q. furfuracea y Q. candicans, suelen ser mucho más altas (hasta de 30 m) y complejas en su estructura (Rzedowski, 1981).

III.8.2.- Bosque de Oyamel.

En la zona próxima a la población de Los Oyameles, que en un pasado debió de estar cubierta por una vegetación natural de bosque de coníferas, principalmente por la asociación de los géneros Pinus hartwegii y Abies religiosa, es posible aún localizar pequeños rodales, en la actualidad sus suelos se encuentran sometidos a una intensa explotación agrícola que ha provocado la modificación de sus características originales y su degradación.

El manejo de la zona deja entrever solamente vestigios de lo que fue la vegetación original, un bosque de coníferas cuyo representante es la especie Abies religiosa; vegetación característica de cañadas protegidas de los vientos y donde las condiciones de humedad y temperatura le son favorables.

En el lugar se pudieron apreciar 3 estratos diferentes de vegetación, el arbóreo formado por Abies, el herbáceo por jarilla (Senecio), árbol maría (Eupatorium), hierba del carbonero (Archibaccharis), hierba de pulga (Stevia), y el rasante por musgos. Todo esto evidenciando un microclima muy húmedo y de baja temperatura media anual. El bosque presentó una baja densidad de árboles (9 árboles en 625 m²), si consideramos que una buena densidad de oyameles es de 450 individuos en promedio en una hectárea, deberíamos esperar encontrar un rodal de unos 28 individuos en la extensión estudiada.

Es posible distinguir además que el rodal de estudio muestra gran heterogeneidad respecto a los diámetros de los individuos, que van desde los 35.3 cm hasta el 1.17 m a la altura del pecho. Aunque no se realizó ningún muestreo dendrocronológico estas diferencias indican

seguramente árboles de diferentes edades, más que diferencias en su desarrollo, que implican la sucesión en el tiempo de eventos perturbadores del área que fueron dejando atrás de sí solo algunos representantes de diferentes generaciones.

Muy probablemente estos eventos de disturbio son de origen humano, no para el aprovechamiento sistemático del bosque, sino como una utilización ocasional de sus recursos (madera para construcción, leña, cajas, herramientas, etc.) o bien, disturbios accidentales u ocasionados por la apertura de veredas. Cabe recordar que el sitio estudiado esta limitado por caminos y terrenos de cultivo, cuya vía de acceso es a través del rodal.

Otra evidencia de disturbio la encontramos en algunos árboles que se bifurcan, lo cual indica que en determinado momento de su desarrollo perdieron su dominancia apical por algún agente perturbador.

III.8.3.- Bosque Mesófilo de Montaña.

Este bosque corresponde en México al clima húmedo de altura, y dentro del conjunto de las comunidades que viven en las zonas montañosas ocupa los sitios más húmedos que los típicos de los bosques de pinos y encinos, generalmente más cálidos que las propias del bosque de oyamel, pero más frescos que los que condicionan la existencia de los bosques tropicales. En la región de Teziutlán, estos boques se encuentran en los climas C(fm) y (A)C(fm) y se desarrollan sobre Andosoles, Luvisoles, Feozems y algunas Rendzinas.

En el norte de los municipios de Cuetzalan, Tlatlauquitepec, Yaonáhuac, Hueyapan, Teziutlán y parte central de Huey tamalco, las características climáticas propiciaron que el tipo de vegetación original del sitio haya sido Bosque Mesófilo de Montaña, que es precisamente un estado transicional entre el bosque de coníferas que se encuentra a mayores altitudes, y las selvas tropicales que requieren de condiciones de temperatura y humedad aún mas elevadas.

Debido a las condiciones climáticas favorables y a pesar de lo abrupto del terreno, muchas áreas cubiertas por el Bosque Mesófilo de Montaña en la región de Teziutlán están densamente habitadas y

sometidas a una intensa explotación desde hace siglos. La vegetación original fue eliminada de grandes extensiones de terreno y en algunas zonas de la región, ya no existe. En muchas partes se practica una agricultura seminómada que da por resultado un mosaico de comunidades secundarias de diferentes grados de avance, el maíz es el cultivo más usual en estas áreas. En altitudes inferiores a 1000 msnm y en algunas partes hasta los 1500 msnm se planta café y en las comarcas particularmente favorables para tal cultivo, como son Cuetzalan, Mazatepec y Hueytamalco, éste llega a desplazar por completo cualquier otro aprovechamiento de la tierra y en grandes extensiones sólo se ven árboles de Inga, bajo los cuales prosperan los cafetos. Es también muy alarmante ver que en la región, sobre todo en Mazatepec y Hueytamalco, se está propagando la técnica de cultivar el café directamente al sol, esto implica una eliminación total de la vegetación original y con ello una acelerada degradación de los suelos. Con mucho menos frecuencia, se puede ver en algunos sitios que todavía se utilizan como árboles de sombra, los propios del bosque natural y entonces, a distancia, se tiene la impresión de que la vegetación no ha sido muy perturbada, pero al penetrar se descubre que se trata de un cafetal.

Por lo común existen en este bosque varios estratos arbóreos, además de uno o dos arbustivos. Dentro de los representantes de esta vegetación es posible encontrar los géneros: Liquidambar, Quercus, Pinus, Ceratozambia, Dioon, Zambia, Oreopanax, Styrax, Perrottetia, Nephelea, Eugenia, Osmantus, Viburnum, Juglans, Dalbergia, Podocarpus y Clethra, que son típicos de este bosque, y algunos otros más bien característicos de Selva Alta Perennifolia como lo es Inga.

El herbáceo no tiene gran desarrollo en los bosques bien conservados, pero en los claros suele ser exuberante y diversificado y contiene muchas pteridofitas. Las trepadoras leñosas son abundantes, sobre todo en cañadas protegidas; entre los géneros más frecuentes cabe mencionar: Archibaccharis, Celastrus, Clematis, Gelsemium, Parthenocissus, Philadelphus, Rhus, Smilax y Vitis. Las epifitas se encuentran con relativa abundancia y forman sinusias variadas que contienen tanto líquenes, musgos y pteridofitas, como también fanerógamas, principalmente de las familias Piperaceae, Bromeliaceae y Orchidaceae.

La región, de acuerdo con la actual división del estado efectuada por la SARH, corresponde al Distrito de Desarrollo Rural de Teziutlán, que comprende una superficie agrícola de 98,229 ha, toda de temporal, de las cuales 49,075 son dedicadas al cultivo de maíz, 30,129 al de café, 1,872 al de frijol, 1,130 al de papa, 1,089 al de trigo, 1,011 al de cebada y el resto de la superficie es dedicada al cultivo de pimienta negra, vainilla, canela, haba, arvejón, caña de azúcar, tabaco, naranjo, manzana, peral, ciruelo y aguacate entre otros.

Con fines descriptivos dividiremos la región en tres zonas: sur, central y norte.

La zona sur comprende el municipio de Zaragoza, y la parte sur de los de Xochiapulco, Zacapoaxtla, Tlatlauquitepec, Chignautla, Teziutlán y Xiutetelco. En esta zona destaca la producción de cereales y leguminosas como maíz, trigo, cebada, frijol y haba; también es muy importante la producción de hortalizas como papa y chile.

La zona central comprende los municipios de Atempan y Teteles, y parte de los de Xochiapulco, Zacapoaxtla, Tlatlauquitepec, Yaonáhuac, Hueyapan, Chignautla, Teziutlán y Xiutetelco. En esta zona destaca la producción de cereales y leguminosas como maíz, frijol, haba y arvejón; también sobresale la producción de frutales como pera, manzana, ciruela, durazno, aguacate y nuez.

La zona norte comprende los municipios de Huitzilán, Xochitlán, Nauzontla, Zoquiapan, Cuetzalan y Hueytamalco, y parte de los de Tlatlauquitepec, Yaonáhuac y Hueyapan. En esta zona destaca la producción de café, pimienta negra, vainilla, canela, caña de azúcar y tabaco; también se producen cereales como maíz y frijol y se explotan algunos frutales como naranja, lima, plátano, aguacate, mamey, guayaba, capulín y zapote. En Hueytamalco tiene particular importancia el pastizal cultivado de la especie Estrella Africana y también el pastizal inducido.

Con respecto a la ganadería, ésta consiste fundamentalmente en ganado de traspatio consistiendo en: bovino para producción de carne y para producción de leche, porcino, ovino, caprino, equino, aves de corral y conejos.

En la parte sur de la zona se aprovecha la presencia del pastizal inducido en la explotación de ganado ovino y caprino, y solo en la parte norte de la región, en los municipios de Hueytamalco, San José Acateno, Ayotoxco y Tenanpulco tiene relevante importancia económica la ganadería, donde se explota el ganado bovino para la producción de carne mediante el sistema de rotación de potreros. Es importante señalar que en este trabajo no son reportados estudios sobre los suelos de esta zona, por no tratarse de Andosoles.

IV.- MATERIALES Y METODOS.

Con el fin de facilitar la realización del trabajo y también sistematizar la elaboración de su reporte final, esta tesis se organizó contemplando las siguientes etapas: trabajo de gabinete; trabajo de campo; análisis físicos y químicos de las muestras de suelo; análisis mineralógico de las muestras de suelo y de su fracción arcilla; e interpretación y discusión de los resultados y formulación de conclusiones.

Para la realización del trabajo de tesis se partió de los estudios que son sus antecedentes, en particular del inventario de suelos que se efectuó como parte del proyecto "Evaluación del Recurso Suelo de la Región de Teziutlán" (Valera et al., 1986b).

IV.1.- TRABAJO DE GABINETE.

Este consistió en acciones efectuadas en colaboración con personal de investigación del Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas del Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, y se describe a continuación.

IV.1.1.- Delimitación de la región en estudio, fotointerpretación y selección de sitios de verificación y muestreo.

Las acciones para esta etapa consistieron primeramente en la recopilación de la información básica sobre Andosoles y sobre la zona en estudio, para ello se consultó material bibliográfico y cartográfico de diversas fuentes y después de una selección, se procedió a su clasificación para la formación de archivos.

Se efectuó la delimitación de la zona en estudio en fotografías aéreas (escala 1:50,000) y en mapas topográficos, fisiográficos, geológicos, hidrográficos, climáticos, edafológicos y de vegetación y uso del suelo (escalas 1:50,000; 1:250,000 y 1:1'000,000). Posteriormente se procedió a realizar una fotointerpretación preliminar y, después de un recorrido preliminar por la zona, se realizó la fotointerpretación definitiva delimitando las unidades de suelo y

seleccionando la posible localización de los sitios de muestreo.

IV.1.2.- Determinación de los regímenes de humedad de los suelos.

Debido a la importancia de la determinación de los regímenes de humedad de los suelos en el sistema de clasificación Soil Taxonomy, puesto que son necesarios para determinar el suborden de los Andisoles (Soil Survey Staff, 1990), éste fue determinado mediante el uso del segundo sistema de Thornthwaite (Dirección de Agrología, 1972). Este método para la definición del régimen de humedad de un suelo, se basa en la elaboración de un climograma que expresa el equilibrio de agua en el suelo, tomando en cuenta los valores de temperatura media y precipitación media tanto mensuales como anuales, y determinando la evapotranspiración potencial por medio de la ecuación empírica desarrollada por Thornthwaite (1948; citado en: Dirección de Agrología, 1972).

Los datos climáticos empleados para la elaboración de los climogramas son los que aparecen reportados en el trabajo "Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen" (García, 1988).

IV.2.- TRABAJO DE CAMPO Y OBTENCION DE LAS MUESTRAS DE SUELO.

Este consistió en la verificación de los sitios de muestreo previamente seleccionados, para lo cual se procedió a la apertura de pozos, descripción de los perfiles y toma de las muestras de suelo.

Los perfiles de suelos se estudiaron mediante la apertura de pozos de 2 m de largo y 1 m de ancho, la profundidad de los perfiles fue de 2 m o menos si se encontraba antes el lecho rocoso.

En la descripción de la morfología de los suelos se tomó en cuenta los horizontes y capas mostrados por el perfil; ésto fue realizado siguiendo la guía propuesta por la FAO (1977) modificada por el INEGI (1982).

El muestreo de los suelos fue realizado sobre los perfiles

descritos. Las muestras fueron tomadas con base en los horizontes, subhorizontes o capas determinadas en el perfil. En el caso de que el horizonte o subhorizonte muestreado fuese con espesor de más de 50 cm, fue dividido en más de una muestra.

En esta etapa del trabajo se conto con la colaboración y apoyo de personal de investigación del Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas del Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

IV.3.- ANALISIS FISICOS Y QUIMICOS DE LAS MUESTRAS DE SUELO.

Este consistió en acciones efectuadas en colaboración y con apoyo de personal de investigación de las siguientes instituciones: Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas, Instituto de Ciencias de la BUAP; Laboratorio de Investigación en Edafología, Departamento de Biología de la Facultad de Ciencias de la UNAM; Departamento de Edafología, Instituto de Geología de la UNAM; y, Centro de Ciencias Medioambientales, Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España.

IV.3.1.- Preparación de las muestras de suelo para el análisis.

La preparación de las muestras de suelo, consistió en ponerlas a secar al aire, bajo techo y a temperatura ambiente, por un periodo de alrededor de dos semanas. Una vez secas las muestras, se separaron en dos fracciones, mediante un tamiz de malla No. 10 (apertura de malla de 2 mm), y se almacenaron adecuadamente por separado las fracciones mayor y menor de 2 mm.

IV.3.2.- Color de suelo.

El color del suelo se determinó comparando una pequeña muestra de suelo tanto en húmedo como en seco con las cartas de color de Munsell (1954), (Palmer y Troeh, 1980).

IV.3.3.- Densidad aparente.

Esta propiedad es considerada como de fundamental importancia para este orden de suelos por lo que ha sido propuesta como una de sus propiedades de diagnóstico, tanto en los Andosoles de la clave FAO (1989) como en los Andisoles del sistema Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1990). Sin embargo, reportar la densidad aparente en los Andosoles o Andisoles plantea una serie de problemas, pues no existe acuerdo aún para su determinación. La clave de clasificación de suelos de la FAO (1989), sugiere que esta determinación se efectúe a la fracción tierra fina del suelo (menor de 2 mm) medida a la humedad de campo, lo cual implica tamizar el suelo y destruir sus agregados; y en el caso del sistema de clasificación de suelos Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1990), tal y como lo ha establecido el ICOMAND (Leamy et al., 1984), se recomienda medir la densidad aparente cuando el suelo presenta una humedad relativa de un tercio de bar, ésto es, realizar la determinación en condiciones de laboratorio y con equipo especial del que se carece en la inmensa mayoría de los laboratorios de análisis de suelos del país.

En México se han realizado trabajos importantes con el objetivo de dar una solución al problema que plantea esta determinación en Andosoles (Hidalgo et al., 1986).

Para poder abordar apropiadamente en este trabajo el análisis de la densidad aparente de los Andosoles, se optó por determinarla primeramente por un método de campo en el que se utilizan cilindros rígidos (método del núcleo) y en las condiciones de humedad del suelo imperantes (Baham y Simonson, 1985; Hidalgo, 1988); y posteriormente por el método de la probeta (Palmer y Troeh, 1980; Dominguez y Aguilera, sin fecha) con base en los resultados del trabajo realizado por Saucedo (Saucedo et al., 1989; Saucedo, 1990) en Andosoles de la región de Teziutlán.

IV.3.4.- Densidad real.

También conocida como densidad de partícula, esta determinación

se efectuó por el método del picnómetro (Dewis y Freitas, 1984).

IV.3.5.- Textura.

Esta determinación presentó diversas dificultades en su realización debido a las características particulares de los Andosoles (Hidalgo, 1988), las cuales son discutidas en el capítulo V de este trabajo. Para determinar la composición granulométrica o textura de los Andosoles de la región de Teziutlán se procedió a la aplicación de dos métodos diferentes, el método tradicional de Bouyoucos (1927; citado en Forsythe, 1985; y en Dewis y Freitas, 1984) y el método de Kilmer y Alexander (1949). Para la determinación, por ambos métodos, se procedió a eliminar la materia orgánica de las muestras de suelo empleando peróxido de hidrógeno al 30 %. El agente dispersante empleado en la determinación por el método del hidrómetro fue la mezcla de oxalato de sodio - metasilicato de sodio.

Para coseguir la máxima dispersión de los suelos en el análisis mecánico por el método de la pipeta, se empleó una solución de NaOH y agitación por medio de ultrasonido, tal como fue recomendado por Hidalgo (1988). La dispersión fue analizada posteriormente por medio de un microscopio petrográfico Ultraphot III Zeiss. La fracción arena fue separada por medio de un tamiz de malla 0.05 mm y las fracciones limo y arcilla con auxilio de la pipeta de Robinson de 25 ml sujeta a un bastidor.

IV.3.6.- Porcentaje de materia orgánica y porcentaje de carbono orgánico.

El porcentaje de materia orgánica se determinó por el método de Walkley y Black (León y Aguilar, 1987). El carbón orgánico se estimó a partir del porcentaje de materia orgánica obtenido, aplicando la relación matemática:

$$\% C = (\% \text{ de materia orgánica del suelo}) (0.58)$$

IV.3.7.- Índice melánico.

Para determinar el índice melánico se tomó en cuenta primero que los epipedones cumplieran plenamente con los requisitos de color, profundidad y contenido de carbono orgánico, para poder ser considerados como melánicos (Soil Survey Staff, 1990). La técnica empleada aparece reportada en la Circular No. 10 del ICOMAND (Leamy et al., 1988).

IV.3.8.- Nitrógeno total.

Este fue determinado por el método Macro-Kjeldahl Regular (Etchevers, 1987).

IV.3.9.- Retención de fosfatos.

La retención de fosfatos, propiedad propuesta por el ICOMAND como de diagnóstico para Andosoles (Leamy et al., 1987), ha sido poco estudiada en Andosoles de México. Esta propiedad debe ser determinada mediante la metodología reportada por Blakemore et al. (1977), tal como lo señalan, tanto la FAO (1989), como el Soil Survey Staff (1990).

La metodología original marca el uso de "Superfloc" el cual tuvo que ser sustituido por 2 gotas de $BaCl_2$ al 10 % como agente floculante (Hidalgo y Etchevers, comunicación personal), ya que el reactivo original no fue posible conseguirlo en el país.

Para la extracción se pesaron 5 g de suelo (fracción menor de 2 mm, secada al aire) en un tubo de centrífuga de polipropileno de 50 ml y se añadieron 25 ml de solución de retención de fósforo (1 mg de fósforo por mililitro de solución; se disolvieron 8.8 g de fosfato diácido de potasio, 32.8 g de acetato de sodio anhidro en agua destilada y se añadieron 23 ml de ácido acético glacial y finalmente se aforó a 2 litros en un matraz volumétrico; el pH de la solución debe ser 4.6). Se tapó bien el tubo y se agitó por 24 horas a 20°C más o menos, se añadieron 2 gotas de un agente floculante ($BaCl_2$ al 10%) y se centrifugó a 2000 rpm durante 15 minutos.

Para la determinación del fosfato retenido se colocaron alícuotas de 1 ml de las soluciones stock de trabajo en tubos de 30 ml etiquetados (para preparar esta solución se pipetearon alícuotas de 0.0, 10.0, 20.0, 30.0, 40.0, y 50.0 ml de la solución de retención de fósforo en matraces de 50 ml aforando con agua destilada; estas soluciones contuvieron 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1.0 mg de P/ml; las que corresponden a 100, 80, 60, 40, 20 y 0 % de retención de fósforo respectivamente), y se les añadió 19.0 ml de ácido vanadomolibdato nítrico (100 ml de ácido nítrico concentrado se aforan a un litro con agua destilada, a esta solución se le añadió primero la solución de vanadato y después la solución de molibdato y se mezclaron bien; la solución de vanadato fue preparada disolviendo 0.8 g de vanadato de amonio en 500 ml de agua destilada a ebullición, y después se añadieron 6 ml de ácido nítrico concentrado y se aforó a un litro con agua destilada; y la solución de molibdato de amonio fue preparada disolviendo 16 g de molibdato de amonio en agua destilada a 50°C, enfriando y aforando a un litro), y se agitó cada tubo.

Se dejaron reposar durante 30 minutos y se determinó en un espectrofotómetro la absorbancia a una λ de 466 nm. La solución de referencia fue agua destilada. La absorbancia de las soluciones problema se realizó siguiendo el procedimiento anterior donde se sustituyó la solución stock de trabajo por el extracto de la muestra.

El cálculo de los resultados se realizó con base en la curva estandar que se obtuvo graficando el porcentaje de retención de fosfatos contra la absorbancia. En esta curva estandar se determinaron los valores de retención de fosfatos de las soluciones problema a partir de la absorbancia de las mismas.

Para tener cierta seguridad sobre los resultados en las determinaciones de porcentaje de retención de fosfatos y el porcentaje de aluminio más la mitad del hierro extraíbles con reactivo oxalato ácido, se realizaron estas determinaciones también sobre tres suelos de la misma región, pero con características muy diferentes a las de los Andosoles.

IV.3.10.- Aluminio y hierro activos o extraíbles con el reactivo oxalato ácido.

El método establecido tanto por la FAO como por el Soil Survey Staff, es el reportado por Blakemore et al. (1977). También en este caso, se tuvo que sustituir el Superfloc por el BaCl_2 al 10 % como agente floculante (Hidalgo y Etchevers, comunicación personal).

El método consiste en la extracción del aluminio y el hierro del suelo mediante el empleo del reactivo denominado oxalato ácido (este reactivo se prepara mezclando 1.0 partes de la solución de oxalato de amonio monohidratado 0.2 M con 0.75 partes de la solución de ácido oxálico dihidratado 0.2 M, ajustando el pH a 3, adicionando solución de oxalato de amonio o solución de ácido oxálico según sea necesario), y la posterior cuantificación de los dos metales en el extracto usando un equipo de absorción atómica.

Existen dos métodos de extracción, y la selección de alguno de éstos depende del contenido de aluminio, el método de la agitación y el método de la lixiviación. El método de agitación en relación 1:100 de suelo-oxalato ácido es recomendado si los valores esperados son mayores del 2 % de aluminio. El método de lixiviación en una relación de 1:40 de suelo-oxalato ácido es recomendado si se esperan valores menores al 2 % de aluminio.

El método de la agitación consiste en agitar 0.5 g de suelo (secado al aire, fracción menor a 2 mm) con 50 ml de reactivo oxalato ácido dentro de un tubo de 50 ml con tapa en un agitador de acción recíproca, durante 4 horas (en la oscuridad), se añade una gota de cloruro de bario al 10 %, y se agita vigorosamente, se centrifuga durante 5 minutos a 2000 rpm, se filtra a través de un papel Whatman número 42 y se colectan 50 ml del filtrado. Es importante incluir una prueba testigo (blanco) en todo el procedimiento.

El método de la lixiviación consiste en lixiviar 190 ml de reactivo oxalato ácido del suelo retenido en tubo de lixiviación y colectar el lixiviado en un matraz volumétrico de 200 ml y aforarlo con reactivo oxalato ácido.

Para la cuantificación es necesaria la preparación de las

curvas patrón para aluminio (concentración del estandar de aluminio, 1000 mg/ml de Al) y hierro (concentración del estandar de hierro 1000 mg/ml de Fe), éstas se construyen empleando los estándares respectivos.

La preparación de estándares de trabajo se realiza añadiendo 0, 1, 2, 6, 10, 15 y 20 ml de solución patrón de aluminio o hierro (según sea el caso), en matraces de aforación de 200 ml correctamente etiquetados, se añaden posteriormente 10 ml de solución de cloruro de cesio (12.65 g de cloruro de cesio grado reactivo analítico, en 500 ml de agua destilada), 40 ml del reactivo oxalato ácido, 4 ml de ácido clorhídrico concentrado y se afora con agua destilada.

La metodología empleada para este trabajo consistió en la detección de las concentraciones de aluminio y hierro en el extracto que se preparó al diluir las muestras en proporción 1:4 (factor de dilución 5) usando una solución preparada con 1.6 g de cloruro de cesio grado reactivo analítico y 25 ml de ácido clorhídrico concentrado aforado a un litro con agua destilada, esta proporción de dilución da un rango 0 - 5 % de aluminio o hierro en el suelo para el método de agitación, que fue el que se empleó en este trabajo, y de 0 - 2 % para el método de lixiviación (si los suelos contienen cantidades mayores del 5 % de aluminio o hierro extraíble y no es posible ubicar estos valores en la curva de calibración se debe tomar el factor de dilución 20, 1.35 g de cloruro de cesio grado reactivo analítico en 190 ml de reactivo oxalato ácido y 21 ml de ácido clorhídrico concentrado aforado a un litro con agua destilada).

Se midieron las concentraciones de aluminio y hierro en los extractos con un espectrofotómetro de absorción atómica marca Varian AA1475, usando una flama moderadamente rica en óxido nitroso-acetileno.

El cálculo de los resultados es descrito a continuación:

$$(\text{mg/ml en la solución final})(\text{factor de dilución; 5 ó 20}^*)/(100) =$$

$$\% (\text{Fe o Al}).$$

Si se emplea el método de lixiviación los cálculos se realizarán como se describe a continuación:

$$\frac{(\text{mg/ml en la solución final})(\text{factor de dilución; } 5 \text{ ó } 20^{**})}{(250)} = \% (\text{Fe o Al}).$$

*) Para 5 por dilución (1:4 mg/ml)/(20) = %(Fe o Al), y para 20 por dilución (1:19 mg/ml)/(5) = %(Fe o Al).
**) para 5 por dilución (1:4 mg/ml)/(50) = %(Fe o Al) y para 20 por dilución (1:19 mg/ml)/(12.5) = %(Fe o Al).

IV.3.11.- pH en NaF.

Se utilizó el procedimiento propuesto por Fieldes y Perrott (1966), en el cual se indica que 1 g de suelo seco al aire, tamizado a través de una malla de 2 mm y contenido un vaso de plástico de 100 ml, se trató con 50 ml de una solución de NaF 1 N (Soil Conservation Service, 1984). La suspensión se agitó por un minuto y luego el pH se determinó potenciométricamente. Para hacer las mediciones los electrodos se sumergieron en el tercio superior de la suspensión a los 2 minutos y a los 60 minutos después de haber adicionado la solución de NaF.

IV.3.12.- pH.

El pH de las muestras se determinó por el método potenciométrico, empleando 20 g de suelo, el cual se agitó en 40 ml de agua o de solución 1 N de KCl (relación 1:2) según el caso, dejando reposar 30 minutos y procediendo a medir el pH después de este tiempo con el potenciómetro (Goijberg y Aguilar, 1987).

IV.3.13.- Capacidad de intercambio catiónico.

Este parámetro se determinó por el método de saturación de amonio, se usaron 10 g de suelo los cuales se saturaron con 250 ml de acetato

de amonio, después se filtró y se realizaron lixiviados subsecuentes con acetato de amonio neutro, se filtró, lixiviándose nuevamente con cloruro de amonio y después con cloruro de sodio acidificado, a la solución obtenida se le añadió ácido bórico al 2 % y se destiló, posteriormente se tituló con ácido sulfúrico (Aguilar, 1987).

IV.3.14.- Bases intercambiables y porcentaje de saturación de bases.

Las bases cambiables fueron extraídas con una solución de acetato de amonio 1 N, pH 7. El sodio y el potasio se cuantificaron por espectroscopía de emisión de flama (flamometría), el calcio y el magnesio por titrimetría con EDTA, empleando como indicadores murexida y negro de eriocromo T (Aguilar, 1987; Dominguez y Aguilera, sin fecha).

El porcentaje de saturación de bases (%V), se calculó a partir de los resultados obtenidos de Na, K, Ca y Mg intercambiables, y Capacidad de intercambio catiónico, utilizando la relación matemática:

$$(\%V) = \frac{\text{(Suma de las Bases intercambiables)}}{\text{(Capacidad de Intercambio Catiónico)}} \quad (100)$$

IV.4.- ANALISIS MINERALOGICO.

Consistió en acciones efectuadas en colaboración y con apoyo de personal de investigación de las siguientes instituciones: Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas, Instituto de Ciencias de la BUAP; Laboratorio de Investigación en Edafología, Departamento de Biología de la Facultad de Ciencias de la UNAM; Departamento de Edafología, Instituto de Geología de la UNAM; y, Centro de Ciencias Medioambientales, Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España.

IV.4.1.- Preparación de las muestras para el análisis mineralógico.

La preparación de las muestras de suelo y de arcilla para el análisis mineralógico, se realizó mediante las técnicas establecidas en el Centro de Ciencias Medioambientales del C.S.I.C. (Aleixandre, 1960; Pérez-Mateos, 1965; Aleixandre y Pinilla, 1968).

A 100 g de suelo secado a la temperatura ambiente, se les agregaron 500 ml de solución de hexametáfosfato sódico al 0.7 %, y se dejaron en reposo durante 12 horas para favorecer su dispersión. Posteriormente la muestra se pasó a través de un tamiz de malla de 50 μm , lavando el residuo abundantemente con agua desionizada y recogiendo toda la suspensión del lavado, conteniendo el limo y la arcilla, en vasos de precipitados de 3000 ml. El lavado se continuó hasta que el agua salió completamente libre de partículas, quedando en el tamiz recogida toda la arena que fue colocada en una cápsula de porcelana tarada y se secó en una estufa a 105°C, durante 24 horas. La suspensión de las fracciones limo y arcilla, se dejó sedimentar durante 72 horas, transvasándose a continuación la arcilla en suspensión, quedando en el fondo del vaso toda la fracción limo con parte de la arcilla; este material se transfirió a vasos Berzelius de 400 ml. El limo más la arcilla restantes contenidos en el vaso de 400 ml se pusieron nuevamente en suspensión, dejándose reposar otras 72 horas y nuevamente se separó el limo de la arcilla restante, esta operación se repitió hasta obtener el limo sedimentado libre de arcilla. El limo se dejó secar a temperatura ambiente.

La fracción arcilla suspendida en el vaso de precipitados de 300 ml, se concentró filtrándola en un tren de bujías de Chamberlain con una sensibilidad de paso de 0.1 μm , secando la arcilla en baño de agua a temperatura no mayor de 40°C.

IV.4.2.- Análisis químico elemental de las fracciones tierra fina y arcilla.

Se realizó el análisis químico elemental de las fracciones tierra fina (<2mm) y arcilla (<0.002mm) mediante métodos de Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X, el equipo utilizado fue un Espectrómetro Secuencial SIEMENS SRS 300 con tubo de Rh. La fracción tierra fina se analizó empleando el método de la "Pastilla prensada" y la fracción arcilla por el método de la "Perla" (Vanden Huevel, 1965).

IV.4.3.- Análisis por Espectroscopía Infrarroja de la fracción arcilla.

Para este análisis, se elaboraron pastillas conteniendo 1 mg de la fracción arcilla (sin eliminar materia orgánica), pulverizada en un mortero de ágata y mezclada con 200 mg de KBr grado espectroscópico desecado a 450°C (Van der Marel y Beutelspacher, 1976). Los espectros fueron corridos entre 4000 y 200 cm^{-1} , empleando un Espectrofotómetro de Infrarrojo Perkin-Elmer 683 de doble haz con su Estación de Datos modelo 3500.

IV.4.4.- Análisis por Microscopía Electrónica de Transmisión de la fracción arcilla.

Las muestras de la fracción arcilla sin eliminar materia orgánica se dispersaron por medio de vibración ultrasónica, la suspensión obtenida se colocó, con auxilio de una micropipeta, en las rejillas de cobre, utilizando como soporte una película de carbón (Beutelspacher y Van der Marel, 1968). Para obtener las microfotografías electrónicas se utilizó un Microscópio Electrónico de Transmisión Philips Mod. 300, operado a 80 kV, con un rango de aumentos de 15960 a 39000.

IV.4.5.- Análisis por Difracción de Rayos X de la fracción arcilla.

Para el análisis por Difracción de Rayos X de la fracción arcilla, las muestras fueron preparadas eliminándoles la materia orgánica por digestión con H_2O_2 al 30 % en baño de agua y, posteriormente, pulverizándolas en un mortero de ágata. Se emplearon dos métodos analíticos, el de Polvo Desorientado y el de Agregados Orientados (Whittig, 1965; Brindley y Brown, 1980). El equipo utilizado fue un Difractómetro Philips modelo PW 1130/00, empleando radiación de Cobre ($K\alpha$, $\lambda = 1.541838$).

V.- RESULTADOS Y DISCUSION.

V.1.- CARACTERISTICAS AMBIENTALES Y MORFOLOGICAS.

Los suelos formados de material de origen volcánico han demandado particular atención, por muchas razones, como lo son su distribución geográfica, su origen fácilmente identificable, y sus propiedades distintivas. En esta parte del trabajo, se intenta resumir las principales características ambientales y morfológicas comunes a la mayoría de los Andosoles para tener una referencia en la discusión de los resultados obtenidos para los Andosoles de la región de Teziutlán.

V.1.1.- Ambiente y morfología de los Andosoles.

La morfología de los Andosoles y las condiciones ambientales de los sitios donde se localizan, han sido muy estudiadas por muchos autores en diferentes partes del mundo. Es común para estos suelos tener un nombre local, como Trumao y ñadis en Chile, Kurobokudo en Japón o Topuri en el Estado mexicano de Michoacán. Estos nombres con frecuencia se derivan de los rasgos distintivos de la morfología del suelo e identifican propiedades, las cuáles, distinguen a los Andosoles de los suelos con los que están asociados.

Muchas de las características morfológicas de los Andosoles son lo suficientemente específicas y particulares como para identificarlos y diferenciarlos de otros suelos, pero ésto no significa que estas características morfológicas sean idénticas en todas partes, por lo que a la fecha, no ha sido posible compilar una especificación morfológica detallada en el nivel de orden (Leamy et al., 1980), sin embargo, las siguientes generalizaciones capturan las características morfológicas esenciales de muchos de estos suelos como las han percibido investigadores de Japón, Nueva Zelanda, Estados Unidos de Norteamérica y de América Latina (Wright, 1965; Forsythe et al., 1969).

Son suelos profundos, con frecuencia están estratificados como un resultado de acumulaciones periódicas de materiales piroclásticos, los horizontes superiores son de colores más oscuros y más delgados que aquellos suelos de materiales no volcánicos; los subsuelos varían de colores pardos a amarillos y tienen una consistencia untuosa al tacto;

las texturas son predominantemente limosas; estructura de migajón o granular en la superficie del suelo, y de bloques subangulares en el subsuelo.

En la descripción de la morfología de los Andosoles se ha puesto especial atención, en las características siguientes.

V.1.1.1.- Textura de Campo. Un rasgo notable de los Andosoles es que a pesar de su alto porcentaje en contenido de la fracción arcilla, el material del suelo no es pegajoso, la textura de campo es rápidamente identificada y descrita por expertos pedólogos como: resbalosa, grasosa, jabonosa, embarrosa o untuosa (Leamy et al., 1980); ésto es, muy diferente de la sensación de arcilla típica que provocan los suelos que contienen minerales arcillosos cristalinos, como lo son la caolinita, montmorillonita o haloisita. Aunque aparentemente bien drenado, el suelo puede tener un alto contenido de humedad el cual puede ser fácilmente sentido por los dedos (tixotropía). El suelo tiene plasticidad, pero no se adhiere a los dedos, como cuando se prueban suelos que contienen arcillas bien cristalizadas. Esto es lo que imparte la sensación grasosa en el estado húmedo y la sensación de una textura limosa. Cuando los suelos están secos pierden su sensación grasosa y se convierten en friables y pulverulentos. Esta textura de campo distintiva está relacionada con los contenidos de alofano y con la reacción positiva a la prueba de campo de alofano de Fieldes y Perrott (1966), los Andosoles dominados por material volcánico vítrico no tienen estas propiedades (Leamy et al., 1980).

V.1.1.2.- Consistencia. Como con la textura de campo, la consistencia de los Andosoles es más común describirla como mullida, y aunque esta propiedad es probablemente un reflejo de la baja densidad y alta porosidad, es una característica morfológica fácilmente detectable (Leamy et al., 1980).

La presencia de la Imogolita en los Andosoles, identificada particularmente en Japón (Yoshinaga y Aomine, 1962) y Chile (Besoain, 1969), también parece tener un efecto sobre la consistencia del suelo; por ejemplo en las regiones templadas de Chile,

la presencia de imogolita está asociada con suelos extremadamente friables, a pesar del muy alto porcentaje de agua en el suelo drenado libremente. El horizonte B está compuesto de diminutos agregados redondos y el suelo es mullido, suelto y muy suave; además, el agua parece ser absorbida o perdida en la misma forma que en los suelos jóvenes de haloisita, en éstos, la retención de agua es alta, del 100% o más, pero después de secar al aire el suelo es capaz de reabsorber la mayoría del agua, mientras que donde domina el alofano el agua se pierde irreversiblemente.

V.1.1.3.- Formación de suelos por diferentes aportes de materiales piroclásticos. La acumulación intermitente de ceniza volcánica u otros materiales piroclásticos tiene un considerable impacto en la génesis y la morfología de los Andosoles (Aguilera, 1969; Leamy et al., 1980). En las regiones volcánicas activas es común encontrar suelos que tengan depósitos de materiales piroclásticos y suelos sepultados dentro de la sección de control, la interpretación de la morfología de tales perfiles es un primer elemento en el desentrañamiento histórico de la actividad volcánica y han tenido una gran importancia en la investigación sobre cronología y estratigrafía de tefras, particularmente en Japón (Sasaki, 1974) y en Nueva Zelanda (Pullar y Birrell, 1973).

V.1.2.- Selección de los perfiles de suelo.

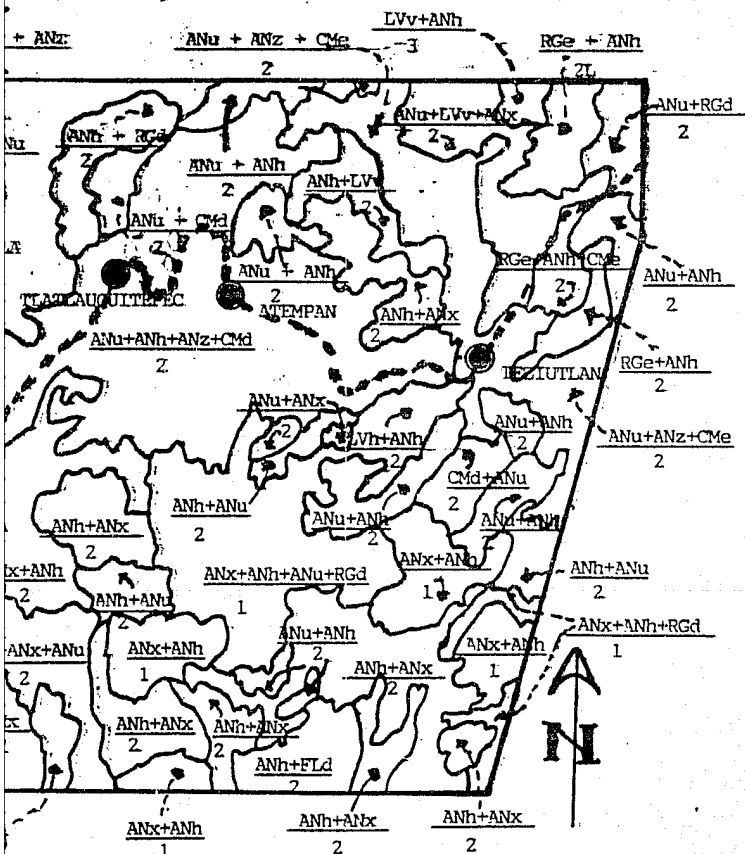
Para la selección de los perfiles de suelo comprendidos en este trabajo se partió de los estudios que son sus antecedentes, en particular, del inventario de suelos que se efectuó como parte del proyecto "Evaluación del Recurso Suelo de la Región de Teziutlán" (Valera et al., 1986a). En la figura V.1.2.1., se reproduce la porción de la carta de suelos donde aparecen representadas las unidades de suelos FAO (1989), resultantes del inventario.

Los resultados de realizar el inventario de los suelos de la región de Teziutlán, permitieron identificar como Andosoles a 52 de los perfiles descritos y analizados, los cuales fué posible organizar en dos grupos en función de sus características morfológicas, físicas y

ogía.

Biología.

de origen volcánico de la
México. (Calderón et al.,



SIMBOLOGIA.

- LIMITE DE LA REGION.
- LIMITE DE UNIDADES DE SUELO.
- POBLACION.
- - - - - CARRETERA.

CLAVE: $\frac{\text{ANh} + \text{FVh}}{2 \text{ L}}$ UNIDADES DE SUELO
CLASE TEXTURAL Y FASE FISICA.

Escala 1 : 400 000.

UNIDADES DE SUELO

ANDOSOL HAPLICO	ANh
ANDOSOL UMBRICO	ANu
ANDOSOL VITRICO	ANx
CAMBISOL DISTRICO	Cmd
CAMBISOL EUTRICO	CMe
FEOZEM HAPLICO	PHh
FLUVISOL DISTRICO	FLd
LEPTOSOL DISTRICO	LPd
LUVISOL CROMICO	LVx
LUVISOL HAPLICO	LVh
LUVISOL VERTICO	LVv
REGOSOL DISTRICO	RGd
REGOSOL EUTRICO	RGe

FASES FISICAS

LITICA	L
DURICA	D

CLASE TEXTURAL

GRUESA O ARENOSA	1
MEDIA O FRANCA	2
FINA O ARCILLOSA	3

uelo FAO/UNESCO (1989), correspon-
cánicos, en la región de Teziu-

químicas contra las condiciones ambientales de humedad a que están sometidos (clima, precipitación pluvial y regimen de humedad del suelo).

El límite de separación de ambos grupos de Andosoles fué establecido sobre la isoyecta de los 800 mm. Dentro de la zona 1, con precipitación menor de los 800 mm, quedaron ubicados 19 perfiles de Andosoles y en la zona 2, con precipitación mayor a los 800 mm, quedaron ubicados 33.

De la zona 1 se seleccionaron 7 perfiles y 6 de la zona 2 para comparar sus propiedades ándicas (Soil Survey Staff, 1990; FAO, 1989) y la composición mineralógica de su fracción arcilla. Los perfiles de Andosoles seleccionados en la zona 1 corresponden a los números 30, 35, 36, 41, 62, 63 y 84 del inventario de suelos de la región, en la zona 2 se trata de los perfiles número 6, 20, 87, 110, 111 y 118.

Para la selección de los perfiles de cada zona de Andosoles se estableció el criterio de representatividad en sus características con respecto a los demás, para esto fueron tomados en cuenta factores tales como: morfología, posición geográfica, condiciones ambientales, material parental y propiedades físicas y químicas.

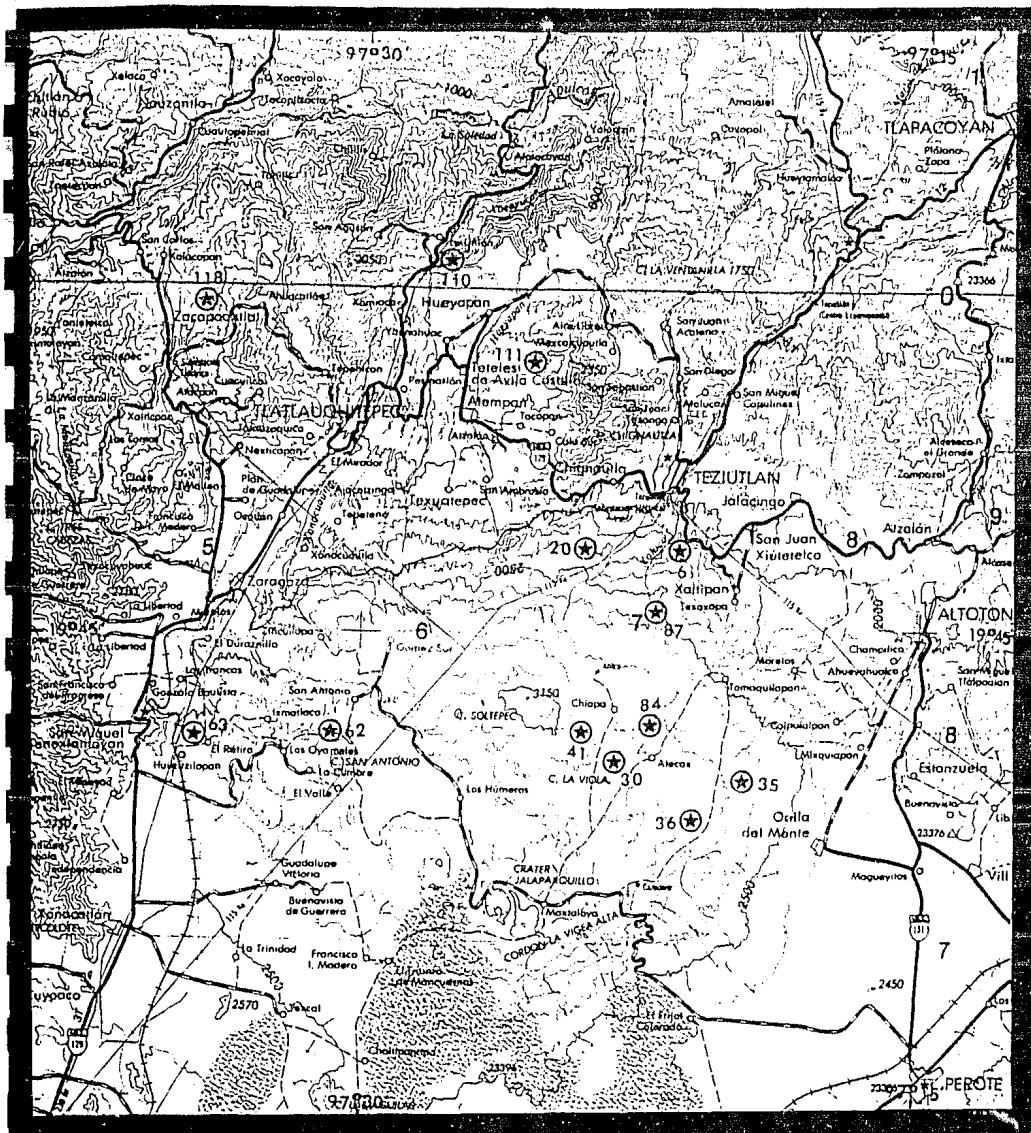
V.1.3.- Localización de los perfiles de suelo.

Las zonas de Andosoles en la región de Teziutlán están comprendidas en las cartas topográficas elaboradas por el INEGI (1984), en escala 1:50,000, y que corresponden a las claves E14B números 14, 15, 16, 24, 25 y 26. La región estudiada corresponde también a las fotografías aéreas, escala 1:50,000, de la zona 18A línea 3 rollo 303 fotos 12 a la 26, línea 4 rollo 563 fotos 4 a la 16, y línea 5 rollo 563 fotos 20 a la 30.

Los mapas temáticos escala 1:250,000 empleados para la definición de la zona de estudio corresponden a las claves E14-3. En el mapa de la figura V.1.3.1., se muestra la localización de los perfiles de suelo, este mapa fue elaborado tomando como base topográfica la que aparece publicada en la carta temática del INEGI (1984e) E14-3 en escala 1:250,000.

Figura V.1.3.1.- Localización de los perfiles de suelo en el mapa topográfico de la región de Teziutlán, Estado de Puebla.

S I M B C



REPRESENTACION DEL RELIEVE

- CURVA DE NIVEL ACOTADA EN METROS _____
- CURVA DE NIVEL ORDINARIA _____
- CURVA DE NIVEL AUXILIAR O SUPLEMENTARIA _____
- CURVA DE NIVEL APROXIMADA _____
- DEPRESION, COTA FOTOGRAFICA EN METROS _____

RASGOS HIDROGRAFICOS

- PERENNE, INTERMITENTE _____
- MAMANTAL, CORRIENTE QUE DESAPARECE _____
- SALTO DE AGUA _____
- LECHO DE RIO SECO, LAGUNA INTERMITENTE _____

AREAS SIMBOLIZADAS

- MASA DE AGUA: PERENNE, INTERMITENTE _____
- PANTANO, TERRENO SUJETO A INUNDACION _____
- SALINAS, MALPAIS _____
- DUNAS, ARENA _____
- CUBIERTA VEGETAL DENSA _____

RASGOS CULTURALES

- LIMITE INTERNACIONAL _____
- LINEA ELECTRICA _____
- CONDUCTO: SUPERFICIAL, SUBTERRANEO _____
- PUNTE, TUNEL _____
- ACUEDUCTO: SUPERFICIAL, SUBTERRANEO _____
- CANAL _____
- PRESA _____
- BORDO _____
- ESTACION HIDROMETRICA _____
- MINA, POZO, DEPOSITO _____
- TEMPLO EXTRAURBANO, FARO, BANCO DE VERTICE: DE PRIMER ORDEN, DE SEGUNDO _____

Tesis de Maestría en Ciencias,
Miguel Angel Valera Pérez.
UNAM, Facultad de Ciencias, D
Agosto de 1993.

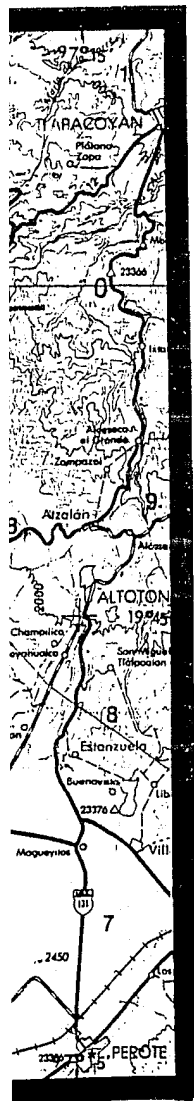
Base topográfica tomada de la

Escala 1 : 250 000.

PERFIL Y NUMERO DE PERFIL

n el
tebla.

SÍMBOLOS CONVENCIONALES



REPRESENTACION DEL RELIEVE

CURVA DE NIVEL ACOTADA EN METROS _____ 2300
 CURVA DE NIVEL ORDINARIA _____
 CURVA DE NIVEL AUXILIAR O SUPLEMENTARIA _____
 CURVA DE NIVEL APROXIMADA _____
 DEPRESION, COTA FOTOGRAMETRICA EN METROS _____ 2420

RASGOS HIDROGRAFICOS

PERENNE, INTERMITENTE _____
 MANANTIAL, CORRIENTE QUE DESAPARECE _____
 SALTO DE AGUA _____
 LECHO DE RIO SECO, LAGUNA INTERMITENTE _____

AREAS SIMBOLIZADAS

MASA DE AGUA: PERENNE, INTERMITENTE _____
 PANTANO, TERRENO SUJETO A INUNDACION _____
 SALINAS, MALPAIS _____
 DUHAS, ARENA _____
 CUBIERTA VEGETAL DENSA _____

POBLACIONES

LUGARES POBLADOS _____
 CON MAS DE 100 000 HABITANTES _____ **CHIHUAHUA**
 DE 40 001 A 100 000 _____ **ZAMORA**
 DE 15 001 A 40 000 _____ **GUANAJUATO**
 DE 2 501 A 15 000 _____ **Nicolás Bravo**
 DE MENOS DE 2 500 _____ **La Misión**
 RASGO CULTURAL IMPORTANTE _____ **Las Animas**

VIAS TERRESTRES

CARRERA DE MAS DE DOS CARRILES, CASETA DE PAGO _____ 3
 CARRERA PAVIMENTADA, DISTANCIA APROXIMADA EN Km _____ 27
 NUMERACION DE RUTA FEDERAL, ESTATAL _____
 TERRACERIA TRANSITABLE EN TODO TIEMPO _____
 TERRACERIA TRANSITABLE EN TIEMPO SECO _____
 BRECHA, VEREDA _____
 FERROCARRIL DE SERVICIO PUBLICO, ESTACION _____
 OTRAS VIAS FERREAS _____

RASGOS CULTURALES

LIMITE INTERNACIONAL _____
 LINEA ELECTRICA _____
 CONDUCTO: SUPERFICIAL, SUBTERRANEO _____
 PUENTE, TUNEL _____
 ACUEDUCTO: SUPERFICIAL, SUBTERRANEO _____
 CANAL _____
 PRESA _____
 BORDO _____
 ESTACION HIDROMETRICA _____
 MINA, POZO, DEPOSITO _____
 TEMPLO EXTRAURBANO, FARR, BANCO DE MATERIAL _____
 VERTICE: DE PRIMER ORDEN, DE SEGUNDO O TERCER ORDEN _____ Δ EL TIGRE Δ 12316

Testa de Maestría en Ciencias, Edafología.
 Miguel Angel Valera Pérez.
 UNAM, Facultad de Ciencias, Depto. de Biología.
 Agosto de 1993.

Base topográfica tomada de la Carta E14-3 (INEGI, 1982).

Escala 1 : 250 000.

PERFIL Y NUMERO DE PERFIL DE SUELO. ★ 35

V.1.4.- Resultados y discusión sobre el ambiente y la morfología de los Andosoles de la región de Teziutlán.

Con respecto a los Andosoles de la región de Teziutlán (en las tablas de la V.1.4.1. a la V.1.4.13. y fotografías de la V.1.4.1. a V.1.4.13. se pueden apreciar algunas de sus características ambientales y morfológicas). Estos Andosoles fueron formados durante diferentes épocas y bajo diferentes condiciones.

Actualmente podemos observar diferencias importantes en factores como la altitud, la cual varió de cerca de 3000 msnm en las partes altas, como el cerro Los Oyameles (2940 en el perfil 62), a cerca de 1000 msnm, en las proximidades de la presa "La Soledad" (1540 en el perfil 110); el material parental, todo piroclástico pero de diferente composición químico-mineralógica, pues los suelos se originan desde toba ácida (perfiles 6, 62, 63, y 110), toba básica (perfiles 20, 84, 87 y 111), brecha volcánica básica (perfiles 30, 35, 36 y 41) y ceniza (perfil 118); la exposición del perfil en la topografía varió de exposición sur (perfil 41), sureste (perfiles 35, 36, 84 y 111), suroeste (perfiles 30, 62 y 118), noroeste (perfiles 63 y 87) y este (perfiles 6, 20 y 110). Con respecto a la vegetación, la mayoría de los Andosoles se desarrollaron sosteniendo una vegetación natural de Bosque de Pino y Encino (perfiles 20, 30, 35, 36, 41, 63, 84 y 87), en las partes más altas y húmedas sosteniendo Bosque de Pino y Oyamel (perfil 62) y en las partes bajas Bosque de Pino y Encino asociado con Bosque Mesófilo de Montaña (perfiles 110, 111 y 118).

En estos Andosoles, se observa una relación importante entre el desarrollo y la profundidad de los suelos con el factor climático de precipitación media anual, es posible observar que los cambios más significativos en la morfología de los perfiles de suelo pueden ser más fácilmente asociados con la precipitación media anual, esto es comprensible si recordamos que la precipitación se encuentra íntimamente ligada con la humedad del suelo; a mayor humedad mayor intemperismo y por consiguiente el suelo se ha desarrollado más. Como ya se mencionó en el párrafo V.1.2., fue posible reconocer dos grupos diferentes de Andosoles en esta región, el límite entre ambos grupos

fué establecido sobre la isoyecta de los 800 mm, los perfiles 30, 35, 36, 41, 62, 63 y 84, corresponden a la zona 1 (precipitación < 800 mm), y los perfiles 6, 20, 87, 110, 111 y 118, corresponden a la zona 2 (precipitación > 800 mm).

Los 19 perfiles de suelo de la zona 1 son en su mayoría, Andosoles con poco desarrollo edáfico (vítricos 68 %, háplicos 26 %, úmbricos 6 %), se encuentran sometidos a una precipitación media anual entre 600 y 800 mm, presentan el solum relativamente poco profundo pues solo el 10 % de los perfiles lo mostraron mayor a los 100 cm, predominan los epipedones ócricos (79 %) sobre los úmbricos (21 %). En contraste, los Andosoles de la zona 2, sometidos a una precipitación entre los 800 y los 1200 mm, presentaron morfologías típicas para este orden de suelos, pues en los 33 perfiles de suelo analizados predominaron los Andosoles úmbricos (73 %) sobre háplicos (9 %) y vítricos (9 %), con un solum de más de 100 cm de profundidad (67 %) y en muchos casos con más de 200 cm (24 %), el 82 % de los suelos presentaron epipedón úmbrico y solo el 18 % epipedón ócrico.

Es importante señalar que los epipedones ócricos no pudieron calificar para úmbricos porque no cumplen con el criterio de espesor mínima de 18 cm que establecen tanto la FAO (1989) como la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1990). Como el porcentaje de saturación de bases siempre resultó menor al 50 %, ninguno de los epipedones pudo calificar como mólico (ver tablas de la V.2.1.1. a la V.2.1.13.). En lo referente al epipedón melánico, tampoco calificó ningún horizonte pues no cumplen con los requisitos de color e índice melánico solicitados por la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1990) esto corresponde perfectamente con el origen de los ácidos húmicos, que en nuestro caso corresponden a aquellos formados a partir de restos de vegetación forestal, principalmente de coníferas (Honna et al., 1983). Otros aspectos significativos son, que de los 52 perfiles de Andosol, solo 6 no presentaron horizonte B cámbico y ninguno presentó duripán o fragipán.

Todos los suelos dieron reacción positiva a la prueba del NaF (Fieldes y Perrott, 1966), variando la reacción entre muy débil y moderada en los suelos del primer grupo, con características vítricas

muy marcadas (perfiles 30, 35, 62 y 63), y de muy fuerte a moderada en el resto de los Andosoles. También se puede apreciar una tendencia a aumentar la intensidad de la reacción al NaF en los horizontes B con respecto a los horizontes A, y una débil reacción en los C. En el caso de la reacción al HCl, prácticamente ninguno de los suelos dió reacción positiva, a pesar de la evidente interacción de los suelos con materiales calcáreos en los límites entre las zonas de origen volcánico y las de origen sedimentario del periodo cretácico inferior, lo cual esta evidenciando un marcado proceso de pérdida de bases del suelo debido a un fuerte intemperismo ocasionado por la condición climática, y tal vez también acelerado el proceso por una explotación agrícola excesiva del recurso y una explotación irracional de los bosques.

En nuestro caso, ya sea porque los Andosoles poseen una elevada capacidad de retención de humedad, por las características climáticas de la zona o por la época del año en que se realizó el trabajo de campo, los suelos siempre presentaron condiciones de humedad que fueron estimadas como alrededor de la capacidad de campo.

La estructura predominante del suelo, tanto en los epipedones como en los endopedones, fué de bloques subangulares, donde su desarrollo varió entre débil y moderado dependiendo de la disminución en las características vítricas de los suelos, esta estructura ha sido poco alterada por el uso del suelo debido seguramente a la ausencia de una agricultura mecanizada, se observó que aún se conservan muchas características de suelo forestal, lo que nos esta indicando el tiempo relativamente reciente en que ha sido destinado a una explotación agrícola intensiva. Las estructuras granular y migajosa, reportadas como típicas en los epipedones de Andosoles (Leamy et al., 1980; Wada, 1985), solo fueron presentadas excepcionalmente por Andosoles de la región de Teziutlán (perfil 6, tabla V.1.4.8.).

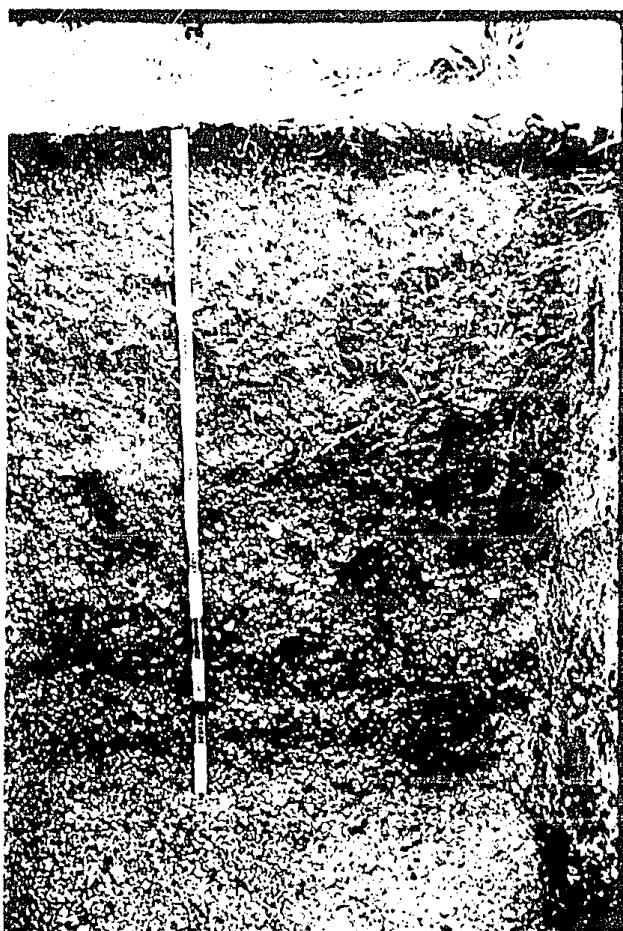
La consistencia en húmedo de los peds fue de muy friable a friable con adhesividad y plasticidad de ligera a moderada, la sensación del suelo húmedo al tacto fue en la mayoría de los casos descrita como grasosa o jabonosa, que es una propiedad mencionada repetidamente por diferentes autores al referirse a los Andosoles, sin embargo en nuestro caso, esta sensación estuvo en muchos casos asociada

también con la proporcionada por la presencia de abundantes partículas de arena fina y gruesa. Tomando en cuenta estas observaciones, la textura de campo fue clasificada en la mayoría de los horizontes A de los suelos como franco areno-limosa, franca, franco limo-arenosa y franco limosa. En los horizontes B, A y B sepultados (Ab y Bb) se aprecia un aumento en la cantidad de partículas más finas por lo que las texturas de campo, en general, corresponden a franco arcillo-arenosas, sin embargo, este cambio textural solo es suficiente para que, en el caso de los horizontes B, éstos sean considerados como cámbicos y no como argílicos, lo cual es reforzado por la ausencia de cutanes y facetas de fricción/presión, que son consideradas evidencias de una fuerte acumulación de arcilla de tipo iluvial, típica del horizonte argílico. Con respecto a las capas C, la textura de campo resultó ser fundamentalmente arenosa, con abundante presencia de vidrio volcánico y en muchas ocasiones la arena estuvo formada casi exclusivamente de este material. Por último, cabe señalar que prácticamente todos los Andosoles de la región de Teziutlán, entran dentro de la clase textural 2 de acuerdo con lo establecido por la FAO (1989).

La importante presencia de suelos sepultados es marcadamente evidente al analizar los perfiles de suelo de la zona 2, por ejemplo los de los perfiles 6, 20, 110, 111 y 118 (ver tablas de resultados y fotografías), en algunos casos, estos suelos sepultados son también Andosoles formados con anterioridad y posteriormente sepultados por nuevas emisiones de material piroclástico que dió origen a otro suelo, sin embargo, en muchos casos se trata de suelos diferentes a Andosoles, o de rocas que son origen de una discontinuidad litológica (perfil 111, capas C). Una asociación comunmente encontrada fué la que un Andosol sepultara a un Luvisol, y en ocasiones se mezclara íntimamente en algunos horizontes, este fenómeno también ha podido ser apreciado en suelos de los Estados de Michoacán, Veracruz, Guerrero y Morelos (observación personal), donde los Luvisoles pueden ser considerados como Paleosuelos.

Una mención muy especial merece el caso del suelo del perfil 118 (ver tabla de resultados y fotografía), donde es posible detectar

la presencia de un mínimo de tres ciclos de suelo diferentes. El suelo superficial es un Andosol, pues en sus primeros 36 cm presenta propiedades ándicas. Las elevadas cantidades de arcilla, cutanes y facetas de fricción, presentes en algunos de sus diferentes horizontes sepultados, justifican que éstos sean calificados como argílicos y por consiguiente se proponga formen parte de un Luvisol y no de un Andosol. Este sería un buen ejemplo de la asociación Andosol-Luvisol referida en el párrafo anterior.



Fotografía V.1.4.1.- Perfil No. 30.
Andosoles de la región de Teziutlán,
Estado de Puebla.

Tabla V.4.1.1.- Algunas características ambientales y morfológicas del perfil No. 30.

MUNICIPIO: XIUTETELCO.
LOCALIDAD: ATECAX.

DESCRIPCION DE CONDICIONES AMBIENTALES

ALTITUD: 2915 msnm.
PRECIPITACION MEDIA ANUAL: 700 mm.
TEMPERATURA MEDIA ANUAL: 16°C.
CLIMA: C(w₂).
PROVINCIA FISIOGRAFICA: EJE NEOVOLCANICO.
SUBPROVINCIA FISIOGRAFICA: LAGOS Y VOLCANES DE ANAHUAC.
SISTEMA DE TOPOFORMAS: LOMERIOS.
GEOLOGIA: CUATERNARIO.

DESCRIPCION DE LAS CONDICIONES GENERALES DEL PERFIL

MATERIAL PARENTAL: BRECHA VOLCANICA BASICA.
ROCA SUBYACENTE: BRECHA VOLCANICA BASICA.
EDAD: MADURO.
RELIEVE: LEVEMENTE ONDULADO.
MODO DE FORMACION: RESIDUAL.
PENDIENTE: 10 %.
EXPOSICION: SUROESTE.
CLASE DE PEDREGOSIDAD: NULA.
CLASE DE AFLORAMIENTOS ROCOSOS: NULOS.
CLASE DE DRENAJE EXTERNO: DRENADO.
CLASE DE EROSION: HIDRICA LAMINAR.
GRADO DE EROSION: MODERADO.
AREA EROSIONADA (%): 20.
INFLUENCIA HUMANA: MODERADA.
FACTORES NOCIVOS: NINGUNO.
FORMACION VEGETAL: PASTIZAL INDUCIDO Y BOSQUE DE PINO.

Continuación de la tabla V.4.1.1.

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL				
1. HORIZONTE O CAPA:	1	2	3	4
2. PROFUNDIDAD (cm)				
LIMITE SUPERIOR:	0	5	50	60
LIMITE INFERIOR:	5	50	60	131
3. SEPARACION				
CONTRASTE:	ABRUPTA	DIFUSA	ABRUPTA	
FORMA:	PLANA	ONDULADA	ONDULADA	
4. REACCIONES				
HCl:	NULA	NULA	NULA	NULA
NaF:	DEBIL	DEBIL	DEBIL	
5. HUMEDAD APARENTE:	H U M E D O			
6. ESTRUCTURA				
FORMA:	BLOQUES	BLOQUES	BLOQUES	
	SUBANGU-	SUBANGU-	SUBANGU-	
	LARES	LARES	LARES	
TAMAÑO:	MUY FINA	FINA	FINA	
DESARROLLO:	DEBIL	DEBIL	DEBIL	
7. POROSIDAD				
CONSTITUCION:	POROSO	POROSO	POROSO	
	FINO	FINO	FINO	
CANTIDAD:	ESCASA	ESCASA	ESCASA	
11. COLOR EN HUMEDO:	10YR	7.5YR	10YR	
	2/1	4.5/4	5/6	
12. CONSISTENCIA				
HUMEDO:	MUY	MUY	MUY	
	FRIABLE	FRIABLE	FRIABLE	
13. ADHESIVIDAD:	NULA	LIGERA	NULA	
14. PLASTICIDAD:	NULA	LIGERA	NULA	

Continuación de la tabla V.4.1.1.

1.HORIZONTE O CAPA:	1	2	3	4
16.TEXTURA AL TACTO:	FRANCO LIMOSA	FRANCO ARCILLO- ARENOSA	FRANCO ARENOAR- CILLOSA	
ESQUELETO DEL SUELO				
17.GRAVA				
FORMA:	SUBRE- DONDEA- DAS	SUBRE- DONDEA- DAS	SUBRE- DONDEA- DAS	
CANTIDAD:	ESCASAS	FRECUE- TES	FRECUE- TES	
20.ALTERACION Y NATURALEZA:		ALTERADAS POMEZ		
27.RAICES FINAS:	ABUNDAN- TES	ABUNDAN- TES	FRECUE- TES	
28.SUPERFICIE:		EROSIONADA		
29.DRENAJE INTERNO:		DRENADO		
HORIZONTE DE CAMPO:	A1	B21	B22	C1
DENOMINACION DE HORIZONTES DE CAMPO:	OCRICO	CAMBICO		
CLASE TEXTURAL:		2		



Fotografía V.1.4.2.- Perfil No. 35.
Andosoles de la región de Teziutlán,
Estado de Puebla.

Tabla V.4.1.2.- Algunas características ambientales y morfológicas del perfil No. 35.

MUNICIPIO: XIUTETELCO.
 LOCALIDAD: LA CAÑADA.

DESCRIPCION DE CONDICIONES AMBIENTALES

ALTITUD: 2740 msnm.
 PRECIPITACION MEDIA ANUAL: 700 mm.
 TEMPERATURA MEDIA ANUAL: 16°C.
 CLIMA: C(w₂).
 PROVINCIA FISIOGRAFICA: EJE NEOVOLCANICO.
 SUBPROVINCIA FISIOGRAFICA: LAGOS Y VOLCANES DE ANAHUAC.
 SISTEMA DE TOPOFORMAS: LOMERIOS.
 GEOLOGIA: CUATERNARIO.

DESCRIPCION DE LAS CONDICIONES GENERALES DEL PERFIL

MATERIAL PARENTAL: TOBA BASICA.
 ROCA SUBYACENTE: TOBA BASICA.
 EDAD: MADURO.
 RELIEVE: LEVEMENTE ONDULADO.
 MODO DE FORMACION: RESIDUAL.
 PENDIENTE: 2 %.
 EXPOSICION: SURESTE.
 CLASE DE PEDREGOSIDAD: MODERADAMENTE PEDREGOSA.
 CLASE DE AFLORAMIENTOS ROCOSOS: NULOS.
 CLASE DE DRENAJE EXTERNO: IMPERFECTAMENTE DRENADO.
 CLASE DE EROSION: EOLICA E HIDRICA LAMINAR.
 GRADO DE EROSION: MODERADO.
 AREA EROSIONADA (%): 30.
 INFLUENCIA HUMANA: MODERADA.
 FACTORES NOCIVOS: NINGUNO.
 FORMACION VEGETAL: PASTIZAL INDUCIDO Y BOSQUE DE PINO.

Continuación de la tabla V.4.1.2.

DESCRIPCION DEL PERFIL				
1. HORIZONTE O CAPA:	1	2	3	4
2. PROFUNDIDAD (cm)				
LIMITE SUPERIOR:	0	8	28	75
LIMITE INFERIOR:	8	28	75	130
3. SEPARACION				
CONTRASTE:	ABRUPTA	ABRUPTA	ABRUPTA	
FORMA:	PLANA	ONDULADA	ONDULADA	
4. REACCIONES				
HCl:	NULA	NULA	NULA	NULA
NaF:	MUY DEBIL	DEBIL	MODERADA	
5. HUMEDAD APARENTE:	H U M E D O			
6. ESTRUCTURA				
FORMA:	BLOQUES SUBANGU- LARES	BLOQUES SUBANGU- LARES	BLOQUES SUBANGU- LARES	
TAMAÑO:	MEDIO	MEDIO	MEDIO	
DESARROLLO:	DEBIL	DEBIL	DEBIL	
7. POROSIDAD				
CONSTITUCION:	POROSO FINO	POROSO FINO	POROSO FINO	
CANTIDAD:	ESCASA	ESCASA	ESCASA	
11. COLOR EN HUMEDO:	10YR3/2	10YR4/4	10YR4/6	
12. CONSISTENCIA				
HUMEDO:	FRIABLE	FRIABLE	FRIABLE	
13. ADHESIVIDAD:	LIGERA	LIGERA	MODERADA	
14. PLASTICIDAD:	LIGERA	LIGERA	LIGERA	

Continuación de la tabla V.4.1.2.

1.HORIZONTE O CAPA:	1	2	3	4
16.TEXTURA AL TACTO:	FRANCO LIMO ARENOSA	FRANCO ARCILLO ARENOSA	FRANCO ARCILLO ARENOSA	
ESQUELETO DEL SUELO				
17.GRAVA	/ / / / /			
FORMA:	REDON- DEADAS	REDON- DEADAS	REDON- DEADAS	
CANTIDAD:	ESCASA	ESCASA	ESCASA	
18.GUIJARROS	/ / / / /			
FORMA:			SUBAN- GULARES	
CANTIDAD:			FRECUEN- TES	
20.ALTERACION Y NATURALEZA:	SANAS Y LIGERAMENTE ALTERADAS TOBA BASICA.			
27.RAICES	/ / / / /			
FINAS:	ABUNDAN- TES	ABUNDAN- TES	FRECUEN- TES	FRECUEN- TES
28.SUPERFICIE:	GRAVOSA			
29.DRENAJE INTERNO:	DRENADO			
HORIZONTE DE CAMPO:	A1	B1	B2	C
DENOMINACION DE HORIZONTES DE CAMPO:	OCRICO	CAMBICO		
CLASE TEXTURAL:	2			



Fotografía V.1.4.3.- Perfil No. 36.
Andosoles de la región de Teziutlán,
Estado de Puebla.

Tabla V.4.1.3.- Algunas características ambientales y morfológicas del perfil No. 36.

MUNICIPIO: XIUTETELCO.
 LOCALIDAD: LA CAÑADA.

DESCRIPCION DE CONDICIONES AMBIENTALES

ALTITUD: 2775 msnm.
 PRECIPITACION MEDIA ANUAL: 700 mm.
 TEMPERATURA MEDIA ANUAL: 16 °C.
 CLIMA: C(w₂).
 PROVINCIA FISIOGRAFICA: EJE NEOVOLCANICO.
 SUBPROVINCIA FISIOGRAFICA: LAGOS Y VOLCANES DE ANAHUAC.
 SISTEMA DE TOPOFORMAS: LOMERIOS.
 GEOLOGIA: CUATERNARIO.

DESCRIPCION DE LAS CONDICIONES GENERALES DEL PERFIL

MATERIAL PARENTAL: TOBA BASICA.
 ROCA SUBYACENTE: TOBA BASICA.
 EDAD: MADURO.
 RELIEVE: LEVEMENTE ONDULADO.
 MODO DE FORMACION: RESIDUAL.
 PENDIENTE: 2 %.
 EXPOSICION: SURESTE.
 CLASE DE PEDREGOSIDAD: NULA.
 CLASE DE AFLORAMIENTOS ROCOSOS: NULOS.
 CLASE DE DRENAJE EXTERNO: IMPERFECTAMENTE DRENADO.
 CLASE DE EROSION: EOLICA E HIDRICA LAMINAR.
 GRADO DE EROSION: MODERADO.
 AREA EROSIONADA (%): 20.
 INFLUENCIA HUMANA: MODERADA.
 FACTORES NOCIVOS: NINGUNO.
 FORMACION VEGETAL: PASTIZAL INDUCIDO Y BOSQUE DE PINO.

DESCRIPCION DEL PERFIL			
1.HORIZONTE O CAPA:	1	2	3
2.PROFUNDIDAD (cm)			
LIMITE SUPERIOR:	0	12	35
LIMITE INFERIOR:	12	35	125
3.SEPARACION			
CONTRASTE:	ABRUPTA	ABRUPTA	
FORMA:	ONDULADA	ONDULADA	
4.REACCIONES			
HCl:	NULA	NULA	NULA
NaF:	MODERADA	FUERTE	
5.HUMEDAD APARENTE:	H U M E D O		
6. ESTRUCTURA			
FORMA:	BLOQUES	BLOQUES	
	SUBAN-	SUBAN-	
	GULARES	GULARES	
TAMAÑO:	MEDIA	MEDIA	
DESARROLLO:	DEBIL	DEBIL	
7.POROSIDAD			
CONSTITUCION:	POROSO	POROSO	
	FINO	FINO	
CANTIDAD:	ESCASA	ESCASA	
11.COLOR EN HUMEDO:	10YR3/2	7.5YR4/5	
12.CONSISTENCIA			
HUMEDO:	FRIABLE	FRIABLE	
13.ADHESIVIDAD:	NULA	NULA	
14.PLASTICIDAD:	NULA	NULA	
16.TEXTURA AL TACTO:	FRANCO	FRANCO	
	ARCILLO-	ARCILLO-	
	ARENOSA	ARENOSA	

Continuación de la tabla V.4.1.3.

1.HORIZONTE O CAPA:	1	2	3
ESQUELETO DEL SUELO			
17.GRAVA			
FORMA:	SUBRE-	SUBRE-	
	DONDEADA	DONDEADA	
CANTIDAD:	FRECUEN-	FRECUEN-	
	TES	TES	
20.ALTERACION Y NATURALEZA:	SANAS Y ALTERADAS TOBA BASICA.		
27.RAICES FINAS:	ABUNDAN-	ABUNDAN-	
	TES	TES	
28.SUPERFICIE:	MUY ALTERADA (SUBSUELO)		
29.DRENAJE INTERNO:	DRENADO		
HORIZONTE DE CAMPO:	A1	B2	C
DENOMINACION DE HORIZONTES DE CAMPO:	OCRICO	CAMBICO	
CLASE TEXTURAL:	2		



Fotografía V.1.4.4.- Perfil No. 41.
Andosoles de la región de Teziutlán,
Estado de Puebla.

Tabla V.4.1.4.- Algunas características ambientales y morfológicas del perfil No. 41.

MUNICIPIO:	CHIGNAUTLA.
LOCALIDAD:	CHIAPA.

DESCRIPCION DE CONDICIONES AMBIENTALES

ALTITUD:	2920 msnm.
PRECIPITACION MEDIA ANUAL:	700 mm.
TEMPERATURA MEDIA ANUAL:	16°C.
CLIMA:	C(w ₂).
PROVINCIA FISIOGRAFICA:	EJE NEOVOLCANICO.
SUBPROVINCIA FISIOGRAFICA:	LAGOS Y VOLCANES DE ANAHUAC.
SISTEMA DE TOPOFORMAS:	CERROS.
GEOLOGIA:	CUATERNARIO.

DESCRIPCION DE LAS CONDICIONES GENERALES DEL PERFIL

MATERIAL PARENTAL:	TOBA BASICA.
ROCA SUBYACENTE:	TOBA BASICA.
EDAD:	MADURO.
RELIEVE:	MONTUOSO.
MODO DE FORMACION:	RESIDUAL.
PENDIENTE:	2 %.
EXPOSICION:	SUR.
CLASE DE PEDREGOSIDAD:	NULA.
CLASE DE AFLORAMIENTOS ROCOSOS:	NULOS.
CLASE DE DRENAJE EXTERNO:	DRENADO.
CLASE DE EROSION:	HIDRICA LAMINAR.
GRADO DE EROSION:	MODERADO.
AREA EROSIONADA (%):	10.
INFLUENCIA HUMANA:	MODERADA.
FACTORES NOCIVOS:	NINGUNO.
FORMACION VEGETAL:	PASTIZAL INDUCIDO Y BOSQUE DE PINO.

Continuación de la tabla V.4.1.4.

DESCRIPCION DEL PERFIL				
1.HORIZONTE O CAPA:	1	2	3	4
2.PROFUNDIDAD (cm)				
LIMITE SUPERIOR:	0	10	25	50
LIMITE INFERIOR:	10	25	50	67
3.SEPARACION				
CONTRASTE:	ABRUPTA	GRADUAL	DIFUSA	ABRUPTA
FORMA:	ONDULADA	ONDULADA	ONDULADA	ONDULADA
4.REACCIONES				
HCl:	NULA	NULA	NULA	NULA
NaF:	MODERADA	MUY FUERTE	FUERTE	FUERTE
5.HUMEDAD APARENTE:	H U M E D O			
6. ESTRUCTURA				
FORMA:	BLOQUES	BLOQUES	BLOQUES	BLOQUES
	SUBAN-	SUBAN-	SUBAN-	SUBAN-
	GULARES	GULARES	GULARES	GULARES
TAMAÑO:	MEDIA	FINA	MEDIA	MEDIA
DESARROLLO:	DEBIL	DEBIL	DEBIL	DEBIL
7.POROSIDAD				
CONSTITUCION:	POROSO	POROSO	POROSO	POROSO
	FINO	FINO	FINO	FINO
CANTIDAD:	ESCASA	ESCASA	ESCASA	ESCASA
11.COLOR EN HUMEDO:	10YR3/2	7.5YR4/4	7.5YR4/6	10YR4/6
12.CONSISTENCIA				
HUMEDO:	FRIABLE	FRIABLE	FRIABLE	MUY FRIABLE
13.ADHESIVIDAD:	LIGERA	LIGERA	MODERADA	MODERADA
14.PLASTICIDAD:	LIGERA	LIGERA	MODERADA	MODERADA

Continuación de la tabla V.4.1.4.

DESCRIPCION DEL PERFIL				
1.HORIZONTE O CAPA:	1	2	3	4
16.TEXTURA AL TACTO:	FRANCO LIMO ARENOSA	FRANCO ARCILLO- ARENOSA	FRANCO ARCILLO- ARENOSA	FRANCO ARCILLO- ARENOSA
ESQUELETO DEL SUELO				
17.GRAVA				
FORMA:	SUBRE- DONDEADA	SUBRE- DONDEADA	SUBRE- DONDEADA	SUBRE- DONDEADA
CANTIDAD:	FRECUE- TES	FRECUE- TES	FRECUE- TES	FRECUE- TES
20.ALTERACION Y NATURALEZA:	SANAS Y ALTERADAS TOBA BASICA			
27.RAICES				
FINAS:	ABUNDAN TES	ABUNDAN TES	ABUNDAN TES	ABUNDAN TES
MEDIAS:	FRECUE- TES	FRECUE- TES	ESCASAS	ESCASAS
GRUESAS:		ESCASAS		
28.SUPERFICIE:	ALTERADA Y EROSIONADA			
29.DRENAJE INTERNO:	DRENADO			
HORIZONTE DE CAMPO:	A1	B1	B21	B22
DENOMINACION DE HORIZONTES DE CAMPO:	OCRICO	CAMBICO		
CLASE TEXTURAL:	2			

Continuación de la tabla V.4.1.4.

1.HORIZONTE O CAPA:	5	6
2.PROFUNDIDAD (cm)		
LIMITE SUPERIOR:	67	80
LIMITE INFERIOR:	80	180
3.SEPARACION		
CONTRASTE:	ABRUPTA	
FORMA:	ONDULADA	
4.REACCIONES		
HCl:	NULA	NULA
NaF:	FUERTE	
11.COLOR EN HUMEDO:	DIFERENTES COLORES	
13.ADHESIVIDAD:	LIGERA	
14.PLASTICIDAD:	LIGERA	
27.RAICES		
FINAS:	ESCASAS	
HORIZONTE DE CAMPO:	C1	C2



Fotografía V.1.4.5.- Perfil No. 62.
Andosoles de la región de Teziutlán,
Estado de Puebla.

Tabla V.4.1.5.- Algunas características ambientales y morfológicas del perfil No. 62.

MUNICIPIO: TLATLAUQUITEPEC.
 LOCALIDAD: SAN ANTONIO.

DESCRIPCION DE CONDICIONES AMBIENTALES

ALTITUD: 2940 msnm.
 PRECIPITACION MEDIA ANUAL: 700 mm.
 TEMPERATURA MEDIA ANUAL: 16°C.
 CLIMA: C(w₁)(w).
 PROVINCIA FISIOGRAFICA: EJE NEOVOLCANICO.
 SUBPROVINCIA FISIOGRAFICA: LAGOS Y VOLCANES DE ANAHUAC.
 SISTEMA DE TOPOFORMAS: LOMERIOS.
 GEOLOGIA: CUATERNARIO.

DESCRIPCION DE LAS CONDICIONES GENERALES DEL PERFIL

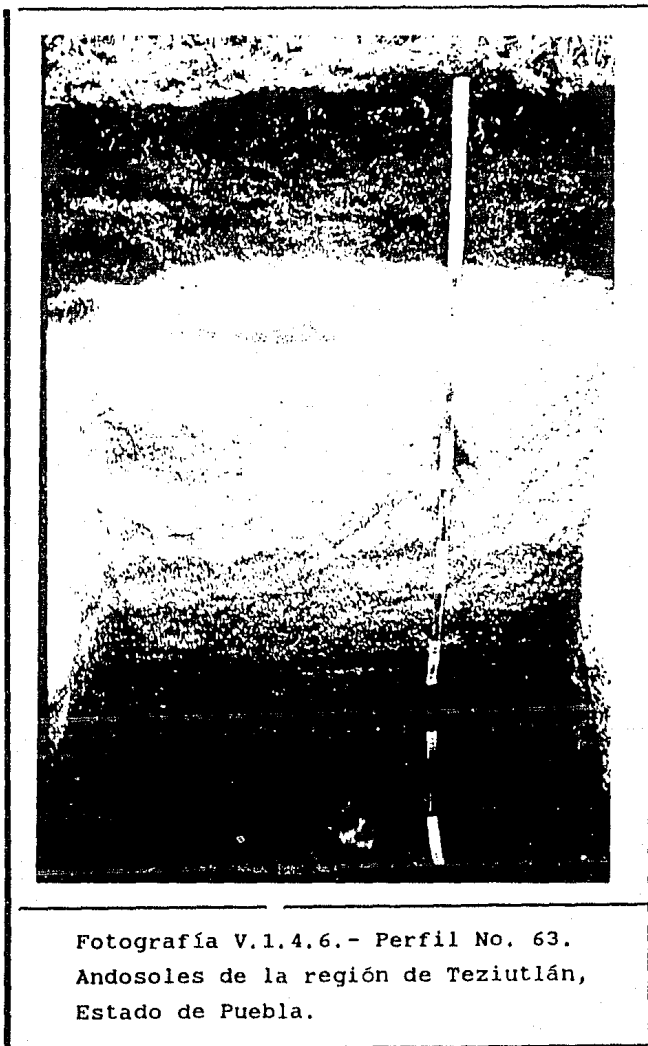
MATERIAL PARENTAL: TOBA ACIDA.
 ROCA SUBYACENTE: TOBA ACIDA.
 EDAD: MADURO.
 RELIEVE: LEVEMENTE ONDULADO.
 MODO DE FORMACION: RESIDUAL.
 PENDIENTE: 20 %.
 EXPOSICION: SURESTE.
 CLASE DE PEDREGOSIDAD: NULA.
 CLASE DE AFLORAMIENTOS ROCOSOS: NULOS.
 CLASE DE DRENAJE EXTERNO: DRENADO.
 CLASE DE EROSION: HIDRICA LAMINAR Y EN SURCOS.
 GRADO DE EROSION: MODERADO.
 AREA EROSIONADA (%): 15.
 INFLUENCIA HUMANA: ALTA.
 FACTORES NOCIVOS: NINGUNO.
 TIPO DE CULTIVO: PAPA, AGRICULTURA DE TEMPORAL.

Continuación de la tabla V.4.1.5.

DESCRIPCION DEL PERFIL				
1.HORIZONTE O CAPA:	1	2	3	4
2.PROFUNDIDAD (cm)				
LIMITE SUPERIOR:	0	15	35	47
LIMITE INFERIOR:	15	35	47	125
3.SEPARACION				
CONTRASTE:	ABRUPTA	GRADUAL	ABRUPTA	
FORMA:	ONDULADA	ONDULADA	ONDULADA	
4.REACCIONES				
HCl:	NULA	NULA	NULA	NULA
NaF:	MODERADA	MODERADA	MODERADA	MODERADA
5.HUMEDAD APARENTE:	H U M E D O			
6. ESTRUCTURA				
FORMA:	BLOQUES	BLOQUES	BLOQUES	
	SUBANGU-	SUBANGU-	SUBANGU-	
	LARES	LARES	LARES	
TAMAÑO:	MEDIA	MEDIA	FINA	
DESARROLLO:	MODERADO	MODERADO	DEBIL	
7.POROSIDAD				
CONSTITUCION:	POROSO	POROSO	POROSO	
	FINO	FINO	FINO	
CANTIDAD:	ESCASA	MODERADA	ABUNDAN-	
			TE	
11.COLOR EN HUMEDO:	10YR3/2	7.5YR3/4	10YR3/6	
12. CONSISTENCIA				
HUMEDO:	FRIABLE	FRIABLE	MUY	
			FRIABLE	
13.ADHESIVIDAD:	LIGERA	LIGERA	LIGERA	
14.PLASTICIDAD:	LIGERA	LIGERA	LIGERA	

Continuación de la tabla V.4.1.5.

1.HORIZONTE O CAPA:	1	2	3	4
16.TEXTURA AL TACTO:	FRANCO LIMO ARENOSA	FRANCO ARCILLO ARENOSA	FRANCO ARENO ARCILLOSA	
17.GRAVA	ESQUELETO DEL SUELO			
FORMA:	SUBRE- DONDEA- DAS	SUBRE- DONDEA- DAS	SUBRE- DONDEA- DAS	
CANTIDAD:	FRECUEN- TES	FRECUEN- TES	FRECUEN- TES	
20.ALTERACION Y NATURALEZA:	ALTERADAS POMEZ			
26.INCLUSIONES:	CARBON			
27.RAICES				
FINAS:	ABUNDAN- TES	FRECUEN- TES	ESCASA	
28.SUPERFICIE:	CULTIVADA			
29.DRENAJE INTERNO:	DRENADO			
HORIZONTE DE CAMPO:	Ap	B2	B3	C
DENOMINACION DE HORIZONTES DE CAMPO:	OCRICO	CAMBICO		
CLASE TEXTURAL:	2			



Fotografía V.1.4.6.- Perfil No. 63.
Andosoles de la región de Teziutlán,
Estado de Puebla.

Tabla V.4.1.6.- Algunas características ambientales y morfológicas del perfil No. 63.

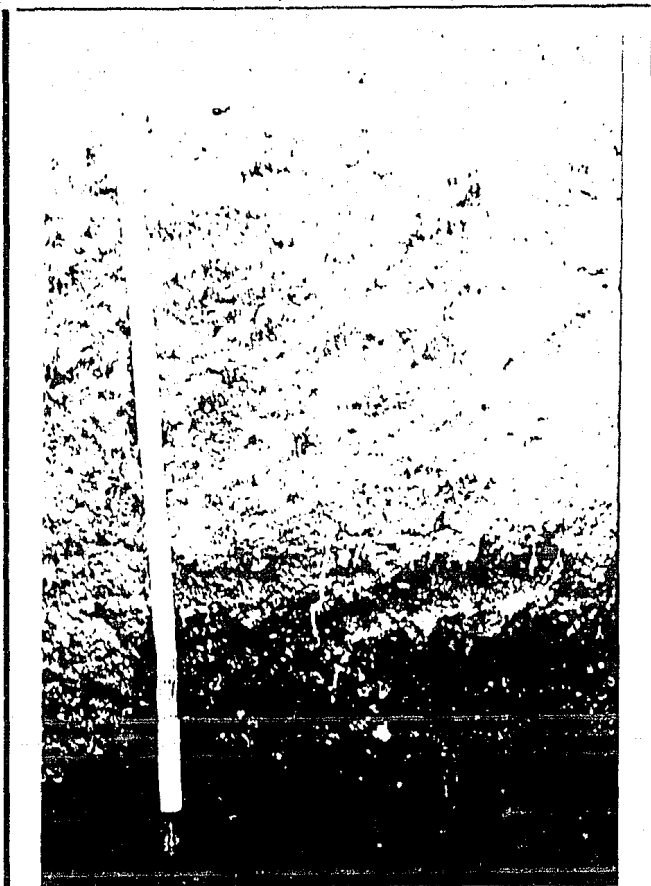
MUNICIPIO:	TLATLAUQUITEPEC.
LOCALIDAD:	HUITZITZILAPA.
DESCRIPCION DE CONDICIONES AMBIENTALES	
ALTITUD:	2570 msnm.
PRECIPITACION MEDIA ANUAL:	700 mm.
TEMPERATURA MEDIA ANUAL:	16°C.
CLIMA:	C(w ₁)(w).
PROVINCIA FISIOGRAFICA:	EJE NEOVOLCANICO.
SUBPROVINCIA FISIOGRAFICA:	LAGOS Y VOLCANES DE ANAHUAC.
SISTEMA DE TOPOFORMAS:	LOMERIOS.
GEOLOGIA:	CUATERNARIO.
DESCRIPCION DE LAS CONDICIONES GENERALES DEL PERFIL	
MATERIAL PARENTAL:	TOBA ACIDA.
ROCA SUBYACENTE:	TOBA ACIDA.
EDAD:	MADURO.
RELIEVE:	LEVEMENTE ONDULADO.
MODO DE FORMACION:	RESIDUAL.
PENDIENTE:	6 %.
EXPOSICION:	NOROESTE.
CLASE DE PEDREGOSIDAD:	NULA.
CLASE DE AFLORAMIENTOS ROCOSOS:	NULOS.
CLASE DE DRENAJE EXTERNO:	DRENADO.
CLASE DE EROSION:	HIDRICA LAMINAR Y EN CARCAVAS.
GRADO DE EROSION:	MODERADO.
AREA EROSIONADA (%):	30.
INFLUENCIA HUMANA:	MODERADA.
FACTORES NOCIVOS:	NINGUNO.
TIPO DE CULTIVO:	TRIGO, AGRICULTURA DE TEMPORAL.

Continuación de la tabla V.4.1.6.

DESCRIPCION DEL PERFIL			
1.HORIZONTE O CAPA:	1	2	3
2.PROFUNDIDAD (cm)			
LIMITE SUPERIOR:	0	30	63
LIMITE INFERIOR:	30	63	125
3.SEPARACION			
CONTRASTE:	ABRUPTA	CLARA	
FORMA:	ONDULADA	ONDULADA	
4.REACCIONES			
HCl:	NULA	NULA	NULA
NaF:	DEBIL	DEBIL	MODERADA
5.HUMEDAD APARENTE:	HUMEDO		
6. ESTRUCTURA			
FORMA:	BLOQUES	BLOQUES	
	SUBANGU-	SUBANGU-	
	LARES	LARES	
TAMAÑO:	MEDIA	FINA	
DESARROLLO:	MODERADO	DEBIL	
7.POROSIDAD			
CONSTITUCION:	POROSO	POROSO	
	FINO	FINO	
CANTIDAD:	ESCASA	MODERADA	
11.COLOR EN HUMEDO:	10YR3/3	10YR3/6	
12. CONSISTENCIA			
HUMEDO:	MUY	MUY	
	FRIABLE	FRIABLE	
13.ADHESIVIDAD:	LIGERA	NULA	
14.PLASTICIDAD:	LIGERA	NULA	

Continuación de la tabla V.4.1.6.

1.HORIZONTE O CAPA:	1	2	3
16.TEXTURA AL TACTO:	FRANCO ARENO LIMOSA	FRANCO ARENOSA	
// ESQUELETO DEL SUELO //			
17.GRAVA			
FORMA:	SUBRE- DONDEADA	SUBRE- DONDEADA	
CANTIDAD:	FRECUEN- TES	FRECUEN- TES	
20.ALTERACION Y NATURALEZA:		ALTERADAS POMEZ	
27.RAICES			
FINAS:	FRECUEN- TES	ESCASAS	
28.SUPERFICIE:		CULTIVADA	
29.DRENAJE INTERNO:		DRENADO	
HORIZONTE DE CAMPO:	Ap	AC	C
DENOMINACION DE HORIZONTES DE CAMPO:	UMBRICO	CAMBICO	REGOLITA
CLASE TEXTURAL:		2	



Fotografía V.1.4.7.- Perfil No. 84.
Andsoles de la región de Teziutlán,
Estado de Puebla.

Tabla V.4.1.7.- Algunas características ambientales y morfológicas del perfil No. 84.

MUNICIPIO:	XIUTETELCO.
LOCALIDAD:	ATECAX.
DESCRIPCION DE CONDICIONES AMBIENTALES	
ALTITUD:	2740 msnm.
PRECIPITACION MEDIA ANUAL:	700 mm.
TEMPERATURA MEDIA ANUAL:	16°C.
CLIMA:	C(w ₂).
PROVINCIA FISIOGRAFICA:	EJE NEOVOLCANICO.
SUBPROVINCIA FISIOGRAFICA:	LAGOS Y VOLCANES DE ANAHUAC.
SISTEMA DE TOPOFORMAS:	LOMERIOS.
GEOLOGIA:	CUATERNARIO.
DESCRIPCION DE LAS CONDICIONES GENERALES DEL PERFIL	
MATERIAL PARENTAL:	TOBA BASICA.
ROCA SUBYACENTE:	TOBA BASICA.
EDAD:	MADURO.
RELIEVE:	ONDULADO.
MODO DE FORMACION:	RESIDUAL.
PENDIENTE:	8 %.
EXPOSICION:	SURESTE.
CLASE DE PEDREGOSIDAD:	NULA.
CLASE DE AFLORAMIENTOS ROCOSOS:	NULOS.
CLASE DE DRENAJE EXTERNO:	DRENADO.
CLASE DE EROSION:	HIDRICA LAMINAR.
GRADO DE EROSION:	MODERADO.
AREA EROSIONADA (%):	25.
INFLUENCIA HUMANA:	MODERADA.
FACTORES NOCIVOS:	SOBREPASTOREO.
FORMACION VEGETAL:	PASTIZAL INDUCIDO Y BOSQUE DE PINO.

Continuación de la tabla V.4.1.7.

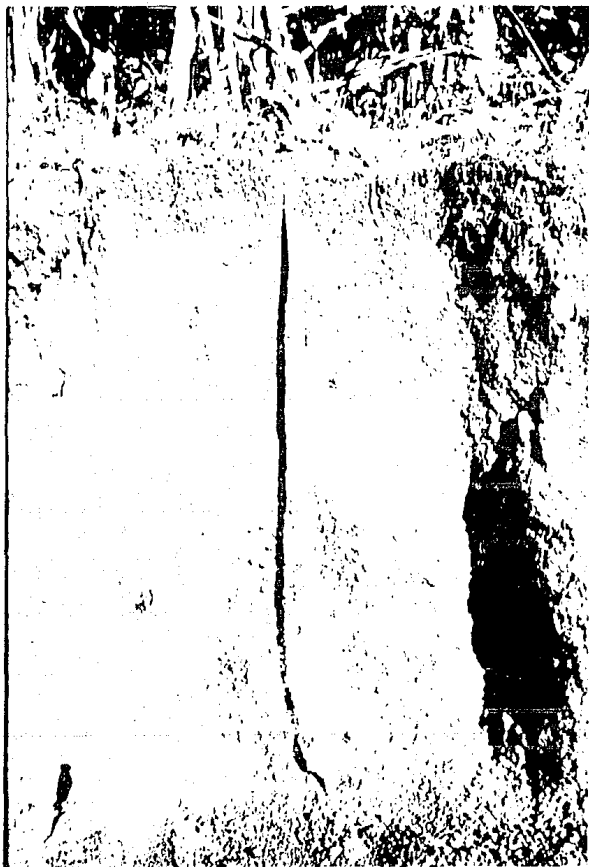
1.HORIZONTE O CAPA:	DESCRIPCION DEL PERFIL			
	1	2	3	4
2.PROFUNDIDAD (cm)				
LIMITE SUPERIOR:	0	13	20	42
LIMITE INFERIOR:	13	20	42	125
3.SEPARACION				
CONTRASTE:	ABRUPTA	GRADUAL	ABRUPTA	
FORMA:	ONDULADA	ONDULADA	ONDULADA	
4.REACCIONES				
HCl:	NULA	NULA	NULA	NULA
NaF:	MUY FUERTE	MUY FUERTE	MUY FUERTE	
5.HUMEDAD APARENTE:	H U M E D O S			
6. ESTRUCTURA				
FORMA:	BLOQUES	BLOQUES	BLOQUES	
	SUBAN-	SUBAN-	SUBAN-	
	GULARES	GULARES	GULARES	
TAMAÑO:	MUY FINA	FINA	MEDIA	
DESARROLLO:	DEBIL	DEBIL	MODERADO	
7.POROSIDAD				
CONSTITUCION:	POROSO	POROSO	POROSO	
	FINO	FINO	FINO	
CANTIDAD:	ABUNDAN-	ABUNDAN-	ABUNDAN-	
	TE	TE	TE	
8.PELICULAS				
DISTRIBUCION:			ZONALES	
ESPESOR:			DELGADAS	
UBICACION:			EN TUBOS	
	CANALES DE RAICES, FISURAS O GRIETAS			
11.COLOR EN HUMEDO:	10YR3/3	7.5YR5/4	7.5YR5/6	

Continuación de la tabla V.4.1.7.

1.HORIZONTE O CAPA:	DESCRIPCION DEL PERFIL			
	1	2	3	4
12. CONSISTENCIA HUMEDO:	FRIABLE	MUY FRIABLE	FRIABLE	
13. ADHESIVIDAD:	LIGERA	LIGERA	MODERADA	
14. PLASTICIDAD:	LIGERA	LIGERA	MODERADA	
16. TEXTURA AL TACTO:	FRANCO LIMO ARENOSA	FRANCO ARCILLO ARENOSA	FRANCO ARCILLO-SA	
ESQUELETO DEL SUELO				
17. GRAVA FORMA:	SUBRE-DONDEADA	SUBRE-DONDEADA	SUBRE-DONDEADA	
CANTIDAD:	FRECUENTES	FRECUENTES	FRECUENTES	
20. ALTERACION Y NATURALEZA:		ALTERADAS TOBA BASICA		
22. CRISTALES TAMAÑO:		FINOS	FINOS	
CANTIDAD:		MUY ESCASOS	MUY ESCASOS	
DISTRIBUCION:		DISPERSOS	DISPERSOS	
NATURALEZA Y COLOR:		BLANCOS, CUARZO.		
27. RAICES FINAS:	ABUNDANTES	ABUNDANTES	FRECUENTES	
MEDIAS:	ESCASAS	ESCASAS	ESCASAS	
28. SUPERFICIE:	EROSIONADA, CON PEQUEÑAS GRAVAS			
29. DRENAJE INTERNO:	DRENADO			

Continuación de la tabla V.4.1.7.

1.HORIZONTE O CAPA:	DESCRIPCION DEL PERFIL			
	1	2	3	4
HORIZONTE DE CAMPO:	A1	AB	B2	IIC1
DENOMINACION DE				
HORIZONTES DE CAMPO:	OCRICO		CAMBICO	
CLASE TEXTURAL:		2		



Fotografía V.1.4.8.- Perfil No. 6.
Andosoles de la región de Teziutlán,
Estado de Puebla.

Tabla V.4.1.8.- Algunas características ambientales y morfológicas del perfil No. 6.

MUNICIPIO:	TEZIUTLAN.
LOCALIDAD:	LAS COLES.
DESCRIPCION DE CONDICIONES AMBIENTALES	
ALTITUD:	2115 msnm.
PRECIPITACION MEDIA ANUAL:	1200 mm.
TEMPERATURA MEDIA ANUAL:	16°C.
CLIMA:	C(fm).
PROVINCIA FISIOGRAFICA:	EJE NEOVOLCANICO.
SUBPROVINCIA FISIOGRAFICA:	LAGOS Y VOLCANES DE ANAHUAC.
SISTEMA DE TOPOFORMAS:	SIERRA.
GEOLOGIA:	CUATERNARIO.
DESCRIPCION DE LAS CONDICIONES GENERALES DEL PERFIL	
MATERIAL PARENTAL:	BRECHA VOLCANICA ACIDA.
ROCA SUBYACENTE:	BRECHA VOLCANICA ACIDA.
EDAD:	MADURO.
RELIEVE:	FUERTEMENTE ONDULADO.
MODO DE FORMACION:	RESIDUAL.
PENDIENTE:	10 %.
EXPOSICION:	ESTE.
CLASE DE PEDREGOSIDAD:	NULA.
CLASE DE AFLORAMIENTOS ROCOSOS:	NULOS.
CLASE DE DRENAJE EXTERNO:	DRENADO.
CLASE DE EROSION:	HIDRICA LAMINAR.
GRADO DE EROSION:	MODERADO.
AREA EROSIONADA (%):	10.
INFLUENCIA HUMANA:	MODERADA.
FACTORES NOCIVOS:	NINGUNO.
TIPO DE CULTIVO:	MAIZ, AGRICULTURA DE TEMPORAL.

Continuación de la tabla V.4.1.8.

1.HORIZONTE O CAPA:	DESCRIPCION DEL PERFIL			
	1	2	3	4
2.PROFUNDIDAD (cm)				
LIMITE SUPERIOR:	0	20	40	50
LIMITE INFERIOR:	20	40	50	125
3.SEPARACION				
CONTRASTE:	ABRUPTA	ABRUPTA	ABRUPTA	
FORMA:	IRREGU- LAR	IRREGU- LAR	IRREGU- LAR	
4.REACCIONES				
HCl:	NULA	NULA	NULA	NULA
NaF:	FUERTE	MODERADA	DEBIL	DEBIL
5.HUMEDAD APARENTE:	H U M E D O			
6. ESTRUCTURA				
FORMA:	GRANULAR		BLOQUES SUBANGU- LARES	
TAMAÑO:	MEDIA		MUY GRUESA	
DESARROLLO:	DEBIL		FUERTE	
7.POROSIDAD				
CONSTITUCION:			POROSO FINO	
CANTIDAD:			ESCASA	
11.COLOR EN HUMEDO:	10YR3/3		7.5YR 3.5/4	
12.CONSISTENCIA				
HUMEDO:	MUY FRIABLE		FRIABLE	
13.ADHESIVIDAD:	LIGERA		MODERADA	

Continuación de la tabla V.4.1.8.

1.HORIZONTE O CAPA:	1	2	3	4
14.PLASTICIDAD:	LIGERA		MODERADA	
16.TEXTURA AL TACTO:	FRANCA		FRANCO ARCILLO ARENOSA	
27.RAICES FINAS:	ABUNDAN- TES	ESCASAS	ESCASAS	ESCASAS
29.DRENAJE INTERNO:	MODERADO			
HORIZONTE DE CAMPO:	Ap	C1	B2b	C2
DENOMINACION DE HORIZONTES DE CAMPO:	UMBRICO		CAMBICO	
CLASE TEXTURAL:		2		



Fotografía V.1.4.9.- Perfil No. 20.
Andosoles de la región de Teziutlán,
Estado de Puebla.

Tabla V.4.1.9.- Algunas características ambientales y morfológicas del perfil No. 20.

MUNICIPIO:	CHIGNAUTLA.
LOCALIDAD:	XAHUEN.
DESCRIPCION DE CONDICIONES AMBIENTALES	
ALTITUD:	2540 msnm.
PRECIPITACION MEDIA ANUAL:	800 mm.
TEMPERATURA MEDIA ANUAL:	16°C.
CLIMA:	C(m).
PROVINCIA FISIOGRAFICA:	EJE NEOVOLCANICO.
SUBPROVINCIA FISIOGRAFICA:	LAGOS Y VOLCANES DE ANAHUAC.
SISTEMA DE TOPOFORMAS:	LOMERIOS.
GEOLOGIA:	CUATERNARIO.
DESCRIPCION DE LAS CONDICIONES GENERALES DEL PERFIL	
MATERIAL PARENTAL:	BRECHA VOLCANICA BASICA.
ROCA SUBYACENTE:	BRECHA VOLCANICA BASICA.
EDAD:	MADURO.
RELIEVE:	ONDULADO.
MODO DE FORMACION:	RESIDUAL.
PENDIENTE:	15 %.
EXPOSICION:	ESTE.
CLASE DE PEDREGOSIDAD:	NULA.
CLASE DE AFLORAMIENTOS ROCOSOS:	NULOS.
CLASE DE DRENAJE EXTERNO:	DRENADO.
CLASE DE EROSION:	HIDRICA LAMINAR.
GRADO DE EROSION:	FUERTE.
AREA EROSIONADA (%):	40.
INFLUENCIA HUMANA:	MODERADA.
FACTORES NOCIVOS:	NINGUNO.
FORMACION VEGETAL:	PASTIZAL INDUCIDO Y BOSQUE DE PINO Y ENCINO.

Continuación de la tabla V.4.1.9.

1.HORIZONTE O CAPA:	DESCRIPCION DEL PERFIL			
	1	2	3	4
2.PROFUNDIDAD (cm)				
LIMITE SUPERIOR:	0	10	30	120
LIMITE INFERIOR:	10	30	120	133
3.SEPARACION				
CONTRASTE:	CLARA	GRADUAL	ABRUPTA	
FORMA:	ONDULADA	ONDULADA	PLANA	
4.REACCIONES				
HCl:	NULA	NULA	NULA	NULA
NaF:	FUERTE	FUERTE	MODERADA	DEBIL
5.HUMEDAD APARENTE:	H U M E D O			
6. ESTRUCTURA				
FORMA:	BLOQUES	BLOQUES		BLOQUES
	SUBANGU- LARES	SUBANGU- LARES		SUBANGU- LARES
TAMAÑO:	MUY FINA	MUY FINA		MEDIA
DESARROLLO:	DEBIL	DEBIL		FUERTE
7.POROSIDAD				
CONSTITUCION:	POROSO	POROSO		POROSO
	FINO	FINO		FINO
CANTIDAD:	ESCASA	ESCASA		ESCASA
8.PELICULAS				
DISTRIBUCION:				ZONALES
ESPESOR:				DELGADAS
UBICACION:				HORIZON- TALES Y VERTICA- LES

Continuación de la tabla V.4.1.9.

1.HORIZONTE O CAPA:	DESCRIPCION DEL PERFIL			
	1	2	3	4
11.COLOR EN HUMEDO:	7.5YR3/2	10YR 4/3.3		10YR4/6
12.CONSISTENCIA HUMEDO:	FRIABLE	FRIABLE		FRIABLE
13.ADHESIVIDAD:	LIGERA	LIGERA		LIGERA
14.PLASTICIDAD:	LIGERA	LIGERA		LIGERA
16.TEXTURA AL TACTO:	FRANCO LIMO ARENOSA	FRANCA		FRANCA ARCILLO ARENOSA
26.INCLUSIONES:	C A R B O N			
27.RAICES FINAS:	ABUNDAN- TES	ABUNDAN- TES	FRECUE- TES	ESCASAS
28.SUPERFICIE:	EROSIONADA			
29.DRENAJE INTERNO:	DRENADO			
HORIZONTE DE CAMPO:	A1	B2	C1	B2b
DENOMINACION DE HORIZONTES DE CAMPO:	OCRICO	CAMBICO		CAMBICO
CLASE TEXTURAL:	2			



Fotografía V.1.4.10.- Perfil No. 87.
Andosoles de la región de Teziutlán,
Estado de Puebla.

Tabla V.4.1.10.- Algunas características ambientales y morfológicas del perfil No. 87.

MUNICIPIO: XIUTETELCO.
 LOCALIDAD: TILCA.

DESCRIPCION DE CONDICIONES AMBIENTALES

ALTITUD: 2580 msnm.
 PRECIPITACION MEDIA ANUAL: 800 mm.
 TEMPERATURA MEDIA ANUAL: 16°C.
 CLIMA: C(m).
 PROVINCIA FISIOGRAFICA: EJE NEOVOLCANICO.
 SUBPROVINCIA FISIOGRAFICA: LAGOS Y VOLCANES DE ANAHUAC.
 SISTEMA DE TOPOFORMAS: SIERRA.
 GEOLOGIA: CUATERNARIO.

DESCRIPCION DE LAS CONDICIONES GENERALES DEL PERFIL

MATERIAL PARENTAL: BRECHA VOLCANICA BASICA.
 ROCA SUBYACENTE: BRECHA VOLCANICA BASICA.
 EDAD: MADURO.
 RELIEVE: MONTUOSO.
 MODO DE FORMACION: RESIDUAL.
 PENDIENTE: 65 %.
 EXPOSICION: NORESTE.
 CLASE DE PEDREGOSIDAD: NULA.
 CLASE DE AFLORAMIENTOS ROCOSOS: NULOS.
 CLASE DE DRENAJE EXTERNO: DRENADO.
 CLASE DE EROSION: HIDRICA LAMINAR.
 GRADO DE EROSION: MODERADO.
 AREA EROSIONADA (%): 10.
 INFLUENCIA HUMANA: MODERADA.
 FACTORES NOCIVOS: NINGUNO.
 FORMACION VEGETAL: PASTIZAL INDUCIDO Y BOSQUE DE PINO Y ENCINO.

Continuación de la tabla V.4.1.10.

DESCRIPCION DEL PERFIL					
1. HORIZONTE O CAPA:	1	2	3	4	5
2. PROFUNDIDAD (cm)					
LIMITE SUPERIOR:	0	13	42	80	110
LIMITE INFERIOR:	13	42	80	110	125
3. SEPARACION					
CONTRASTE:	ABRUPTA	CLARA	GRADUAL	ABRUPTA	
FORMA:	ONDULADA	ONDULADA	ONDULADA	ONDULADA	
4. REACCIONES					
HCl:	NULA	NULA	NULA	NULA	NULA
NaF:	MUY FUERTE	MODERADA	MODERADA	MODERADA	
5. HUMEDAD APARENTE:		H U M E D O			
6. ESTRUCTURA					
FORMA:	BLOQUES SUBAN- GULARES	BLOQUES SUBAN- GULARES	BLOQUES SUBAN- GULARES	BLOQUES SUBAN- GULARES	
TAMAÑO:	FINA	FINA	FINA	FINA	
DESARROLLO:	MODERADO	DEBIL	DEBIL	DEBIL	
7. POROSIDAD					
CONSTITUCION:	POROSO FINO	POROSO FINO	POROSO FINO	POROSO FINO	
CANTIDAD:	MODERADA	ABUNDAN- TE	ABUNDAN- TE	MODERADA	
12. CONSISTENCIA					
HUMEDO:	FRIABLE	MUY FRIABLE	FRIABLE	FRIABLE	
13. ADHESIVIDAD:	LIGERA	LIGERA	MODERADA	LIGERA	
14. PLASTICIDAD:	LIGERA	LIGERA	MODERADA	LIGERA	

Continuación de la tabla V.4.1.10.

DESCRIPCION DEL PERFIL					
1.HORIZONTE O CAPA:	1	2	3	4	5
16.TEXTURA AL TACTO:	FRANCA	FRANCO ARCILLO ARENOSA	FRANCO ARCILLO- SA	FRANCO ARENOSA	
ESQUELETO DEL SUELO					
17.GRAVA					
FORMA:	SUBRE- DONDEADA	SUBRE- DONDEADA	SUBRE- DONDEADA	SUBRE- DONDEADA	
CANTIDAD:	ESCASA	MUY ESCASA	ESCASA	FRECUE- TES	
20.ALTERACION Y NATURALEZA:	ALTERADAS TOBA BASICA				
27.RAICES					
FINAS:	ABUNDAN- TES	ABUNDAN- TES	FRECUE- TES	FRECUE- TES	
MEDIAS:	FRECUE- TES	ESCASAS	ESCASAS		
29.DRENAJE INTERNO:	DRENADO				
HORIZONTE DE CAMPO:	A1	AB	B21	B22	C
DENOMINACION DE HORIZONTES DE CAMPO:	OCRICO		CAMBICO		
CLASE TEXTURAL:	2				



Fotografía V.1.4.11.- Perfil No. 110.
Andosoles de la región de Teziutlán,
Estado de Puebla.

Tabla V.4.1.11.- Algunas características ambientales y morfológicas del perfil No. 110.

MUNICIPIO:	TLATLAUQUITEPEC.
LOCALIDAD:	LA UNION.
DESCRIPCION DE CONDICIONES AMBIENTALES	
ALTITUD:	1540 msnm.
PRECIPITACION MEDIA ANUAL:	2000 mm.
TEMPERATURA MEDIA ANUAL:	18°C.
CLIMA:	(A)C(fm).
PROVINCIA FISIOGRAFICA:	EJE NEOVOLCANICO.
SUBPROVINCIA FISIOGRAFICA:	LAGOS Y VOLCANES DE ANAHUAC.
SISTEMA DE TOPOFORMAS:	SIERRA.
GEOLOGIA:	CUATERNARIO.
DESCRIPCION DE LAS CONDICIONES GENERALES DEL PERFIL	
MATERIAL PARENTAL:	TOBA ACIDA.
ROCA SUBYACENTE:	TOBA ACIDA.
EDAD:	MADURO.
RELIEVE:	MONTUOSO.
MODO DE FORMACION:	RESIDUAL.
PENDIENTE:	15 %.
EXPOSICION:	ESTE.
CLASE DE PEDREGOSIDAD:	SIN PIEDRAS O MUY POCAS.
CLASE DE AFLORAMIENTOS ROCOSOS:	NULOS.
CLASE DE DRENAJE EXTERNO:	DRENADO.
CLASE DE EROSION:	HIDRICA EN CARCAVAS.
GRADO DE EROSION:	MODERADO.
AREA EROSIONADA (%):	5.
INFLUENCIA HUMANA:	MODERADA.
FACTORES NOCIVOS:	NINGUNO.
FORMACION VEGETAL:	PASTIZAL INDUCIDO Y BOSQUE DE PINO Y ENCINO.

DESCRIPCION DEL PERFIL			
1.HORIZONTE O CAPA:	1	2	3
2.PROFUNDIDAD (cm)	/	/	/
LIMITE SUPERIOR:	0	15	40
LIMITE INFERIOR:	15	40	106
3.SEPARACION	/	/	/
CONTRASTE:	CLARA	ABRUPTA	CLARA
FORMA:	ONDULADA	ONDULADA	ONDULADA
4.REACCIONES	/	/	/
HCl:	NULA	NULA	NULA
NaF:	MUY FUERTE	MUY FUERTE	FUERTE
5.HUMEDAD APARENTE:	HUMEDO		
6. ESTRUCTURA	/	/	/
FORMA:	BLOQUES	BLOQUES	BLOQUES
	SUBANGU-	SUBANGU-	SUBANGU-
	LARES	LARES	LARES
TAMAÑO:	MEDIO	MEDIO	MEDIO
DESARROLLO:	DEBIL	DEBIL	DEBIL
7.POROSIDAD	/	/	/
CONSTITUCION:	POROSO	POROSO	POROSO
	FINO	FINO	FINO
CANTIDAD:	ABUNDAN-	ABUNDAN-	ABUNDAN-
	TE	TE	TE
11.COLOR EN HUMEDO:	10YR2/1	10YR2/1	10YR5/6
12.CONSISTENCIA	/	/	/
HUMEDO:	FRIABLE	FRIABLE	MUY FRIABLE
13.ADHESIVIDAD:	LIGERA	MODERADA	FUERTE
14.PLASTICIDAD:	LIGERA	MODERADA	FUERTE

Continuación de la tabla V.4.1.11.

1.HORIZONTE O CAPA:	1	2	3
16.TEXTURA AL TACTO:	FRANCO	FRANCO ARCILLO- SO	ARCILLA
26.INCLUSIONES:		CARBON	
27.RAICES			
FINAS:	ABUNDAN- TES	FRECUEN- TES	ESCASAS
MEDIAS:	FRECUEN- TES	FRECUEN- TES	FRECUEN- TES
28.SUPERFICIE:	CUBIERTA DE HOJARASCA		
29.DRENAJE INTERNO:	MODERADO		
HORIZONTE DE CAMPO:	A11	A12	B2
DENOMINACION DE HORIZONTES DE CAMPO:	UMBRICO		CAMBICO
CLASE TEXTURAL:	2		

Continuación de la tabla V.4.1.11.

1.HORIZONTE O CAPA:	4	5
2.PROFUNDIDAD (cm)		
LIMITE SUPERIOR:	106	150
LIMITE INFERIOR:	150	200
3.SEPARACION		
CONTRASTE:	CLARA	
FORMA:	ONDULADA	
4.REACCIONES		
HCl:	NULA	NULA
NaF:	FUERTE	FUERTE
6. ESTRUCTURA		
FORMA:	MASIVA	MASIVA
11.COLOR EN HUMEDO:	10YR6/4	10YR5.5/6
13.ADHESIVIDAD:	FUERTE	FUERTE
14.PLASTICIDAD:	FUERTE	FUERTE
16.TEXTURA AL TACTO:	ARCILLA	ARCILLA
27.RAICES		
GRUESAS:	ESCASAS	
HORIZONTE DE CAMPO:	IIC1	IIC2



Fotografía V.1.4.12.- Perfil No. 111.
Andosoles de la región de Teziutlán,
Estado de Puebla.

Tabla V.4.1.12.- Algunas características ambientales y morfológicas del perfil No. 111.

MUNICIPIO:	TETELES.
LOCALIDAD:	COACALCO.
DESCRIPCION DE CONDICIONES AMBIENTALES	
ALTITUD:	1940 msnm.
PRECIPITACION MEDIA ANUAL:	1200 mm.
TEMPERATURA MEDIA ANUAL:	16°C.
CLIMA:	C(fm).
PROVINCIA FISIOGRAFICA:	EJE NEOVOLCANICO.
SUBPROVINCIA FISIOGRAFICA:	LAGGS Y VOLCANES DE ANAHUAC.
SISTEMA DE TOPOFORMAS:	LOMERIOS.
GEOLOGIA:	CUATERNARIO.
DESCRIPCION DE LAS CONDICIONES GENERALES DEL PERFIL	
MATERIAL PARENTAL:	BRECHA VOLCANICA BASICA.
ROCA SUBYACENTE:	BRECHA VOLCANICA BASICA.
EDAD:	MADURO.
RELIEVE:	ONDULADO.
MODO DE FORMACION:	RESIDUAL.
PENDIENTE:	3 %.
EXPOSICION:	SURESTE.
CLASE DE PEDREGOSIDAD:	NULA.
CLASE DE AFLORAMIENTOS ROCOSOS:	NULOS.
CLASE DE DRENAJE EXTERNO:	DRENADO.
CLASE DE EROSION:	HIDRICA LAMINAR.
GRADO DE EROSION:	MODERADO.
AREA EROSIONADA (%):	3.
INFLUENCIA HUMANA:	ALTA.
FACTORES NOCIVOS:	NINGUNO.
TIPO DE CULTIVO:	MAIZ, AGRICULTURA DE TEMPORAL.

Continuación de la tabla V.4.1.12.

DESCRIPCION DEL PERFIL				
1.HORIZONTE O CAPA:	1	2	3	4
2.PROFUNDIDAD (cm)				
LIMITE SUPERIOR:	0	67	135	160
LIMITE INFERIOR:	67	135	160	200
3.SEPARACION				
CONTRASTE:	DIFUSA	GRADUAL	CLARA	
FORMA:	ONDULADA	ONDULADA	ONDULADA	
4.REACCIONES				
HCl:	NULA	NULA	NULA	NULA
NaF:	FUERTE	FUERTE	MUY FUERTE	MUY FUERTE
5.HUMEDAD APARENTE:	HUMEDO			
6. ESTRUCTURA				
FORMA:	BLOQUES	BLOQUES		
	SUBAN-	SUBAN-		
	GULARES	GULARES		
TAMAÑO:	FINA	MEDIA		
DESARROLLO:	DEBIL	DEBIL		
7.POROSIDAD				
CONSTITUCION:	POROSO	POROSO		
	FINO	FINO		
CANTIDAD:	ABUNDAN-	ABUNDAN-		
	TE	TE		
11.COLOR EN HUMEDO:	10YR2/1	10YR2/1	10YR 3.5/4	7.5YR 4/4
12.CONSISTENCIA				
HUMEDO:	MUY FRIABLE	MUY FRIABLE		
13.ADHESIVIDAD:	LIGERA	LIGERA	MODERADA	FUERTE
14.PLASTICIDAD:	LIGERA	LIGERA	MODERADA	FUERTE

Continuación de la tabla V.4.1.12.

1.HORIZONTE O CAPA:	1	2	3	4
16.TEXTURA AL TACTO:	FRANCO ARENO- LIMOSA	FRANCO ARENO- LIMOSA	FRANCO ARCILLO- SA	FRANCO ARCILLO- SA
27.RAICES	/ / / / /	/ / / / /	/ / / / /	/ / / / /
FINAS:	ABUNDAN- TES	FRECUE- TES	ESCASAS	
MEDIAS:	ESCASAS			
28.SUPERFICIE:		CULTIVADA		
29.DRENAJE INTERNO:		DRENADO		
HORIZONTE DE CAMPO:	A11	A12	C1	C2
DENOMINACION DE HORIZONTES DE CAMPO:	UMBRICO			
CLASE TEXTURAL:			2	



Fotografía V.1.4.13.- Perfil No. 118.
Andosoles de la región de Teziutlán,
Estado de Puebla.

Tabla V.4.1.13.- Algunas características ambientales y morfológicas del perfil No. 118.

MUNICIPIO:	ZACAPOAXTLA.
LOCALIDAD:	AHUACATLAN.
DESCRIPCION DE CONDICIONES AMBIENTALES	
ALTITUD:	2010 msnm.
PRECIPITACION MEDIA ANUAL:	1200 mm.
TEMPERATURA MEDIA ANUAL:	16°C.
CLIMA:	C(fm).
PROVINCIA FISIOGRAFICA:	EJE NEOVOLCANICO.
SUBPROVINCIA FISIOGRAFICA:	LAGOS Y VOLCANES DE ANAHUAC.
SISTEMA DE TOPOFORMAS:	SIERRA.
GEOLOGIA:	CUATERNARIO.
DESCRIPCION DE LAS CONDICIONES GENERALES DEL PERFIL	
MATERIAL PARENTAL:	TOBA ACIDA.
ROCA SUBYACENTE:	TOBA ACIDA.
EDAD:	MADURO.
RELIEVE:	MONTUOSO.
MODO DE FORMACION:	RESIDUAL.
PENDIENTE:	26 %.
EXPOSICION:	NOROESTE.
CLASE DE PEDREGOSIDAD:	SIN PIEDRAS O MUY POCAS.
CLASE DE AFLORAMIENTOS ROCOSOS:	NULOS.
CLASE DE DRENAJE EXTERNO:	HIDRICO EN CARCAVAS.
CLASE DE EROSION:	HIDRICA LAMINAR.
GRADO DE EROSION:	MODERADO.
AREA EROSIONADA (%):	30.
INFLUENCIA HUMANA:	MODERADA.
FACTORES NOCIVOS:	NINGUNO.
FORMACION VEGETAL:	PASTIZAL INDUCIDO Y BOSQUE DE PINO Y ENCINO.

Continuación de la tabla V.4.1.13.

DESCRIPCION DEL PERFIL				
1. HORIZONTE O CAPA:	1	2	3	4
2. PROFUNDIDAD (cm)				
LIMITE SUPERIOR:	0	10	23	36
LIMITE INFERIOR:	10	23	36	55
3. SEPARACION				
CONTRASTE:	ABRUPTA	ABRUPTA	ABRUPTA	ABRUPTA
FORMA:	ONDULADA	ONDULADA	ONDULADA	ONDULADA
4. REACCIONES				
HCl:	NULA	NULA	NULA	NULA
NaF:	MUY FUERTE	MUY FUERTE	MUY FUERTE	FUERTE
5. HUMEDAD APARENTE:	H U M E D O			
6. ESTRUCTURA				
FORMA:	BLOQUES SUBANGULARES	BLOQUES SUBANGULARES		BLOQUES SUBANGULARES
TAMAÑO:	MUY FINA	MUY FINA		MEDIA
DESARROLLO:	DEBIL	DEBIL		MODERADO
7. POROSIDAD				
CONSTITUCION:	POROSO FINO	POROSO FINO		POROSO FINO
CANTIDAD:	ABUNDANTE	ABUNDANTE		ABUNDANTE

Continuación de la tabla V.4.1.13.

1.HORIZONTE O CAPA:	1	2	3	4
8.PELICULAS				
DISTRIBUCION:				CONTI- NUAS
ESPESOR:				DELGADAS
UBICACION:				HORIZON- TALES Y VERTICA- LES
9.FACETAS DE FRICCIÓN/PRESIÓN:	DE LA CAPA 7 A LA 10 HAY FACETAS PEQUEÑAS.			
11.COLOR EN HUMEDO:	10YR3/3	7.5YR4/4		7.5YR 4.5/4
12.CONSISTENCIA HUMEDO:	FRIABLE	MUY FRIABLE		MUY FRIABLE
13.ADHESIVIDAD:	MODERADA	LIGERA		FUERTE
14.PLASTICIDAD:	MODERADA	LIGERA		FUERTE
16.TEXTURA AL TACTO:	FRANCO ARCILLO- SA	FRANCO ARCILLO- ARENOSA		ARCILLO- SA
22.CRISTALES NATURALEZA Y COLOR:	FINOS, ABUNDANTES Y DISPERSOS EN TODAS LAS CAPAS, DE COLOR BLANCO, SILICE.			

Continuación de la tabla V.4.1.13.

1. HORIZONTE O CAPA:	DESCRIPCION DEL PERFIL			
	1	2	3	4
24. NODULOS				
TAMAÑO:				PEQUEÑOS
FORMA:				ESFERICA
CANTIDAD:				ESCASOS
DUREZA:				BLANDOS
DISTRIBUCION:				DISPER- SOS
REACCION AL HCl:				NULA
REACCION AL H ₂ O ₂ :				FUERTE
NATURALEZA Y COLOR:	NEGROS, DE MANGANESO.			
27. RAICES				
FINAS:	ABUNDAN- TES	FRECUE- TES	FRECUE- TES	ESCASAS
MEDIAS:	FRECUE- TES	ESCASAS	ESCASAS	ESCASAS
GRUESAS:	ESCASAS			
28. SUPERFICIE:	EROSIONADA			
29. DRENAJE INTERNO:	DRENADO			
HORIZONTE DE CAMPO:	A1	B2	C1	B2b
DENOMINACION DE HORIZONTES DE CAMPO:	OCRICO	CAMBICO		CAMBICO
CLASE TEXTURAL:	3			

Continuación de la tabla V.4.1.13.

1. HORIZONTE O CAPA:	5	6	7	8
2. PROFUNDIDAD (cm)				
LIMITE SUPERIOR:	55	82	100	122
LIMITE INFERIOR:	82	100	122	137
3. SEPARACION				
CONTRASTE:	ABRUPTA	CLARA	GRADUAL	CLARA
FORMA:	ONDULADA	ONDULADA	ONDULADA	ONDULADA
4. REACCIONES				
HCl:	NULA	NULA	NULA	NULA
NaF:	FUERTE	FUERTE	FUERTE	FUERTE
5. HUMEDAD APARENTE:	HUMEDO			
6. ESTRUCTURA				
FORMA:		BLOQUES	BLOQUES	
		SUBANGU-	SUBANGU-	
		LARES	LARES	
TAMAÑO:		MEDIO	MEDIO	
DESARROLLO:		DEBIL	DEBIL	
7. POROSIDAD				
CONSTITUCION:		POROSO	POROSO	
		FINO	FINO	
CANTIDAD:		ABUNDAN-	ABUNDAN-	
		TE	TE	
9. FACETAS DE	DE LA CAPA 7 A LA 10, FACETAS PEQUEÑAS			
FRICCION/PRESION:				
11. COLOR EN HUMEDO:	10YR7/6	10YR3/2	10YR 3.5/3	10YR 6.5/6
12. CONSISTENCIA				
HUMEDO:		FRIABLE	FRIABLE	
13. ADHESIVIDAD:	MODERADA	FUERTE	MODERADA	FUERTE
14. PLASTICIDAD:	MODERADA	FUERTE	MODERADA	FUERTE

Continuación de la tabla V.4.1.13.

1.HORIZONTE O CAPA:	5	6	7	8
16.TEXTURA AL TACTO:	FRANCO ARCILLO- ARENOSA	ARCILLO- SA	FRANCO ARCILLO- SA	ARCILLO- SA
22.CRISTALES NATURALEZA Y COLOR:	FINOS ABUNDANTES Y DISPERSOS EN TODAS LAS CAPAS, COLOR BLANCO, DE SILICE.			
24.NODULOS	/ / / / /			
TAMAÑO:			PEQUEÑOS	PEQUEÑOS
FORMA:			ESFERICA	ESFERICA
CANTIDAD:			ESCASOS	ESCASOS
DUREZA:			BLANDOS	BLANDOS
DISTRIBUCION:			DISPER- SOS	DISPER- SOS
REACCION AL HCl:			NULA	NULA
REACCION AL H ₂ O ₂ :			FUERTE	FUERTE
NATURALEZA Y COLOR:	NEGROS, DE MANGANESO.			
27.RAICES	/ / / / /			
FINAS:	ESCASAS	ESCASAS	ESCASAS	
MEDIAS:	ESCASAS	ESCASAS	ESCASAS	
HORIZONTE DE CAMPO:	C2	IIA1b	IIB2b	IIC3
DENOMINACION DE HORIZONTES DE CAMPO:		UMBRICO	CAMBICO	

Continuación de la tabla V.4.1.13.

1.HORIZONTE O CAPA:	9	10
2.PROFUNDIDAD (cm)		
LIMITE SUPERIOR:	137	160
LIMITE INFERIOR:	160	200
3.SEPARACION		
CONTRASTE:	ABRUPTA	
FORMA:	ONDULADA	
4.REACCIONES		
HCl:	DEBIL	DEBIL
NaF:	FUERTE	FUERTE
11.COLOR EN HUMEDO:	10YR5.5/4	10YR5/8
13.ADHESIVIDAD:	FUERTE	FUERTE
14.PLASTICIDAD:	FUERTE	FUERTE
16.TEXTURA AL TACTO:	ARCILLA	ARCILLA
24.NODULOS		
TAMAÑO:	PEQUEÑOS	PEQUEÑOS
FORMA:	ESFERICA	ESFERICA
CANTIDAD:	ESCASOS	ESCASOS
DUREZA:	BLANDOS	BLANDOS
DISTRIBUCION:	DISPERSOS	DISPERSOS
REACCION AL HCl:	NULA	NULA
REACCION AL H ₂ O ₂ :	FUERTE	FUERTE
NATURALEZA Y COLOR:	NEGROS, DE MANGANESO	
HORIZONTE DE CAMPO:	IIC4	IIC5

V.2.- PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS.

En la bibliografía (Egawa, 1977; Duchaufour, 1978; Warketin y Maeda, 1980; Boul, 1981; FitzPatrick, 1984; Wada, 1985; Aguilera, 1989), se señala como las principales propiedades de los Andosoles a las siguientes:

- a).- Densidad aparente baja.
- b).- Alta capacidad de retención de agua.
- c).- Elevado contenido de vidrio volcánico en las fracciones gruesas.
- d).- Elevado contenido de minerales alumino- y ferro-silicatos de rango corto en la fracción coloidal.
- e).- Concentración elevada de aluminio y hierro activos.
- f).- Elevados porcentajes de materia orgánica en el epipedón.
- g).- Formación de complejos organominerales entre el humus y el alofano o minerales semejantes.
- h).- La fracción coloidal presenta una baja carga eléctrica superficial permanente y una alta carga eléctrica superficial dependiente del pH o variable.
- i).- El pH en la mayor parte de estos horizontes en 1 g de la fracción tierra fina en 50 ml de NaF 1N es 9.2 o mayor después de 2 min.
- j).- Capacidad para fijar o retener grandes cantidades de fosfatos.
- k).- Bajos porcentajes de saturación de bases, sobre todo en el solum.

V.2.1.- Características físicas y químicas de los Andosoles de la región de Teziutlán.

Las características físicas y químicas particulares de los Andosoles de la región de Teziutlán, se muestran en las tablas V.2.1.1. a V.2.1.13., y con base a lo reportado para Andosoles por otros autores se procederá a discutir los resultados obtenidos en el presente trabajo.

Tabla V.2.1.1.- Características físicas y químicas del perfil
No. 30.

NUMERO DE MUESTRA:	1	2	3	4
PROFUNDIDAD (cm):	0-5	5-50	50-60	60-131
HORIZONTE:	A1	B21	B22	C1
DETERMINACION:				
COLOR EN MUESTRA SECA:	2.5YR3/2	10YR6/6	10YR7/6	
COLOR EN MUESTRA HUMEDA:	5YR2.5/1	7.5YR3/4	10YR4/6	
METODO DE LA PROBETA				
DENSIDAD APARENTE (g/cm ³):	0.61	0.77	0.78	
METODO DEL NUCLEO				
DENSIDAD APARENTE (g/cm ³):	0.63	0.70	0.70	
DENSIDAD REAL (g/cm ³):	1.92	2.16	2.20	
METODO DE BOUYOUCOS				
% DE ARENA:	33.8	33.8	33.8	
% DE LIMO:	45.6	43.6	42.0	
% DE ARCILLA:	20.5	22.5	24.2	
TEXTURA DE SUELO:	FRANCA	FRANCA	FRANCA	
METODO DE KILMER Y ALEXANDER				
% DE ARENA:	30.1	31.7	33.3	
% DE LIMO:	42.7	39.6	41.6	
% DE ARCILLA:	27.2	28.7	25.1	
TEXTURA DE SUELO:	FRANCA	FRANCA	FRANCA	
% DE MATERIA ORGANICA:	18.1	2.4	1.2	
% DE CARBONO ORGANICO:	10.5	1.4	0.7	
% DE NITROGENO TOTAL:	0.81	0.13	0.06	
C/N:	13	11	11	
% DE RETENCION DE POSFATOS:	46.0	58.2	50.4	
% Al EXTRAIBLE:	1.17	1.91	1.51	
% Fe EXTRAIBLE:	0.35	0.27	0.53	
Al + 1/2 Fe EXTRAIBLES (%):	1.34	2.04	1.77	
pH (NaF 1N):	9.2	9.4	9.4	
pH (2:1 H ₂ O:S):	6.0	6.8	6.9	
pH (2:1 KCl:S):	5.2	6.1	6.2	
C.I.C. (cmol(+) / Kg de S):	19.4	9.5	15.1	
% V:	29.4	41.0	40.4	
CATIONES INTERCAMBIABLES (meq/100g de Suelo)				
Ca:	3.3	2.0	2.5	
Mg:	1.6	1.2	1.4	
Na:	0.2	0.4	0.7	
K:	0.6	0.3	1.5	

Tabla V.2.1.2.- Características físicas y químicas del perfil

No. 35.

NUMERO DE MUESTRA:	1	2	3	4
PROFUNDIDAD (cm):	0-8	8-28	28-75	75-130
HORIZONTE:	A1	B1	B2	C
DETERMINACION:				
COLOR EN MUESTRA SECA:	10YR5/4	10YR6/4	10YR6/6	
COLOR EN MUESTRA HUMEDA:	10YR2/2	10YR3/4	10YR3/6	
METODO DE LA PROBETA				
DENSIDAD APARENTE (g/cm ³):	0.78	0.78	0.78	
METODO DEL NUCLEO				
DENSIDAD APARENTE (g/cm ³):	0.65	0.67	0.71	
DENSIDAD REAL (g/cm ³):	2.01	2.23	2.14	
METODO DE BOUYOCOS				
% DE ARENA:	36.2	42.2	42.2	
% DE LIMO:	42.4	38.4	36.3	
% DE ARCILLA:	21.4	19.4	21.5	
TEXTURA DE SUELO:	FRANCA	FRANCA	FRANCA	
METODO DE KILMER Y ALEXANDER				
% DE ARENA:	34.8	43.8	43.2	
% DE LIMO:	39.1	28.6	35.6	
% DE ARCILLA:	26.1	27.6	21.2	
TEXTURA DE SUELO:	FRANCA	FRANCA	FRANCA	
% DE MATERIA ORGANICA:	6.9	3.3	1.6	
% DE CARBONO ORGANICO:	4.0	1.9	0.9	
% DE NITROGENO TOTAL:	0.27	0.13	0.07	
C/N:	15	12	12	
% DE RETENCION DE FOSFATOS:	51.5	52.2	63.2	
% Al EXTRAIBLE:	1.93	1.76	2.05	
% Fe EXTRAIBLE:	0.6	0.64	0.6	
Al + 1/2 Fe EXTRAIBLES (%):	2.23	2.08	2.35	
pH (NaF 1N):	9.4	10.1	10.5	
pH (2:1 H ₂ O:S):	5.1	6.6	7.0	
pH (2:1 KCl:S):	4.4	6.0	6.5	
C.I.C. (cmol(+)/Kg de S):	13.55	13.45	14.85	
% V:	36.9	28.3	36.4	
CATIONES INTERCAMBIABLES (meq/100g de Suelo)				
Ca:	2.9	2.7	3.3	
Mg:	1.1	0.5	1.4	
Na:	0.4	0.36	0.3	
K:	0.6	0.25	0.4	

Tabla V.2.1.3.- Características físicas y químicas del perfil
No. 36.

	1	2	3
NUMERO DE MUESTRA:			
PROFUNDIDAD (cm):	0-12	12-35	35-125
HORIZONTE:	A1	B2	C
DETERMINACION:			
COLOR EN MUESTRA SECA:	10YR5/3	10YR5/6	
COLOR EN MUESTRA HUMEDA:	10YR2/2	7.5YR3/4	
METODO DE LA PROBETA			
DENSIDAD APARENTE (g/cm ³):	0.62	0.80	
METODO DEL NUCLEO			
DENSIDAD APARENTE (g/cm ³):	0.62	0.70	
DENSIDAD REAL (g/cm ³):	2.11	2.18	
METODO DE BOUYOUCOS			
% DE ARENA:	31.5	42.2	
% DE LIMO:	44.6	40.4	
% DE ARCILLA:	23.9	17.4	
TEXTURA DE SUELO:	FRANCA	FRANCA	
METODO DE KILMER Y ALEXANDER			
% DE ARENA:	31.0	40.5	
% DE LIMO:	39.3	32.9	
% DE ARCILLA:	29.7	26.6	
TEXTURA DE SUELO:	FRANCO ARCILLO- SA	FRANCA	
% DE MATERIA ORGANICA:	9.0	3.1	
% DE CARBONO ORGANICO:	5.2	1.8	
% DE NITROGENO TOTAL:	0.32	0.14	
C/N:	16	13	
% DE RETENCION DE FOSFATOS:	60.9	57.0	
% Al EXTRAIBLE:	1.58	1.32	
% Fe EXTRAIBLE:	0.44	0.32	
Al + 1/2 Fe EXTRAIBLES (%):	1.80	1.48	
C.I.C. (cmol(+)/Kg de S):	19.25	13.25	
pH (NaF 1N):	10.3	10.8	
pH (2:1 H ₂ O:S):	6.5	7.0	
pH (2:1 KCl:S):	5.8	6.2	
% V:	54.5	45.28	
CATIONES INTERCAMBIABLES (meq/100g de Suelo)			
Ca:	5.4	2.8	
Mg:	2.8	1.0	
Na:	0.9	0.8	
K:	1.4	1.4	

Tabla V.2.1.4.- Características físicas y químicas del perfil No.41.

NUMERO DE MUESTRA:	1	2	3	4	5
PROFUNDIDAD (cm):	0-10	10-25	25-50	50-67	67-80
HORIZONTE:	A1	B1	B21	B22	C1
DETERMINACION:					
COLOR EN MUESTRA SECA:	2.5Y4/4	10YR5/8	10YR6/6	10YR6/6	10YR6/6
COLOR EN MUESTRA HUMEDA:	5YR2.5/2	7.5YR4/4	7.5YR4/6	7.5YR4/6	7.5YR3/4
METODO DE LA PROBETA					
D. APARENTE (g/cm ³):	0.71	0.73	0.69	0.72	0.87
METODO DEL NUCLEO					
D. APARENTE (g/cm ³):	0.68	0.67	0.60	0.60	0.75
D. REAL (g/cm ³):	1.87	2.01	2.10	2.15	2.36
METODO DE BOUYOUCOS					
% DE ARENA:	32.2	36.2	36.2	36.2	60.2
% DE LIMO:	46.7	46.7	49.1	41.1	28.0
% DE ARCILLA:	21.1	17.1	14.7	22.7	11.8
TEXTURA DE SUELO:	FRANCA	FRANCA	FRANCA	FRANCA	FRANCA ARENOSA
METODO DE KILMER Y ALEXANDER					
% DE ARENA:	28.2	31.7	35.8	32.3	56.1
% DE LIMO:	40.2	40.0	42.3	41.5	30.6
% DE ARCILLA:	31.6	29.3	21.9	26.2	13.3
TEXTURA DE SUELO:	FRANCO ARCILLO- SA	FRANCO ARCILLO- SA	FRANCA	FRANCA	FRANCA ARENOSA
% DE MATERIA ORGANICA:	7.9	3.8	2.8	2.4	1.0
% DE CARBONO ORGANICO:	4.6	2.2	1.6	1.4	0.6
% DE NITROGENO TOTAL:	0.33	0.20	0.12	0.11	0.06
C/N:	14	11	13	13	10
% DE RETENCION DE FOSFATOS:	50.5	38.2	44.0	68.7	
% Al EXTRAIBLE:	1.42	1.93	2.13	2.90	
% Fe EXTRAIBLE:	0.28	0.34	0.25	0.70	
Al + 1/2 Fe EXTRAIBLES (%):	1.56	2.10	2.26	3.25	
pH (NaF 1N):	9.8	10.2	10.0	10.0	
pH (2:1 H ₂ O:S):	5.3	5.4	5.9	6.1	6.3
pH (2:1 KCl:S):	4.5	4.7	5.2	5.5	5.6
C.I.C. (cmol(+) / Kg S):	13.20	10.50	12.80	16.55	13.65
% V:	47.0	39.0	36.7	28.4	44.7
CATIONES INTERCAMBIABLES (meq/100g de Suelo)					
Ca:	3.0	1.9	2.4	1.8	4.5
Mg:	2.3	1.6	1.5	1.5	0.5
Na:	0.4	0.3	0.6	0.6	0.7
K:	0.5	0.3	0.2	0.8	0.4

Tabla V.2.1.5.- Características físicas y químicas del perfil No.62.

	1	2	3
NUMERO DE MUESTRA:			
PROFUNDIDAD (cm):	0-15	15-35	35-47
HORIZONTE:	Ap	B2	B3
DETERMINACION:			
COLOR EN MUESTRA SECA:	10YR5/3	10YR5/4	10YR6/3
COLOR EN MUESTRA HUMEDA:	10YR3/2	7.5YR3/4	10YR3/6
////// METODO DE LA PROBETA ////			
DENSIDAD APARENTE (g/cm ³):	0.80	0.79	0.84
////// METODO DEL NUCLEO ////			
DENSIDAD APARENTE (g/cm ³):	0.69	0.77	0.75
DENSIDAD REAL (g/cm ³):	1.98	2.11	2.10
////// METODO DE BOUYOCOS ////			
% DE ARENA:	51.8	46.6	55.3
% DE LIMO:	29.3	33.2	27.3
% DE ARCILLA:	18.9	20.2	17.4
TEXTURA DE SUELO:	FRANCA	FRANCA	FRANCO ARENOSA
METODO DE KILMER Y ALEXANDER			
% DE ARENA:	48.3	43.8	53.8
% DE LIMO:	25.6	33.6	22.0
% DE ARCILLA:	26.1	22.6	24.2
TEXTURA DE SUELO:	FRANCO ARCILLO- ARENOSA	FRANCA	FRANCO ARCILLO- ARENOSA
% DE MATERIA ORGANICA:	6.4	4.5	1.5
% DE CARBONO ORGANICO:	3.7	2.6	0.9
% DE NITROGENO TOTAL:	0.25	0.20	0.08
C/N:	15	13	12
% DE RETENCION DE FOSFATOS:	61.8	65.3	54.0
% Al EXTRAIBLE:	1.05	1.23	0.92
% Fe EXTRAIBLE:	0.37	0.34	0.38
Al + 1/2 Fe EXTRAIBLES (%):	1.23	1.40	1.11
pH EN NaF 1N:	9.5	9.8	9.3
pH (2:1 H ₂ O:S):	5.0	6.0	6.4
pH (2:1 KCl:S):	4.4	5.3	5.8
C.I.C. (cmol(+)/Kg de S):	16.0	15.0	11.5
% V:	28.4	29.8	38.5
////// CATIONES INTERCAMBIABLES (meq/100g de Suelo) ////			
Ca:	3.4	4.0	3.0
Mg:	0.6	1.0	0.5
Na:	0.4	0.4	0.4
K:	0.5	0.5	0.5

Tabla V.2.1.6.- Características físicas y químicas del perfil
No. 63.

NUMERO DE MUESTRA:	1	2	3
PROFUNDIDAD (cm):	0-30	30-63	63-125
HORIZONTE:	Ap	AC	C
DETERMINACION:			
COLOR EN MUESTRA SECA:	10YR6/4	2.5Y7/4	
COLOR EN MUESTRA HUMEDA:	10YR3/4	10YR4/6	
////// METODO DE LA PROBETA			
DENSIDAD APARENTE (g/cm ³):	0.87	0.89	0.87
////// METODO DEL NUCLEO			
DENSIDAD APARENTE (g/cm ³):	0.75	0.87	
DENSIDAD REAL (g/cm ³):	2.22	2.26	2.78
////// METODO DE BOUYOCOS			
% DE ARENA:	62.7	72.7	87.1
% DE LIMO:	22.0	14.0	7.3
% DE ARCILLA:	15.3	13.3	5.6
TEXTURA DE SUELO:	FRANCO ARENOSA	FRANCO ARENOSA	ARENA FRANCOSA
////// METODO DE KILMER Y ALEXANDER			
% DE ARENA:	59.1	70.7	86.3
% DE LIMO:	25.4	13.6	7.9
% DE ARCILLA:	15.5	15.7	5.8
TEXTURA DE SUELO:	FRANCO ARENOSA	FRANCO ARENOSA	ARENA FRANCOSA
% DE MATERIA ORGANICA:	2.9	0.5	
% DE CARBONO ORGANICO:	1.7	0.3	
% DE NITROGENO TOTAL:	0.11	0.02	
C/N:	15	17	
% DE RETENCION DE FOSFATOS:	60.2	58.0	50.6
% Al EXTRAIBLE:	1.52	1.41	1.11
% Fe EXTRAIBLE:	0.30	0.22	0.31
Al + 1/2 Fe EXTRAIBLES (%):	1.67	1.52	1.26
pH (NaF 1N):	9.0	9.2	9.6
pH (2:1 H ₂ O:S):	6.0	6.0	7.0
pH (2:1 KCl:S):	5.1	5.2	5.9
C.I.C. (cmol(+) /Kg de S):	21.4	14.3	8.0
% V:	31.3	29.3	19.2
////// CATIONES INTERCAMBIABLES (meq/100g de Suelo)			
Ca:	3.4	2.0	0.9
Mg:	0.9	0.6	0.1
Na:	1.4	0.9	0.3
K:	1.0	0.6	0.1

Tabla V.2.1.7.- Características físicas y químicas del perfil
No. 84.

NUMERO DE MUESTRA:	1	2	3	4a	4b
PROFUNDIDAD (cm):	0-13	13-20	20-42	42-83	83-125
HORIZONTE:	A1	AB	B2	IIC11	IIC12
DETERMINACION:					
COLOR EN MUESTRA SECA:	10YR7/4	7.5YR6/4	10YR7/6	7.5YR4/4	5Y5/3
COLOR EN MUESTRA HUMEDA:	7.5YR4/4	7.5YR 4.5/4	7.5YR4/6	10YR6/6	2.5Y 7/2
METODO DE LA PROBETA					
D. APARENTE (g/cm ³):	0.70	0.70	0.63	0.80	0.85
METODO DEL NUCLEO					
D. APARENTE (g/cm ³):	0.71	0.66	0.60	0.74	0.81
D. REAL (g/cm ³):	1.95	2.14	2.12	2.52	2.98
METODO DE BOUYOCOS					
% DE ARENA:	39.7	45.7	51.7	52.6	47.8
% DE LIMO:	46.0	43.3	31.3	23.3	29.3
% DE ARCILLA:	14.4	11.0	17.0	24.2	22.8
TEXTURA DE SUELO:	FRANCA	FRANCA	FRANCA	FRANCO ARCILLO ARENOSA	FRANCA
METODO DE KILMER Y ALEXANDER					
% DE ARENA:	35.1	39.4	47.9	37.3	35.3
% DE LIMO:	48.6	43.6	26.6	17.4	16.2
% DE ARCILLA:	16.3	17.0	25.5	45.3	48.5
TEXTURA DE SUELO:	FRANCA	FRANCA	FRANCO ARCILLO- ARENOSA	ARCILLO- SA	ARCI- LLOSA
% DE MATERIA ORGANICA:	11.5	5.4	2.8	1.7	0.1
% DE CARBONO ORGANICO:	6.7	3.1	1.6	1.0	0.06
% DE NITROGENO TOTAL:	0.39	0.21	0.13	0.07	
C/N:	17	15	12	15	
% RET. DE FOSFATOS:	34.9	45.5	56.7		
% Al EXTRAIBLE:	1.93	1.95	2.35		
% Fe EXTRAIBLE:	0.35	0.37	0.66		
Al + 1/2 Fe EXTRAIBLES (%):	2.10	2.13	2.68		
pH (NaF 1N):	10.2	10.6	11.2		
pH (2:1 H ₂ O:S):	5.9	5.6	6.1	5.9	6.4
pH (2:1 KCl:S):	5.3	5.0	5.4	5.4	5.7
C.I.C.:	33.0	21.8	30.7	23.1	28.3
(cmol(+)/Kg de S)					
% v:	10.6	33.0	10.2	56.3	23.4
CATIONES INTERCAMBIABLES (meq/100g de Suelo)					
Ca:	2.3	4.3	1.5	8.5	3.3
Mg:	0.5	2.5	1.0	4.0	1.9
Na:	0.4	0.2	0.5	0.3	0.4
K:	0.3	0.2	0.1	0.2	0.9

Tabla V.2.1.8.- Características físicas y químicas del perfil

No. 6.

NUMERO DE MUESTRA:	1	2	3	4
PROFUNDIDAD (cm):	0-20	20-40	40-50	50-125
HORIZONTE:	Ap	C1	B2b	C2
DETERMINACION:				
COLOR EN MUESTRA SECA:	10YR5/4	2.5YR6/4	10YR6/6	
COLOR EN MUESTRA HUMEDA:	10YR3/4	10YR3/4	7.5YR3/4	
METODO DE LA PROBETA				
DENSIDAD APARENTE (g/cm ³):	0.69	0.79	0.68	
METODO DEL NUCLEO				
DENSIDAD APARENTE (g/cm ³):	0.64	0.72	0.61	
DENSIDAD REAL (g/cm ³):	2.02	2.22	2.16	
METODO DE BOUYOUCOS				
% DE ARENA:	43.6	55.1	47.4	
% DE LIMO:	52.0	34.0	34.4	
% DE ARCILLA:	4.4	10.9	18.2	
TEXTURA DE SUELO:	FRANCO LIMOSA	FRANCO ARENOSA	FRANCA	
METODO DE KILMER Y ALEXANDER				
% DE ARENA:	39.1	53.7	38.4	
% DE LIMO:	49.1	33.9	29.0	
% DE ARCILLA:	11.8	12.4	32.6	
TEXTURA DE SUELO:	FRANCA	FRANCO ARENOSA	FRANCO ARCILLOSA	
% DE MATERIA ORGANICA:	6.8	0.4	2.6	
% DE CARBONO ORGANICO:	3.9	0.2	1.5	
% DE NITROGENO TOTAL:	0.26	0.01	0.23	
C/N:	15	13	12	
% DE RETENCION DE FOSFATOS:	72.3	63.4	43.6	
% Al EXTRAIBLE:	1.88	1.89	1.33	
% Fe EXTRAIBLE:	0.65	0.21	0.63	
Al + 1/2 Fe EXTRAIBLES (%):	2.20	1.99	1.64	
pH (NaF 1N):	10.5	10.0	9.5	
pH (2:1 H ₂ O:S):	5.0	6.0	5.9	
pH (2:1 KCl:S):	4.2	5.2	4.9	
C.I.C. (cmol(+)/Kg de S):	21.3	25.0	21.6	
% V:	30.0	32.8	30.5	
CATIONES INTERCAMBIABLES (meq/100g de Suelo)				
Ca:	3.0	5.0	3.5	
Mg:	2.0	2.0	1.0	
Na:	0.8	0.6	1.6	
K:	0.6	1.6	0.5	

Tabla V.2.1.9.- Características físicas y químicas del perfil No.20.

NUMERO DE MUESTRA:	1	2	3	4
PROFUNDIDAD (cm):	0-10	10-30	30-120	120-133
HORIZONTE:	A1	B2	C1	B2b
DETERMINACION:				
COLOR EN MUESTRA SECA:	2.5Y4/4	10YR5/6	10YR6/6	10YR7/6
COLOR EN MUESTRA HUMEDA:	10YR3/2	10YR3/4	10YR3/6	10YR3/6
METODO DE LA PROBETA				
DENSIDAD APARENTE (g/cm ³):	0.71	0.66	0.68	0.77
METODO DEL NUCLEO				
DENSIDAD APARENTE (g/cm ³):	0.65	0.62	0.67	0.75
DENSIDAD REAL (g/cm ³):	1.98	2.17	2.23	2.30
METODO DE BOUYOCOS				
% DE ARENA:	51.1	43.6	59.6	51.6
% DE LIMO:	32.0	38.0	26.0	28.0
% DE ARCILLA:	16.9	18.4	14.4	20.4
TEXTURA DE SUELO:	FRANCA	FRANCA	FRANCA ARENOSA	FRANCA
METODO DE KILMER Y ALEXANDER				
% DE ARENA:	45.4	39.0	53.8	42.9
% DE LIMO:	35.6	33.5	22.0	35.3
% DE ARCILLA:	19.0	27.5	24.2	21.8
TEXTURA DE SUELO:	FRANCA	FRANCO ARCILLO- SA	FRANCO ARCILLO- ARENOSA	FRANCA
% DE MATERIA ORGANICA:	9.1	5.5	0.5	0.5
% DE CARBONO ORGANICO:	5.3	3.2	0.3	0.3
% DE NITROGENO TOTAL:	0.41	0.23		
C/N:	13	14		
% DE RETENCION DE FOSFATOS:	64.7	70.4		73.4
% Al EXTRAIBLE:	1.8	2.06		1.91
% Fe EXTRAIBLE:	0.49	0.27		0.41
Al + 1/2 Fe EXTRAIBLES (%):	2.04	2.2		2.11
pH (NaF 1N):	10.6	10.8	9.3	10.2
pH (2:1 H ₂ O:S):	5.4	5.6	6.4	6.4
pH (2:1 KCl:S):	4.7	4.9	5.5	6.0
C.I.C. (cmol(+)/Kg de S):	19.4	14.3	23.9	19.5
% V:	19.8	22.4	22.6	36.4
CATIONES INTERCAMBIABLES (meq/100g de Suelo)				
Ca:	2.0	1.5	3.0	3.4
Mg:	1.0	1.0	1.0	1.4
Na:	0.35	0.40	0.65	0.70
K:	0.50	0.30	0.75	1.60

Tabla V.2.1.10.- Características físicas y químicas del perfil
No. 87.

NUMERO DE MUESTRA:	1	2	3	4
PROFUNDIDAD:	0-13	13-42	42-80	80-110
HORIZONTE:	A1	AB	B21	B22
DETERMINACION:				
COLOR EN MUESTRA SECA:	10YR2/2	7.5YR3/4	7.5YR4/6	7.5YR5/6
COLOR EN MUESTRA HUMEDA:	10YR3/3	10YR5/6	10YR7/6	10YR7/6
METODO DE LA PROBETA				
DENSIDAD APARENTE (g/cm ³):	0.63	0.63	0.57	0.68
METODO DEL NUCLEO				
DENSIDAD APARENTE (g/cm ³):	0.60	0.57	0.53	0.62
DENSIDAD REAL (g/cm ³):	2.12	2.18	2.10	2.13
METODO DE BOUYOCOS				
% DE ARENA:	47.8	49.8	47.8	57.8
% DE LIMO:	29.3	27.3	40.0	22.0
% DE ARCILLA:	22.9	22.9	12.2	20.2
TEXTURA DE SUELO:	FRANCA	FRANCO ARCILLO- ARENOSA	FRANCA	FRANCO ARCILLO- ARENOSA
METODO DE KILMER Y ALEXANDER				
% DE ARENA:	42.1	45.6	41.6	54.0
% DE LIMO:	25.6	23.6	38.3	22.7
% DE ARCILLA:	32.3	30.8	20.1	23.3
TEXTURA DE SUELO:	FRANCO ARCILLO- SA	FRANCO ARCILLO- SA	FRANCA	FRANCO ARCILLO- ARENOSA
% DE MATERIA ORGANICA:	10.0	7.1	2.3	0.9
% DE CARBONO ORGANICO:	5.8	4.1	1.3	0.5
% DE NITROGENO TOTAL:	0.41	0.27	0.07	
C/N:	14	15	18	
% DE RETENCION DE FOSFATOS:	70.0	80.0	74.0	66.4
% Al EXTRAIBLE:	2.03	2.7	2.96	2.63
% Fe EXTRAIBLE:	0.34	0.49	0.66	0.57
Al + 1/2 Fe EXTRAIBLES (%):	2.2	2.9	3.3	2.9
pH (NaF 1N):	10.8	9.7	9.5	9.7
pH (2:1 H ₂ O:S):	5.3	6.0	6.2	5.6
pH (2:1 KCl/S):	4.8	5.3	5.7	5.1
C.I.C. (cmol(+)/Kg de S):	34.6	17.0	29.0	23.5
% V:	14.2	17.2	6.7	12.7
CATIONES INTERCAMBIABLES (meq/100g de Suelo)				
Ca:	3.5	1.9	1.3	2.0
Mg:	1.0	0.5	0.2	0.5
Na:	0.2	0.4	0.3	0.4
K:	0.1	0.1	0.1	0.1

Tabla V.2.1.11.- Características físicas y químicas del perfil
No. 110.

NUMERO DE MUESTRA:	1	2	3
PROFUNDIDAD (cm):	0-15	15-40	40-73
HORIZONTE:	A11	A12	B21
DETERMINACION:			
COLOR EN MUESTRA SECA:	10YR4/2	10YR3/2	10YR6/4
COLOR EN MUESTRA HUMEDA:	10YR2/1	10YR2/1	10YR5/6
INDICE MELANICO (E ₄ /E ₅):	1.75	1.75	
////// METODO DE LA PROBETA			
DENSIDAD APARENTE (g/cm ³):	0.50	0.54	0.74
////// METODO DEL NUCLEO			
DENSIDAD APARENTE (g/cm ³):	0.51	0.50	0.71
DENSIDAD REAL (g/cm ³):	1.97	2.00	2.18
////// METODO DE BOUYOCOS			
% DE ARENA:	60.7	60.7	87.3
% DE LIMO:	33.3	31.3	8.7
% DE ARCILLA:	6.0	8.0	4.7
TEXTURA DE SUELO:	FRANCO ARENOSA	FRANCO ARENOSA	ARENA FRANCOSA
////// METODO DE KILMER Y ALEXANDER			
% DE ARENA:	45.7	40.7	37.3
% DE LIMO:	32.3	47.3	52.7
% DE ARCILLA:	22.0	12.0	10.0
TEXTURA DE SUELO:	FRANCA	FRANCA	FRANCO LIMOSA
% DE MATERIA ORGANICA:	12.0	12.5	1.2
% DE CARBONO ORGANICO:	7.0	7.2	0.7
% DE NITROGENO TOTAL:	0.54	0.55	0.04
C/N:	13	13	16
% DE RETENCION DE FOSFATOS:	86.9	86.0	70.5
% Al EXTRAIBLE:	3.42	2.71	2.09
% Fe EXTRAIBLE:	1.80	1.72	0.91
Al + 1/2 Fe EXTRAIBLES (%):	4.32	3.57	2.54
pH (NaF 1N):	11.5	11.5	10.8
pH (2:1 H ₂ O:S):	4.8	5.1	5.6
pH (2:1 KCl:S):	4.0	4.0	4.8
C.I.C. (cmol(+) / Kg de S):	35.8	35.8	16.0
% V:	27.4	27.9	33.1
////// CATIONES INTERCAMBIABLES (meq/100g de Suelo)			
Ca:	5.6	5.9	2.9
Mg:	1.4	1.0	0.8
Na:	2.0	2.5	1.3
K:	0.8	0.6	0.3

Continuación de la tabla V.2.1.11.

	4	5	6
NUMERO DE MUESTRA:			
PROFUNDIDAD (cm):	73-106	106-150	150-200
HORIZONTE:	B22	IIC1	IIC2
DETERMINACION:			
COLOR EN MUESTRA SECA:	10YR6/6	10YR7/4	10YR7/4
COLOR EN MUESTRA HUMEDA:	10YR4/6	10YR6/4	10YR6/6
////// METODO DE LA PROBETA			
DENSIDAD APARENTE (g/cm ³):	0.77	0.83	0.91
////// METODO DEL NUCLEO			
DENSIDAD APARENTE (g/cm ³):	0.71	0.79	0.88
DENSIDAD REAL (g/cm ³):	2.32	2.67	2.66
////// METODO DE BOUYOUCOS			
% DE ARENA:	85.3	85.3	75.3
% DE LIMO:	10.7	10.7	20.7
% DE ARCILLA:	4.7	4.7	4.7
TEXTURA DE SUELO:	ARENO- FRANCOSA	ARENO- FRANCOSA	ARENO- FRANCOSA
////// METODO DE KILMER Y ALEXANDER			
% DE ARENA:	30.2	17.5	14.1
% DE LIMO:	48.5	65.4	71.2
% DE ARCILLA:	21.3	17.1	14.7
TEXTURA DE SUELO:	FRANCA	FRANCO LIMOSA	FRANCO LIMOSA
% DE MATERIA ORGANICA:	0.5	1.0	0.9
% DE CARBONO ORGANICO:	0.3	0.6	0.5
pH (2:1 H ₂ O:S):	4.4	5.0	5.2
pH (2:1 KCl:S):	5.4	3.8	4.2
C.I.C. (cmol(+)/Kg de S):	10.5	10.3	6.1
% V:	40.9	33.0	54.1
////// CATIONES INTERCAMBIABLES (meq/100g de Suelo)			
Ca:	2.0	1.6	1.6
Mg:	0.8	0.8	0.5
Na:	1.2	0.9	1.1
K:	0.3	0.1	0.1

Tabla V.2.1.12.- Características físicas y químicas del perfil
No. 111.

	1	2	3
NUMERO DE MUESTRA:			
PROFUNDIDAD (cm):	0-34	34-67	67-101
HORIZONTE:	A111	A112	A121
DETERMINACION:			
COLOR EN MUESTRA SECA:	10YR3/3	10YR4/3	10YR5/3
COLOR EN MUESTRA HUMEDA:	10YR2/1	10YR2/1	10YR2/1
INDICE MELANICO (E_4/E_5):	1.73	1.72	1.73
////// METODO DE LA PROBETA			
DENSIDAD APARENTE (g/cm^3):	0.69	0.71	0.72
////// METODO DEL NUCLEO			
DENSIDAD APARENTE (g/cm^3):	0.61	0.67	0.69
DENSIDAD REAL (g/cm^3):	1.93	1.96	1.90
////// METODO DE BOUYOCOS			
% DE ARENA:	59.6	61.6	53.6
% DE LIMO:	6.0	8.0	12.0
% DE ARCILLA:	34.4	30.4	34.4
TEXTURA DE SUELO:	FRANCO ARCILLO- ARENOSO	FRANCO ARCILLO- ARENOSO	FRANCO ARCILLO- ARENOSO
////// METODO DE KILMER Y ALEXANDER			
% DE ARENA:	27.8	24.4	20.3
% DE LIMO:	34.7	42.1	45.5
% DE ARCILLA:	37.5	33.5	34.2
TEXTURA DE SUELO:	FRANCO ARCILLO- SA	FRANCO ARCILLO- SA	FRANCO ARCILLO- SA
% DE MATERIA ORGANICA:	12.7	12.2	11.9
% DE CARBONO ORGANICO:	7.4	7.1	6.9
% DE NITROGENO TOTAL:	0.46	0.47	0.53
C/N:	16	15	13
% DE RETENCION DE FOSFATOS:	80.6	80.6	87.2
% Al EXTRAIBLE:	3.09	2.84	3.06
% Fe EXTRAIBLE:	1.25	1.28	1.96
Al + 1/2 Fe EXTRAIBLES (%):	3.72	3.48	4.04
pH (NaF 1N):	10.3	10.3	10.8
pH (2:1 H ₂ O:S):	5.1	5.4	5.4
pH (2:1 KCl:S):	4.5	4.8	4.7
C.I.C. (cmol(+)/Kg de S):	16.8	16.5	13.8
% V:	50.6	41.9	38.3
////// CATIONES INTERCAMBIABLES (meq/100g de Suelo)			
Ca:	4.1	4.6	4.3
Mg:	1.3	0.2	0.7
Na:	2.8	1.8	0.2
K:	0.3	0.2	0.2

Continuación de la tabla V.2.1.12.

	4	5	6
NUMERO DE MUESTRA:	101-135	135-160	160-200
PROFUNDIDAD (cm):	A122	2C1	2C2
HORIZONTE:			
DETERMINACION:			
COLOR EN MUESTRA SECA:	10YR3/3	10YR7/4	10YR7/8
COLOR EN MUESTRA HUMEDA:	10YR2/2	10YR3/4	5YR5/8
////// METODO DE LA PROBETA			
DENSIDAD APARENTE (g/cm ³):	0.74	0.62	0.62
////// METODO DEL NUCLEO			
DENSIDAD APARENTE (g/cm ³):	0.69	0.67	0.68
DENSIDAD REAL (g/cm ³):	1.92	2.17	2.22
////// METODO DE BOUYOCOS			
% DE ARENA:	63.6	72.0	69.6
% DE LIMO:	8.0	4.0	10.0
% DE ARCILLA:	28.4	24.0	20.4
TEXTURA DE SUELO:	FRANCO ARCILLO- ARENOSO	FRANCO ARENOSO	FRANCO ARENOSO
////// METODO DE KILMER Y ALEXANDER			
% DE ARENA:	21.0	13.9	15.1
% DE LIMO:	44.5	54.6	62.6
% DE ARCILLA:	34.5	31.5	22.3
TEXTURA DE SUELO:	FRANCO ARCILLO- SA	FRANCO ARCILLO- LIMOSA	FRANCO LIMOSA
% DE MATERIA ORGANICA:	9.2	2.9	1.4
% DE CARBONO ORGANICO:	5.3	1.7	0.8
% DE NITROGENO TOTAL:	0.41	0.13	0.07
C/N:	13	13	11
pH (2:1 H ₂ O:S):	5.3	5.6	5.8
pH (2:1 KCl:S):	4.7	4.6	4.9
C.I.C. (cmol(+)/Kg de S):	17.3	17.2	17.8
% V:	25.5	27.9	8.7
////// CATIONES INTERCAMBIABLES (meq/100g de Suelo)			
Ca:	3.9	2.6	1.1
Mg:	0.4	0.3	0.4
Na:	0.1	1.8	0.03
K:	0.01	0.07	0.02

Tabla V.2.1.13.- Características físicas y químicas del perfil
No. 118.

NUMERO DE MUESTRA:	1	2	3	4
PROFUNDIDAD (cm):	0-10	10-23	23-36	36-55
HORIZONTE:	A1	B2	C1	B2b
DETERMINACION:				
COLOR EN MUESTRA SECA:	10YR5/4	10YR5/8	10YR5/6	10YR5/5
COLOR EN MUESTRA HUMEDA:	10YR3/3	7.5YR3/4	7.5YR3/4	7.5YR4/4
METODO DE LA PROBETA				
DENSIDAD APARENTE (g/cm ³):	0.75	0.64		0.73
METODO DEL NUCLEO				
DENSIDAD APARENTE (g/cm ³):	0.71	0.58		0.68
DENSIDAD REAL (g/cm ³):	2.23	1.97	2.20	2.21
METODO DE BOUYOCOS				
% DE ARENA:	48.0	62.0	60.0	42.0
% DE LIMO:	31.3	25.3	17.3	13.3
% DE ARCILLA:	20.7	12.7	22.7	44.7
TEXTURA DE SUELO:	FRANCA	FRANCA ARENOSA	FRANCA ARCILLO- ARENOSA	ARCILLO- SA
METODO DE KILMER Y ALEXANDER				
% DE ARENA:	35.3	37.9	48.4	
% DE LIMO:	31.8	22.6	24.0	
% DE ARCILLA:	32.9	39.5	27.6	
TEXTURA DE SUELO:	FRANCO ARCILLO- SA	FRANCO ARCILLO- SA	FRANCO ARCILLO- ARENOSA	
% DE MATERIA ORGANICA:	10.1	4.4	1.8	1.7
% DE CARBONO ORGANICO:	5.9	2.5	1.0	1.0
% DE NITROGENO TOTAL:	0.45	0.19	0.07	0.06
C/N:	13	13	14	17
% DE RETENCION DE FOSFATOS:	76.2	80.9	70.6	
% Al EXTRAIBLE:	2.98	3.42	2.81	
% Fe EXTRAIBLE:	0.94	1.00	0.84	
Al + 1/2 Fe EXTRAIBLES (%):	3.45	3.92	3.23	
pH (NaF 1N):	10.7	10.7	10.1	
pH (2:1 H ₂ O:S):	6.0	6.3	6.2	6.5
pH (2:1 KCl:S):	5.4	5.6	5.4	5.8
C.I.C. (cmol(+) /Kg de S):	34.2	33.7	35.5	26.4
% V:	55.7	30.1	52.2	92.6
CATIONES INTERCAMBIABLES (meq/100g de Suelo)				
Ca:	9.7	6.5	10.2	13.8
Mg:	3.1	1.2	1.9	2.4
Na:	2.2	0.7	1.0	0.8
K:	4.0	1.7	5.4	7.4

Continuación de la tabla V.2.1.13.

	5	6	7
NUMERO DE MUESTRA:	55-82	82-100	100-122
PROFUNDIDAD (cm):	C2	IIA1b	IIB2b
HORIZONTE:			
DETERMINACION:			
COLOR EN MUESTRA SECA:	10YR8/3	10YR2/1	10YR3/3
COLOR EN MUESTRA HUMEDA:	10YR6/6	10YR2/1	10YR2/1
////// METODO DE LA PROBETA			
DENSIDAD APARENTE (g/cm ³):		0.85	0.81
DENSIDAD REAL (g/cm ³):	2.32	2.20	2.19
////// METODO DE BOUYOCOS			
% DE ARENA:	48.0	65.2	72.2
% DE LIMO:	15.3	15.6	14.6
% DE ARCILLA:	36.7	19.2	13.2
TEXTURA DE SUELO:	ARCILLO- ARENOSA	FRANCO ARENOSA	FRANCO ARENOSA
% DE MATERIA ORGANICA:	0.4	4.7	2.9
% DE CARBONO ORGANICO:	0.2	2.7	1.7
pH (2:1 H ₂ O:S):	5.9	5.9	5.8
pH (2:1 KCl:S):	5.3	5.3	5.0
C.I.C. (cmol(+)/Kg de S):	18.8	34.9	29.9
% V:	55.8	26.6	41.5
////// CATIONES INTERCAMBIABLES (meq/100g de Suelo)			
Ca:	6.1	6.1	9.4
Mg:	2.6	1.3	0.6
Na:	0.9	1.3	1.3
K:	0.9	0.9	1.1

Continuación de la tabla V.2.1.13.

	8	9	10
NUMERO DE MUESTRA:	122-137	137-160	160-200
PROFUNDIDAD (cm):	IIC3	IIC4	IIC5
HORIZONTE:			
DETERMINACION:			
COLOR EN MUESTRA SECA:	10YR6/4	10YR4/3	10YR6/6
COLOR EN MUESTRA HUMEDA:	7.5YR4/4	10YR2/2	7.5YR3/4
DENSIDAD REAL (g/cm ³):	2.70	2.71	2.70
////// METODO DE BOUYUCOS			
% DE ARENA:	73.8	78.8	83.8
% DE LIMO:	16.0	12.0	10.0
% DE ARCILLA:	10.2	9.2	6.2
TEXTURA DE SUELO:	FRANCO ARENOSO	FRANCO ARENOSO	ARENO- FRANCOSO
% DE MATERIA ORGANICA:	1.7	2.8	1.3
% DE CARBONO ORGANICO:	1.0	1.6	0.7
pH (2:1 H ₂ O:S):	5.6	5.7	5.8
pH (2:1 KCl:S):	4.5	4.6	4.9
C.I.C. (cmol(+)/Kg de S):	24.6	31.8	26.1
% V:	92.3	47.8	45.6
////// CATIONES INTERCAMBIABLES (meq/100g de Suelo)			
Ca:	15.4	8.7	6.8
Mg:	3.1	1.9	1.3
Na:	2.9	2.9	2.4
K:	1.3	1.7	1.4

A pesar de la presencia del elemento formativo "And" (oscuro en lengua japonesa), no todos los Andosoles son oscuros en la superficie, ciertamente, los horizontes en la parte superficial con frecuencia tienen un color muy oscuro (de gris oscuro a negro) y gran espesor particularmente en Japón y en el altiplano de los Andes (Leamy et al., 1980). En formaciones volcánicas muy recientes, el color es igual, muy oscuro pero el espesor puede ser menor (Colmet-Daage, et al., 1967). En un clima tropical, el color aparece menos oscuro y más brillante (de pardo oscuro a pardo rojizo oscuro) y la acumulación de humus es menos importante que la ocurrida en condiciones de un clima frío, aunque es mayor que lo observado en otros suelos tropicales (Quantin, 1972).

En Andosoles jóvenes con bajo contenido de alofano, el color tiende a ser determinado por el material parental (Flach, 1965). Los suelos de ceniza volcánica incluyen muchos minerales de color oscuro, tales como hiperstena, hornblenda, augita, olivino, y magnetita. La ceniza volcánica es entonces predominantemente negra y baja en materia orgánica o material alofánico (Mizota y Wada, 1980). Otros materiales volcánicos tales como pumicita y algunas rocas dacíticas son casi blancos. No obstante, una cantidad pequeña de materia orgánica tornará estos materiales muy oscuros, al menos en el horizonte superficial (Leamy et al., 1980).

En las diferentes regiones térmicas del centro de Chile, cálidas isohipertérmicas y templadas, dominan claramente los ácidos fúlvicos extraídos con solución de pirofosfato. Los suelos son color pardo oscuro en la superficie y amarillos en los horizontes profundos (Wright, 1965).

Por otro lado, en las regiones frías isomésicas, o en las regiones isotérmicas más frías con una temperatura casi constante, dominan los ácidos húmicos. Los suelos son negros en todo el perfil, algunas veces arriba de varios metros. Hay así una clara relación entre el color y la naturaleza de la materia orgánica, por lo que no hay virtualmente diferencia en la mineralogía del suelo (Simonson y Rieger, 1967).

En Japón se reportan común y consistentemente suelos profundos, y de epipedón obscuro (Egawa, 1977). Los suelos característicos del Kurobokudo, los cuales se extienden a Hokkaido, Tohoku, Kanto y Kyushu, presentan un horizonte A de color negruzco, muy rico en humus (15-30%) y un espesor de 30-50 cm, aunque ocasionalmente puede alcanzar profundidades de más de 100 cm debido a la redepositación o caída intermitente de ceniza. El horizonte B va de pardo a pardo amarillento.

En Nueva Zelanda, en un régimen de temperatura predominantemente mésico, las capas superficiales de los Andosoles son profundas, oscuras y ricas en humus, en comparación con los suelos asociados, pero no alcanzan el alto valor que para estas propiedades, presentan los suelos de Japón y Chile (N. Z. Bureau, 1968). El espesor de los horizontes A de color obscuro, raramente excede los 20 cm y el contenido de carbono orgánico se encuentra en un rango de 8 a 12 % (Gibbs, 1968).

Para los Andosoles de la región de Teziutlán, el color del suelo determinado en el laboratorio nos dió como resultado variaciones en el hue o tinte entre el 10YR, 7.5YR, 5YR, 2.5YR, 5Y y 2.5Y, predominando los colores pardos (YR).

En los epipedones la intensidad o pureza (value) fué en general de 3 o menor en muestra húmeda, ésto significó que a excepción del epipedón del perfil 84, todos los demás cumplieron con el requisito de color para ser considerados mólicos o úmbricos, para su diferenciación es necesario conocer su porcentaje de saturación de bases. Colores en muestra húmeda con una relación intensidad/brillantez de 2/2 o menor, fueron comunmente encontrados: en los epipedones (perfiles 35, 36, 110 y 111), sin embargo, éstos no cumplieron con el requisito de presentar un índice melánico de 1.70 o menor (Shoji, 1988), por lo que no pueden ser considerados como epipedones melánicos (Soil Survey Staff, 1990). Esto tiene plena justificación si tomamos en cuenta que el epipedón melánico fué introducido recientemente en el sistema Soil Taxonomy, para diferenciar aquel horizonte formado a partir de la acumulación de grandes cantidades de residuos de raíces de vegetación de gramíneas, rico en ácidos húmicos del tipo A; de aquel, que como en nuestro caso,

es formado a partir de la acumulación de residuos de vegetación forestal, rico en ácidos húmicos del tipo P o del tipo B (Chen et al., 1977).

El color en muestra seca de los epipedones se presenta en general con una intensidad de 5 o más oscura; y comparando el color del epipedón con el del horizonte B o el de la capa C1, la intensidad es al menos una unidad Munsell más oscura o la brillantez (chroma) es al menos dos unidades más baja. También se puede apreciar que el contenido de materia orgánica esta influyendo significativamente en el color del epipedón, es decir, a mayor contenido de materia orgánica el color tiende a ser más oscuro, independientemente de la composición mineralógica del material parental.

En el caso de los endopedones cámbicos, los colores tanto en húmedo como en seco presentan una brillantez más alta o un tinte más rojizo que las capas C. La relación entre colores de suelo y contenidos en materia orgánica presentan la misma tendencia que en el caso de los epipedones, pasando a segundo término, nuevamente, la influencia de la composición mineralógica del material parental del suelo.

V.2.3.- Densidad aparente.

En los Andosoles se tiene que la relación del volumen ocupado por el agua a volumen ocupado por sólidos es mayor en el subsuelo que en la parte superficial de ahí que la magnitud de la densidad aparente es baja y la porosidad y capacidad de retención de humedad son altas; estas características unidas a otras pueden explicar el porqué estos suelos se intemperizan rápidamente, sufren problemas importantes de erosión hídrica y eólica; así como daños que presentan las plantas por las heladas (Egawa, 1977).

En la tabla V.2.3.1., se pueden apreciar los valores que para densidad aparente de Andosoles han sido reportados por diferentes autores.

Gradwell (1974, 1976) y Maeda et al., (1977) encontraron que el valor límite de la densidad aparente que determinan si los suelos son o no derivados de cenizas volcánicas en Nueva Zelanda y Japón es de 0.85 g/cm³.

Tabla V.2.3.1.- Algunos resultados de la densidad aparente de Andosoles reportados por diferentes autores.

PROF. (cm)	HORIZONTE	DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)
	PERFIL B	
0-50		0.87
50-78		0.85
78-90		0.79
90-133		0.46
133-163		----
	PERFIL C	
0-12		1.20
12-24		1.30
24-35		0.90
35-63		0.80
63-68		0.95
68-109		1.00
	PERFIL D	
0-16		0.65
16-35		0.50
35-50		0.35
50-67		0.45
67-73		0.40
73-100		0.45
	PERFIL E	
0-13		0.40
13-38		0.30
38-65		0.25
65-95		0.25
95-105		0.25
	PERFIL F	
0-18		0.51
18-35		0.33
35-50		0.30
50-63		0.30
63-70		0.27
70-80		0.30
80-85		0.27
98-113		0.24
	PERFIL G	
0-13		0.76
13-23		0.69
23-33		0.79
33-43		0.76
43-56		----

Continuación de la tabla V.2.3.1.

PROF. (cm)	HORIZONTE	DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)
	PERFIL H	
0-21	Ap	0.75
21-38	Bw1	0.73
38-55	Bw1	0.66
55-89	Bw2	0.75
	PERFIL I	
0-9	A	<0.9
9-18	BA	<0.9
18-30	Bh	<0.9
30-41	Bhs	<0.9
41-52	Cm	----
	PERFIL K	
0-17		0.85
17-39		0.49
39-65		0.37
65-70		0.35
70-85		0.34
85-110		0.32
110-125		0.33
	PERFIL O	
0-10		0.70
30-40		0.79
50-60		0.66
80-90		0.68
100-110		0.60
140-150		0.66

Los datos de los perfiles B y K fueron reportados para Andosoles (Typic Eutrandept e Hidrotropand) de Hawai por Uehara (1985).
 Los datos de los perfiles C, D y E fueron reportados para Andosoles de Japón por Wada (1985).
 Los datos de los perfiles F y G fueron reportados para Andosoles (Andepts) de Hawaii y Alaska por Flach et al. (1980).
 Los datos de los perfiles H e I fueron reportados para Andosoles (Hapludand y Andic Haplumbrept) de Nueva Zelanda por Parfitt (1985).
 Los datos del perfil O fueron reportados para Andosoles de México por Aguilera (1989).

En el caso de Andosoles de México, Aguilera (1969, 1989), reporta valores de densidad aparente de 0.86 y de 1.73 a 0.74 g/cm³; Alvarez (1982) reporta para Andosoles de la Sierra Tarasca en Michoacán valores entre 0.68 y 0.90 g/cm³; Hidalgo (1988) encontró valores entre 0.72 y 1.22 g/cm³ en Andosoles de la "Sierra Nevada" (D.F., Estados de México y Morelos); y Saucedo et al., (1989) para Andosoles de la región de Tlatlauquitepec, Puebla, encontró el valor medio de densidad aparente de 0.82 g/cm³.

La densidad aparente menor de 0.9 g/cm³ ha sido adoptada como una de las propiedades de diagnóstico en suelos en los cuales dominan materiales amorfos en el complejo de intercambio (Soil Survey Staff, 1990).

En las tablas de resultados (V.2.1.1. a V.2.1.13.), se muestran los valores obtenidos para la densidad aparente de los suelos de la región de Teziutlán, determinados por el método de campo (Baham y Simonson, 1985) y por el método de la probeta.

Las densidades aparentes de los Andosoles estudiados corresponden perfectamente a las esperadas, independientemente del método empleado en su determinación.

Es importante resaltar que los Andosoles de la zona 1 muestran una densidad aparente más baja que los de la zona 2, ésto puede ser explicado con base en las diferencias en los contenidos en materia orgánica, las texturas y la densidad real del suelo. Tal como lo menciona Wada (1985) para Andosoles del Japón (tabla V.2.3.2), donde los suelos con grandes cantidades de humus y arcilla, tienen una densidad aparente más baja, por ejemplo de 0.65 a 0.25 (sitios 217 y 206), mientras que éstos dominados por cuarzo y materiales vítricos, que representan un estado primario de la formación del suelo, tienen una densidad aparente mayor que 0.8 (sitio 220).

La baja densidad aparente de algunos Andosoles es parcialmente debida a su alto contenido de humus y a la baja densidad de sus partículas minerales (por ejemplo de 1.4 a 1.8 g/cm³) (Wada, 1985).

La baja densidad de partícula de vidrios volcánicos, 2.4 g/cm³, (Wada y Wada, 1977), también contribuye a la baja densidad aparente de Andosoles. Sin embargo, la baja densidad aparente principalmente

Tabla V.2.3.2.- Datos analíticos de Andosoles representativos del distrito de Mt. Aso, Japón (información tomada de Wada, 1985).

Profundidad (cm)	Carbono (%)	C/N	Arcilla*	Densidad Aparente (g/cm ³)	C.I.C. (meq/100g)	pH (H ₂ O)
sitio 220 (cono central)						
0-12	1.75	13	3	1.2	6	5.7
12-24	1.30	13	6	1.3	6	6.0
24-35	2.23	12	12	0.9	10	6.0
35-63	2.41	13	14	0.8	13	6.2
63-68	1.26	13	12	0.95	10	6.0
68-109	1.71	19	12	1.0	12	6.1
sitio 217 (pendiente noreste)						
0-16	6.9	12	16	0.65	23	5.6
16-35	8.5	14	25	0.50	31	5.6
35-50	14.8	16	38	0.35	63	5.6
50-67	18.4	18	66	0.45	74	5.6
67-73	6.1	13	63	0.40	36	5.6
73-100	8.4	16	68	0.45	37	5.6
sitio 206 (pendiente norte)						
0-13	15.5	17	25	0.40	36	5.1
13-38	21.7	23	50	0.30	57	5.0
38-65	16.4	21	78	0.25	46	5.4
65-95	19.0	28	75	0.25	57	5.2
65-105	3.5	15	49	0.25	7	5.7

* La cantidad total de la fracción < 2 mm y material disuelto por el tratamiento de Jeffrie sobre material inorgánico básico.

refleja su alta porosidad. Esto se ilustra en la figura V.2.3.1., la cual muestra una comparación de la composición por las tres fases de horizontes superficiales de Andosoles y de otros suelos (Misono, 1964), y también en los resultados obtenidos en suelos de la región de Teziutlán por Saucedo (Saucedo *et al.*, 1989; Saucedo, 1990), donde el valor de la densidad aparente determinado por el método de la probeta no difiere significativamente con el determinado por otros métodos

(tabla V.2.3.3.), lo que nos permite concluir que en la baja densidad aparente de los Andosoles tiene mayor relevancia la microporosidad con respecto a los macroporos entre unidades estructurales.

Tabla V.2.3.3.- Valores de la densidad aparente, en g/cm³, del horizonte B2 del perfil 109 (Andosol de la región de Teziutlán), obtenidos mediante diferentes métodos (Saucedo *et al.*, 1989; Saucedo, 1990)

Repetición No.	Método A (probeta)	Método B (núcleo)	Método C (terrón con petróleo)
1	0.87	0.87	0.81
2	0.85	0.76	0.89
3	0.85	0.86	0.75
4	0.84	0.76	0.78
5	0.82	0.67	0.85
6	0.83	0.78	0.85
7	0.83	0.75	0.83
8	0.80	0.89	0.83
9	0.82	0.76	0.78
10	0.81	0.81	0.93
11	0.83	0.76	0.87
12	0.78	0.70	0.89
13	0.81	0.71	0.80
14	0.83	0.72	0.83
15	0.81	0.75	0.82
Media:	0.826	0.770	0.834
Varianza:	0.0005285	0.0040	0.0023142
Desviación estándar:	0.023	0.063	0.0481
Coefficiente de variabilidad:	2.77 %	8.23 %	5.8 %

Los sólidos en los Andisoles ocupan poco volumen y los poros un volumen muy grande, en los poros la proporción de agua y aire varía en rangos promedio. El volumen ocupado por los sólidos es tan pequeño que presenta problemas para el suministro y retención de nutrimentos para las plantas, mientras que el gran volumen de poros garantiza la

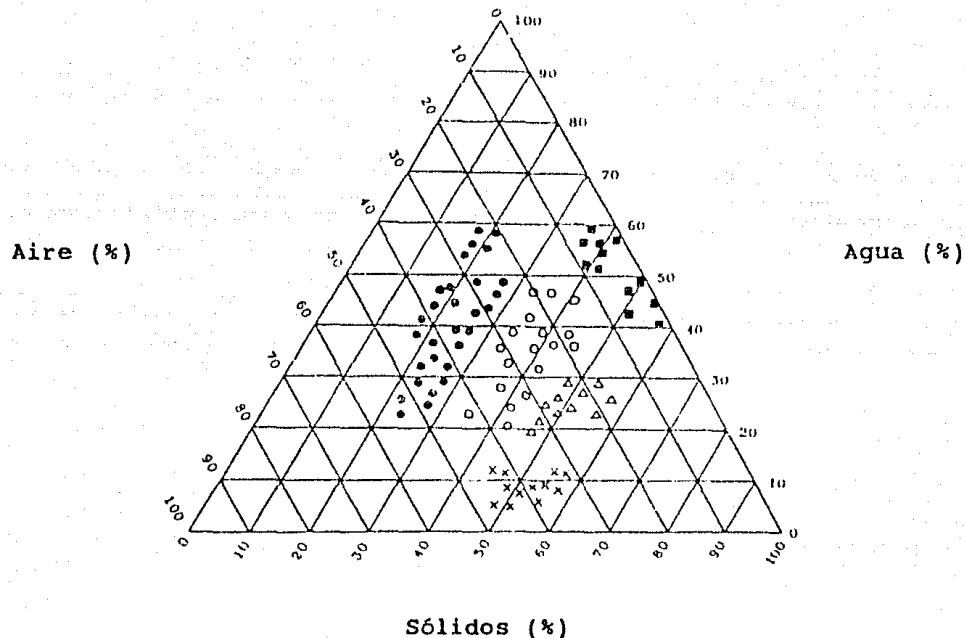


Figura V.2.3.1.- Diagrama de las tres fases de composición para Andisoles (círculo lleno ●), suelos aluviales (círculo vacío ○), suelos inundados derivados de aluviones (cuadrado lleno ■), suelos Rojos y Amarillos (triángulo vacío ▽), y suelos derivados de dunas arenosas (cruz x) (tomado de Wada, 1985).

aireación, la permeabilidad y retención del agua . El volumen de los sólidos varía poco con la profundidad, mientras que el volumen de aire y agua disminuye y aumenta con la profundidad, respectivamente (Wada, 1985).

El gran espacio poroso de los Andosoles es parcialmente explicado por el espacio de poro (25 al 45 %) de las unidades estructurales de alofano e imogolita que lo forman. El gran espacio poroso, sin embargo, es encontrado no solo en Andosoles que contienen alofano e imogolita sino también en éstos que no contienen estos minerales pero contienen considerables cantidades de humus. Esto es inferido de que los microporos están presentes como unidades de poros intra en alofano, imogolita y humus, y el medio para microporos ésta creado por interacciones entre ellos y otras arcillas, limos y minerales de dimensiones de arena, resultando la formación de agregados estables. En esta formación agregada, juegan un papel importante los polímeros de iones hidroxil-aluminio y alofano, constituyentes alofánicos, e imogolita, los cuales presentan carga positiva y contienen aluminio activo (Wada, 1985).

La naturaleza no cristalina del Andosol, como suelo coloidal, es indicada por su alto contenido de agua a 15 bar. El gran contenido de agua a 15 bar se relaciona íntimamente con su baja densidad aparente (Uehara y Gillman, 1981). Esto es indicado por la relación entre el contenido de agua gravimétrica θ_g y el contenido de agua volumétrico θ_v ; para la densidad aparente ρ_b tenemos la expresión:

$$\theta_v = \rho_b \theta_g \dots (\text{ecuación V.2.3.1.})$$

Si uno asume que el contenido de agua volumétrica (θ_v) a una presión de 15 bar de agua es 30 % e insertando este valor en la ecuación V.2.3.1., es inmediatamente obvio que resultarán densidades aparentes bajas. Si tomamos el ejemplo extremo para la muestra a la profundidad de 140-145 cm para el Hidrandept (Tabla V.2.3.4.), se obtiene una densidad aparente de:

$$\rho_b = \theta_v / \theta_g = 30 / 196 = 0.15 \text{ g/cm}^3.$$

Cuando asumimos que la muestra tiene 60 % de agua por volumen a una presión de 15 bar, la densidad aparente sería de 0.3 g/cm³.

Tabla V.2.3.4.- Datos físicos y químicos para un típico Hidrandept (Uehara y Gillman, 1981).

Profundidad (cm)	Carbono (%)	Nitrógeno (%)	Análisis químico total		
			SiO ₂	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃
0-40	5.30	0.41	17.9	24.3	27.6
58-65	3.23	0.22	9.8	34.2	26.3
80-83	2.28	0.16	9.4	35.4	26.0
123-129	3.12	0.18	11.9	32.6	24.5
140-145	2.28	0.14	10.0	30.0	29.3

Bases cambiables (meq/100g)				pH		Contenido de agua a 15 Bar (%)
Ca	Mg	Na	K	H ₂ O	KCl	
2.0	1.8	0.1	0.1	5.8	5.6	70
2.4	0.3	Tr	Tr	6.3	6.4	123
1.4	0.3	Tr	Tr	6.4	6.4	99
1.7	1.0	Tr	Tr	6.4	6.4	132
2.6	0.3	Tr	Tr	6.3	6.5	196

(Tr = trazas).

V.2.4.- Densidad real.

La densidad real o densidad de las partículas, definida como el peso de un volumen conocido de suelo comparado con el peso de un volumen igual de agua, es una propiedad que en el caso de los Andosoles se le ha conferido poca importancia. Como ya fue mencionado, la baja densidad de partícula de los vidrios volcánicos, de alrededor 2.4 g/cm³, también contribuye a la baja densidad aparente de Andosoles. La presencia de altas cantidades de materia orgánica en los Andosoles es significativamente importante en la disminución del valor de su densidad real (Biolders et al., 1990). En la tabla V.2.4.1., se

presentan las densidades reales de varios materiales constituyentes de los suelos volcánicos y también las de Andosoles, determinados por el método del picnómetro con agua.

Tabla V.2.4.1.- Densidad de partícula de varios materiales constituyentes de suelos volcánicos y densidad real de varios Andosoles, determinados por diferentes autores (tomado de Biolders *et al.*, 1990).

Densidad de partícula (g/cm ³)		Densidad real (g/cm ³)	
Alofano §	2.72-2.78	Suelo alofánico §	2.70-2.90
Haloisita ℓ	2.73	Suelo alofánico §	2.72-2.78
Kaolinita ℓ	2.68	Suelo alofánico §	2.32-2.70
Montmorillonita ℓ	2.50	Suelo alofánico Y	2.52-2.85
Clorita ℓ	2.60-3.00	Suelo haloisítico †	2.74-2.88
Humus ©	1.25-1.37	Pumicita	
Mica ©	2.80-3.20	intemperizada *	2.60

§ Maeda *et al.*, 1977.

ℓ Kitigawa, 1976.

© Bayer, 1956.

Y Warkentin y Maeda, 1974.

† Wesley, 1973.

* Warkentin y Maeda, 1980.

En México, la determinación de la densidad real de los suelos es realizada por muchos edafólogos, sin embargo, en la mayoría de los casos es un dato que se emplea poco en la discusión de resultados de investigación. Alvarez (1982), señala que los Andosoles de la Sierra Tarasca se caracterizan por tener bajas densidades reales (inferiores a 2.42 g/cm³). También señala la importancia de la mineralogía de los suelos sobre los valores de esta propiedad, los suelos con mayores contenidos de basalto y vidrios volcánicos presentaron densidades

reales más altas, en tanto que aquellos en los que dominaba la pumicita, tenían densidades reales menores.

En la tabla V.2.4.2., se muestran algunos de los valores de densidad real de Andosoles de México, reportados por diferentes autores.

Tabla V.2.4.2.- Algunos resultados de la densidad real de Andosoles de México, reportados por diferentes autores.

PROFUNDIDAD (cm).		DENSIDAD REAL (g/cm ³)
	PERFIL O	
0-10		2.38
30-40		2.00
50-60		2.27
80-90		1.92
100-110		1.78
140-150		1.78
	PERFIL P	
0-10		2.35
20-30		2.52
40-50		2.52
90-100		2.59
120-130		2.59
	PERFIL Q	
0-2.5		1.84
2.5-13		1.91
23-35		2.08
75-85		2.16
145-155		2.33
185-195		2.27
	PERFIL R	
0-22		2.25
22-63		2.14
63-91		2.03
91-120		2.03
120-145		2.32
145-165		2.04
165-200		2.04

Los datos del perfil O fueron reportados para un Umbrandept del municipio de Unión Juárez, Chiapas, por Aguilera (1989). Los datos de los perfiles P y G fueron reportados para Andosoles del estado de Veracruz por Aguilera (1969), el perfil P se localiza en las faldas del volcán Citlaltepetl y el perfil Q en el municipio de Alpatlahua. Los datos del perfil R fueron reportados para un Andosol del municipio de Tlatlauquitepec, Puebla, por Saucedo (1990).

Para los Andosoles de la región de Teziutlán, la densidad real varió en los epipedones de 1.87 a 2.26 g/cm³ con una media de 2.03 g/cm³; en los horizontes cámbicos de 1.97 a 2.32 g/cm³ con una media de 2.15 g/cm³; y en las capas C de 2.17 a 2.98 g/cm³ con una media de 2.48 g/cm³. Se puede observar una fuerte tendencia a disminuir el valor de la densidad real en función del aumento del contenido de materia orgánica del suelo, la secuencia de aumento en la densidad real es: Horizontes A y Ab < Horizontes B y Bb < capas C.

Los valores de la densidad real de los Andosoles de esta región son semejantes a los reportados para otros Andosoles (tablas V.2.4.1. y V.2.4.2.) y el valor de la densidad real de las capas C, menos alteradas, corresponde con los valores de densidad de partícula del vidrio volcánico y pumicita, principales minerales constituyentes de las fracciones gruesas de estos suelos. Otro hecho importante es que no se encontró, en el caso de nuestros Andosoles, una posible relación entre la composición mineral del material parental y los valores de la densidad real de los suelos.

V.2.5.- Textura y agregación microestructural.

Para los Andosoles es comunmente señalada la característica de presentar una textura media, entre franca y franco limosa, sin embargo, esta característica resulta muchas veces engañosa, pues normalmente la textura reconocida en el campo no corresponde a la obtenida en el laboratorio mediante el método convencional de Bouyoucos, y al aplicar otras técnicas en su determinación o variar el agente dispersante químico o mecánico los resultados se complican aún más.

Los Andosoles normalmente son permeables y percolan una gran cantidad de agua a través del suelo en regiones húmedas y perhúmedas. Los perfiles no muestran, sin embargo, evidencia del movimiento de arcillas, indicando la formación de agregados estables. La última formación de agregados estables es realizada por el secado durante la preparación de la muestra, lo que causa muchas dificultades en el análisis mecánico del suelo. Kubota (1976) demostró ésto durante el análisis de tamaño de partícula para muestras de horizontes B de

Andosoles y suelos Rojo-amarillos que fue determinado en muestras húmedas, secadas al aire y secadas al horno e infirió que el alofano contribuye a la formación de agregados estables.

El grado de agregación en muestras húmedas de Andosoles difieren dependiendo de las condiciones de humedad bajo las cuales ellos fueron formados. Los agregados de alofano, constituyentes casi alofánicos o imogolita y humus son, sin embargo, disgregados por tratamiento con H_2O_2 y con oscilación sónica (tratamiento con ultrasonido). Después del tratamiento con H_2O_2 , el ajuste de pH y la vibración sónica son importantes para la defloculación y dispersión de las arcillas. Un medio alcalino (pH 10) puede ser usado para suelos que contienen alofano con una alta relación de SiO_2/Al_2O_3 de 1.7 a 2 y/o haloisita o solo silicatos laminares, mientras que un medio ácido (pH 4) se requiere para suelos que contienen alofano e imogolita con una baja relación SiO_2/Al_2O_3 con o sin silicatos laminares, particularmente silicatos laminares intergradados 2:1 a 2:1:1. El contenido de arcilla determinado por repetidas dispersiones y sedimentación estuvo en bastante buena concordancia con el determinado por el método que incluye disolución de alofano e imogolita (Kuroboku Soken, 1983), aunque el contenido de arcilla así determinado dió valores más altos que los estimados por la determinación de la textura del suelo en el campo.

En los Andosoles, los contenidos de las fracciones arena, limo y arcilla tienen un significado poco preciso ya que es difícil lograr la dispersión y separar individualmente las partículas primarias, situación de poca importancia para propósitos agrícolas pero no así cuando nos referimos a estudios físicos y de clasificación (Maeda, et al., 1977).

Los análisis del tamaño de partícula en los suelos de material volcánico se hacen con muestras secas, debido a que los trabajos de campo se realizan en la época de sequía o por que se trata de Andisoles ubicados en regímenes de temperatura ústico o xérico. En estas condiciones la determinación de la fracción arena y de la textura del suelo en general presentan serios inconvenientes, esto se debe a la alta estabilidad de los agregados fundamentales lo que dificulta

suspender en forma estable y completa las partículas finas (menores de 0.002 mm), ya que no es posible vencer las fuerzas físicas y químicas de enlace (Maeda et al., 1977). Estas fuerzas resultan de la acción de una serie de factores :

a.- La deshidratación o pérdida de agua "interna" (Maeda et al., 1977);

b.- La presencia de material de origen orgánico, presumiblemente en forma de compuestos húmicos (Gandoy, 1982; Jackson, 1965; Wada, 1980);

c.- La presencia de otros agentes con acción cementante como óxidos e hidróxidos de hierro (Gandoy, 1982; Jackson, 1956; Kubota, 1974; Mitchell et al., 1964); y

d.- Posiblemente la tensión superficial y un potencial electrocinético bajo (aquel potencial que determina el movimiento en las fases líquida y sólida, de una partícula, cuando se aplica un campo eléctrico, definición dada por Voyutsky, 1978) (Gandoy, 1982; Gavande, 1972).

El examen con microscopio de alta resolución ha revelado que los terrones de suelo están formados por pequeños gránulos o agregados, los cuales son, a su vez, agregados de partículas más pequeñas, suficientemente distintas y persistentes como para ser consideradas como unidades constitutivas o constructivas de la estructura de un terrón (Rose, 1969).

En algunos Andosoles, los enlaces que unen a las partículas individuales después del secado son tan fuertes que las nuevas estructuras pasan a constituir las unidades fundamentales de los suelos secos (Maeda et al., 1977), una vez seco el suelo estas estructuras se vuelven estables y no es posible dispersarlas debido al enlazamiento irreversible producido por la sola deshidratación.

Kubota (1972) señaló, como resultado de estudios relacionados con la formación de unidades dentro del rango arena-limo, que el secado es estrictamente necesario para que se formen unidades semejantes a los racimos encontrados por Maeda et al. (1977), una vez seco el suelo, estas estructuras se vuelven estables y no es posible dispersarlas debido al enlazamiento irreversible producido por la sola deshidratación.

Warkentin y Maeda (1980), señalan la presencia de masas de 1mm de diámetro altamente inestables al haz de electrones del microscopio electrónico, lo que las distingue de las partículas arcillosas y unidades de material amorfo de 0.2 mm, las cuales son geles que recubren a las arcillas y que se "hinchan" como resultado de la alta afinidad que tienen con el agua.

De acuerdo a Kubota (1972), los gránulos del tamaño de la arcilla se clasifican en tres tipos, de acuerdo a su tendencia cuando secan, para formar granos del tamaño de la arena o limo:

a.- Arcilla libre activa, que puede formar numerosos gránulos cuando seca al aire, se determina por la diferencia entre el contenido de arcilla del suelo húmedo y seco al aire, empleando agitación;

b.- Arcilla agregada, liberada de los suelos húmedos por dispersión sónica, los agregados se forman pedogenéticamente; y

c.- Arcilla libre inactiva, que no se ve afectada por el secado al aire, se determina midiendo el contenido de arcilla de un suelo seco al aire.

El contenido de arcilla tipo (a) se incrementa con la profundidad, desde el horizonte Ap al B2 con disminución de la del tipo (c), permaneciendo casi constante la del tipo (b). Aún cuando los términos racimos y dominios pudieran ser definidos como macro y micro-agregados, podría ocasionarse algunas confusiones, pues hay otros autores como Kitagawa (1977) que se refiere a las unidades del tamaño de la arena y el limo como agregados (Maeda et al., 1977).

Al respecto Rosello (citado por Quantín, 1987), elaboró la tabla V.2.5.1., en la cual se indican las unidades de organización, tipos de constituyentes, dimensiones, porosidad y una representación esquemática de las diferentes unidades microestructurales presentes en horizontes B de Andosoles.

Para los Andosoles de la región de Teziutlán se encontró que las texturas determinadas en el laboratorio por el método de Bouyoucos en general fueron más gruesas que las determinadas en el campo al momento de describir los diferentes perfiles, por el contrario, las texturas determinadas por el método de Kilmer y Alexander, tomando en






UNIDAD DE ORGANIZACION	CONSTITUYENTES	DIMENSIONES	POROSIDAD	OTROS NOMBRES	REPRESENTACION ESQUEMATICA
NANOAGREGADOS ELEMENTALES	PARTICULAS ELEMENTALES Imogolita Tubo Filamento Esferas Alufano Halosita Gibbsite, goethita Hidroxidos de Fe MATERIA ORGANICA	0.1 - 1µm	NANOPOROSIDAD intra - partícula 10 - 100 Å inter - partículas 0.001 - 0.01 µm	- agregado típico (Hettler, 1975). - Floculo estructural (Moinereu, 1977). - Dominio (0.01 - 1µm) (Maeda et al., 1977)	  A1 Otras partículas elementales Productos orgánicos NANOAGREGADOS
POLIAGREGADOS DE 1er ORDEN	NANOAGREGADOS ELEMENTALES	5 - 10µm	ULTRAMICROPOROSIDAD inter-nanoagregados. 0.1-1 µm	- Ferrón (Terzagui, 1958)	 POLIAGREGADOS
POLIAGREGADOS DE 2o. ORDEN o MICROAGREGADOS	POLIAGREGADOS I	50-100 µm	MICROPOROSIDAD inter-poliagregados 1-10 µm	- Ferrón (1-100 µm) (Maeda et al., 1977)	 MICROAGREGADOS
MICROESTRUCTURA CONTINUA	MICROAGREGADOS	100 µm - 1 mm	MICROPOROSIDAD inter-microagregados 10-100 µm MACROPOROSIDAD BIOLÓGICA 100 µm - 1 mm		

Tabla V.2.5.1.- Diferentes unidades microestructurales presentes en horizontes B de Andosoles (Quantin, 1987).

cuenta las recomendaciones de Hidalgo (1988) para la mayor eficiencia en la dispersión, resultaron ser semejantes a las estimadas en campo y en algunos casos incluso más finas.

Los contenidos en arena, limo y arcilla determinados a una misma muestra de suelo por los dos métodos diferentes, dependieron del método empleado, las diferencias entre los resultados del análisis mecánico de una misma muestra de suelo mostraron ser mayores para los suelos de la zona 2 (perfiles 6, 20, 87, 110, 111 y 118), que las existentes en estos contenidos para los de la zona 1 (perfiles 30, 35, 36, 41, 62, 63 y 84) (tabla V.2.5.2).

En la zona 1, debido a la predominancia de suelos con poco desarrollo edáfico y por consecuencia mayor contenido en materiales vítricos de dimensiones de limo y arena, las texturas presentan poca diferenciación en función del método empleado para determinarlas (ver tablas de V.2.1.1. a V.2.1.7.). Las diferencias entre los contenidos de arena determinados por los diferentes métodos, variaron entre un máximo del 15.3 % (capa IIC11 del perfil 84) y un mínimo de 0.5 % (horizontes B22 del perfil 30 y A1 del perfil 36), en la mayoría de los casos, el método de Bouyoucos reporta más de arena que el de Kilmer y Alexander, siendo el promedio de esta diferencia de 3.8 %. Para el caso de los contenidos en limo, la máxima diferencia entre lo reportado por los diferentes métodos es del 13.1 % (capa 2C12 del perfil 84) y la mínima de 0.3 % (horizonte AB del perfil 84), siendo el promedio de variación del contenido de limo determinado por los diferentes métodos de 3.8 %. Con respecto a la fracción arcilla, ésta tendió a alcanzar mayores porcentajes en las muestras, cuando la textura fue determinada por el método de Kilmer y Alexander, el máximo de variación en éste caso fue de 25.7 % (capa 2C12 del perfil 84) y el mínimo de 0.2 % (horizonte Ap y capa C del perfil 63), siendo el promedio de la diferencia de 6.7 %.

En la zona 2, donde los perfiles mostraron características típicas de Andosoles, la variación de la textura de los suelos en función del método empleado en su determinación es mucho más marcada (ver las tablas de V.2.1.8. a V.2.1.13). Las diferencias en contenidos de arena en función del método variaron de un máximo de 67.8 % (capa IIC1 del perfil 110) a un mínimo de 1.4 % (capa C1 del perfil 6) siendo

el promedio de variación de 27.9 %; para los contenidos de limo la variación osciló entre un máximo de 54.71 % (capa IIC1 del perfil 110) y un mínimo de 0.1 % (capa C1 del perfil 6) siendo el promedio de variación del 21.0 %; por último, en el caso de la arcilla el máximo de variación fue del 16.6 % (horizonte B22 del perfil 110) y el mínimo de 0.2 % (horizonte A121 del perfil 111) siendo el promedio de variación del 8.0 %.

Las diferencias entre los porcentajes de las diferentes fracciones granulométricas de los Andosoles de la región de Teziutlán, cuando se determinan por diferentes métodos, tienen su explicación en lo discutido y propuesto por los diferentes autores citados anteriormente, la elevada capacidad de agregación de las partículas de la fracción arcillosa de los Andosoles ocasiona que los métodos convencionales para la determinación de la textura del suelo proporcionen resultados completamente erróneos, aun incluso al realizar el análisis de la textura de suelo por el método de Kilmer y Alexander siguiendo todas las recomendaciones de los diferentes autores para lograr la máxima dispersión de la muestra, ésto no se consigue completamente, en nuestro caso, observamos las fracciones arena y limo a través de un microscopio petrográfico para comprobar la desaparición de agregados de partículas, y los resultados mostraron que ésto solo fue posible en el caso de la fracción arena, la cual se obtuvo prácticamente libre de agregados, sin embargo para la fracción limo, ésto no se logró independientemente de la agresividad y energía del método empleado para dispersar las partículas y eliminar los agregados, en un análisis al microscopio petrográfico se estimó que para el horizonte B21 del perfil 110, sólo se consiguió reducir el número de agregados presentes en la fracción limo al nivel de que éstos solo formarían alrededor del 30 % de las partículas componentes de dicha fracción.

La alta estabilidad de los agregados en los Andosoles de la región de Teziutlán, pudo ser comprobada también por los resultados de la observación por microscopía electrónica de transmisión efectuado a la fracción arcilla, por medio de este análisis se observó la persistencia de los agregados tal como lo reportan Warkentin y Maeda (1980).

Tabla V.2.5.2.- Cambios en los resultados de la textura de los Andosoles de la región de Teziutlán, cuando el análisis mecánico de estos suelos se realiza por dos métodos diferentes.

PERFIL	HORIZONTE	PROFUNDIDAD (cm)	TEXTURA POR EL METODO DE BOUYOCOS	TEXTURA POR EL METODO DE KILMER Y ALEXANDER
ANDOSOLES DE LA ZONA 1				
30	A1	0-5	FRANCA	FRANCA
	B21	5-50	FRANCA	FRANCA
	B22	50-60	FRANCA	FRANCA
35	A1	0-8	FRANCA	FRANCA
	B1	8-28	FRANCA	FRANCA
	B2	28-75	FRANCA	FRANCA
36	A1	0-12	FRANCA	FRANCO ARCILLOSA
	B2	12-35	FRANCA	FRANCA
41	A1	0-10	FRANCA	FRANCO ARCILLOSA
	B1	10-25	FRANCA	FRANCO ARCILLOSA
	B21	25-50	FRANCA	FRANCA
	B22	50-67	FRANCA	FRANCA
	C1	67-80	FRANCO ARENOSA	FRANCO ARENOSA
62	Ap	0-15	FRANCA	FRANCO ARCILLO- ARENOSA
	B2	15-35	FRANCA	FRANCA
	B3	35-47	FRANCO ARENOSA	FRANCO ARCILLO- ARENOSA
63	Ap	0-30	FRANCO ARENOSA	FRANCO ARENOSA
	AC	30-63	FRANCO ARENOSA	FRANCO ARENOSA
	C	63-125	ARENO FRANCOSA	ARENO FRANCOSA
84	A1	0-13	FRANCA	FRANCA
	AB	13-20	FRANCA	FRANCA
	B2	20-42	FRANCA	FRANCO ARCILLO- ARENOSA
	IIC11	42-83	FRANCO ARCILLO- ARENOSA	ARCILLOSA
	IIC12	83-125	FRANCA	ARCILLOSA

Continuación de la tabla V.2.5.2.

PERFIL	HORIZONTE	PROFUNDIDAD (cm)	TEXTURA POR EL METODO DE BOUYOCOS	TEXTURA POR EL METODO DE KILMER Y ALEXANDER
ANDOSOLES DE LA ZONA 2				
6	Ap	0-20	FRANCO LIMOSA	FRANCA
	C1	20-40	FRANCO ARENOSA	FRANCO ARENOSA
	B2b	40-50	FRANCA	FRANCO ARCILLOSA
20	A1	0-10	FRANCA	FRANCA
	B2	10-30	FRANCA	FRANCO ARCILLOSA
	C1	30-120	FRANCO ARENOSA	FRANCO ARCILLO- ARENOSA
	B2b	120-133	FRANCA	FRANCA
87	A1	0-13	FRANCA	FRANCO ARCILLOSA
	AB	13-42	FRANCO ARCILLO- ARENOSA	FRANCO ARCILLOSA
	B21	42-80	FRANCA	FRANCA
	B22	80-110	FRANCO ARCILLO- ARENOSA	FRANCO ARCILLO- ARENOSA
110	A11	0-15	FRANCO ARENOSA	FRANCA
	A12	15-40	FRANCO ARENOSA	FRANCA
	B21	40-73	ARENO FRANCOSA	FRANCO LIMOSA
	B22	73-106	ARENO FRANCOSA	FRANCA
	IIC1	106-150	ARENO FRANCOSA	FRANCO LIMOSA
	IIC2	150-200	ARENO FRANCOSA	FRANCO LIMOSA
111	A111	0-34	FRANCO ARCILLO- ARENOSA	FRANCO ARCILLOSA
	A112	34-67	FRANCO ARCILLO- ARENOSA	FRANCO ARCILLOSA
	A121	67-101	FRANCO ARCILLO- ARENOSA	FRANCO ARCILLOSA
	A122	101-135	FRANCO ARCILLO- ARENOSA	FRANCO ARCILLOSA
	IIC1	135-160	FRANCO ARENOSA	FRANCO ARCILLO- LIMOSA
	IIC2	160-200	FRANCO ARENOSA	FRANCO LIMOSA
118	A1	0-10	FRANCA	FRANCO ARCILLOSA
	B2	10-23	FRANCO ARENOSA	FRANCO ARCILLOSA
	C1	23-36	FRANCO ARCILLO- ARENOSA	FRANCO ARCILLO- ARENOSA

V.2.6.- Contenidos en Materia Orgánica y Carbono Orgánico.

Como se ha reiterado continuamente en la literatura, la acumulación de humus es una característica notable de los Andosoles. La tabla V.2.6.1., muestra el contenido de carbono encontrado en Andosoles sometidos a cultivo y no sometidos a cultivo en el Norte y Sur de Japón (Adachi, 1973). No hay una diferencia particular en el contenido de humus de suelos de los tres distritos que no son sometidos a cultivo, indicando la influencia predominante del régimen de humedad sobre el de temperatura. Sin embargo, el humus disminuye por el cultivo y esta disminución es más marcada en el sur que en el Norte.

Tabla V.2.6.1.- Contenido de carbono y relación C/N de Andosoles de Japón (Adachi, 1973).

Distrito	Número de Muestra	Suelo no cultivado		Suelo cultivado	
		C (%)	C/N	C (%)	C/N
Norte 6-12°C ^a 800-1800mm ^b	9	1-19	8-21	5-16	14-20
		13.5	15.8	9.0	16.0
		(+3.7)	(+3.6)	(+3.8)	(+2.4)
Central 12-16°C 1200-2400mm	9	9-20	14-18	4-13	11-16
		12.9	15.8	7.6	13.7
		(+3.7)	(+1.5)	(+2.7)	(+2.1)
Sur 16-17°C 1800-2500mm	8	7-20	13-21	3-11	13-21
		14.5	16.5	7.3	13.7
		(+5.5)	(+2.7)	(+2.8)	(+3.1)

^a Promedio anual de temperatura.

^b Promedio anual de precipitación pluvial.

En Nueva Zelanda, la mayoría de los Andosoles están formados bajo un clima húmedo suave (la temperatura promedio en verano e invierno es de 15 a 19°C y de 6 a 9°C; la precipitación anual es de 1100 a 2500 mm). Ellos tienen suelos con cubierta húmica, pero el horizonte A1 no es muy grueso (< 15 cm) y sus rangos de contenido de

Tabla V.2.6.2.- La relación entre el clima, la vegetación, y el contenido de carbono de Andosoles en Sudamérica (Wright, 1965).

Número del grupo de suelos	Datos climáticos ^a	Vegetación	Contenido de carbono (%)
(A) Grupo de alta latitud de Chile y Argentina.			
1	800-1000mm 25-10°C	Evergreen y semi-deciduous.	5-7
2	1000-2500mm 25-9°C	Deciduous con Evergreen.	9-16
3	2000-2500mm 25-9°C	Evergreen (Nothofagus).	12-16
4	2000mm 17-7°C	Nothofagus.	6-9
5	3000-5000mm	Nothofagus.	15-17
(B) Grupo de baja latitud de Ecuador y Colombia.			
8	3000-5000mm 8-10°C	Stipa grass y subalpinas perennes.	7-13
9	800-1200mm 12-16°C	(Selva).	3-4
10	2000-3500mm 15-20°C	Selva lluviosa de montaña.	13-16
11	1500-3000mm 18-21°C	Selva lluviosa.	7-10
12	2500-3500mm	Selva lluviosa.	5-10

^a Arriba, precipitación anual promedio; abajo, temperatura media verano-invierno para el grupo (A) de suelos y temperatura media anual (bastante uniforme) para el grupo (B) de suelos.

carbono van de 3.5 a 11.6 % (promedio de 9 %) en 15 perfiles representativos del suelo (Gibbs, 1968). La tabla V.2.6.2., resume las relaciones entre el clima, vegetación y acumulación de humus observada para diferentes grupos de Andosoles del sur de América (Wright, 1965). Los amplios rangos del contenido de humus y las relaciones son complicadas, pero se notó la siguiente tendencia:

a) el contenido de humus es alto en la zona continuamente húmeda y más altos en la zona perhúmeda de los suelos de Chile y Argentina; y

b) disminuye ligeramente con el incremento de la temperatura para los suelos de Ecuador y Colombia.

En las regiones subhúmeda y perhúmeda en Hawai, el contenido de carbono de suelos derivados de cenizas volcánicas esta en el rango de 5 a 15 % en el horizonte A y de 0.5 a 7% en el horizonte B y el contenido de carbono orgánico es más alto en la región subhúmeda (Sherman y Swindale, 1964).

Los resultados sobre los contenidos en materia orgánica y carbono orgánico de los Andosoles de la región de Teziutlán (ver tablas V.2.1.1. a V.2.1.13.), son comparables a los reportados para Andosoles de Hawai, Japón, y Alaska (tabla V.2.6.3.) por diferentes autores; en los horizontes A variaron entre un máximo de 18.1 % (horizonte A1 del perfil 30) y mínimo de 2.9 % (horizonte Ap del perfil 63), siendo el contenido promedio de 9.6 %; en el caso de los horizontes B, los suelos mostraron contenidos elevados en materia orgánica, siendo el máximo de 5.5 % (horizonte B2 del perfil 20) y el mínimo de 0.5 % (horizonte B22 del perfil 110), resultando un promedio de 3.2 %. En la tabla V.2.6.4., se muestra el resumen sobre los contenidos de materia orgánica de los Andosoles de la región de Teziutlán, se puede apreciar la estabilidad y movilidad relativa alcanzada por ésta, pues incluso en las capas C se presentan contenidos relativamente altos.

Con respecto a la relación entre la acumulación de humus y el clima para estos suelos (tabla V.2.6.5), se puede apreciar una tendencia al aumento en los contenidos de carbono orgánico en el suelo en función del aumento en la precipitación pluvial media anual, y con respecto a si los suelos son o no sometidos a cultivo (tabla V.2.6.6)

Tabla V.2.6.3.- Algunos resultados de contenidos en materia orgánica reportados para Andosoles por diferentes autores.

PROFUNDIDAD (cm).	% DE MATERIA ORGANICA
PERFIL A	
0-40	5.30
58-65	3.23
80-83	2.28
123-128	3.12
140-145	2.28
PERFIL B	
0-50	3.29
50-78	1.97
78-90	0.90
90-133	0.60
133-163	0.47
PERFIL C	
0-12	1.75
12-24	1.30
24-35	2.23
35-63	2.41
63-68	1.26
68-109	1.71
PERFIL D	
0-16	6.9
16-35	8.5
35-50	14.8
50-67	18.4
67-73	6.1
73-100	8.4

Continuación de la tabla V.2.6.3.

PROFUNDIDAD (cm),	% DE MATERIA ORGANICA	
	PERFIL E	
0-13		15.5
13-38		21.7
38-65		16.4
65-95		19.0
95-105		3.5
	PERFIL F	
0-18		12.0
18-35		6.6
35-50		9.4
50-63		8.5
63-70		7.8
70-80		7.0
80-85		5.1
98-113		----
	PERFIL G	
0-13		3.6
13-23		3.7
23-33		3.3
33-43		2.2
43-56		0.8

Los datos de los perfiles A y B fueron reportados para Andosoles (Andepts) de Hawai por Uehara y Gillman (1981).

Los datos de los perfiles C, D y E fueron reportados para Andosoles de Japón por Wada (1985).

Los datos de los perfiles F y G fueron reportados para Andosoles (Andepts) de Hawai y Alaska por Flach *et al.*, (1980).

es evidente la pérdida de materia orgánica ocasionada por la falta de un aporte permanente de desechos vegetales (litter) y el aumento de la temperatura y de la evapotranspiración del suelo, efectos que se originan por la falta de la protección que proporciona una cobertura

vegetal permanente (perfiles 6, 62 y 63). El caso del perfil 111, debe ser analizado con mayor detalle, puesto que se trata de un suelo recientemente desmontado y sometido al uso agrícola, por lo que todavía presenta un horizonte A muy profundo y con poca alteración.

Tabla V.2.6.4.- Resumen sobre los resultados obtenidos para los contenidos en materia orgánica de los Andosoles de la región de Teziutlán, Puebla, México.

Horizonte o capa.	% en materia orgánica de los suelos.		
	máximo	mínimo	promedio
A	18.1	2.9	9.6
B	5.5	0.5	3.2
C	1.8	0.4	0.9
Bb	2.6	0.5	1.6
2C	2.9	0.1	1.06

El mecanismo de la acumulación de humus en los Andosoles ha llamado la atención de muchos investigadores. En una revisión de Wada y Higashi (1976), se sugirió primero, que la interacción de humus-arcilla especialmente la interacción alofano-humus, era importante en vista de una probable protección del humus contra el ataque de microorganismos. La importancia de la interferencia que ejerce la acumulación de humus en la preformación del alofano y minerales relacionados en Andosoles esta implícitamente asumida. Se encontró por Tokashiki y Wada (1975) y posteriormente por otros investigadores, la ausencia o casi ausencia del alofano y minerales relacionados en algunos Andosoles con horizontes Al y horizontes Al sepultados en los cuales hubo cantidades considerables de humus acumulado. Por otro lado, Kato (1970) señaló que sesquióxidos solubles en H_2O_2 y tratados con ditionito-citrato, son más importantes que el alofano en la acumulación de humus en algunos suelos derivados de cenizas volcánica. Kobo y Oba (1974b) encontraron que muchos Andosoles no mostraron aparente correlación entre el carbono total y el aluminio activo extraído por el reactivo de Tamm (mezcla de oxalato de amonio-ácido oxálico). En suelos inorgánicos se estudiaron las formas acomplejadas con humus, por extracción del suelo con soluciones de pirofosfato y ditionito-citrato y por la determinación de

Tabla V.2.6.5.- Relación entre el clima y el contenido de carbono de Andosoles de la región de Teziutlán, Puebla, México.

Perfil y horizonte.	Datos climáticos.		Contenido de carbono (%).
	Precipitación media anual (mm).	Temperatura media anual (°C).	
Zona 1 (entre 2500 y 3000 msnm).			
30 A1	700	16	10.5
B21			1.4
B22			0.7
35 A1	700	16	4.0
B1			1.9
B2			0.9
36 A1	700	16	5.2
B2			1.8
41 A1	700	16	4.6
B1			2.2
B21			1.6
B22			1.4
C1			0.6
62 Ap	700	16	3.7
B2			2.6
B3			0.9
63 Ap	700	16	1.7
AC			0.3
84 A1	700	16	6.7
AB			3.1
B2			1.6
IIC11			1.0
IIC12			0.06

Continuación de la tabla V.2.6.5.

Perfil y horizonte.	Datos climáticos.		Contenido de carbono (%).
	Precipitación media anual (mm).	Temperatura media anual (°C).	
Zona 2 (entre 1500 y 2500 msnm).			
6 Ap	1200	16	3.9
C1			0.2
B2b			1.5
20 A1	800	16	5.3
B2			3.2
C1			0.3
B2b			0.3
87 A1	800	16	5.8
AB			4.1
B21			1.3
B22			0.5
110 A11	2000	18	7.0
A12			7.2
B21			0.7
B22			0.3
IIC1			0.6
IIC2			0.5
111 A111	1200	16	7.4
A112			7.1
A121			6.9
A122			5.3
IIC1			1.7
IIC2			0.8
118 A1	1200	16	5.9
B2			2.5
C1			1.0
B2b			1.0
C2			0.2
IIA1b			2.7
IIB2b			1.7
IIC3			1.0
IIC4			1.6
IIC5			0.7

Tabla V.2.6.6.- Contenido de carbono y relación C/N de Andosoles de la región de Teziutlán, Puebla, México.

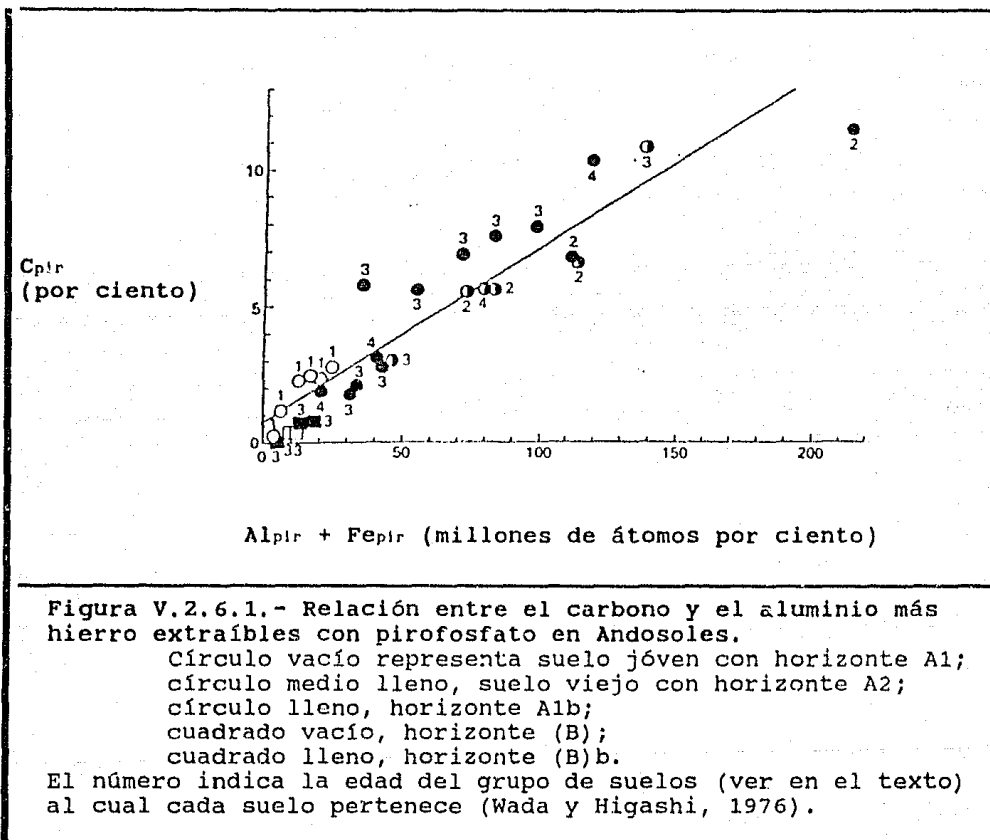
SUELOS CULTIVADOS AGRICULTURA DE TEMPORAL DE CICLO ANUAL.			SUELOS CON VEGETACION DE BOSQUE DE PINO Y ENCINO Y PASTIZAL INDUCIDO		
Perfil y horizonte	% C	C/N	Perfil y horizonte	% C	C/N
Zona 1 (de 2500 a 3000 msnm)			Zona 1 (de 2500 a 3000 msnm)		
62 Ap	3.7	15	30 A1	10.5	13
B2	2.6	13	B21	1.4	11
B3	0.9	12	B22	0.7	11
63 Ap	1.7	15	35 A1	4.0	15
AC	0.3	17	D1	1.9	12
			B2	0.9	12
			36 A1	5.2	16
			B2	1.8	13
			41 A1	4.6	14
			B1	2.2	11
			B21	1.6	13
			C1	0.6	10
			84 A1	6.7	17
			AB	3.1	15
			B2	1.6	12
			IIC1	1.0	15
Zona 2 (de 1500 a 2500 msnm)			Zona 2 (de 1500 a 2500 msnm)		
6 Ap	3.9	15	20 A1	5.3	13
C1	0.2	13	B2	3.3	14
B2b	1.5	12	110 A11	7.2	13
131 A111	7.4	16	A12	7.2	13
A112	7.1	15	B21	0.7	16
A121	6.9	13	118 A1	5.9	13
A122	5.3	13	B2	2.5	13
IIC1	1.7	13	C1	1.0	14
IIC2	0.8	11	B2b	1.0	17
			87 A1	5.8	14
			AB	4.1	15
			B21	1.3	18

cantidades extraídas de carbono, aluminio y hierro. Se encontró que soluciones de pirofosfato de sodio fueron más efectivas como extractantes de aluminio y hierro desde el complejo orgánico (Bascomb, 1968), mientras que ditionito-citrato fue más efectiva como extractante de aluminio y hierro a partir de óxidos "libres" de hierro así como de sus complejos orgánicos (Mc Keague y Day, 1966). Las figuras V.2.6.1. y V.2.6.2., muestran los resultados de tales estudios de extracción en Andosoles japoneses de diferentes orígenes y edades (Wada y Higashi, 1976). Hay una relación aproximadamente lineal entre el carbono extraído con pirofosfato (C_{pir}) y el aluminio y hierro extraídos con el mismo reactivo $[(Al + Fe)_{pir}]$ para todos los suelos (Figura V.2.6.1.), los cuales sugieren que el Al_{pir} y Fe_{pir} forman un complejo humus-metal con una relación estequiométrica de metal a carbono dentro del rango de 0.17 a 0.23.

En la figura V.2.6.2, el carbono residual ($C_{res} - C_{total} - C_{pir}$) es graficado contra el aluminio y el hierro, los cuales son extraídos con ditionito-citrato pero no con pirofosfato $[(Al+Fe)_{dit-pir}]$. Los suelos de edad del grupo 1 (menores de 1000 años) conteniendo muy poco $(Al+Fe)_{dit-pir}$ a pesar de una amplia variación de C_{res} . La zona II incluye todos los horizontes A1 y horizontes A1 sepultados de edad del grupo 2 (menores de 2500 años), los cuales contenían altas cantidades de C_{res} pero cantidades más pequeñas de $(Al+Fe)_{dit-pir}$. La zona III contiene los horizontes A1 sepultados de edad del grupo 3 (2500 a 5000 años) con una relación aproximadamente lineal entre C_{res} y $(Al+Fe)_{dit-pir}$. La zona IV contiene los horizontes B y B sepultados y el horizonte A1 sepultado más viejo.

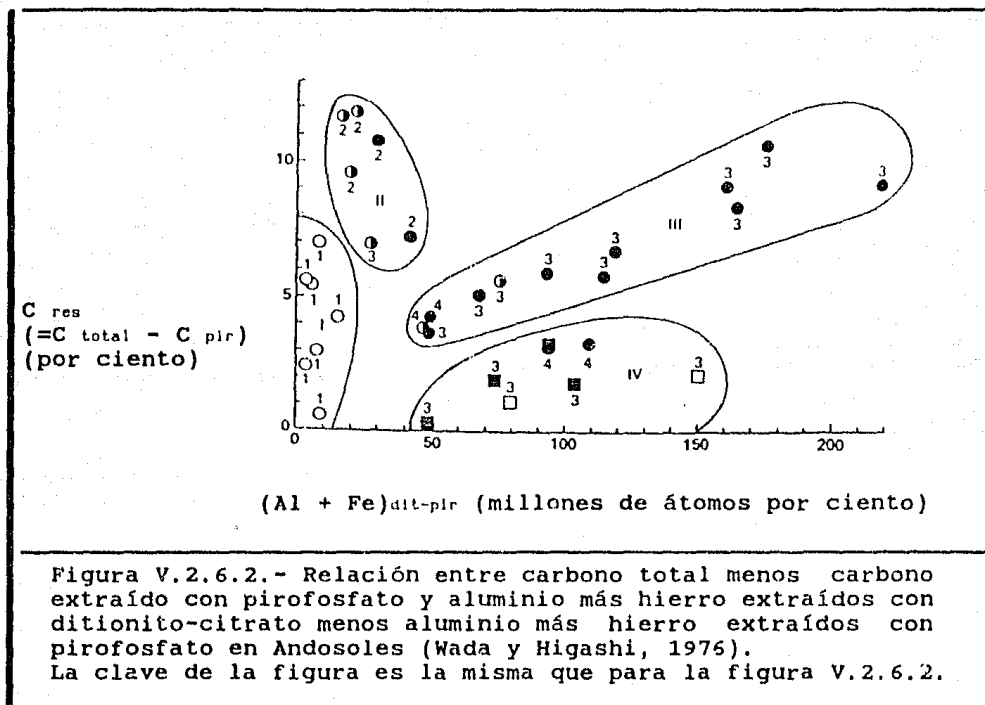
Las figuras V.2.6.1. y V.2.6.2., sugieren que el humus más joven tiene muy baja habilidad acomplejante para el aluminio y el hierro (y no es extraíble con pirofosfato) desarrollándose con el tiempo en formas que acomplejan al aluminio y hierro (es extraíble por pirofosfato). Cuando el suministro de materia orgánica es limitado por sepultamiento del suelo, el humus se desarrolla en forma que no es extraíble con pirofosfato, quizá por reacción con aluminio y hierro adicional liberados por continua intemperización de la ceniza volcánica. Algo de aluminio y de hierro puede estar presente como

hidróxidos y constituyentes casi alofánicos (y son extraídos por ditionito-citrato) y algunos como alofano e imogolita. Una reacción similar tomaría lugar con el humus joven que migra a los horizontes B que por este fenómeno aparecen de colores oscuros.



Probablemente, parte del aluminio y del hierro que se acomplejan con el humus está presente como polímero con iones hidroxilo. Una traza o solo una pequeña cantidad de aluminio fué extraído con KCl 1M de Andosoles que contienen una gran cantidad de aluminio que está acomplejado con el humus, a menos que ellos contengan capas de silicatos 2:1 (Shoji y Ono, 1978; Saigusa et. al., 1980). La correlación entre adsorción de fosfato y contenido de humus, como se ilustra en la figura V.2.8.1, fué interpretada en términos de la

reacción de tal polímero de iones hidroxilo-aluminio e hidroxilo-hierro con iones fosfato.



El humus ha sido preservado en asociación con material amorfo, especialmente de aluminio soluble, formado en el curso de la intemperización de los constituyentes minerales. El humus acumulado tiene mayor contenido de ácidos húmicos que el encontrado en otros tipos de suelo genético y la relación de ácidos húmicos a ácidos fúlvicos generalmente es mayor que 1. Debido al dominio de los ácidos húmicos la proporción C/N de los horizontes A es tan alta que va de 15 a 25 (Leamy *et al*, 1980).

La reacción entre los constituyentes inorgánicos y humus da como resultado la formación de agregados del tamaño de arcilla, limo y arena en Andosoles que son estables cada uno a la oscilación sónica (Higashi y Wada, 1977). Tanto el contenido de carbono de la arcilla separada y la diferencia en el contenido de carbono entre la arcilla y el limo o arena separada, son más altos en los suelos jóvenes (menores

de 2500 años) que en los suelos viejos. Esto demuestra el importante papel de los complejos de humus-aluminio y de humus-hierro en la formación de los agregados y el crecimiento de los agregados con la formación del suelo.

En la tabla V.2.6.7., se puede observar la relación guardada entre el contenido de carbono orgánico y el contenido en aluminio y hierro activos (extraíbles con el reactivo de Tamm). Existe en general la tendencia a disminuir la concentración de estos cationes en función inversa al aumento de carbono orgánico en el suelo, sin embargo, al parecer esta tendencia se puede invertir, de inversa a directa, como resultado de la alteración del suelo por el desmonte y/o el uso agrícola (perfiles 36, 63 y 6).

Los resultados anteriores parecen contradecir lo expuesto por Kobo y Oba (1974b), pues en nuestro caso, los Andosoles si mostraron una correlación entre el carbono total y el aluminio activo extraído por el reactivo de Tamm.

Otro aspecto importante es la relación entre los contenidos de materia orgánica de los Andosoles de la región de Teziutlán y su capacidad para formar agregados estables tal como lo sugieren Higashi y Wada (1977), pues los perfiles con mayores contenidos en materia orgánica y mayor desarrollo edáfico (perfiles 110 y 111), son los que también presentaron mayores problemas para su dispersión en la determinación de la textura.

Si tomamos en cuenta lo sugerido por Leamy *et al.*, (1980), en el sentido de que debido al dominio de los ácidos húmicos la relación C/N de los horizontes A es tan alta que va de 15 - 25, y por Wada y Higashi (1976; figuras V.2.6.1. y V.2.6.2.), que sugieren que el humus más joven tiene muy baja habilidad acomplejante para el aluminio y el hierro; de nuestros resultados podemos suponer que el humus de nuestros suelos esta constituido principalmente por ácidos húmicos poco desarrollados o jóvenes, pues la relación C/N es en la mayoría de los casos (83.3%) es menor o igual a 15, y tienen, también en general, menores contenidos de aluminio y hierro activos. Esto es corroborado por el hecho de que el índice melánico (E_4/E_5) dió en el caso del los perfiles 110 y 111, valores mayores de 1.70 (ver tablas V.2.1.11., y V.2.1.12.).

V.2.7.- Contenidos en nitrógeno y relación C/N.

En la mayoría de los suelos cultivados, la capa arable contiene entre 0.02 y 0.4 % de su peso en nitrógeno (Black, 1975); Meurisse (1985) reporta como contenidos característicos en nitrógeno total entre 0.01 y 0.5 % para Andosoles del Pacífico Noroeste de U.S.A.; Aguilera (1969) reporta valores entre 0.01 y 0.85 para el mismo parámetro en Andosoles de México; en nuestro caso, para los Andosoles de la región de Teziutlán los contenidos en nitrógeno total variaron entre 0.81 % (horizonte A1 del perfil 30) y 0.01 % (horizonte C1 del perfil 6) (ver tablas V.2.1.1., a V.2.1.13.).

La relación C/N es un parámetro muy utilizado en la caracterización del nitrógeno y sus relaciones con la materia orgánica del suelo (Fassbender y Bornemisza, 1987). El nitrógeno de los materiales orgánicos queda disponible para las plantas superiores solamente después de que la relación C/N se aproxima al valor de 10 (Pritchett, 1986), finalmente las relaciones C/N son valiosas para conocer los balances de oxidación y nitrificación de los suelos (Aguilera, 1989).

El humus en los Andosoles es caracterizado por una relación C/N amplia y comúnmente hay valores arriba de 13 (ver tablas V.2.3.2., y V.2.6.1.). Valores similares fueron reportados para Andosoles de Nueva Zelanda por Gibbs (1968). En Chile los valores encontrados para la relación C/N fueron de 12.5 a 16.2 (Aomine, 1972). Una relación C/N de 10 a 11 fué encontrada en Andosoles formados en las regiones subhúmedas de Hawai y una relación de C/N de 14 ligeramente más alta en la región perhúmeda (Sherman y Swindale, 1964). En México las relaciones C/N reportadas para Andosoles varían entre 8 y 13 (Aguilera, 1969).

Los resultados de la relación C/N para los suelos de la región de Teziutlán se muestran en las tablas V.2.1.1. a la V.2.1.13. y en la tabla V.2.6.6., los valores obtenidos se encontraron entre un máximo de 17 y un mínimo de 10, siendo el promedio de 13.7. Una interpretación de estos resultados fue realizada en el punto anterior.

Tabla V.2.6.7.- Relación entre los contenidos de carbono orgánico, aluminio y hierro extraíbles con el reactivo de Tamm (oxalato de amonio + ácido oxálico) y retención de fosfatos (Blakemore et al., 1977).

Perfil y horizonte.	% de C.	% de Al.	% de Fe.	% de retención de fosfatos
Zona 1 (entre 2500 y 3000 msnm).				
30 A1	10.5	1.17	0.35	46.0
B21	1.4	1.91	0.27	58.2
B22	0.7	1.51	0.53	50.4
35 A1	4.0	1.93	0.60	51.5
B1	1.9	1.76	0.64	52.2
B2	0.9	2.05	0.60	63.2
36 A1	5.2	1.58	0.44	60.9
B2	1.8	1.32	0.32	57.0
41 A1	4.6	1.42	0.28	50.5
B1	2.2	1.93	0.34	38.2
B21	1.6	2.13	0.25	44.0
B22	1.4	2.90	0.70	68.7
62 Ap	3.7	1.05	0.37	61.8
B2	2.6	1.23	0.34	65.3
B3	0.9	0.92	0.38	54.0
63 Ap	1.7	1.52	0.30	60.2
AC	0.3	1.41	0.22	58.0
C		1.11	0.31	50.6
84 A1	6.7	1.93	0.35	34.9
AB	3.1	1.95	0.37	45.5
B2	1.6	2.35	0.66	56.7
Zona 2 (entre 1500 y 2500 msnm).				
6 Ap	3.9	1.88	0.65	72.3
C1	0.2	1.89	0.21	63.4
B2b	1.5	1.33	0.63	43.6
20 A1	5.3	1.80	0.49	64.7
B2	3.2	2.06	0.27	70.4
B2b	0.5	1.91	0.41	73.4
87 A1	5.8	2.03	0.34	70.0
AB	4.1	2.70	0.49	80.0
B21	1.3	2.96	0.66	74.0
B22	0.5	2.63	0.57	66.4
110 A11	7.0	3.42	1.80	86.9
A12	7.2	2.71	1.72	86.0
B21	0.7	2.09	0.91	70.5
111 A111	7.4	3.09	1.25	80.6
A112	7.1	2.84	1.28	80.6
A121	6.9	3.06	1.96	87.2
118 A1	5.9	2.98	0.94	76.2
B2	2.5	3.42	1.00	80.9
C1	1.0	2.81	0.84	70.6

V.2.8.- Adsorción de aniones y retención de fosfatos.

Los Andosoles presentan una elevada capacidad de adsorción de aniones, considerando el término "adsorción" como descriptivo de cualquier proceso en el cual los aniones en solución, reaccionan con los átomos existentes en la superficie de las partículas. La magnitud de este proceso, es una propiedad que afecta tanto a la asimilabilidad de importantes nutrientes aniónicos, como a la eficacia de los fertilizantes aplicados.

Fieldes y Schofield (1960), encontraron valores de adsorción de Cl^- del orden de 13 meq/100g en suelos de naturaleza alofánica, y Gebhardt y Coleman (1974a) valores que oscilan entre 0.8 y 32 meq/100g en suelos de la misma naturaleza.

Se han encontrado elevadas cantidades de sulfato adsorbido en suelos de naturaleza alofánica. Gebhardt y Coleman (1974b) encontraron valores comprendidos entre 10 y 20 meq/100g para horizontes superficiales y entre 15 y 16 meq/100g para subsuperficiales.

Los fosfatos son así mismo, aniones retenidos en grandes cantidades por los Andosoles, pues algunos adsorben más de 200 $\mu\text{m/g}$ (Rajan y Fox, 1972; Gebhardt y Coleman, 1974c; Parfitt *et al.*, 1977; Hernando y Pardo, 1982).

Entre todos los aniones citados, los fosfatos son los más importantes, ya que se trata de un nutriente fundamental para los cultivos desde un punto de vista biológico. Por esta razón los fosfatos han sido los aniones que han recibido mayor atención en la bibliografía.

Como se mostró en la tabla V.2.3.2., los Andosoles adsorben cantidades crecientes de iones fosfatos. El coeficiente de adsorción de fosfatos en esta tabla, está determinado por la adición de 20 ml de solución de fosfato de amonio neutro al 2.5 % a 10 g de suelo secado al aire; el valor de 1500 ha sido usado en Japón para determinar si el suelo es o no derivado de cenizas volcánicas. El coeficiente de adsorción de fosfatos de Andosoles, excepto los de textura gruesa, es usualmente de 1500 a 2500. El valor de 1500 se ha encontrado que corresponde al 90% de retención de fosfato determinado mediante la

metodología propuesta por Blakemore *et al.* (1977), en pruebas para muchos Andosoles japoneses (Amanc, 1983).

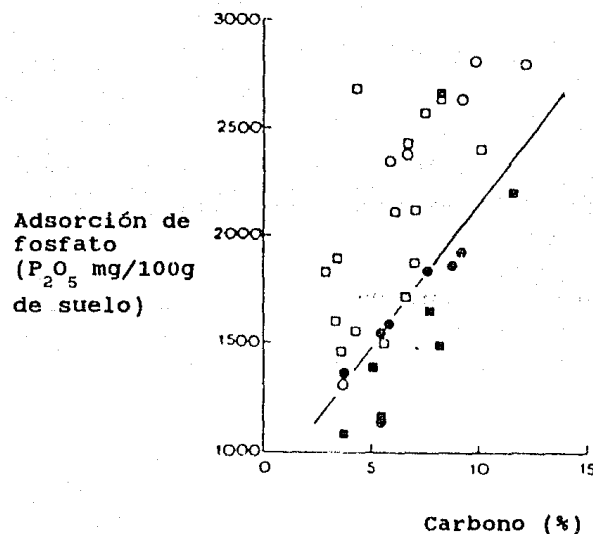


Figura V.2.8.1.- Relación entre el contenido de carbono y la adsorción de fosfato de Andosoles utilizados en el cultivo de arroz (círculo) y sin plantas cultivadas (cuadrado), con diferencias en si contienen (vacío) o no (lleno) alofano e imogolita (Mizota *et al.*, 1982).

La figura V.2.8.1., ilustra que el humus y el alofano en los Andosoles se relacionan con la adsorción de fosfatos, independientemente de su uso o no para el cultivo de arroz. El alofano y la imogolita han sido considerados como los materiales que más contribuyen a la adsorción de fosfatos en los Andosoles. Rajan (1975), Parfitt y Henmi (1980), y Theng *et al.* (1982) encontraron, que las curvas de adsorción de fosfatos mostraron de 200 a 600 μmol de

fósforo/g para imogolita y de 5 a 10 μmol de fósforo/g para haloisita a concentraciones de fósforo de 1.5×10^{-4} M en presencia de KCl o CaCl_2 10^{-2} M. La concomitante liberación de sulfatos, hidroxilos y silicatos sugiere que los fosfatos son adsorbidos por más de un mecanismo, por ejemplo: por intercambio de SO_4^{-2} y OH^- enlazados con aluminio y silicato adsorbido y desplazamiento de grupos SiO_4 de aluminosilicatos, dependiendo de si la concentración de la solución de fósforo es baja (hasta 10^{-2} M) o alta, respectivamente (Rajan, 1975).

La importancia del humus, más exactamente de complejos de humus aluminio y hierro, y constituyentes casi alofánicos, en la adsorción de fosfatos fue indicado por las siguientes observaciones realizadas por Wada (1980):

- a) la reducción de la adsorción de fósforo por los Andosoles después de un tratamiento con H_2O_2 y/o ditionito-citrato;
- b) una alta correlación positiva entre el contenido de humus y la capacidad de adsorción de fósforo, y
- c) una gran adsorción de fósforo por el horizonte A1 de Andosoles en los cuales el alofano y la imogolita están ausentes o casi ausentes.

En la tabla V.2.8.1., se muestran los resultados que sobre retención de fosfatos en Andosoles, han sido reportados por diferentes autores.

En las tablas V.2.1.1. a V.2.1.13., se puede apreciar que los valores de retención de fosfatos que presentaron los Andosoles de la región de Teziutlán variaron entre 34.9 (horizonte A1 del perfil 84) y 87.2 (horizonte A121 del perfil 111).

Los resultados obtenidos mostraron una clara tendencia al aumento del porcentaje de retención de fosfatos por los suelos, en función inversa al aumento de materia orgánica y en función directa del aumento del porcentaje en los contenidos de aluminio y hierro activos (ver tabla V.2.6.7.). Esto se explica en el hecho de que son precisamente las fracciones de aluminio y hierro extraíbles con el reactivo de Tamm, las más activas en la retención de fosfatos, y que la materia orgánica, pero fundamentalmente, los ácidos orgánicos, compiten con los fosfatos al adsorberse y reaccionar con el aluminio y hierro activos.

Otro aspecto importante fue el encontrar una relación entre el aumento en la humedad ambiental y el valor de las propiedades ándicas de los suelos (tabla V.2.8.2.). Se observa que el valor del porcentaje en retención de fosfatos fué mayor para los suelos de la zona 2, con precipitación pluvial media anual entre 800 y 2000 mm y régimen de humedad údico; en comparación con el valor de esta propiedad en los suelos de la zona 1, con precipitación media anual entre 600 y 800 mm y régimen de humedad ústico.

Tabla V.2.8.2.- Modificación de algunas propiedades de los Andosoles de la región de Teziutlán con la variación de la humedad ambiental.

ZONA 1 (precipitación entre 600 y 800 mm y régimen de humedad ústico)			
	máximo	mínimo	promedio
% de Retención de Fosfatos:	68	34	54
% de Al + 1/2 Fe extraíbles:	3.2	1.1	1.9
pH en NaF 1N:	9.0	10.7	9.7
ZONA 2 (precipitación entre 800 y 2000 mm y régimen de humedad údico)			
% de Retención de Fosfatos:	87	43	74
% de Al + 1/2 Fe extraíbles:	4.3	1.6	3.0
pH en NaF 1N:	11.5	9.3	10.3

Tabla V.2.8.1.- Algunos resultados de porcentajes de retención de fosfatos por Andosoles, reportados por diferentes autores.

PROF. (cm)	HORIZONTE	% de Ret. de Fosfatos.
PERFIL H		
0-21	Ap	88
21-38	Bw1	98
38-55	Bw1	99
55-89	Bw2	99
PERFIL I		
0-9	A	71
9-18	BA	90
18-30	Bh	98
30-41	Bhs	98
41-52	Cm	95
PERFIL J		
0-12	Ap	58
12-25	Bw	76
25-70	C1	37
70-130	C2	15
PERFIL K		
0-17		90
17-39		97
39-65		99
65-70		99
70-85		99
85-110		99
110-125		99
PERFIL L		
0-7	A11	95
7-35	A12	98
35-42	A12	98
42-53	A13	98
53-66	B1	97
66-80	IIB2	96

Continuación de la tabla V.2.8.1.

PROF. (cm)	HORIZONTE	% de Ret. de Fosfatos.
PERFIL M		
0-13	A11	78
13-28	A12	88
28-40	A13	93
40-65	B2	96
65<	B3	91

PERFIL N		
0-6	A11	95
6-25	A12	97
25-36	A13	93
36-49	IIB2	93
49-65	IIC	96
65<	IIIB2	98

Los datos de los perfiles H, I y J fueron reportados para Andosoles (Hapludand, Andic Haplumbrept y Vitrudand) de Nueva Zelanda por Parfitt (1985).

Los datos del perfil K fueron reportados para un Andosol (Hidrotropand) de Hawai por Uehara (1985).

Los datos de los perfiles L, M y N fueron reportados para Andosoles no alofánicos (Allands) del Japón por Shoji et al. (1985).

V.2.9.- Aluminio y hierro activos.

Está ampliamente comprobado que tanto el alofano como la hisingerita (mineral semejante al alofano que contiene hierro en lugar de aluminio) y otras formas menos cristalinas de aluminio y hierro son disueltas por tratamiento con el reactivo oxalato ácido o reactivo de Tamm (Wada, 1989). Esto es explicado por el hecho de que materiales arcillosos "de rango corto" tienen un área superficial específica grande y una reactividad química alta, por lo que son más sensibles a la disolución química que los minerales arcillosos cristalinos.

Las formas de aluminio y hierro extraídas de esta manera, son las que reaccionan con los fosfatos en el proceso de retención, por lo que se les ha denominado "aluminio y hierro activos", de lo que se desprende la importancia de su determinación en Andosoles.

Los estudios de las interacciones entre el humus y los constituyentes inorgánicos, en los suelos de cenizas volcánicas, han indicado que el humus involucra desde formas con muy baja habilidad de acomplejamiento de aluminio y de hierro, hasta formas que acomplejan al aluminio y al hierro en horizontes A1 (Wada y Higashi, 1976). En trabajos recientes, edafólogos japoneses han subrayado la importancia del aluminio activo en los suelos de ceniza volcánica (Wada, 1977: Wada y Gunjigake, 1979).

Las deliberaciones del ICOMAND usualmente incluyen una discusión sobre el papel y significado del aluminio y hierro activos, particularmente en los horizontes superiores (Leamy *et al.*, 1980).

En la tabla V.2.9.1., se muestran algunos resultados sobre porcentajes de aluminio y hierro activos (extraíbles con el reactivo oxalato ácido) en Andosoles, reportados por diferentes autores.

Los resultados mostrados en las tablas de la V.2.1.1. a la V.2.1.13., nos hacen suponer que en el caso de los Andosoles de la región de Teziutlán, la retención de fosfatos está determinada en mayor medida por el aluminio y el hierro activos, que por el aluminio y hierro que pudiese estar acomplejado por la materia orgánica del suelo, esto se fundamenta por que las mayores concentraciones de aluminio y hierro activos se presentan en los horizontes B, en los que la literatura reporta la mayor concentración de alofano, imogolita y

Tabla V.2.9.1.- Algunos resultados de los porcentajes de aluminio y hierro activos (extraíbles con el reactivo de Tamm) en Andosoles, reportados por diferentes autores.

PROF. (cm)	HORIZONTE	% de Al	% de Fe	% de Al + 1/2 Fe
PERFIL H				
0-21	Ap	3.2		
21-38	Bw1	4.7		
38-55	Bw1	4.9		
55-89	Bw2	5.0		
PERFIL I				
0-9	A	1.0		
9-18	BA	1.4		
18-30	Bh	2.7		
30-41	Bhs	2.9		
41-52	Cm	1.0		
PERFIL J				
0-12	Ap	0.6		
12-25	Bw	1.3		
25-70	C1	0.6		
70-130	C2	0.2		
PERFIL L				
0-7	A11	2.1	1.1	2.6
7-35	A12	3.2	1.3	3.8
35-42	A12	4.6	1.4	5.3
42-53	A13	6.4	1.3	7.0
53-66	B1	6.6	1.6	7.4
66-80	IIB2	5.5	1.3	6.1
PERFIL M				
0-13	A11	0.9	0.9	1.4
13-28	A12	1.1	1.3	1.7
28-40	A13	1.4	1.6	2.2
40-65	B2	2.1	1.8	3.0
65<	B3	1.8	1.6	2.6
PERFIL N				
0-6	A11	1.7	1.3	2.2
6-25	A12	2.1	1.5	2.8
25-36	A13	1.4	1.3	2.0
36-49	IIB2	1.1	1.2	1.7
49-65	IIC	1.6	1.9	2.5
65<	IIIB2	7.0	1.4	7.7

Los datos de los perfiles H, I y J fueron reportados para Andosoles (Hapludand, Andic Haplumbrept y Vitrudand) de Nueva Zelanda por Parfitt (1985).

Los datos de los perfiles L, M y N fueron reportados para Andosoles no alofánicos (Allands) del Japón por Shoji et al. (1985).

minerales alofánicos (Wada, 1965), además de que las concentraciones de aluminio y hierro activos y por consecuencia la retención de fosfatos, muestran la tendencia a disminuir conforme aumentan los contenidos de carbono orgánico (ver tabla V.2.6.7).

Por último es importante resaltar nuevamente la importancia de la humedad ambiental con respecto a las concentraciones de aluminio y hierro activos, tal como se muestra en la tabla V.2.8.2., el comportamiento de estas variables es semejante al de la retención de fosfatos, es decir, a mayor humedad ambiental, mayores contenidos en aluminio y hierro activos.

V.2.10.- Valores de pH determinados en NaF.

La prueba de laboratorio y campo propuesta por Fieldes y Perrott (1966), con el fin de detectar la presencia de alofano en los suelos, ha sido extensamente empleada, y reconocida como de diagnóstico para Andosoles (Soil Survey Staff, 1987), aunque recientemente haya sido excluida de esta categoría (Soil Survey Staff, 1987). Al parecer tal determinación se originó en el hecho de que algunos Andosoles que presentan un horizonte superficial de 15 a 25 cm de espesor, no presenta reacción a NaF como era requerido por la definición anterior (Leamy et al., 1980).

En algunos casos (Mizota y Wada, 1980) se concluyó que la reacción a NaF no es específica para el alofano, ya que esta reacción se presenta con cualquier clase de aluminio activo, aún incluso si éste está unido al humus.

En el oeste de la India y en Sudamérica, los suelos que deben ser agrupados con los Andosoles, comúnmente no reaccionan al NaF en los 15-25cm superiores, pero si presentan una fuerte reacción en los horizontes internos (Leamy et al., 1980).

Si un suelo con densidad mayor de 0.85 g/cm^3 es clasificado como un Andosol, debido a que se ha formado de cenizas y es de suponerse que esté presente vidrio, debería reaccionar con el NaF. Sin embargo, algunos suelos tales como los de pumicita pardo-amarilla de Nueva Zelanda, que tienen textura de arena, partículas vesiculares y pequeña área superficial, no presentan esta característica (N.Z. Soil Bureau, 1968).

Tabla V.2.10.1.- Algunos resultados sobre los valores del pH en NaF 1N de Andosoles, reportados por diferentes autores.

PROF. (cm)	HORIZONTE	pH EN NaF.
PERFIL F		
0-18		10.6
18-35		11.6
35-50		11.6
50-63		11.6
63-70		11.7
70-80		11.7
80-85		----
98-113		----
PERFIL G		
0-13		10.1
13-23		11.2
23-33		11.2
33-43		10.9
43-56		9.6
PERFIL H		
0-21	Ap	10.7
21-38	Bw1	11.0
38-55	Bw1	10.8
55-89	Bw2	10.9
PERFIL I		
0-9	A	9.8
9-18	BA	10.9
18-30	Bh	11.4
30-41	Bhs	11.5
41-52	Cm	11.1
PERFIL J		
0-12	Ap	10.6
12-25	Bw	11.1
25-70	C1	10.4
70-130	C2	9.4
PERFIL K		
0-17		9.7
17-39		8.7
39-65		10.5
65-70		10.8
70-85		10.7
85-110		10.7
110-125		10.2

Continuación de la tabla V.2.10.1.

PROF. (cm)	HORIZONTE	pH EN NaF.
PERFIL L		
0-7	A11	11.3
7-35	A12	11.8
35-42	A12	12.0
42-53	A13	11.9
53-66	B1	11.7
66-80	IIB2	11.3
PERFIL M		
0-13	A11	9.6
13-28	A12	9.9
28-40	A13	10.6
40-65	B2	11.2
65<	B3	10.8
PERFIL N		
0-6	A11	11.1
6-25	A12	11.6
25-36	A13	10.8
36-49	IIB2	10.7
49-65	IIC	11.0
65<	IIIB2	11.6

Los datos de los perfiles F y G fueron reportados para Andosoles (Andepts) de Hawai y Alaska por Flach et al. (1980).
 Los datos de los perfiles H, I y J fueron reportados para Andosoles (Hapludand, Andic Haplumbrept y Vitrudand) de Nueva Zelanda por Parfitt (1985).
 Los datos del perfil K fueron reportados para un Andosol (Hidrotropand) de Hawai por Uehara (1985).
 Los datos de los perfiles L, M y N fueron reportados para Andosoles no alofánicos (Allands) del Japón por Shoji et al. (1985).

En el caso de suelos de Hawai, la retención de agua, la densidad aparente y la CIC son apropiadas para Andosoles, pero no todos reaccionan adecuadamente con el NaF, o son calcáreos y la prueba es menos significativa. Las bases cambiables son muy altas, así que la proporción entre el agua retenida a 15 bar y la concentración de bases es baja (Leamy et al. 1980). En la tabla V.2.10.1., se muestran algunos resultados sobre el valor del pH medido en NaF 1 N en Andosoles, reportados por diferentes autores.

En las tablas de la V.2.1.1. a la V.2.1.13. y en la tabla V.2.8.2., se muestran los resultados obtenidos en la determinación de

pH en NaF para los Andosoles de la región de Teziutlán, éstos oscilaron entre 9.0 y 11.5 unidades de pH. Es importante hacer referencia al hecho de que se observó una correspondencia entre el aumento en la concentración del aluminio activo y el aumento en el valor del pH en NaF. También y en consecuencia con lo anterior, existe una correspondencia entre el aumento en la humedad ambiental y el aumento en el pH en NaF.

V.2.11.- Reacción del suelo.

La reacción del suelo, asociada a la magnitud de pH, es el concepto que se refiere a las relaciones de acidez y basicidad del mismo; se trata de una propiedad que influye tanto en sus características químicas como físicas, además de tener considerable impacto sobre la vida microbiana de este medio (Fassbender y Bornemisza, 1987).

Los Andosoles se caracterizan por presentar una reacción que varía de fuertemente ácida a ligeramente ácida (Aguilera, 1989). En la tabla V.2.11.1., se presentan los valores de pH en Andosoles determinados por diferentes autores.

Los suelos mostraron tener propiedades débilmente ácidas pues la diferencia entre la acidez (pH 2:1 agua:suelo) y la acidez intercambiable (pH 2:1 KCl:suelo) en una misma muestra de suelo (tabla V.2.11.2.), son relativamente pequeñas (0.7 unidades de pH en promedio), lo cual significa que la cantidad de hidrógeno y aluminio intercambiables presentes en nuestros suelos es baja, y que las posibilidades de toxicidad por aluminio también lo son. Lo anterior corrobora lo observado por Wada (1985), quien señala que la toxicidad del aluminio en los Andosoles es un fenómeno raro.

Esto es explicado por Wada (1989), quien señala que los niveles de pH en los cuales usualmente se encuentran el alofano y la imogolita están en el intervalo de 5 a 7 debido a que tienen propiedades débilmente ácidas. Iimura (1966), encontró que el pH de suspensiones electrodiálizadas de arcillas alofánicas está en el rango de 4.0 a 6.5 y que esas suspensiones muestran poco o ninguna acidez intercambiable. Descubrimientos posteriores fueron interpretados en términos de balance

entre la acidez intercambiable y la alcalinidad. Yoshida (1970; 1971) intentó caracterizar los sitios de acidez sobre las arcillas por tratamiento con una solución 1 N de AlCl_3 , determinando aluminio e hidrógeno intercambiables sobre esas arcillas. Todos los sitios de intercambio sobre el alofano y la imogolita fueron ocupados por hidrógeno, mientras que más del 60% de los sitios de intercambio en las capas de silicatos fueron ocupadas por aluminio, la alta afinidad del alofano y la imogolita por hidrógeno indican sus propiedades de acidez débil.

Otro aspecto importante de señalar es que el pH de los Andosoles de la región de Teziutlán, aumenta con la profundidad del perfil, y al parecer esto también tiene una relación con el aumento de la concentración de aluminio activo, se encontró que el aumento de la concentración en aluminio activo relacionado con el pH corresponde al 76.9 % de los casos (perfiles 30, 35, 41, 62, 84, 87, 6, 20, 111 y 118) (tabla V.2.11.2.) y al 46.1 % del pH con respecto al hierro.

Lo anterior puede ser explicado por el establecimiento de una competencia entre la formación de minerales del tipo del alofano, fuente del aluminio activo, y la presencia de aluminio en su forma intercambiable, es decir, que la tendencia natural en el proceso edafogénico en los Andosoles es la estabilización termodinámica del aluminio liberado durante el intemperismo, como geles y minerales de rango corto y no como ión intercambiable, lo que justificaría plenamente el hecho de que en los Andosoles, a pesar de presentar pH ácidos, no manifiestan toxicidad por causa del aluminio.

Tabla V.2.11.1.- Algunos resultados de pH reportados para Andosoles por diferentes autores.

PROF. (cm)	HORIZONTE	pH EN AGUA	pH en KCl
	PERFIL A		
0-40		5.8	5.6
58-65		6.3	6.4
80-83		6.4	6.4
123-128		6.4	6.4
140-145		6.3	6.5
	PERFIL B		
0-50		5.4	4.5
50-78		5.8	4.8
78-90		6.6	5.6
90-133		6.7	5.6
133-163		6.6	5.7
	PERFIL C		
0-12		5.7	
12-24		6.0	
24-35		6.0	
35-63		6.2	
63-68		6.0	
68-109		6.1	
	PERFIL D		
0-16		5.6	
16-35		5.6	
35-50		5.4	
50-67		5.6	
67-73		5.6	
73-100		5.6	
	PERFIL E		
0-13		5.1	
13-38		5.0	
38-65		5.4	
65-95		5.2	
95-105		5.7	
	PERFIL F		
0-18		5.4	
18-35		5.2	
35-50		5.4	
50-63		5.4	
63-70		5.5	
70-80		5.6	
80-85		5.7	

Continuación de la tabla V.2.11.1.

PROF. (cm)	HORIZONTE	pH EN AGUA	pH en KCl
	PERFIL G		
0-13		4.6	
13-23		4.9	
23-33		5.3	
33-43		5.7	
43-56		5.6	
	PERFIL K		
0-17		4.9	4.7
17-39		5.4	4.9
39-65		6.0	5.6
65-70		6.2	5.8
70-85		6.3	5.7
85-110		6.1	5.8
110-125		6.3	6.0
	PERFIL O		
3-0	O1	6.2	
0-16	A1	6.4	
16-48	B2	6.6	
48-110	C	6.7	
	PERFIL P		
0-10		5.6	
10-20		6.1	
40-50		6.6	
60-70		6.4	
80-90		6.3	
110-120		6.4	

Los datos de los perfiles A y B fueron reportados para Andosoles (Typic Hidrandept y Typic Eutrandedpt) de Hawai por Uehara y Gillman (1981).

Los datos de los perfiles C, D y E fueron reportados para Andosoles de Japón por Wada (1985).

Los datos de los perfiles F y G fueron reportados para Andosoles (Andepts) de Hawai y Alaska por Flach et al. (1980).

Los datos del perfil K fueron reportados para un Andosol (Hidrotropand) de Hawai por Uehara (1985).

Los datos de los perfiles O y P fueron reportados para Andosoles de México por Aguilera (1969).

Tabla V.2.11.2.- Relación entre el pH, la acidez intercambiable y los contenidos de aluminio y hierro extractables con el reactivo de Tamm (oxalato de amonio + ácido oxálico), en Andosoles de la región de Teziutlán.

Perfil y horizonte.	pH H ₂ O:Suelo	pH KCl:Suelo	% de Al.	% de Fe.
Zona 1 (entre 2500 y 3000 msnm).				
30 A1	6.0	5.2	1.17	0.35
B21	6.8	6.1	1.91	0.27
B22	6.9	6.2	1.51	0.53
35 A1	5.1	4.4	1.93	0.60
B1	6.6	6.1	1.76	0.64
B2	7.0	6.5	2.05	0.60
36 A1	6.5	5.8	1.58	0.44
B2	7.0	6.2	1.32	0.32
41 A1	5.3	4.5	1.42	0.28
B1	5.4	4.7	1.93	0.34
B21	5.9	5.2	2.13	0.25
B22	6.1	5.5	2.90	0.70
62 Ap	5.0	4.4	1.05	0.37
B2	6.0	5.3	1.23	0.34
B3	6.4	5.8	0.92	0.38
63 Ap	6.0	5.1	1.52	0.30
AC	6.0	5.2	1.41	0.22
C	7.0	5.9	1.11	0.31
84 A1	5.9	5.3	1.93	0.35
AB	5.6	5.0	1.95	0.37
B2	6.1	5.4	2.35	0.66
Zona 2 (entre 1500 y 2500 msnm).				
6 Ap	5.0	4.2	1.88	0.65
C1	6.0	5.2	1.89	0.21
B2b	5.9	4.9	1.33	0.63
20 A1	5.4	4.7	1.80	0.49
B2	5.6	4.9	2.06	0.27
B2b	6.4	5.5	1.91	0.41
87 A1	5.3	4.8	2.03	0.34
AB	6.0	5.3	2.70	0.49
B21	6.2	5.7	2.96	0.66
B22	5.6	5.1	2.63	0.57
110 A11	4.8	4.0	3.42	1.80
A12	5.1	4.0	2.71	1.72
B21	5.6	4.8	2.09	0.91
111 A111	5.1	4.5	3.09	1.25
A112	5.4	4.8	2.84	1.28
A121	5.4	4.7	3.06	1.96
118 A1	6.0	5.4	2.98	0.94
B2	6.3	5.6	3.42	1.00
C1	6.2	5.4	2.81	0.84

V.2.12.- Capacidad de Intercambio Catiónico y Bases Cambiables.

Los Andosoles presentan características fisicoquímicas originadas por la alta concentración de carga variable (dependiente del pH) que se encuentra en la superficie de sus componentes minerales y orgánicos coloidales, por lo que se dificulta considerablemente la medición de su Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C.), el valor de la C.I.C. va a depender mucho del método empleado en su determinación o más específicamente dicho, del valor de pH de la solución empleada en la extracción de los iones. En la tabla V.2.12.1., se muestran algunos resultados que sobre C.I.C., porcentaje de saturación de bases (% V) y contenidos en bases cambiables, han sido reportados para Andosoles por diferentes autores.

La figura V.2.12.1., muestra el desarrollo de cargas negativas y positivas a diferentes pH y concentraciones de electrolito para Andosoles y pumicitas intemperizadas. Los suelos presentan diferencias en la composición de sus materiales coloidales. Las mediciones de carga eléctrica fueron realizadas por la determinación de la retención de NH_4^+ y Cl^- por equilibrio de la muestra con NH_4Cl a una concentración apropiada de (0.1 a 0.005 M) y pH (4.5 a 8.0). La muestra fue saturada primero con NH_4^+ y Cl^- usando NH_4Cl 1 M, pero el exceso de sal no fue removida por lavado. Como se ilustra en la figura V.2.12.1., la capacidad de retención de bases de Andosoles varía mucho con el pH y la concentración del electrolito de la solución. Métodos convencionales son usados para determinar las capacidades de intercambio catiónico, por ejemplo, buffer de $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 1M a pH 7 por saturación del catión indicado, donde el exceso de sal es eliminada por lavado con agua y/o alcohol. Es evidente que las C.I.C. medidas convencionalmente para Andosoles no han sido precisamente significativas y tienen poco uso en la asignación de la habilidad de los suelos para retener bases en el campo (Wada, 1985).

Los valores de C.I.C. para imogolita, de 20 a 30meq/100g, fueron obtenidos en soluciones salinas de 10^{-2} a 10^{-1} M y a pH 7.0 (Wada, 1977; Theng et al., 1982). Casi toda su carga negativa depende del pH (figura V.2.12.1.) y probablemente libera H^+ a partir de grupos Si-OH que resaltan dentro del tubo. Los valores de C.I.C. varían

Tabla V.2.12.1.- Algunos resultados de la capacidad de intercambio catiónico, contenidos en bases cambiables y porcentaje de saturación de bases reportados para Andosoles por diferentes autores.

PROF. (cm)	HORIZONTE	C.I.C. (cmol(+)/Kg)	BASES CAMBIABLES (meq/100g)				%V
			Ca	Mg	Na	K	
PERFIL A							
	0-40	67.7	2.0	1.8	0.1	0.1	6
	40-53	68.4					4
	58-65	66.6	2.4	0.3	0.1	0.1	4
	75-80	57.6					3
	80-83		1.4	0.3	tr	tr	
	123-128		1.7	1.0	tr	tr	
	140-145		2.6	0.3	tr	tr	
PERFIL B							
	0-50	45.8	17.2	9.1	0.7	0.7	60
	50-78	50.2	22.8	11.7	1.0	0.7	72
	78-90	63.1	33.7	19.2	1.8	0.5	87
	90-133	62.0	35.8	23.8	2.1	0.3	97
	133-163		34.4	26.5	1.9	0.2	
PERFIL C							
	0-12	6.0					62
	12-24	6.0					53
	24-35	10.0					56
	35-63	13.0					58
	63-68	10.0					51
	68-109	12.0					46
PERFIL D							
	0-16	23.0					27
	16-35	31.0					23
	35-50	63.0					26
	50-67	74.0					18
	67-73	36.0					10
	73-100	37.0					10
PERFIL E							
	0-13	36.0					17
	13-38	57.0					6
	38-65	46.0					4
	65-95	57.0					5
	95-105	7.0					--

Continuación de la tabla V.2.12.1.-

PROF. (cm)	HORIZONTE	C.I.C. (cmol+)/Kg)	BASES CAMBIABLES (meq/100g)				%V
			Ca	Mg	Na	K	
PERFIL F							
0-18		53.0					
18-35		34.0					
35-50		39.0					
50-63		30.0					
63-70		25.0					
70-80		24.0					
80-85		23.0					
98-113		21.0					
PERFIL G							
0-13		13.0					
13-23		19.0					
23-33		16.0					
33-43		14.0					
43-56		7.0					
PERFIL O							
3-0	O1	32.3					
0-16	A1	29.8					
16-48	B2	29.2					
48-110	C	28.2					
PERFIL P							
0-10		8.5					
10-20		7.4					
40-50		9.8					
60-70		5.3					
80-90		2.2					
110-120		2.0					

Los datos de los perfiles A y B fueron reportados para Andosoles (Typic Histrandept y Typic Eutrandept) de Hawai por Uehara y Gillman (1981) y Uehara (1985).

Los datos de los perfiles C, D y E fueron reportados para Andosoles de Japón por Wada (1985).

Los datos de los perfiles F y G fueron reportados para Andosoles (Andepts) de Hawai y Alaska por Flach et al. (1980).

Los datos de los perfiles O y P fueron reportados para Andosoles de México por Aquilera (1969).

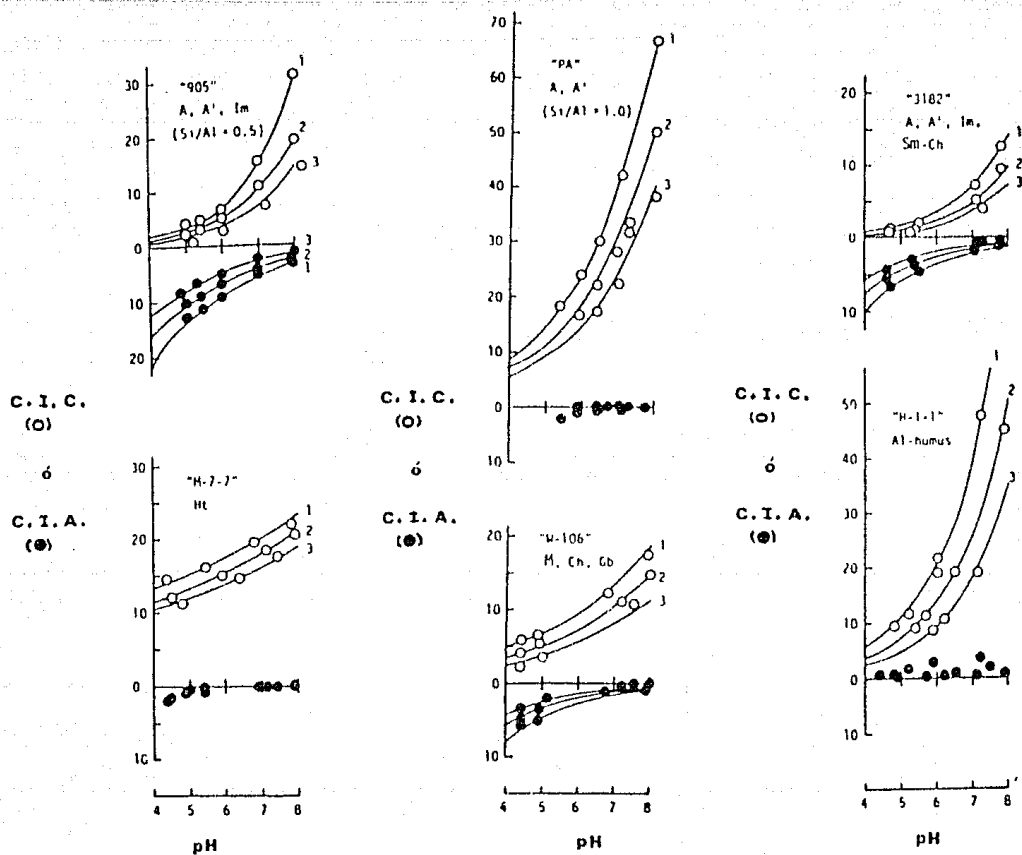


Figura V.2.12.1.- Características de la carga eléctrica de los Andosoles (905, 3182, W-106, H-1-1) y pumicitas intemperizadas (PA y M-7-7), con diferencias en la composición de sus materiales coloidales, determinadas usando NH_4^+ y Cl^- como iones marcadores a diferentes concentraciones de NH_4Cl : 1 = 0.1 M, 2 = 0.02 M y 3 = 0.005 M (Wada, 1980).

Abreviaturas: A = alofano; A' = constituyentes alofánicos; Ch = clorita; Fe-ox = minerales de óxido de fierro; Gb = gibbsita; Ht = haloisita; Im = imogolita; M = mica; S.O. = sílice opalina; Sm = esmectita; Sm-Ch = intergradados esmectita-clorita; Vt = vermiculita; Vt-Ch = intergradados vermiculita-clorita.

desde 10 hasta 50 meq/100 g para alofanos con relación de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ cerca de 1 y 2 (Wada, 1980; Gonzales-Batista *et al.*, 1982; Theng *et al.*, 1982). La diferencia en la carga negativa característica entre los dos alofanos con la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de cerca de 1 y 2 sugiere la diferencia en el origen de la carga negativa (figura V.2.12.1.; tabla V.2.12.2.). En ambos alofanos las cargas negativas son liberadas de los grupos Si-OH en la capa tetraédrica Si-O que constituye la pared del esferul, pero la carga negativa adicional posiblemente es liberada a partir de la sustitución de silicio por aluminio en la capa Si-O en el alofano con la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de 2.0 (Wada, 1985).

La tabla V.2.12.2., ilustra el efecto del pH sobre la magnitud de la carga negativa en diferentes complejos de humus y ácidos húmicos. El efecto del pH es marcado para los Andosoles que contienen complejos humus-Al y es menos marcado para un Andosol que contiene complejos humus-Al y humus-Ca y haloisita. Una variación similar en la dependencia del pH es observada para dos Andosoles de suelos superficiales en Chile. Por otro lado, el efecto del pH es mucho menor para un suelo Chernozémico que contiene complejos de humus-Ca y humus-Mg y ácidos húmicos I, II, y III los cuales son extraídos de Andosoles usando NaOH y $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$, respectivamente y purificados por tratamiento con un intercambiador catiónico saturado de H^+ . En estas muestras, la ionización de la mayoría de los grupos COOH ocurre a pH 4, y el desarrollo de la carga negativa entre el pH 4 y 7 es pequeña. La diferencia entre los Andosoles y los ácidos húmicos demostraron que el polímero hidrox-Al y parcialmente cationes hidrox-Fe que fueron eliminados por la extracción y purificación modificó la carga característica de los ácidos húmicos (Wada, 1985).

Solo Andosoles que contienen alofano e imogolita con una relación de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de cerca de 1 presentan carga positiva comparable con la carga negativa en un rango de valores de pH (figura V.2.12.1.). Los suelos que contienen óxidos de hierro, gibbsita e intergrados de silicatos laminares 2:1 y 2:1:1 y la pumicita intemperizada conteniendo haloisita presentan una carga positiva solo y bajo un pH de 5.0. La carga positiva no aparece en suelos que contienen complejos de humus-Al a menos que el suelo contenga alofano e imogolita. Esta observación tiene importancia en la relación sobre la

retención de aniones adsorbidos no específicamente tales como NO_3^- en horizontes A1 o Ap de Andosoles (Wada, 1985).

Una combinación de densidad aparente baja y alta retención de agua a 15 bar implica también una alta superficie específica. Ya que la capacidad de intercambio catiónico es el producto de la superficie específica y la densidad de carga superficial, uno esperaría un muy alto valor de la C.I.C. para los Andosoles. Pero si nosotros la vemos para la C.I.C. efectiva definida como la suma de calcio, magnesio, sodio, potasio y aluminio intercambiable, nosotros encontraremos valores muy bajos en esta propiedad (Uehara y Gillman, 1981).

Tabla V.2.12.2.- Desarrollo de carga negativa en diferentes valores de pH relativa a aquella en pH 7.0 sobre suelos y ácidos húmicos^a.

Muestra	Material inter-cambiador ionico	pH				
		8.0	7.0	6.0	5.0	4.0
Andosol A1	Al(Fe)-humus	1.95	1.00	0.51	0.26	----
Andosol Alb	Al(Fe)-humus A, A', Im ^b	1.99	1.00	0.50	0.25	----
Andosol Alb	Al(Fe)-humus Vt-Ch	2.18	1.0	0.46	0.21	----
Andosol Alb	Al(Fe)-humus A, A', Ht	1.30	1.00	0.77	0.59	----
Chernozem Ap	Ca-humus, Sm, Vt	----	1.00	0.92	0.83	0.64
Acidos húmicos (Andosol)						
I		----	1.00	0.91	0.85	0.68
II		----	1.00	0.92	0.81	0.63
III		1.04	1.00	0.94	0.84	0.73

^a Adaptado de Wada y Okamura (1980).

^b Abreviaturas, ver figura V.2.12.1.

La causa de ésto puede ser que en los Andosoles la pérdida de una gran cantidad de sílice es un proceso natural, originado por el

intemperismo. La intemperización es un proceso de desilicación extrema. Cuando un suelo es rico en sílice en la fracción arcillosa, el suelo tendría una alta C.I.C. Esta alta C.I.C. esta relacionada a un pH en el punto isoeléctrico (pH_0) el cual esta localizado en el rango de muy ácido. En los Andosoles la diferencia ($pH_0 - pH$) es casi 0 o positiva y la densidad de carga eléctrica superficial es cero o positiva (Uehara y Gillman, 1981).

En las tablas de la V.2.1.1. a la V.2.1.13., se muestran los valores de Capacidad de Intercambio Catiónico, concentraciones de calcio, magnesio, sodio y potasio intercambiables y porcentaje de saturación de bases de los Andosoles de la región de Teziutlán. Se puede apreciar que los valores de C.I.C. son bajos pues variaron entre 35.8 y 8.0 $cmol(+)/Kg$ de suelo.

En la tabla V.2.12.3., se muestra la comparación de los resultados del análisis químico elemental de la fracciones tierra fina ($<2mm$) y arcilla ($<0.002mm$), con la C.I.C., el % V y los contenidos en bases cambiables determinadas en la fracción tierra fina, para Andosoles de la región de Teziutlán. En nuestro caso no es posible establecer una relación entre la pérdida de sílice y la variación de la C.I.C. o la pérdida de bases del suelo.

Wada (1985) señala que el contenido de bases intercambiables es generalmente bajo en Andosoles desarrollados en regiones templadas húmedas de Japón, presentan una saturación de bases menor del 50% en subsuelos, Andosoles desarrollados en regiones húmedas y tropicales perhúmedas de Hawai muestran características similares. Aunque es difícil de medir y definir la saturación de bases para suelos con carga variable, el bajo contenido de bases en estos suelos es explicado por el hecho de que su carga negativa es más pequeña con el decremento del pH y del electrolito, en otras palabras sus sitios de intercambio catiónico muestran una muy alta selectividad por protones, por lo tanto, los suelos no muestran fuerte acidez debido a su baja o muy baja saturación de bases.

Los Andosoles de la región de Teziutlán se caracterizan por presentar bajos contenidos en bases cambiables y bajos porcentajes de saturación de bases, esto es originado seguramente por las condiciones climáticas que ocasionan una fuerte lixiviación de las bases cambiables.

Tabla V.2.12.3.- Comparación de los resultados del análisis químico elemental de la fracción tierra fina (<2mm) y la fracción arcilla (<0.002mm), con la C.I.C., el % V y los contenidos en bases cambiables (determinadas en la fracción tierra fina), para Andosoles de la región de Teziutlán.

Perfil:	63	63	6	6	110	110
Horizonte:	A1	AC	A1	B2b	A1b	B2b
Prof. (cm):	0-30	30-63	0-20	40-50	15-40	40-73
	Fracción tierra fina (<2mm)					
% SiO ₂	56.73	64.68	38.39	37.52	35.80	35.81
% Al ₂ O ₃	22.21	16.08	23.26	22.52	19.11	26.50
% Fe ₂ O ₃	5.76	4.85	11.98	12.02	8.19	9.05
% CaO	2.52	2.87	1.67	1.97	1.36	0.63
% MgO	0.56	1.09	0.20	0.20	0.24	0.65
% K ₂ O	0.45	2.99	0.58	0.58	0.93	0.91
% Na ₂ O	2.12	4.25	0.05	0.05	0.05	1.24
	Fracción arcilla (<0.002mm)					
% SiO ₂	39.90		27.58	22.27	23.78	21.27
% Al ₂ O ₃	30.70		29.04	30.16	24.42	23.87
% Fe ₂ O ₃	8.61		13.28	15.33	10.15	13.77
% CaO	2.00		1.06	0.64	0.68	0.84
% MgO	0.24		0.34	0.14	0.10	0.16
% K ₂ O	0.19		0.22	0.11	0.21	0.13
% Na ₂ O	0.30		-----	-----	-----	0.28
	propiedades de la fracción tierra fina (<2mm)					
C. I. C.:	21.4	8.0	21.3	21.6	35.8	16.0
(cmol(+)/Kg).						
% V:	31.3	19.2	30.0	30.5	27.9	33.1
Ca (meq/100g):	3.4	0.9	3.0	3.5	5.9	2.9
Mg (meq/100g):	0.9	0.1	2.0	1.0	1.0	0.8
Na (meq/100g):	1.4	0.3	0.8	1.6	2.5	1.3
K (meq/100g):	1.0	0.1	0.6	0.5	0.6	0.3

V.3.1.- Componentes minerales de los Andosoles.

La formación de minerales arcillosos como el alofano, los constituyentes casi alofánicos, la imogolita y la sílice opalina, es el proceso más prominente en la formación del suelo a partir de rocas piroclásticas. Ellos contribuyen al desarrollo de propiedades distintivas de los Andosoles. La sección siguiente describe brevemente estos minerales (Wada, 1977, 1980).

Es necesario un enfoque especial al estudiar al alofano como un mineral alúmino-silicato constituyente de los suelos. Muchos minerales alúmino-silicatos pueden mostrar patrones de difracción de rayos X y absorción infrarroja por tener arreglos ordenados de sus elementos atómicos. Durante procesos químicos de intemperización, los arreglos de los minerales alúmino-silicatos primarios son alterados por procesos que involucran hidrólisis, y particularmente en etapas tempranas de intemperización pueden ser producidos alúmino-silicatos hidroamorfos desordenados o mezclas de geles de aluminio y silicio (Fieldes y Claridge, 1975).

Cuando materiales de esta naturaleza son precipitados en cavidades de rocas, pueden frecuentemente ser separados esencialmente libres de otros constituyentes y ellos han sido descritos por los geólogos como alofano. Materiales similares ocurren en suelos fragmentados y son más difíciles de separar de otros constituyentes, por lo que, las cantidades de alúmino-silicatos hidroamorfos presentes en los suelos han sido difíciles de estimar. Nagelschmidt (1944), por ejemplo, en una revisión de la mineralogía de arcillas de suelos, consideró que trabajos detallados sobre arcillas tuvieron en general fallas que apoyaran la idea de que mezclas de geles amorfos fueran los constituyentes mayores. Los coloides del suelo fueron menos bien cristalizados que las arcillas, pero la extensión en la cual la materia inorgánica amorfa existe en suelos coloidales no fue conocida.

Desde hace tiempo ha sido establecido que alúmino-silicatos hidroamorfos relacionados al alofano son constituyentes mayoritarios de ciertos suelos. Ellos son altamente reactivos y su presencia en

cantidades pequeñas pueden influenciar las propiedades químicas, físicas y coloidales de muchos suelos. Aunque no se ha establecido su composición, las propiedades generales de alúmino-silicatos hidroamorfos son similares. Ellos difieren grandemente de otros constituyentes del suelo. Esto hace por lo tanto posible el tratar a los alúmino-silicatos hidroamorfos como "alofanos" y considerarlos como un grupo denominado "alofano" (Fieldes y Claridge, 1975).

El alofano está presente sobre la superficie de minerales primarios aluminosilicatos intemperizados en el suelo y los sitios externos abundantes sobre la superficie del alofano se asemejan a esos sitios superficiales menos abundantes unidos a las estructuras de minerales primarios aluminosilicatos intemperizados. Considerar el comportamiento de sitios individuales de este tipo cercano a átomos específicos parece ser necesario para progresar en el entendimiento de la química de interfases sólido-fluido (gas o líquido) en el suelo (Fieldes y Claridge, 1975).

El conocimiento de las propiedades del alofano está lejos de ser completo y el estudio disciplinado presenta muchas dificultades. Sin embargo, se están logrando avances en este campo, y en la presente etapa del conocimiento hay considerable interés en el comportamiento del suelo alofánico, cuyo significado puede tener efectos importantes sobre la química del suelo como un todo.

Wada (1977), nos dice que en los cristales, los átomos están empaquetados juntos de una manera regular formando un patrón tridimensional (orden de rango largo), mientras que en materiales amorfos (sin forma), ellos no estarían arreglados de manera regular. Sin embargo, no hay una línea divisoria clara entre materiales cristalinos y los anteriormente denominados amorfos. Hay casos donde el arreglo de los átomos es regular en dos dimensiones o en sólo una dimensión, por ejemplo, cada capa unitaria de haloisita o montmorillonita es un cristal bidimensional, pero usualmente ellas no forman estructuras con una regularidad tridimensional. La intervención de moléculas de agua entre las capas unitarias hace su rotación arbitraria o cambios inevitables. Una situación similar, ocurre en el ensamblamiento de unidades de cadena, donde uno a menudo puede exponer solo traslaciones estadísticas las cuales dan una probable posición

relativa de unidades de cadenas adyacentes. Este tipo de orden es denominado paracristalino (Vainshtein, 1966). Por otro lado, el arreglo de átomos no es enteramente fortuito en los materiales anteriormente denominados amorfos. Los átomos se comportan como esferas con un radio definido y tienen su propia tendencia a la coordinación. Esto resulta en algún orden en su arreglo, como se comprueba por la presencia de tetraedros discretos de SiO_4 en la sílice vítrea. Sin embargo, el orden en estos materiales es local y no repetitivo (orden de rango corto) comparado con lo encontrado en materiales cristalinos (orden de rango largo). Por todo lo anterior, el término mineral amorfo que era aplicado al alofano y minerales semejantes, ha sido sustituido por mineral no cristalino (Bunn, 1961) o más explícitamente mineral de rango corto (Wada, 1989).

Los materiales arcillosos de rango corto, los cuales son importantes en suelos son óxidos e hidróxidos de aluminio, hierro y silicio y silicatos de aluminio y hierro, todos en distintas combinaciones con agua. Brown (1955), propuso un esquema de clasificación y denominación de tales minerales arcillosos (tabla V.3.1.1.).

El nombre alofano ha sido usado en varias formas, Ross y Kerr (1934), lo usaron como el nombre de un grupo de materiales arcillosos amorfos a los rayos X los cuales están frecuentemente asociados con haloisita y consisten esencialmente de una solución sólida de sílice, alúmina y agua. Beutelpacher y van der Marel (1961; citados por Grim, 1968), concluyeron que el alofano ocurre como una capa sobre constituyentes cristalinos y está muy difundido en muchos suelos. Fieldes (1966), propuso el uso del nombre alofano para cualquier material de tamaño arcilla caracterizado por estructuras de arreglo fortuito. Furkert y Fieldes (1968), encontraron alofano en suelos derivados de roca glacial pulverulenta o basáltica y en Espodosoles, también como en suelos derivados de cenizas volcánicas.

El nombre de alofano, será usado para denominar a una serie de hidroalúminosilicatos arcillosos formados naturalmente. Ellos están caracterizados por tener un orden de rango corto y por el predominio de enlaces Si-O-Al. Su composición química varía, pero dentro de los límites necesarios para mantener el predominio de enlaces Si-O-Al. Esta

definición es esencialmente la misma que la adoptada en el seminario USA-Japón sobre materiales arcillosos amorfos (Van Olphen, 1971).

Brown (1955), usó el nombre de hisingerita para un material con hierro análogo al alofano (tabla V.3.1.1.). El nombre hisingerita también fue usado para una variante "amorfa" de nontronita (Gruner, 1935), una hierro saponita mal cristalizada (Whelan y Goldich, 1961) y una mica mineral con excesiva sustitución de hierro por silicio y con iones hidronio interlaminares (Lindqvist y Jansson, 1962). La presencia de material con hierro análogo al alofano en suelos se ha sugerido, pero una información sólida no ha sido obtenida.

El nombre imogolita no fue incluido en la tabla V.3.1.1. Fue primero descrito por Yoshinaga y Aomine (1962b) en un suelo derivado de ceniza volcánica vítrica conocida como "imogo". El nombre imogolita, como una nueva especie mineral, fué aprobado por el comité de nomenclatura A.I.P.E.A. (Brindley y Pedro, 1970). Químicamente, la imogolita es intermediaria entre el alofano y la kliachita en el esquema de Brown (tabla V.3.1.1.) y tiene una composición aproximada de $\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$. Consiste de unidades paracrystalinas ensambladas en una estructura unidimensional. La génesis y propiedades de la imogolita están estrechamente asociadas con las del alofano más que con las de minerales arcillosos cristalinos.

Tabla V.3.1.1.- Nomenclatura y clasificación de materiales arcillosos no cristalinos (Brown, 1955).

Grupo	Nombre del último miembro	Fórmula
Oxidos	Sílice Opalina	$\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
	Limonita	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
	Kliachita	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
	Wad	$\text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Silicatos	Alofano	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
	Hisingerita	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Fosfatos	Evansita	$\text{Al}_3\text{PO}_4(\text{OH})_6 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
	Azovskita	$\text{Fe}_3\text{PO}_4(\text{OH})_6 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

V.3.1.1.- Alofano.- El alofano fue descrito como un mineral amorfo teniendo poca o ninguna organización estructural, pero la microscopía electrónica de alta resolución ha indicado que el alofano consiste de "esferulas huecas" con diámetros de 3.5 a 5 nm. La variabilidad de tamaños y formas del alofano es el resultado de la agregación de estas esferulas con ellas mismas y con otros constituyentes arcillosos. La figura V.3.1.1., ilustra la probable estructura esférica del alofano propuesta con base en los datos de morfología, composición química ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ en relación molar de 1 a 2.0; $\text{H}_2\text{O}(+)/\text{Al}_2\text{O}_3$ en relación molar de 2.5 a 3.0), aluminio hexa y tetra-coordinado, densidad (2.75 g/cm^3) e intercambio rápido y completo de OH-OD. La característica del espectro de infrarrojo en la región de $400\text{-}800 \text{ cm}^{-1}$ apoya la estructura defectuosa de imogolita más la estructura defectuosa de caolinita de la esferula del alofano. Las áreas específicas medidas y calculadas fueron de $1050 \text{ m}^2/\text{g}$ y de 700 a $1100 \text{ m}^2/\text{g}$, respectivamente. Los alofanos son disueltos por tratamiento con NaOH 0.5M caliente o por el reactivo oxalato ácido 0.2M (pH de 3.0 a 3.5). El análisis de silicio y aluminio disueltos y el espectro de infrarrojo de constituyentes disueltos registrados por diferentes métodos son útiles para la determinación de alofano.

V.3.1.2.- Constituyentes casi alofánicos.- A diferencia del Alofano, los constituyentes casi alofánicos son disueltos por tratamiento con ditionito-citrato y solución de Na_2CO_3 al 2%. Ellos mostraron un espectro de infrarrojo similar al alofano, imogolita y cationes hidroxialúmino-silicatos sintetizados. Los constituyentes casi alofánicos coexisten con el alofano o pueden ser una parte del alofano. Ellos tienen una relación molar de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ más baja que la del alofano y muestran una reactividad más alta del aluminio.

V.3.1.3.- Imogolita.- La imogolita fue descrita primero en suelos derivados de cenizas volcánicas del Japón. Aparecen como hilos curvados y suaves con variaciones de diámetro de 10 a 30 nm y extendiéndose algunos mm de longitud. Los hilos consisten de unidades tubulares con diámetro interno y externo de cerca de 1.0 y 2.0, respectivamente. La mejor fórmula empírica para la Imogolita es:



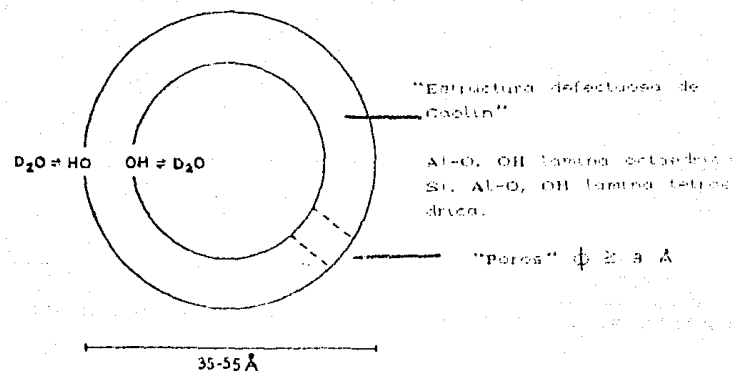


Figura V.3.1.1.- Representación esquemática de la estructura de una esferula de alofano. (Wada, 1980).

Una estructura para la unidad tubular de imogolita es derivada con base en los datos de difracción de electrones, morfología, composición química, aluminio hexa-coordinado, densidad (2.6 a 2.75 mg/cm³) y un intercambio rápido y completo de OH-OD. Como se ilustra en la figura V.3.1.2., la estructura esta basada en una capa de gibbsita enrollada y conteniendo enlaces Si-O-Al pero no enlaces Si-O-Si. La imogolita se dice es paracristalina, debido a las unidades tubulares. Las áreas superficiales específicas medidas y calculadas fueron 1025 m²/g y de 900 a 1000 m²/g, respectivamente. La imogolita es disuelta por tratamiento con NaOH 0.5M caliente o ácido oxálico-oxalato. Produce un patrón de difracción de rayos X característico, un espectro de infrarrojo y una curva de análisis térmico diferencial. La imogolita coexiste con el alofano en muchos Andosoles y aún una cantidad traza de imogolita puede ser identificada usando un microscopio electrónico.

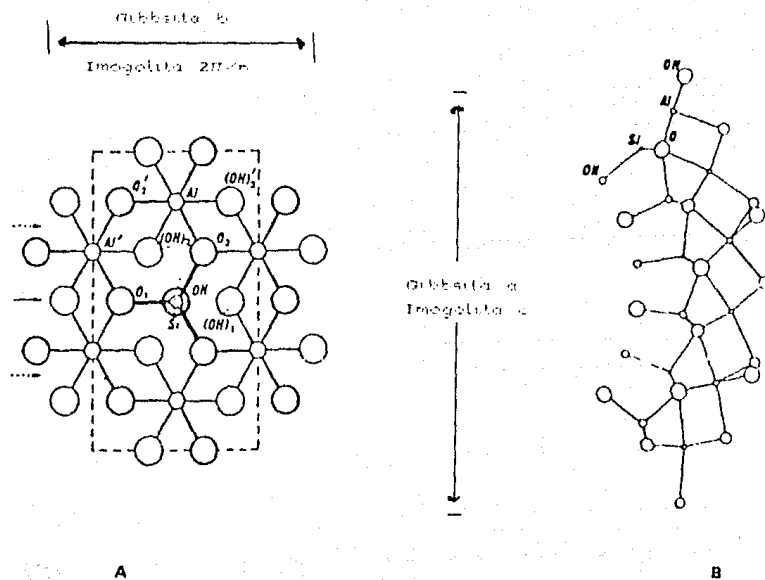


Figura V.3.1.2.- A) Relación postulada entre la unidad estructural de la imogolita y de la gibbsita. Los grupos $SiOH$ los cuales se hallarían en las esquinas de la celda en la imogolita son omitidos en el diagrama. B) El enrizado de la capa (hiróxidos) de la gibbsita inducida por la contracción de una superficie para alojar tetraedros de SiO_3OH ; proyección a lo largo del eje c de la imogolita. (Cradwick et al., 1972).

V.3.1.4.- Sílice opalina.- La sílice opalina aparece en partículas laminares con diámetro de 0.2 a 5 μm y con estructura no particular como se encontró en diatomeas. Las partículas comúnmente son circulares y elípticas y extremadamente delgadas. La sílice opalina es soluble en NaOH 0.5M pero no en reactivo ácido oxálico-oxalato y da un espectro de infrarrojo característico de sílice.

V.3.1.5.- Haloisita.- En Andosoles, la haloisita aparece en formas hidratada y deshidratada, típicamente como partículas esféricas con diámetros de 0.04 a 1 μm u hojuelas enrolladas. Las partículas esféricas están compuestas aproximadamente de bandas concéntricas de capas de haloisita. Las formas peculiares (Kirkman, 1977; Wada y Mizota, 1982) y las formas incipientes (Wada, 1985) de la haloisita también han sido encontradas en pumicitas intemperizadas y cenizas volcánicas.

V.3.2.- Formación y transformación de los minerales en los Andosoles.

Los recientes análisis mineralógicos y químicos de Andosoles han indicado que (1) su composición mineral arcillosa varía dependiendo del estado de formación del suelo, del horizonte, de la naturaleza petrológica de la ceniza volcánica parental, del espesor del depósito de ceniza, y probablemente de otros factores; y (2) la formación y transformación de minerales arcillosos por intemperización de cenizas volcánicas y pumicitas son muy afectadas por la acumulación de humus que forman complejos con el aluminio y el hierro y con algunos minerales arcillosos (Wada, 1980). La tabla V.3.2.1., resume los componentes minerales del suelo formados en varios horizontes de Andosoles en diferentes etapas de la formación del suelo. Las etapas primeras, medianas y posteriores corresponden aproximadamente de 0 a 2500, 2500 a 7500 y de más de 7500 años después de la depositación de la ceniza volcánica bajo condiciones de clima templado húmedo.

V.3.2.1.- Alofano e imogolita.- Como se ilustra en la tabla V.3.2.1., los horizontes A1 en las primeras etapas de la formación de los suelos derivados de cenizas volcánicas, contienen sílice opalina, humus, complejos de humus Al- y Fe-, pero no alofano e imogolita. Por otro lado, el horizonte (B), y el horizonte A1 y el horizonte (B)

sepultados por subsecuentes capas de cenizas y para los cuales ha sido suministrada poca o nada de materia orgánica, contienen alofano e imogolita. Esta observación sugiere que el humus formado en el suelo esta fuertemente enlazado a aluminio liberado por intemperización a partir de cenizas volcánicas y por lo tanto limita la coprecipitación de sílice y alúmina y por consiguiente la formación de alofano e imogolita. Un ejemplo de datos al respecto se muestran en la figura V.3.2.1., donde el contenido de carbono de muestras de suelo, con y sin alofano e imogolita, es graficado contra la cantidad de aluminio como Al_2O_3 disuelto con ditionito-citrato desde la fracción arcillosa. La diferencia en la distribución de las muestras, con y sin alofano e imogolita, sugiere que su formación es retardada cuando la velocidad de acumulación de materia orgánica es relativamente alta para la velocidad de liberación del aluminio desde cenizas volcánicas. Esta suposición parece estar basada en observaciones subsecuentes de que el alofano y la imogolita fueron encontradas más frecuentemente y en mayor cantidad en el horizonte Ap que en el A1 (Mizota y Wada, 1980; Mizota et al., 1982) y bajo bosques que bajo pradera (Shoji et al., 1982).

El alofano, constituyentes casi alofánicos e imogolita usualmente coexisten típicamente en el horizonte B de Andosoles (tabla V.3.2.1.), suministrando la depositación sobrepuesta de eyecciones volcánicas relativamente delgada (1 a 2 m). El lavado de bases y sílice prevalece en la formación de estos minerales, aunque los niveles de pH sobre los cuales el alofano y la imogolita son encontrados usualmente estan en el intervalo de 5.0 a 7.0. Shoji et al. (1982) reportó casos donde la formación de alofano e imogolita de las mismas cenizas volcánicas de 1000 a 2000 años está controlada por la acidez del suelo. El alofano y la imogolita son formadas en los suelos de pH > 5.0 y bajo lluvias de 900 a 1200 mm y en bosques de Castanea-Quercus, pero no en suelos con pH < 4.8 y bajo lluvia de 1200 a 1800 mm o más y en bosques de Abies o Fagus. Los últimos suelos muestran características morfológicas de Espodosoles. Intergrados de Andosoles y suelos Podzólicos Pardos fueron encontrados también en el sur de Chile bajo condiciones de lluvia excesiva de 3000 mm y bajo coníferas o bosque de Nothofagus (Wright, 1965).

Tabla V.3.2.1.- Componentes minerales del suelo formados por pedogénesis en Andosoles bajo un clima templado húmedo y vegetación de pasto natural (Wada, 1980).

Horizonte	Etapa de la pedogénesis		
	Temprana	Media	Tardía
Superficial	Humus	Al- y Fe-humus	Al- y Fe-humus
A1	Al- y Fe-humus S.O.	A'- y A-humus	
Sub-superficial	A', A, Im	A', A, Im	Ht, Gb
B y Bb	A', A, Im	A', A, Im	Ht, Gb
Ab	Humus	Al- y Fe-humus	Al- y Fe-humus
	Al- y Fe-humus	A', A- y Im-humus A', A, Im	
Superficial y sub-superficial	Sm, Vt, M Fe-ox	Sm-Ch, Vt-Ch, M Fe-ox	Sm-Ch, Vt-Ch, Ch, M Fe-ox

Abreviaturas: A=alofano; A'=constituyentes alofánicos; Ch=clorita; Fe-ox=minerales de óxido de hierro; Gb=gibbsita; Ht=Halosisita; Im=imogolita; M=mica; S.O.=sílice opalina; Sm=Esmeclita; Sm-Ch=intergrados esmeclita-clorita; Vt=vermiculita; Vt-Ch=intergrados vermiculita-clorita.

El alofano y la imogolita han sido encontrados en otros suelos que no son Andosoles. Brydon y Shimoda (1972), encontraron alofano e imogolita en Espodosoles en Canadá y Tait *et al.*, (1978), encontraron imogolita en Podzoles y suelos forestales pardos derivados de granito, gneiss y esquisto en Escocia. Subsecuentemente, el alofano y/o la imogolita han sido encontrados en un buen número de Espodosoles, aunque solo en el horizonte B y no en el horizonte A1 ni en el horizonte A2 (Farmer, 1982). Farmer *et al.* (1980), propusieron que la "proto-imogolita", un silicato de aluminio soluble, más que el complejo fulvato soluble es la forma móvil predominante en la cual el aluminio es transportado desde el horizonte A a el B2 y a horizontes más abajo. Es posible que el alofano y la imogolita sean formados en el horizonte espódico, debido a las condiciones ambientales para que la formación

mineral pueda ser similar en horizontes sub-superficiales de algunos Andosoles y Espodosoles. La formación de alofano e imogolita en el horizonte A y su movimiento hacia abajo son, sin embargo, cuestionados por el efecto del humus, observado en la formación de alofano e imogolita en Andosoles y la probable adsorción de la "proto-imogolita" como polímero catiónico en coexistencia con silicatos de capa 2:1 con carga negativa, respectivamente.

La imogolita (Farmer et al., 1977; Farmer y Fraser, 1979) y el alofano (Wada et al., 1979) fueron sintetizados por calentamiento de soluciones diluidas de ácido ortosilícico (10^{-3} M) y $AlCl_3$ y cantidades variables de NaOH calentadas a 95 ó 100°C. La formación de imogolita fué favorecida en las soluciones que contenían Si y Al en una relación molar de SiO_2/Al_2O_3 de 1.0 y de 2.0 y con un pH de 4.3 a 5.0. Los alofanos formados fueron menos susceptibles a los cambios en la relación de SiO_2/Al_2O_3 (1.0 a 8.0) y pH (4.5 a 6.3) de la solución. Estas observaciones fueron útiles para estimar las condiciones para la formación de estos minerales en el medio ambiente natural.

V.3.2.2.- Sílice opalina.- La sílice opalina predomina en los horizontes A1 de los Andosoles jóvenes (<500 años de edad), donde la acumulación de humus está activada y la formación de alofano e imogolita es inhibida (tabla V.3.2.1.). El mecanismo actual de la concentración y precipitación de la sílice no es conocido todavía. Wada y Nagasato (1983), obtuvieron sílice opalina por secado y por enfriamiento de soluciones de ácido ortosilícico 10^{-3} M y encontraron que el aluminio inhibe esta reacción. La sílice opalina rara vez está presente en el horizonte B y desaparece gradualmente bajo condiciones de lixiviación, aunque su persistencia fue notada en suelos de 4000 a 7000 años de edad (Shoji y Masui, 1971).

V.3.2.3.- Aluminio no cristalino, óxidos e hidróxidos de hierro.- Los óxidos de hierro, comúnmente especies no cristalinas, son constituyentes comunes de los Andosoles. A diferencia del aluminio la estabilidad de los óxidos de hierro es más grande en el complejo de humus (Wada y Higashi, 1976). En regiones tropicales de alta precipitación pluvial (> 2500 mm), el aluminio no cristalino e hidróxidos de hierro parecen ser los mayores constituyentes de la fracción arcilla más que el alofano y la imogolita. Una forma fibrosa

de goetita pobremente cristalizada fue reportada en dos Andosoles (Nakai y Yoshinaga, 1980).

V.3.2.4.- Haloisita.- La relativa vida corta del alofano en un medio ambiente lixivante bajo clima humedo cálido, es indicativo de su transformación a haloisita en suelos sepultados viejos (tabla V.3.2.1.). La formación de haloisita es usualmente favorecida por una sobrecarga densa de eyecciones volcánicas que produce un medio ambiente rico en sílice. La edad de los depósitos de cenizas volcánicas conteniendo haloisita están en el intervalo de 10,000 a 250,000 años. Las partículas de haloisita esféricas crecen con el tiempo, y su diámetro de partícula está en el intervalo de 0.08 a 1.0 μm (Wada, 1980).

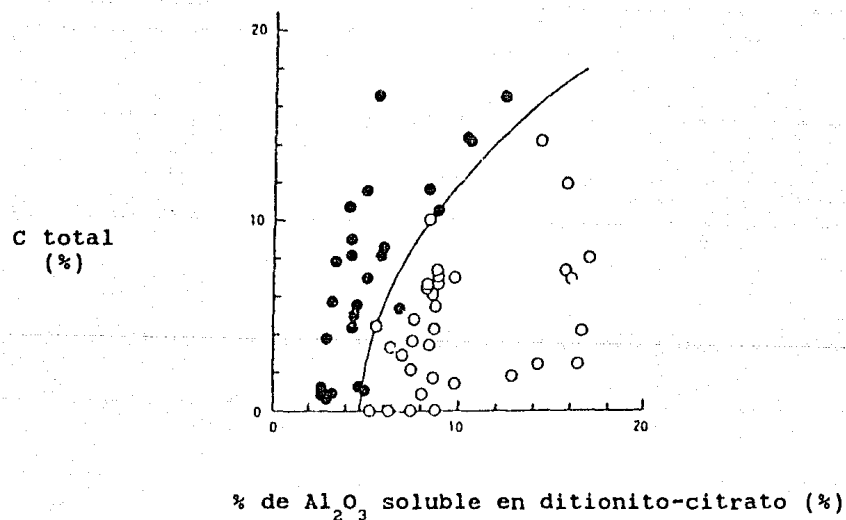


Figura V.3.2.1.- Relación entre la acumulación de humus y la formación de alofano e imogolita en Andosoles (Wada, 1980). Círculo lleno representa horizontes Al, Ap, y Alb sin alofano e imogolita; círculo vacío representa horizontes Ap, B, Alb y Bb con alofano e imogolita.

El efecto de la lluvia en la formación del alofano y la haloisita fue notado por Orbell et al. (1981), durante el intemperismo de 20,000 y 42,000 años de edad de cenizas volcánicas en Nueva Zelanda. La cantidad de haloisita en los depósitos de cenizas volcánicas se incrementó con el decremento de la precipitación pluvial en el sitio desde 2600 a 1200 mm. El dominio de haloisita en suelos derivados de cenizas volcánicas en el Reino de Tonga (Claridge, 1981), pudo también reflejar el efecto de la disminución de la precipitación pluvial.

El efecto de la lluvia en la formación de haloisitas de cenizas volcánicas en regiones tropicales de las Antillas, Ecuador y Nicaragua, fue observado por Colmet-Daage (1969). La haloisita no fue encontrada en regiones de alta precipitación pluvial (> 2500mm), pero se encontró en varias formas y proporciones en regiones de precipitación pluvial moderada (1500 a 2500mm) con una pronunciada estación seca. En algunas regiones intermedias, formas incipientes de haloisita con sustancias amorfas aparecen en suelos arenosos jóvenes.

La formación de haloisita y óxidos de hierro y silicio, ambos pobremente ordenados, fueron encontrados en suelos jóvenes de Kenia a partir de cenizas volcánicas bajo precipitación pluvial de 900 a 1300 mm (Wielemaker y Wakatsuki, 1984). La formación incipiente de haloisitas y probablemente sus precursores pobremente cristalinos fueron encontrados en suelos jóvenes derivados de cenizas volcánicas de Ecuador (Wada, 1985). Los suelos de Kenia y Ecuador contienen haloisitas pobremente cristalinas y sus posibles precursores tienen propiedades químicas y físicas diferentes en Andosoles que contienen alofano y constituyentes casi alofánicos. Una forma incipiente de haloisita similar fue encontrada en dos Andosoles de Japón usados en forma inundada que proveen un medio ambiente rico en sílice (Wada, 1985).

V.3.3.- Procesos de pérdida de sílice en los Andosoles de la región de Teziutlán.

Uno de los procesos edafogenéticos más importantes en los Andosoles, es la dinámica a la que son sometidos muchos de los compuestos químicos provenientes de sus minerales primarios,

fundamentalmente del vidrio volcánico. Estos procesos consisten en una pérdida de bases y sílice y una acumulación de minerales de neoformación de aluminio y hierro.

Wada (1980, 1989) señala, que la síntesis de minerales arcillosos como el alofano, la imogolita y la sílice opalina, es el proceso más prominente en la formación del suelo a partir de rocas piroclásticas, sin embargo, el lavado de bases y de sílice prevalece en la formación del alofano e imogolita. En las primeras etapas de su formación, los Andosoles contienen sílice opalina, humus, humatos de aluminio y de hierro, pero no alofano e imogolita. Conforme el Andosol pierde características vítricas y se acentúan sus propiedades ándicas, se observa una marcada disminución en la concentración de sílice y un aumento en la concentración de minerales de aluminio y hierro, sobre todo en sus formas denominadas "activas". La sílice opalina predomina en los horizontes A de los Andosoles, donde la acumulación de humus y su consecuente reacción para formar complejos con el aluminio y el hierro inhibe la neoformación de alofano, hisingerita e imogolita, pero rara vez está presente en horizontes B y Ab pues desaparece gradualmente bajo condiciones de lixiviación (Wada, 1985).

Han sido reportados los diferentes contenidos en sílice y óxidos de hierro y aluminio que presentan los Andosoles de diferentes regiones de México, así como sus relaciones $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, evidenciando una disminución de esta relación en función del grado de intemperización mostrado por sus minerales componentes (Aguilera 1961, 1963 y 1969; García, 1984).

Para el caso de los Andosoles de la región de Teziutlán, los resultados del análisis químico elemental de las fracciones tierra fina (<2mm) y arcilla (<0.002mm) realizados mediante métodos de Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X (tablas V.3.3.1. y V.3.3.2.), mostraron que existe en los suelos una marcada tendencia a disminuir la concentración de sílice desde un 64.68 %, del material parental menos alterado del horizonte AC del perfil 63 hasta un poco más del 35 % en los horizontes A12 y B21 del perfil 110, con el consecuente aumento en las concentraciones de óxidos de aluminio y hierro y sus correspondientes fracciones en cationes activos (ver tablas V.2.1.6., V.2.1.9., V.2.1.11. y V.3.3.1.). Estos efectos son también apreciables en la fracción arcilla (tabla V.3.3.2.).

Tabla V.3.3.1.- Resultados del análisis químico elemental de la fracción tierra fina (<2mm) y sus relaciones de alteración química de Andosoles de la región de Teziutlán, Estado de Puebla, México.

Perfil:	63	63	6	6	110	110
Horizonte:	Ap	AC	A1	B2b	A12	B21
Prof. (cm):	0-30	30-63	0-20	40-50	15-40	40-70
% SiO ₂	56.73	64.68	38.39	37.52	35.80	35.81
% Al ₂ O ₃	22.21	16.08	23.26	22.52	19.11	26.50
% Fe ₂ O ₃	5.76	4.85	11.98	12.02	8.19	9.05
% MnO	0.13	0.05	0.18	0.18	0.15	0.05
% TiO ₂	1.11	0.88	2.27	2.27	1.21	1.52
% P ₂ O ₅	0.43	0.17	0.34	0.33	0.34	0.10
% CaO	2.52	2.87	1.67	1.97	1.36	0.63
% MgO	0.56	1.09	0.20	0.20	0.24	0.65
% K ₂ O	0.45	2.99	0.58	0.58	0.93	0.91
% Na ₂ O	2.12	4.25	0.05	0.05	0.05	1.24
% H ₂ O	7.98	2.09	21.08	22.36	32.62	23.54
Total:	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
SiO ₂ /Al ₂ O ₃ :	2.5	4.0	1.6	1.7	1.8	1.3
SiO ₂ /Fe ₂ O ₃ :	9.8	13.3	3.2	3.1	4.4	4.0
SiO ₂ /Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ :	2.0	3.1	1.1	1.1	1.3	1.0
$\frac{K_2O+Na_2O+CaO+MgO}{Al_2O_3}$:	0.32	0.70	0.10	0.12	0.13	0.13

La secuencia de pérdida de sílice y acumulación de aluminio y hierro en sus diferentes formas, es esencialmente la misma que la relacionada con la variación de otras propiedades de estos suelos y referida anteriormente (secciones V.2.8., V.2.9. y V.2.10., de este trabajo), lo que podemos resumir de la manera siguiente:

a) pérdida de sílice en los diferentes perfiles de Andosoles: 63>6>110;

b) acumulación de Al y Fe (expresada en óxidos y formas activas), en los diferentes perfiles de Andosoles 63<6<110.

Tabla V.3.3.2.- Resultados del análisis químico elemental de la fracción arcilla (<0.002mm) y relaciones de alteración química de Andosoles de la región de Teziutlán, Estado de Puebla, México.

Perfil:	63	6	6	110	110
Horizonte:	Ap	A1	B2b	A11	B21
Prof. (cm):	0-30	0-20	40-50	15-40	40-73
% SiO ₂	39.90	27.58	22.27	23.78	21.27
% Al ₂ O ₃	30.70	29.04	30.16	24.42	23.87
% Fe ₂ O ₃	8.61	13.28	15.33	10.15	13.77
% MnO	0.17	0.12	0.18	0.09	0.04
% TiO ₂	1.12	0.92	0.74	0.59	0.51
% P ₂ O ₅	0.86	0.57	0.89	0.73	0.22
% CaO	2.00	1.06	0.64	0.63	0.84
% MgO	0.24	0.34	0.14	0.10	0.16
% K ₂ O	0.19	0.22	0.11	0.21	0.13
% Na ₂ O	0.30	----	----	----	0.28
% H ₂ O	15.91	26.87	23.54	39.25	38.91
Total:	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
SiO ₂ /Al ₂ O ₃ :	1.3	0.9	0.7	1.0	0.9
SiO ₂ /Fe ₂ O ₃ :	4.6	2.1	1.4	2.3	1.5
SiO ₂ /Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ :	1.0	0.6	0.5	0.7	0.6
$\frac{K_2O+Na_2O+CaO+MgO}{Al_2O_3}$:	0.09	0.06	0.03	0.04	0.02

El efecto originado por la intemperización de los minerales primarios de los suelos, puede ser mejor expresado mediante los parámetros propuestos por Bierkeland (1974) (tablas V.3.3.1. y V.3.3.2.). Analizando las diferentes relaciones, se corroborarán las tendencias ya señaladas. La relación SiO₂/Al₂O₃ disminuye hasta

alcanzar valores entre 2 y 1 en el suelo total, e incluso menor de 1 en algunas muestras de la fracción arcilla. Estos valores, de la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ corresponden con los reportados por Wada (1985, 1989), para Andosoles del Japón ricos en alofano, minerales alofánicos, imogolita y haloisita.

Las relaciones $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ y $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$, presuponen la neoformación de minerales más resistentes al efecto intempérico del agua, que en estas condiciones ambientales se estabilizan en forma de minerales no cristalinos o de rango corto, que contribuyen sustancialmente al aumento de las fracciones activas de aluminio y hierro que son responsables en gran medida de las particularidades del comportamiento fisicoquímico de los Andosoles. Si comparamos estas relaciones con los valores de pH en NaF, concentraciones de aluminio y hierro activos y retención de fosfatos, podremos apreciar una proporcionalidad inversa, esto es, contra menor es el valor de alguna de estas relaciones, mayor es el valor de la propiedad ándica referida.

Por último es importante resaltar la importancia de la relación $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{CaO}+\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ puesto que es indicativa de la debasificación y la acidificación en los suelos. El valor de esta relación, pero sobre todo su variación en la secuencia de horizontes y perfiles de suelo, nos permite tener claridad sobre ambos procesos. En el caso de nuestros Andosoles, la variación de este parámetro esta relacionada también de manera inversamente proporcional con su desarrollo edáfico y el incremento de sus propiedades ándicas.

V.3.4.- Componentes minerales de la fracción arcilla de los Andosoles de la región de Teziutlán.

Los perfiles de suelo seleccionados para realizarles los análisis mineralógicos mostraron, tener una composición mineral homogénea, con excepción del perfil 118, que presenta muchas evidencias de tener un origen diferente. Las ligeras variaciones en la composición mineral de los perfiles, muestran una relación importante con las diferencias en el ambiente, morfología y propiedades físicas y químicas de los Andosoles de la región, ocasionando, y a la vez siendo

consecuencia, del diferente desarrollo edáfico de cada perfil.

El perfil 63, que fue seleccionado como ejemplo de Andosol de la zona 1 de la región de Teziutlán, presenta características de andosolización incipiente (textura vítrica gruesa y menor desarrollo de propiedades ándicas). Los resultados del análisis por Difracción de Rayos X en polvo desorientado (tabla y figura V.3.4.1.), muestran evidencias de la presencia de cuarzo y feldespatos, además de la posible presencia de haloisita, sin embargo, al analizar el difractograma de agregados orientados para la misma muestra (figura V.3.4.2.), se observa que no presenta las bandas correspondientes a filosilicatos, sólo presentándose el patrón característico para minerales amorfos.

El análisis por Espectroscopía Infrarroja (tabla V.3.4.2. y figura V.3.4.3.), demostró la presencia de alofano, albita y oligoclasa además de indicios de la presencia de haloisita y gibbsita, algunas de las bandas presentadas por el espectro de infrarrojo, correspondieron a componentes orgánicos del suelo, tales como grupos funcionales de ácidos orgánicos y cetonas (2920 y 2850 cm^{-1}) y ácidos fúlvicos (1385 cm^{-1}). La Microscopía Electrónica de Transmisión, evidenció la presencia de algunos cristales de mica, que no fueron detectados por los análisis de Difracción de Rayos X y de Espectroscopía Infrarroja, además de la presencia de agregados amorfos de minerales y materia orgánica.

Siguiendo con la secuencia edáfica, se analizó la composición mineralógica del perfil 84. El análisis por Espectroscopía Infrarroja (tabla V.3.4.3., figura V.3.4.4.), mostró claramente las bandas correspondientes a alofano, albita y oligoclasa, bosquejando nuevamente la posibilidad de la presencia de haloisita y gibbsita en las muestras, también se presentaron las bandas correspondientes a grupos funcionales de ácidos orgánicos y cetonas (2920 cm^{-1}), núcleos fenil y ácidos fúlvicos ($1395-1400\text{ cm}^{-1}$). La Microscopía Electrónica de transmisión detectó la presencia de sílice coloidal en el horizonte A1 (foto V.3.4.1.), y haloisitas y micas en el horizonte AB (foto V.3.4.2.).

El análisis por Espectroscopía Infrarroja de las muestras del perfil 6 (tabla V.3.4.4., figura V.3.4.5.), dió por resultado la identificación de la presencia de haloisita, especialmente en las

muestras de los horizontes C1 y B2b, además de alofano, albita, oligoclasa, evidencias de la presencia de gibbsita y de los componentes orgánicos reportados para los otros perfiles de suelo. La Microscopía Electrónica de Transmisión (foto V.3.4.3), detectó la presencia de micas y haloisitas globulares y fibrosas en cantidades que aumentaron siguiendo la secuencia de horizontes siguiente: A1<B2b<C1.

El perfil 110, seleccionado como ejemplo de Andosol de la zona 2 de la región de Teziutlán, presentó características de andosolización muy marcadas (textura franco limosa, horizonte B cámbico potente, gran desarrollo de propiedades ándicas). Los resultados del análisis por Difracción de Rayos X en polvo desorientado (tablas V.3.4.5. y V.3.4.6. y figura V.3.4.1.), muestran la presencia de alofano, haloisita, gibbsita, cuarzo y feldespatos, además de la posible presencia de caolinita y bohemitita, particularmente en el horizonte A1 (tabla V.3.4.5. y figura V.3.4.1.), sin embargo al analizar el difractograma de agregados orientados para las mismas muestras (figura V.3.4.2.), se observa que presentan apenas perceptibles las bandas correspondientes a la haloisita, presentándose de manera clara el patrón característico para minerales amorfos. El análisis por espectroscopía infrarroja (tabla V.3.4.7. y figura V.3.4.6), demostró la presencia de alofano, haloisita, gibbsita, albita, oligoclasa además de la presencia de un alofano con un importante intercambio isomórfico de aluminio por hierro. Se vuelve a registrar la presencia de las bandas correspondientes a grupos funcionales de ácidos orgánicos y cetonas (2920 y 2850 cm^{-1}), núcleos fenil (1625 cm^{-1}) y ácidos fúlvicos (1395 cm^{-1}). La Microscopía Electrónica de Transmisión, evidenció la presencia de algunos cristales de mica, haloisitas globulares y fibrosas y restos de diatomeas en los horizontes superficiales.

Como conclusión, podemos proponer que la composición mineralógica de los perfiles de Andosoles estudiados nos permite establecer:

a) La persistencia de los mismos minerales primarios tales como cuarzo, micas y feldespatos cálcicos y sódico-cálcicos en los diferentes perfiles de suelo son evidencia de una génesis común.

b) Las condiciones medioambientales y los componentes originales de los suelos han propiciado la neoformación de minerales de

rango corto, principalmente alofano, pues no se encontraron resultados que evidenciaran la presencia de imogolita.

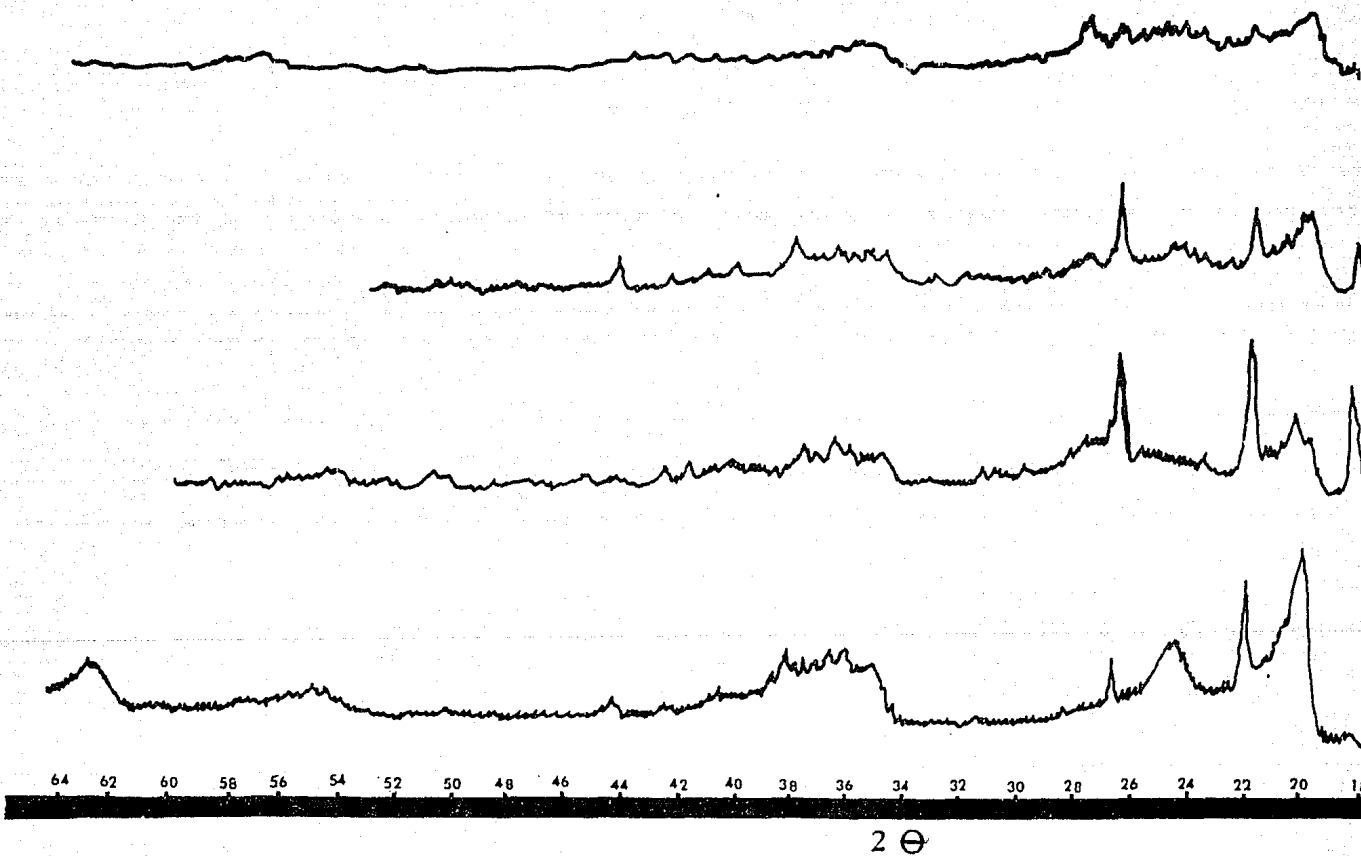
c) La presencia de sílice coloidal solo fue detectada en los perfiles de menor desarrollo edáfico, es decir, con menor desarrollo de sus propiedades ándicas, tal como lo señala Wada (1980).

d) La presencia de haloisita y gibbsita en estos suelos, sobre todo en los que corresponden a la zona 2, que presenta una precipitación media anual entre 800 y 2000 mm y un régimen de humedad údico, parece corroborar lo señalado por Wada (1980) (ver parte V.3.2.4), esto implica, que de ser correcta la hipótesis sugerida por Wada, la edad de los Andosoles podría ser estimada a partir de las concentraciones de haloisita y gibbsita en el suelo, y que en nuestro caso, la diferenciación mineralógica entre los Andosoles, no solo correspondería con las diferentes condiciones de humedad ambiental, sino también con el tiempo transcurrido desde el inicio de la formación del suelo.

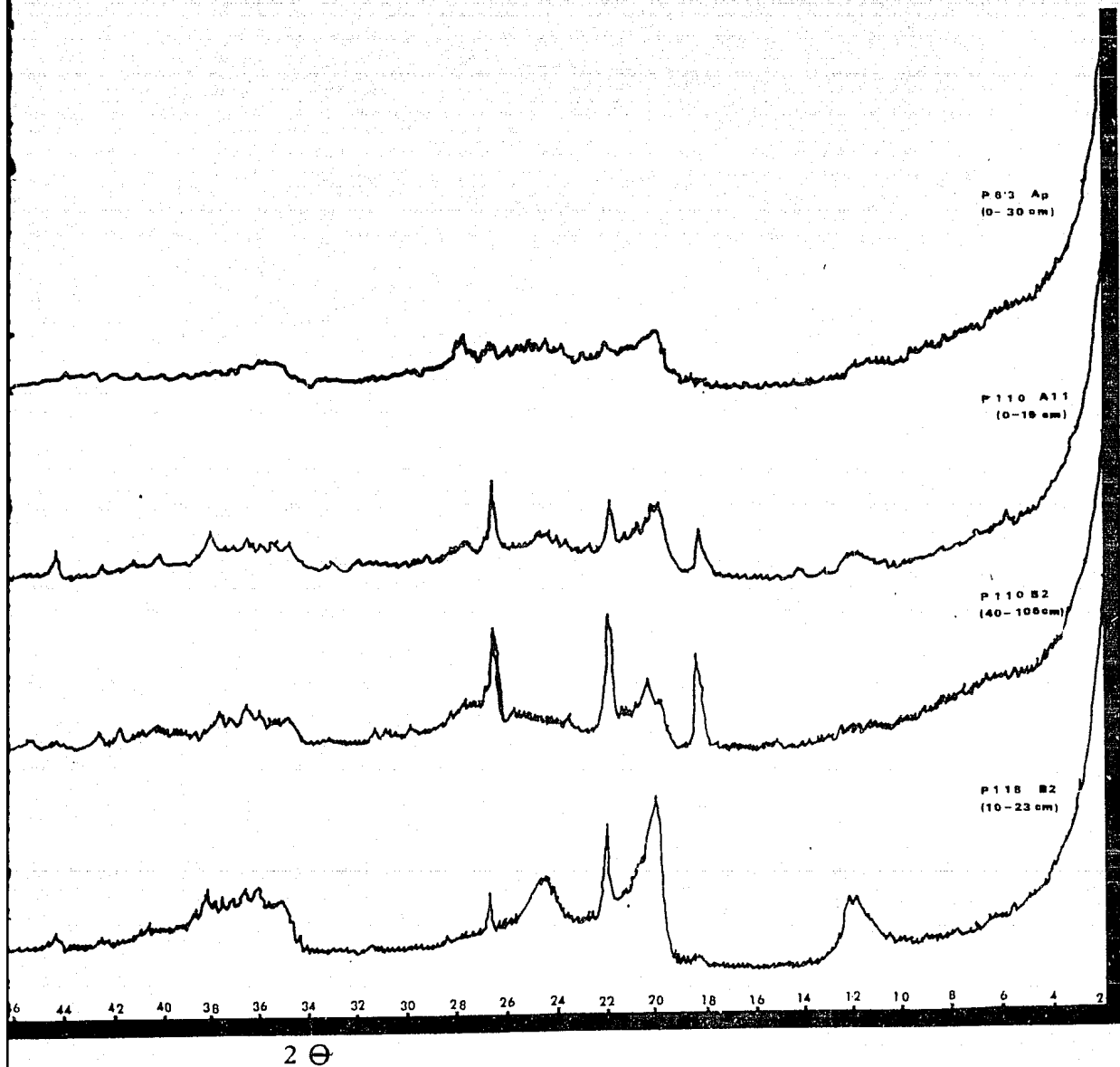
Con respecto al perfil 118, las características y composición mineral de éste deben discutirse separadamente, debido a que se trata de una secuencia muy compleja de suelos sepultados, de origen diferente a los anteriores perfiles, pero con fuerte contaminación de cenizas volcánicas que ha ocasionado la manifestación de propiedades ándicas en sus horizontes superficiales. Los resultados del análisis por Difracción de Rayos X en polvo desorientado (tabla V.3.4.8. y figura V.3.4.1.) mostraron la presencia de haloisita, gibbsita, cuarzo y feldespatos, además de la posible presencia de caolinita, el difractograma de agregados orientados para la misma muestra (figura V.3.4.2.), presentó las bandas correspondientes a la haloisita. El análisis por Espectroscopía Infrarroja (tabla V.3.4.9., figura V.3.4.7), mostró la presencia de haloisita, gibbsita, alofano, albita, oligoclasa además de la presencia de las bandas correspondientes a grupos funcionales de ácidos orgánicos y cetonas (2920 y 2850 cm^{-1}), núcleos fenil (1625 cm^{-1}) y ácidos fúlvicos (1395 - 1380 cm^{-1}). La Microscopía Electrónica de Transmisión evidenció la presencia de haloisitas globulares y fibrosas en grandes cantidades (fotos V.3.4.4. y V.3.4.5.).

Tabla V.3.4.1.- Resultados del análisis por Difracción de Rayos X en polvo desorientado de la fracción arcilla de suelos de la región de Teziutlán, Estado de Puebla; horizonte Ap (0-30 cm) del perfil 63.

2 θ	d	Posible mineral.
12.10	7.3145	Haloisita.
20.00	4.4395	Haloisita.
20.20	4.3960	Cuarzo.
21.05	4.2224	Feldespatos de potasio.
22.10	4.0222	Feldespatos de sodio y calcio, Ortoclasa.
23.70	3.7442	Feldespatos.
24.40	3.6480	Feldespatos de sodio y calcio.
24.80	3.5961	Haloisita.
26.70	3.3388	Cuarzo.
27.80	3.2091	Feldespatos de sodio y calcio.
28.05	3.1822	Feldespatos de sodio y calcio, Ortoclasa.
35.00	2.5637	Haloisita.
35.80	2.5082	Cuarzo.
36.60	2.4552	Cuarzo.



V.3.4.1.- Diagramas de difracción de rayos X, en polvo desorientado, de la fracción arcilla de Andosoles de la región de Teziutlán, Estado de Puebla.



4.1.- Diagramas de difracción de rayos X, en polvo desorientado, de la fracción arcilla de Andosoles de la región de Teziutlán, Estado de Puebla.

Figura V.3.4.2.- Diagramas de Difracción de Rayos X,
en agregados orientados, de la fracción arcilla de -
Andosoles de la región de Teziutlán, Estado de Puebla.

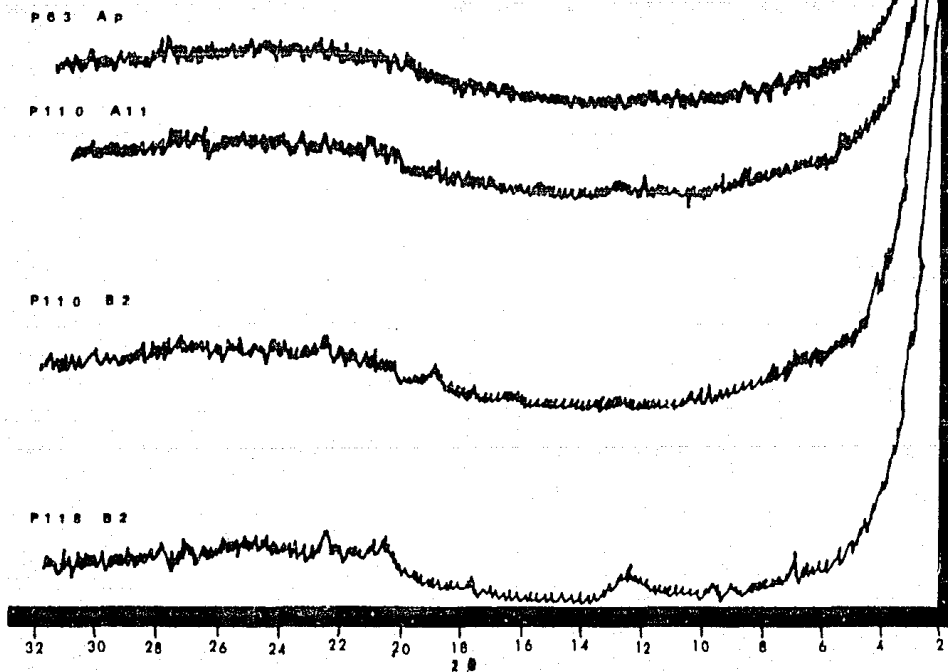
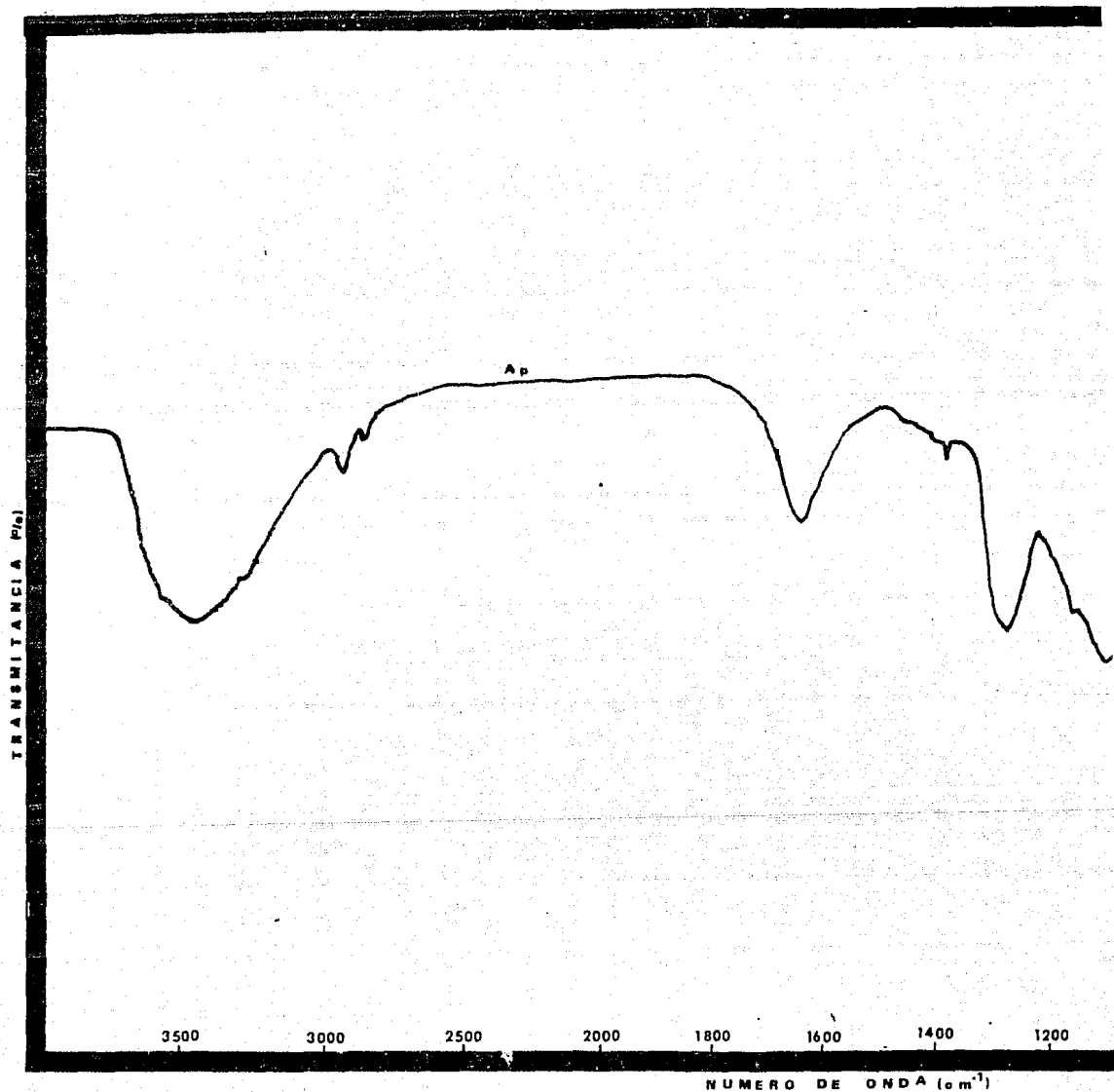
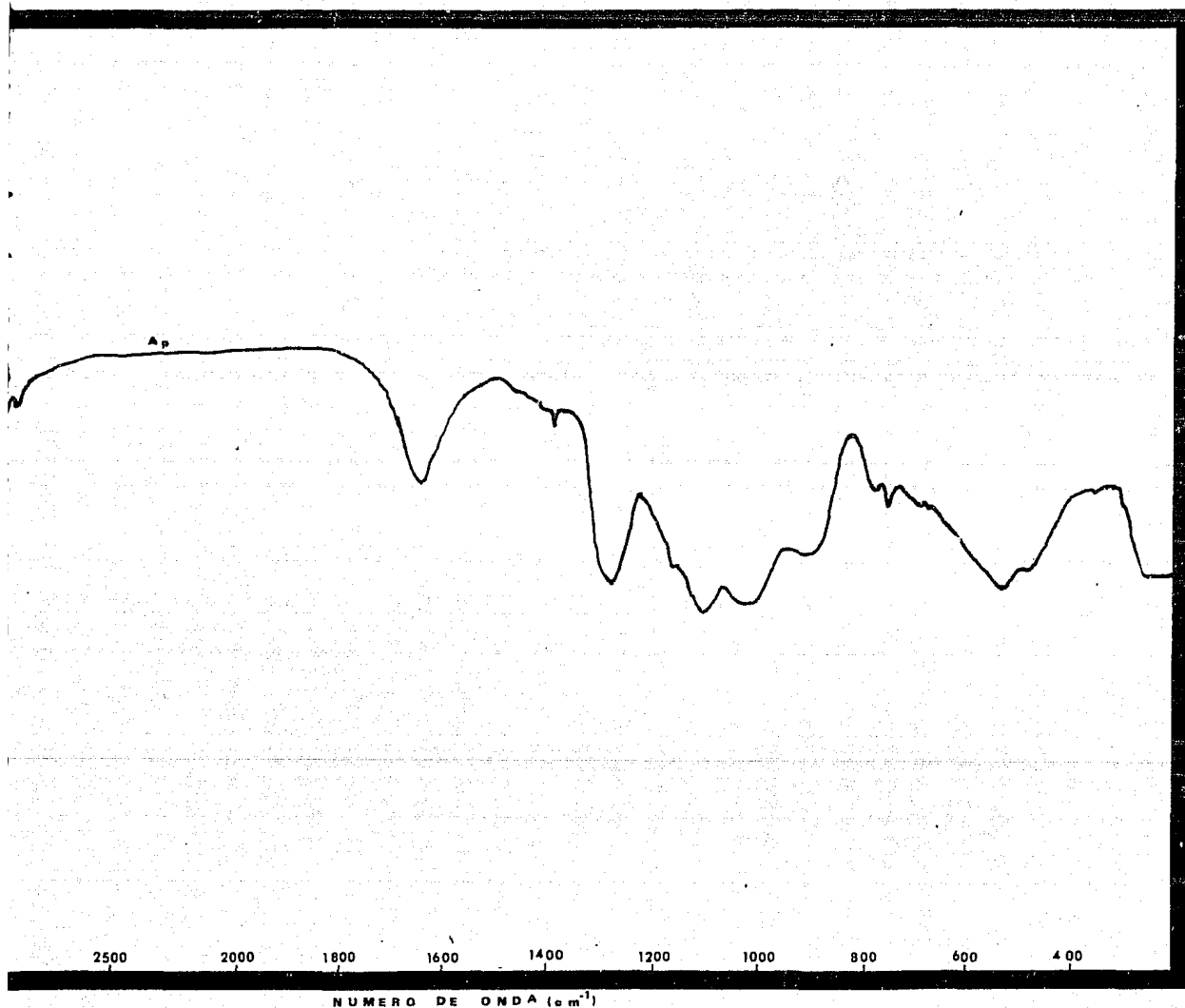


Tabla V.3.4.2.- Resultados del análisis por Espectroscopia Infrarroja de la fracción arcilla de suelos de la región de Teziutlán, Estado de Puebla; horizonte Ap (0-30 cm) del perfil 63.

Número de onda (cm ⁻¹)	Posible mineral.
3420	Alofano.
2920	Acidos Carbónicos, Cetonas.
2850	Acidos Carbónicos, Cetonas.
1640	Alofano, Haloisita, Gibbsita
1155	Albita, Oligoclasa.
1095	Alofano, Haloisita, Albita, Oligoclasa.
1020	Alofano, Haloisita, Gibbsita.
905	Alofano, Haloisita.
775	Albita, Oligoclasa.
745	Gibbsita, Albita, Oligoclasa.
690	Haloisita.
675	Haloisita, Gibbsita.
665	Gibbsita.
520	Gibbsita.
475	Gibbsita.



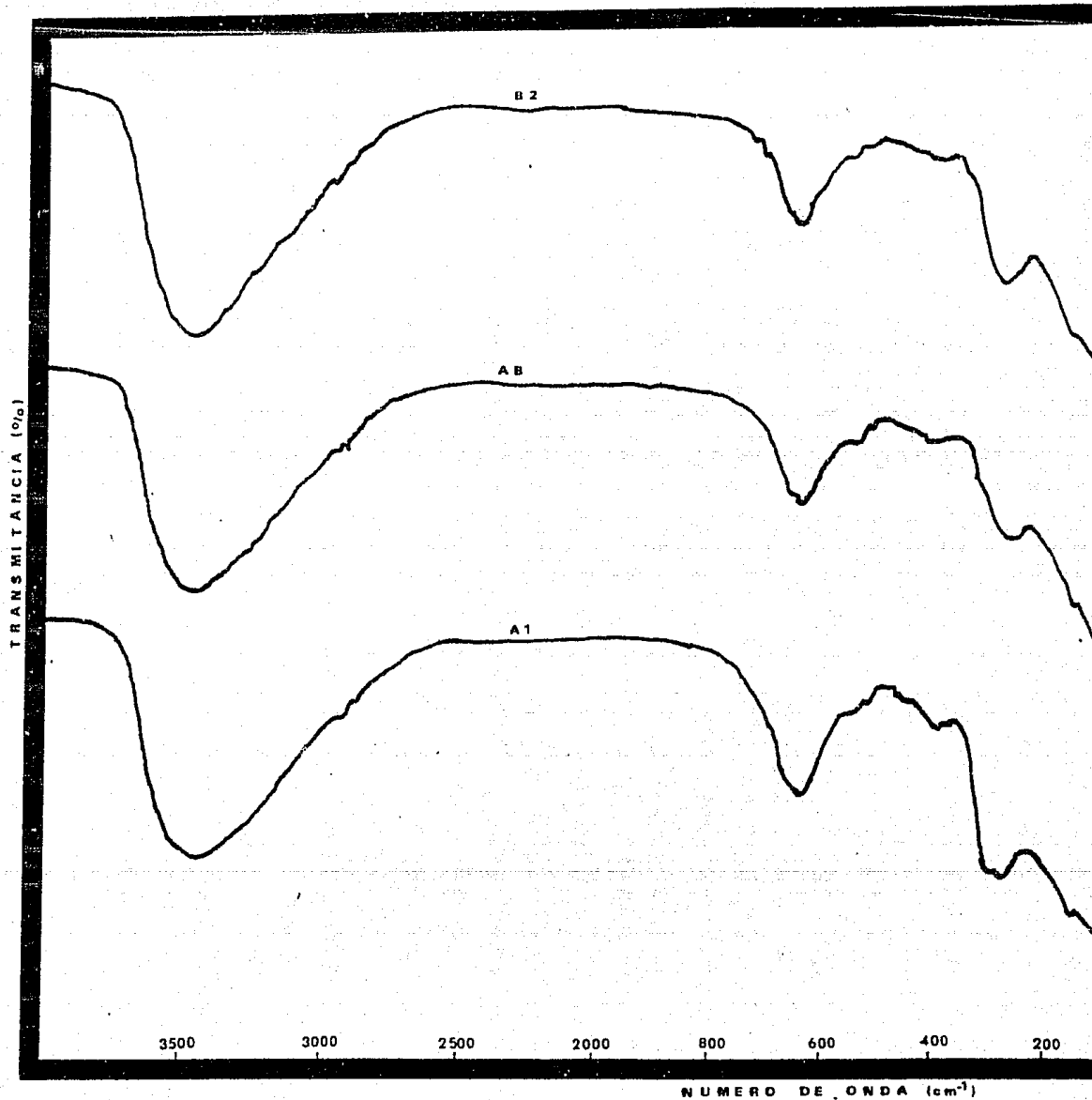
V.3.4.3.- Espectro de absorción infrarroja de arcilla con materia orgánica, perfil te Ap (0-30 cm).



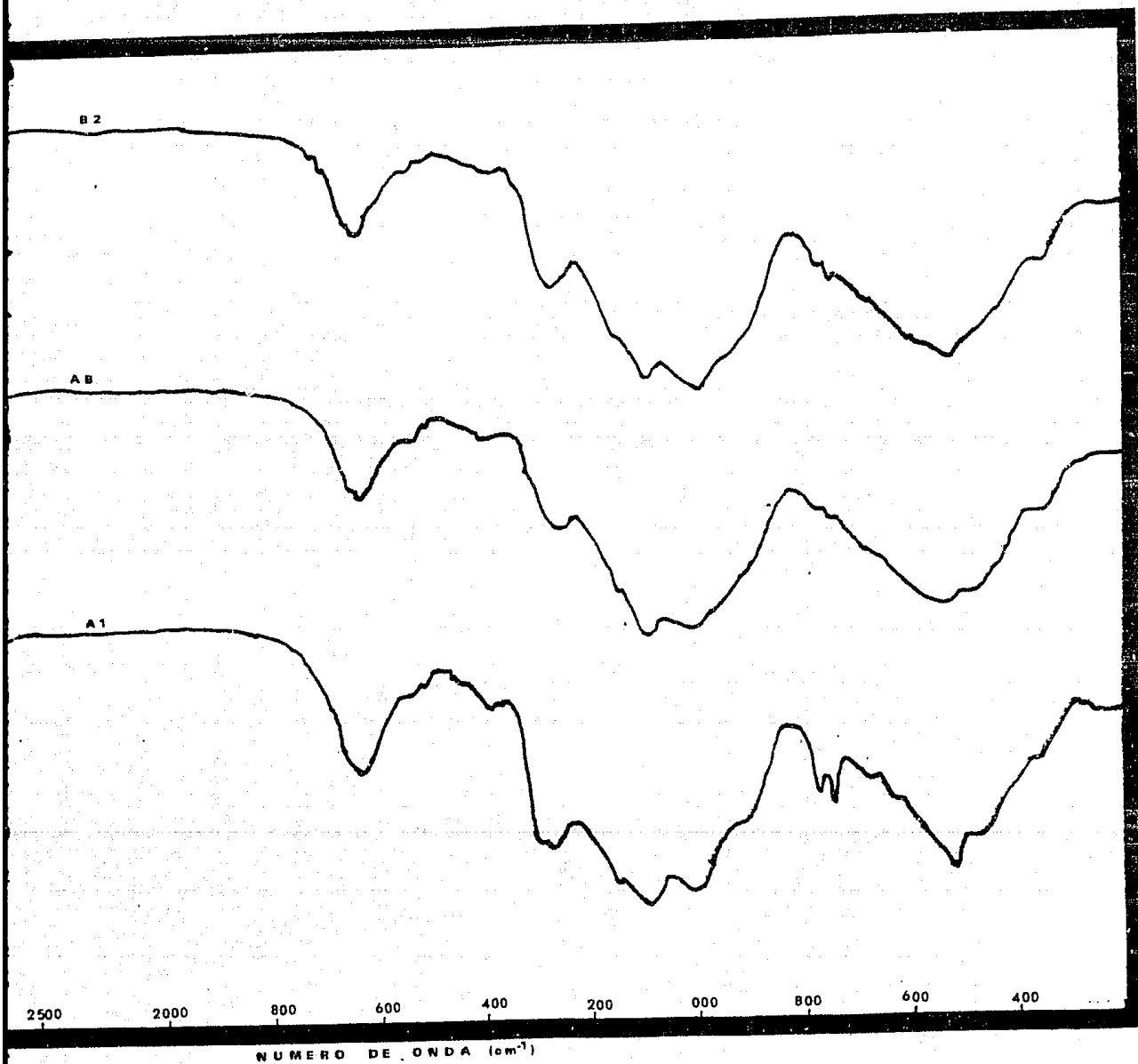
V.3.4.3.- Espectro de absorción infrarroja de la fracción arcilla con materia orgánica, perfil 63, horizonte Ap (0-30 cm).

Tabla V.3.4.3.- Resultados del análisis por Espectroscopía Infrarroja de la fracción arcilla de suelos de la región de Teziutlán, Estado de Puebla; horizontes A1 (0-13 cm), AB (13-20 cm) y B2 (20-42 cm) del perfil 84.

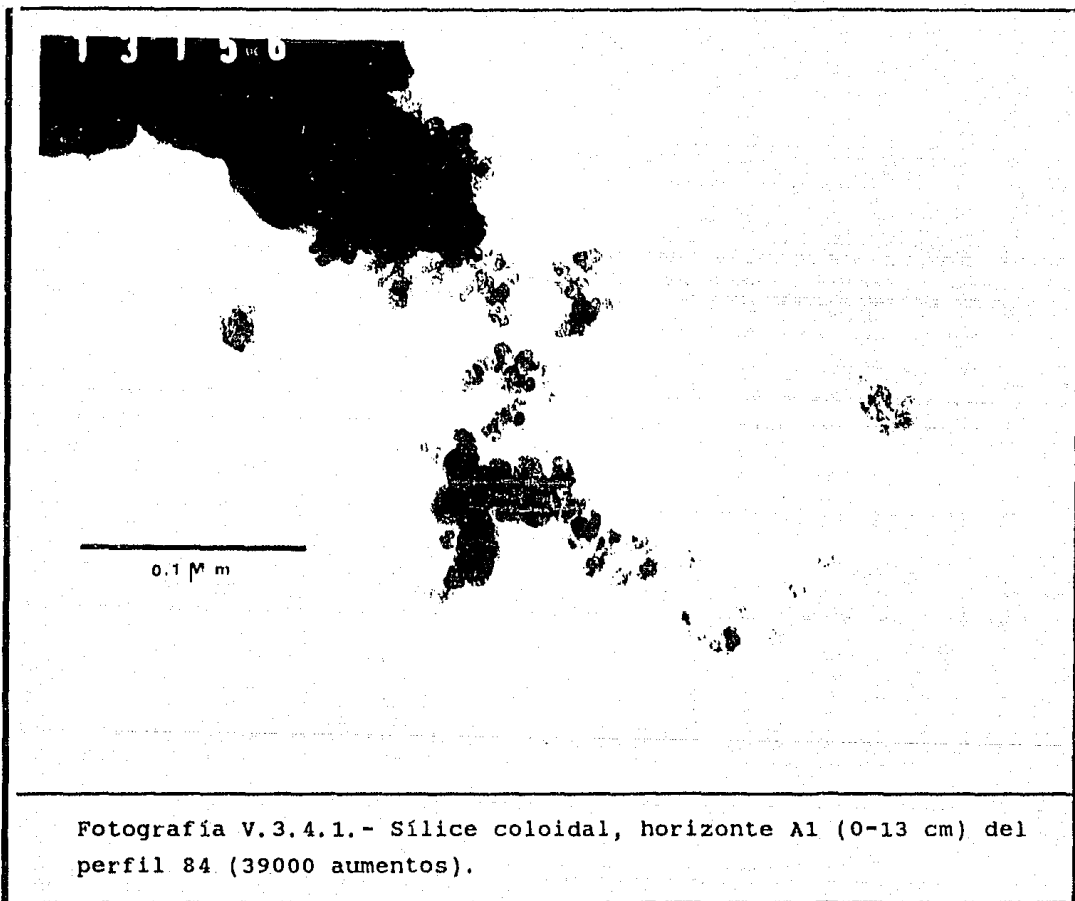
Número de onda (cm ⁻¹)			Posible mineral.
A1	AB	B2	Alofano.
3440	3440		
		3430	Alofano.
		2930	Acidos Carbónicos, Cetonas.
2920	2920		Acidos Carbónicos, Cetonas.
		1725	
		1705	
1660	1660	1660	Alofano.
1640	1640	1640	Alofano, Haloisita, Gibbsita
1625	1625	1625	Núcleos Fenil.
1160	1160		Albita, Oligoclasa.
		1155	Albita, Oligoclasa.
1095	1095	1095	Alofano, Haloisita, Albita, Oligoclasa.
	1030		Alofano, Haloisita, Albita, Oligoclasa.
	1010		Haloisita, Albita, Oligoclasa.
1000		1000	Haloisita, Albita, Oligoclasa.
915			Alofano, Haloisita.
775	775	775	Albita, Oligoclasa.
745	745	745	Gibbsita, Albita, Oligoclasa.
680	680	680	Haloisita.
	530		Haloisita, Gibbsita.
525			Gibbsita.
		520	Gibbsita.
475	475	475	Gibbsita, Haloisita, Albita, Oligoclasa.
	430	430	Haloisita, Albita, Oligoclasa.



V.3.4.4.- Espectros de absorción infrarroja de arcilla con materia orgánica, perfiles A1 (0-13 cm), AB (13-20 cm) y B2



V.3.4.4.- Espectros de absorción infrarroja de la fracción arcilla con materia orgánica, perfil 84, horizontes A1 (0-13 cm), AB (13-20 cm) y B2 (20-42 cm).

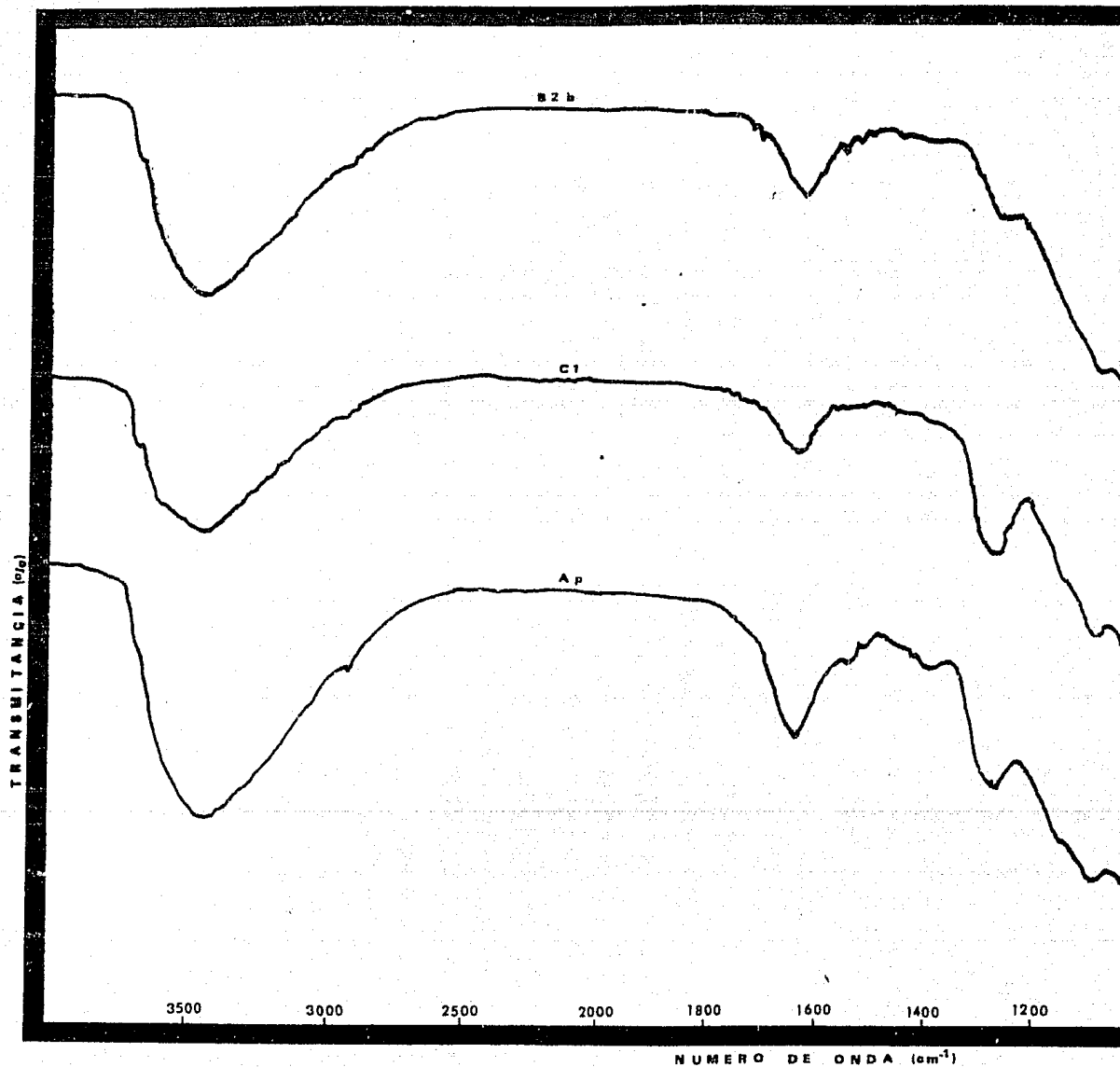




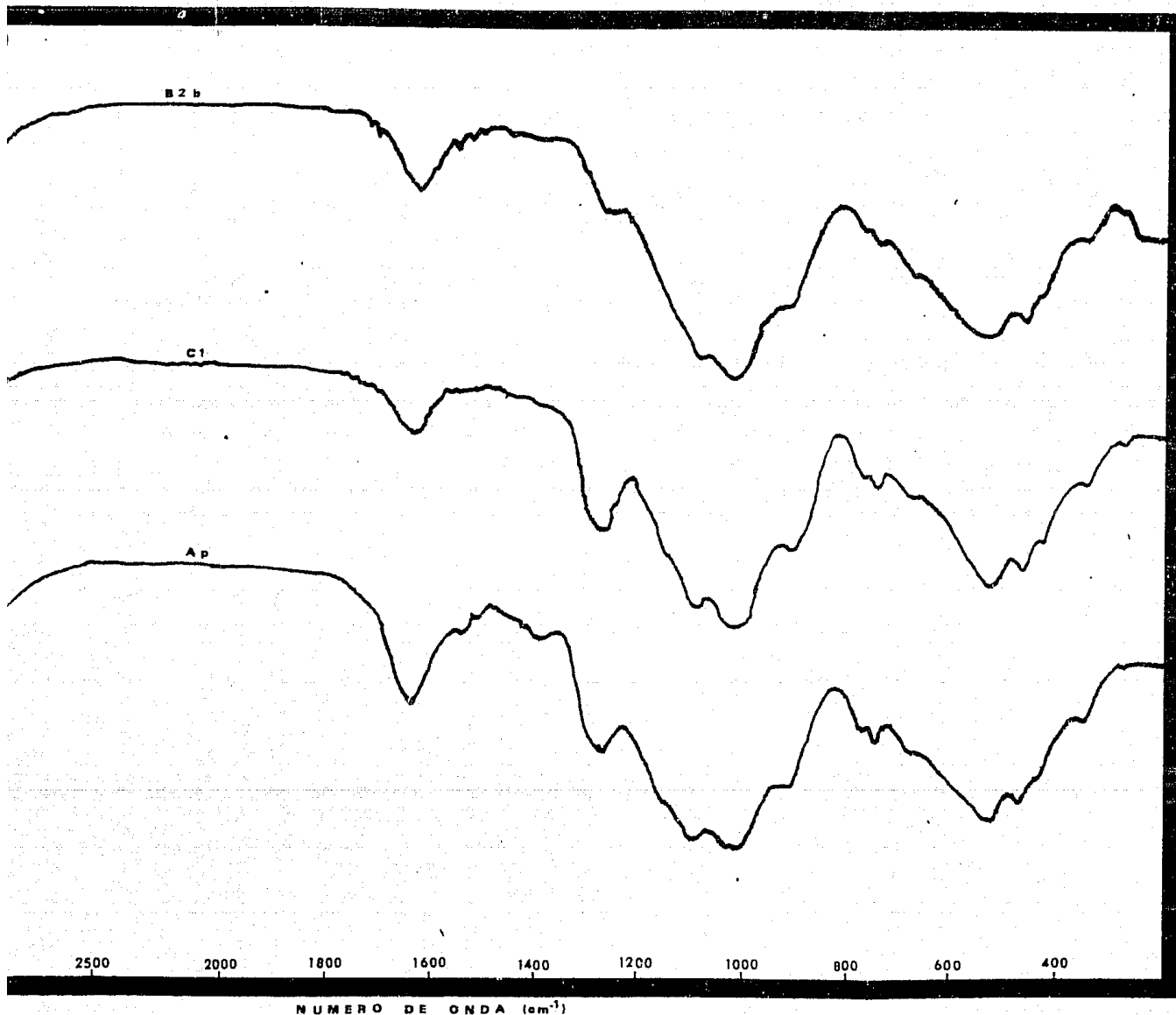
Fotografía V.3.4.2.- Fibra de haloisita en una lámina de mica,
horizonte AB (13-20 cm) del perfil 84 (20520 aumentos).

Tabla V.3.4.4.- Resultados del análisis por Espectroscopia Infrarroja de la fracción arcilla de suelos de la región de Teziutlán, Estado de Puebla; horizontes Ap (0-20 cm), C1 (20-40 cm) y B2b (40-50 cm) del perfil 6.

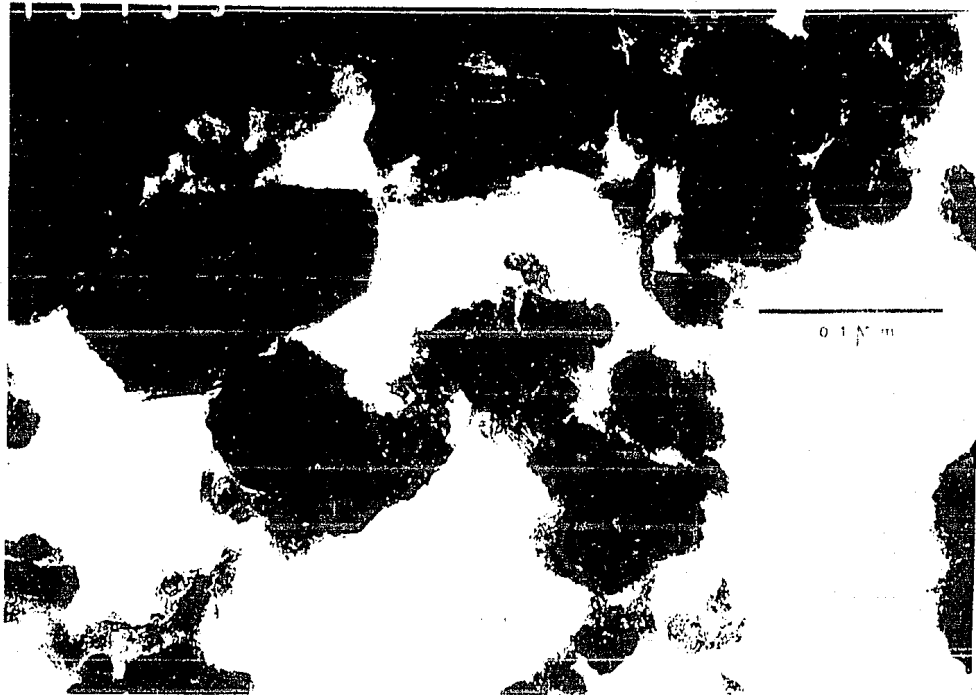
Número de onda (cm ⁻¹)			Possible mineral.
Ap	C1	B2b	
	3680	3680	Haloisita.
	3440		Alofano.
		3450	Alofano.
3420			Alofano.
2930			Acidos Carbónicos, Cetonas.
2850			Acidos Carbónicos, Cetonas.
1640		1640	Alofano, Haloisita, Gibbsita
	1635		Alofano, Haloisita, Gibbsita
		1630	Núcleos Fenil.
1155	1155		Albita, Oligoclasa.
1095	1095		Alofano, Haloisita, Albita, Oligoclasa.
		1090	Alofano, Haloisita, Albita, Oligoclasa.
1035		1035	Haloisita, Albita, Oligoclasa.
	1020		Alofano, Haloisita, Gibbsita.
1010			Haloisita, Albita, Oligoclasa.
		1000	Haloisita, Albita, Oligoclasa.
		905	Alofano, Haloisita.
910	910		Alofano, Haloisita.
775	775	775	Albita, Oligoclasa.
745	745	745	Gibbsita, Albita, Oligoclasa.
680	680	680	Haloisita.
		535	Haloisita, Gibbsita.
530	530		Haloisita, Gibbsita.
470	470	470	Gibbsita, Haloisita, Albita, Ologoclasa.
		440	Haloisita.



V.3.4.5.- Espectros de absorción infrarroja de la arcilla con materia orgánica, perfil 6, htes Ap (0-20 cm), C1 (20-40 cm) y B2b (40



V.3.4.5.- Espectros de absorción infrarroja de la fracción arcilla con materia orgánica, perfil 6, horizontes Ap (0-20 cm), C1 (20-40 cm) y B2b (40-60 cm).



Fotografía V.3.4.3.- Haloisitas globulares y fibrosas, horizonte A1 (0-20 cm) del perfil 6 (31920 aumentos).

Tabla V.3.4.5.- Resultados del análisis por Difracción de Rayos X en polvos desorientados de la fracción arcilla de suelos de la región de Teziutlán, Estado de Puebla; horizonte A11 (0-15cm) del perfil 110.

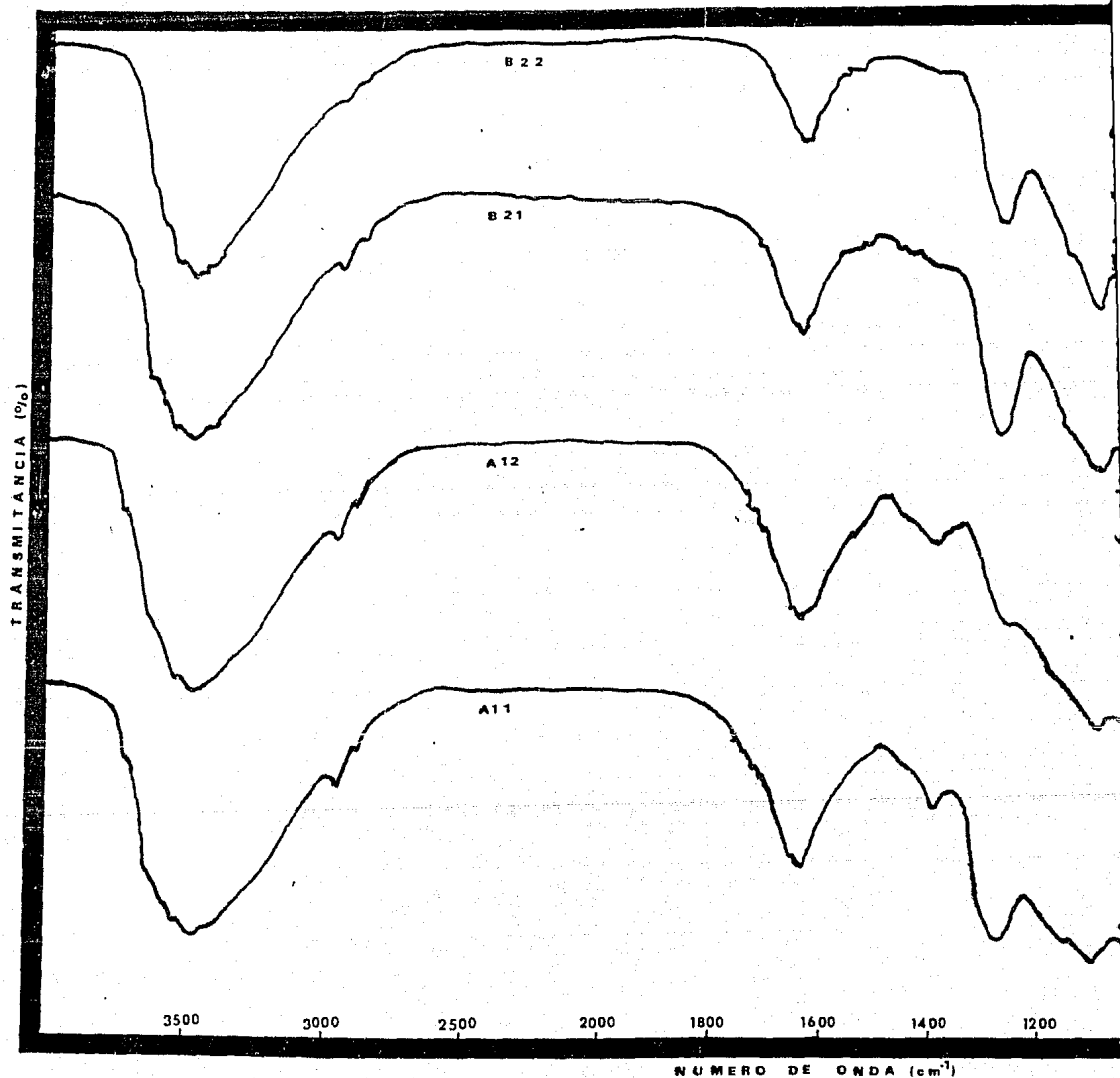
2 θ	d	Posible mineral.
5.90	14.980	Alofano.
12.10	7.3145	Haloisita.
12.45	7.1631	Caolinita.
13.30	6.6571	Feldespatos.
14.40	6.1510	Bohemita.
18.44	4.7960	Gibbsita.
20.00	4.4395	Haloisita, Caolinita.
20.40	4.3534	Gibbsita.
20.90	4.2504	Cuarzo.
21.30	4.1714	Goethita.
22.00	4.0403	Feldespatos de potasio y sodio.
22.70	3.9172	Feldespatos de sodio y calcio.
23.60	3.7698	Feldespatos.
24.30	3.6628	Feldespatos de sodio y calcio.
24.80	3.5901	Haloisita, Caolinita.
26.70	3.3388	Cuarzo, Alofano.
27.00	3.3024	Gibbsita.
27.90	3.1978	Feldespatos de sodio y calcio.
28.20	3.1645	Gibbsita, Bohemita.
28.40	3.1427	Feldespatos de sodio y calcio.
33.28	2.6922	Goethita.
34.98	2.5651	Haloisita, Caolinita.
36.68	2.4500	Cuarzo, Goethita.
38.20	2.3560	Bohemita.
40.20	2.2433	Gibbsita, Goethita, Alofano.
41.30	2.1860	Goethita.
42.60	2.1223	Gibbsita.
44.40	2.0403	Caolinita.
48.81	1.8662	Bohemita.
50.20	1.8174	Cuarzo.
50.80	1.7973	Gibbsita.

Tabla V.3.4.6.- Resultados del análisis por Difracción de Rayos X en polvos desorientados de la fracción arcilla de suelos de la región de Teziutlán, Estado de Puebla; horizonte B2 (40-106 cm) del perfil 110.

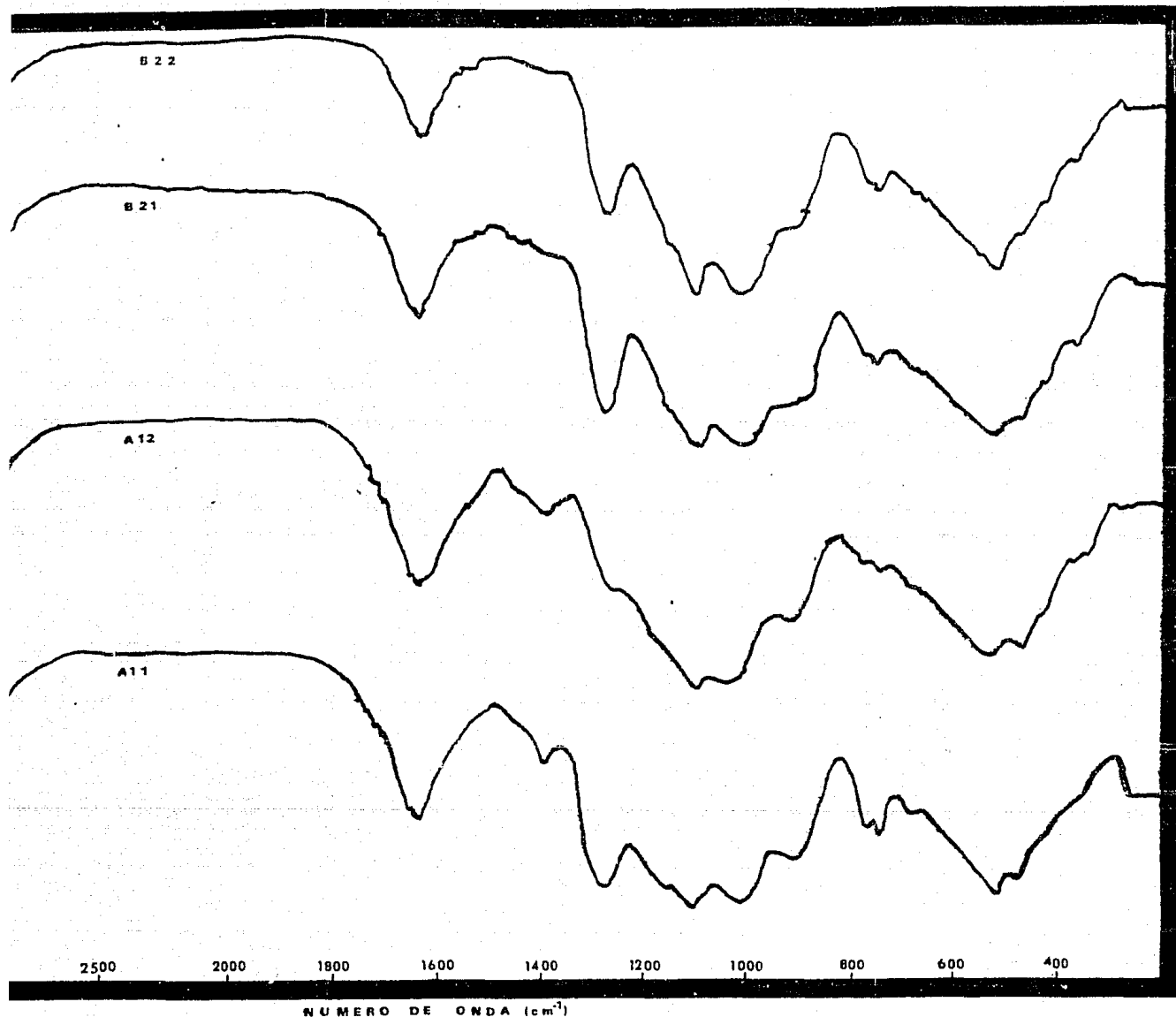
2θ	d	Posible mineral.
11.90	7.4370	Haloisita.
18.35	4.8375	Gibbsita.
19.90	4.4616	Haloisita.
20.35	4.3661	Gibbsita, Cuarzo.
20.90	4.2504	Cuarzo.
21.95	4.0512	Feldespatos de sodio y calcio.
23.55	3.7793	Feldespatos.
26.65	3.3462	Cuarzo.
27.40	3.2550	Feldespatos de sodio y calcio.
27.75	3.2159	Feldespatos de sodio y calcio.
28.20	3.1645	Gibbsita, Bohemita.
28.45	3.1383	Feldespatos.
29.95	2.9844	Feldespatos de sodio y calcio.
35.37	2.5109	Cuarzo.
36.10	2.4881	Gibbsita.
36.65	2.4526	Cuarzo.
37.25	2.4145	Gibbsita.
37.75	2.3836	Gibbsita.
39.55	2.2792	Gibbsita.
40.20	2.2433	Gibbsita.
41.70	2.1660	Gibbsita.
43.40	2.0850	Gibbsita.
44.45	2.0386	Gibbsita.
45.55	1.9919	Gibbsita.
50.15	1.8194	Cuarzo.
50.70	1.8006	Gibbsita.

Tabla V.3.4.7.- Resultados del análisis por Espectroscopia Infrarroja de la fracción arcilla de suelos de la región de Teziutlán, Estado de Puebla; horizontes A11 (0-15 cm), A12 (15-40 cm), B21 (42-69 cm) y B22 (70-106 cm) del perfil 110.

Número de onda (cm ⁻¹)				Posible mineral.
A11	A12	B21	B22	
3690				Haloisita.
3610	3610	3610		Haloisita, Alofano (Al-Fe).
			3600	Haloisita, Alofano (Al-Fe).
		3570	3570	Alofano.
3520	3520	3520	2520	Gibbsita.
3450	3450	3450	3450	Alofano.
2920	2920	2920	2920	Acidos Carbónicos, Cetonas.
2850	2850	2850	2850	Acidos Carbónicos, Cetonas.
1660	1660			Alofano (Al-Fe).
		1650	1650	Alofano (Al-Fe).
		1640	1640	Alofano.
1635	1635			Alofano, Haloisita, Gibbsita
			1625	Núcleos Fenil.
1155	1155	1155	1155	Albita, Oligoclasa.
1100				Haloisita, Alofano, Albita,
	1095	1095	1095	Oligoclasa.
	1035			Alofano, Haloisita, Albita,
				Oligoclasa.
		1015		Alofano, Haloisita, Albita,
			1010	Oligoclasa.
995				Haloisita, Gibbsita, Alofano.
915	915			Haloisita, Albita, Oligoclasa.
		910	910	Haloisita, Oligoclasa, Albita.
	780			Haloisita. Alofano.
775		775	775	Alofano, Haloisita.
		750	750	Oligoclasa, Albita.
745	745			Albita, Oligoclasa.
685	685			Gibbsita, Albita, Oligoclasa.
		680	680	Gibbsita, Albita, Oligoclasa.
	670			Haloisita.
		660	660	Haloisita.
	530			Gibbsita.
		525	525	Albita.
520				Haloisita, Gibbsita.
		475	475	Gibbsita.
470	470			Gibbsita.
	435			Gibbsita.
		430	430	Gibbsita.
				Gibbsita, Haloisita, Albita,
				Oligoclasa.
				Haloisita, Albita, Oligoclasa.
				Haloisita, Albita, Oligoclasa.



V.3.4.6.- Espectros de absorción infrarroja de la f
arcilla con materia orgánica, perfil 110, h
tes A11 (0-15 cm), A12 (15-40 cm), B21 (40
y B22 (70-106 cm).



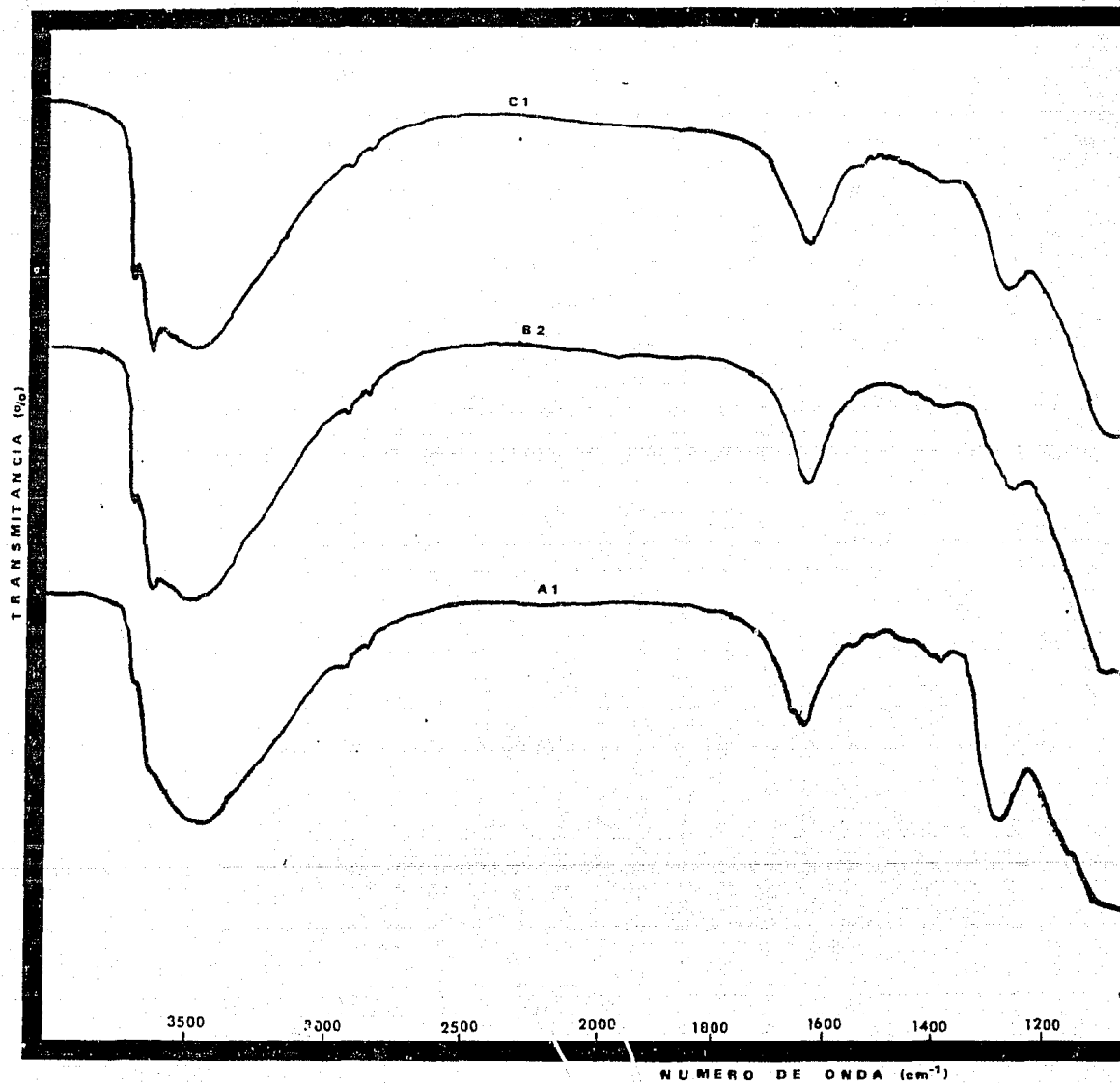
V.3.4.6.- Espectros de absorción infrarroja de la fracción arcilla con materia orgánica, perfil 110, horizontes A11 (0-15 cm), A12 (15-40 cm), B21 (40-70 cm) y B22 (70-106 cm).

Tabla V.3.4.8.- Resultados del análisis por Difracción de Rayos X en polvos desorientados de la fracción arcilla de suelos de la región de Teziutlán, Estado de Puebla; horizonte B2 (10 - 23 cm) del perfil 118.

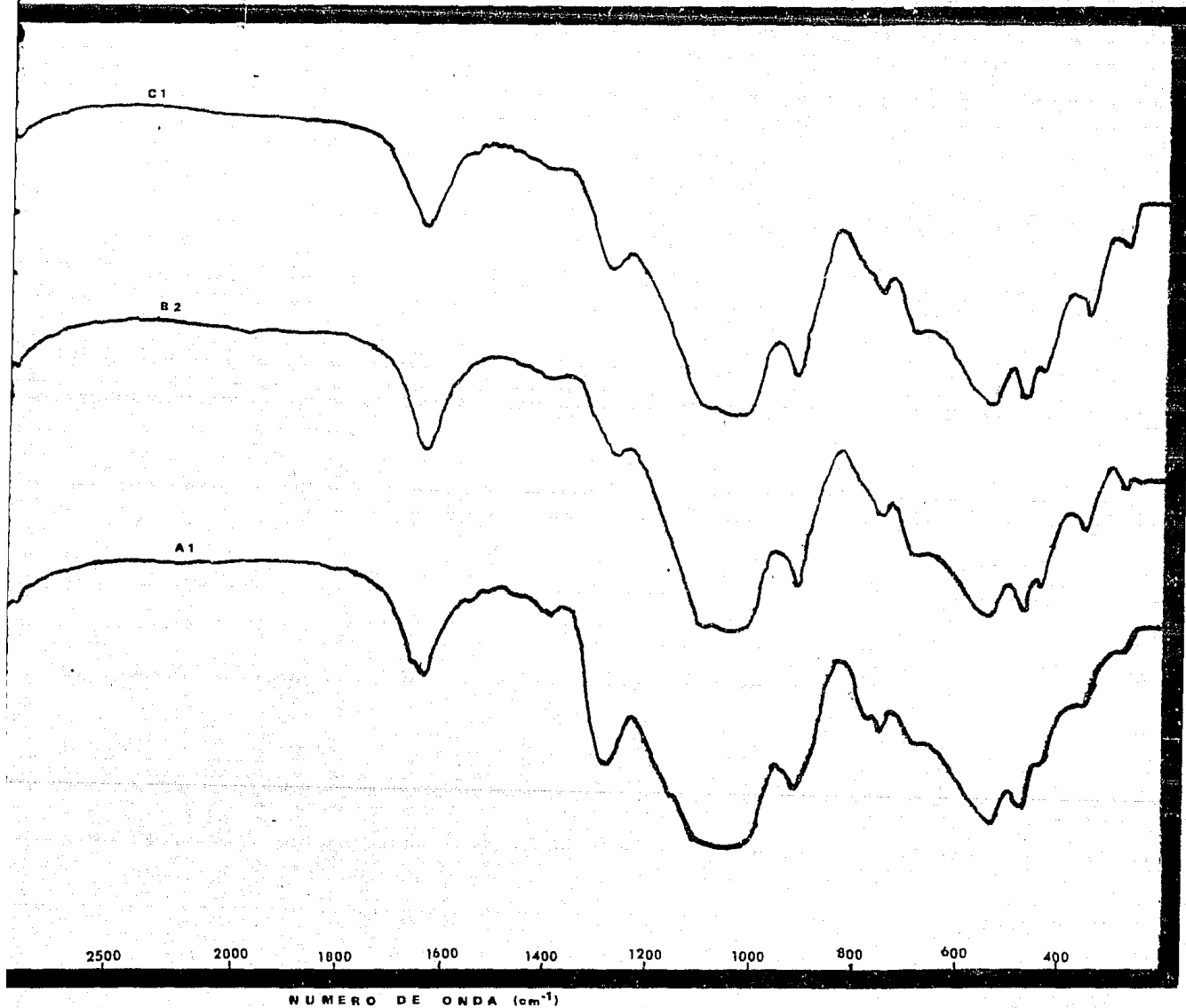
2θ	d	Posible mineral.
11.85	7.4121	Haloisita.
12.10	7.3145	Haloisita.
12.58	7.1497	Caolinita.
13.80	6.4170	Feldespatos.
18.35	4.8375	Gibbsita.
20.05	4.4308	Haloisita, Caolinita.
20.80	4.2706	Cuarzo.
21.20	4.1909	Caolinita.
22.00	4.0403	Feldespatos de sodio y calcio.
22.70	3.9172	Feldespatos de potasio y sodio.
24.50	3.6334	Feldespatos de sodio y calcio.
26.40	3.3760	Caolinita.
26.70	3.3388	Cuarzo.
27.00	3.3024	Gibbsita
27.30	3.2667	Feldespatos de sodio y calcio.
27.70	3.2205	Feldespatos de sodio y calcio.
28.50	3.1319	Feldespatos de calcio.
35.10	2.5566	Haloisita, Caolinita.
35.70	2.5150	Cuarzo.
36.15	2.4854	Caolinita.
36.70	2.4488	Gibbsita.
37.15	2.4207	Gibbsita.
38.20	2.3560	Caolinita.
39.20	2.2982	Caolinita.
40.25	2.2411	Gibbsita.
44.40	2.0403	Gibbsita.
49.50	1.8414	Cuarzo.
50.25	1.8160	Cuarzo.
55.55	1.6546	Caolinita.
62.50	1.4860	Caolinita.
62.80	1.4797	Haloisita.

Tabla V.3.4.9.- Resultados del análisis por Espectroscopía Infrarroja de la fracción arcilla de suelos de la región de Teziutlán, Estado de Puebla; horizontes A1 (0-10 cm), B2 (10-23 cm) y C1 (23-36 cm) del perfil 118.

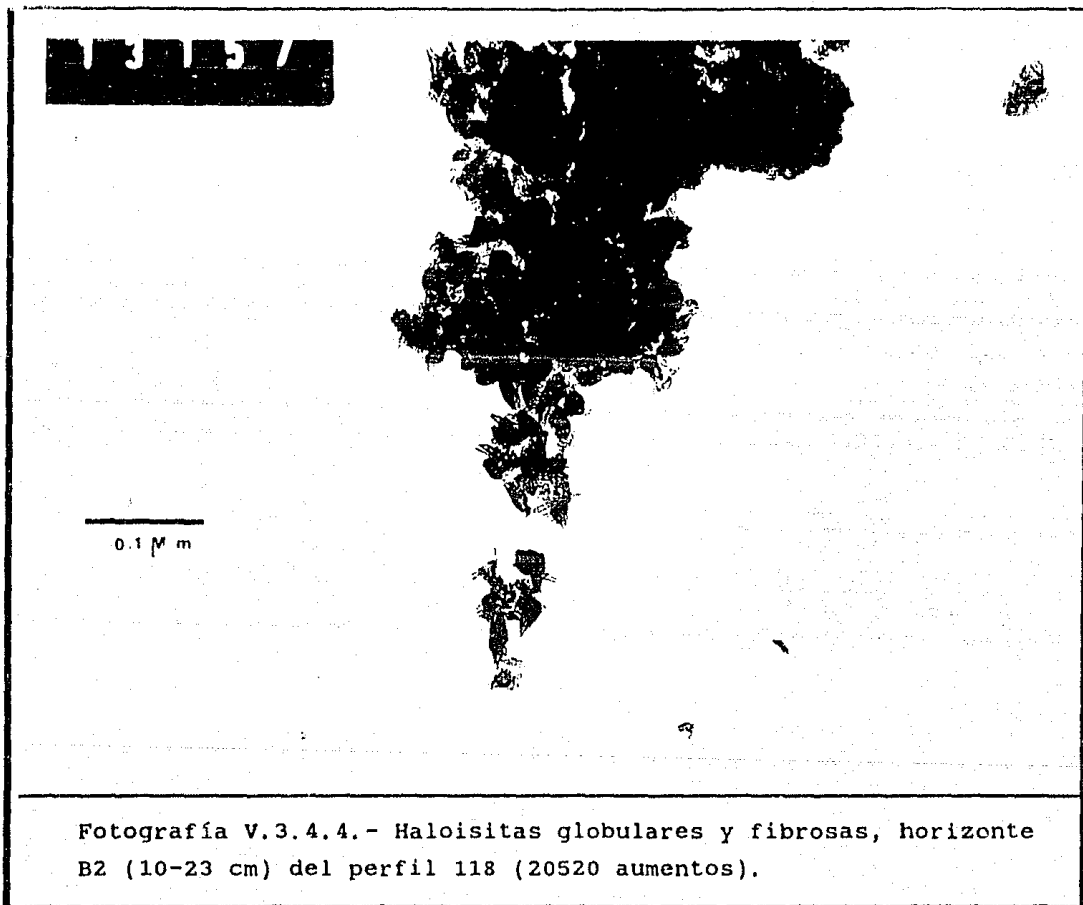
Número de onda (cm ⁻¹)			Posible mineral.
A1	B2	C1	
3680	3680	3680	Haloisita.
3610	3610	3610	Haloisita.
	3450		Gibbsita.
3430		3430	Alofano.
2920	2920	2920	Acidos Carbónicos, Cetonas.
2850	2850	2850	Acidos Carbónicos, Cetonas.
1635	1635	1635	Alofano, Haloisita, Gibbsita
	1625	1625	Núcleos Fenil.
1155			Albita, Oligoclasa.
1100			Haloisita, Alofano, Albita, Oligoclasa.
	1090	1090	Alofano, Haloisita, Albita, Oligoclasa.
1035	1035	1035	Alofano, Haloisita, Albita, Oligoclasa.
1010	1010	1010	Haloisita, Albita, Oligoclasa.
910	910	910	Alofano, Haloisita.
775	775	775	Albita, Oligoclasa.
745	745	745	Gibbsita, Albita, Oligoclasa.
680	680	680	Haloisita.
	610	610	Haloisita.
	535	535	Haloisita, Gibbsita.
525			Gibbsita.
470	470	470	Gibbsita, Haloisita, Albita, Oligoclasa.
435	435	435	Haloisita, Albita, Oligoclasa.

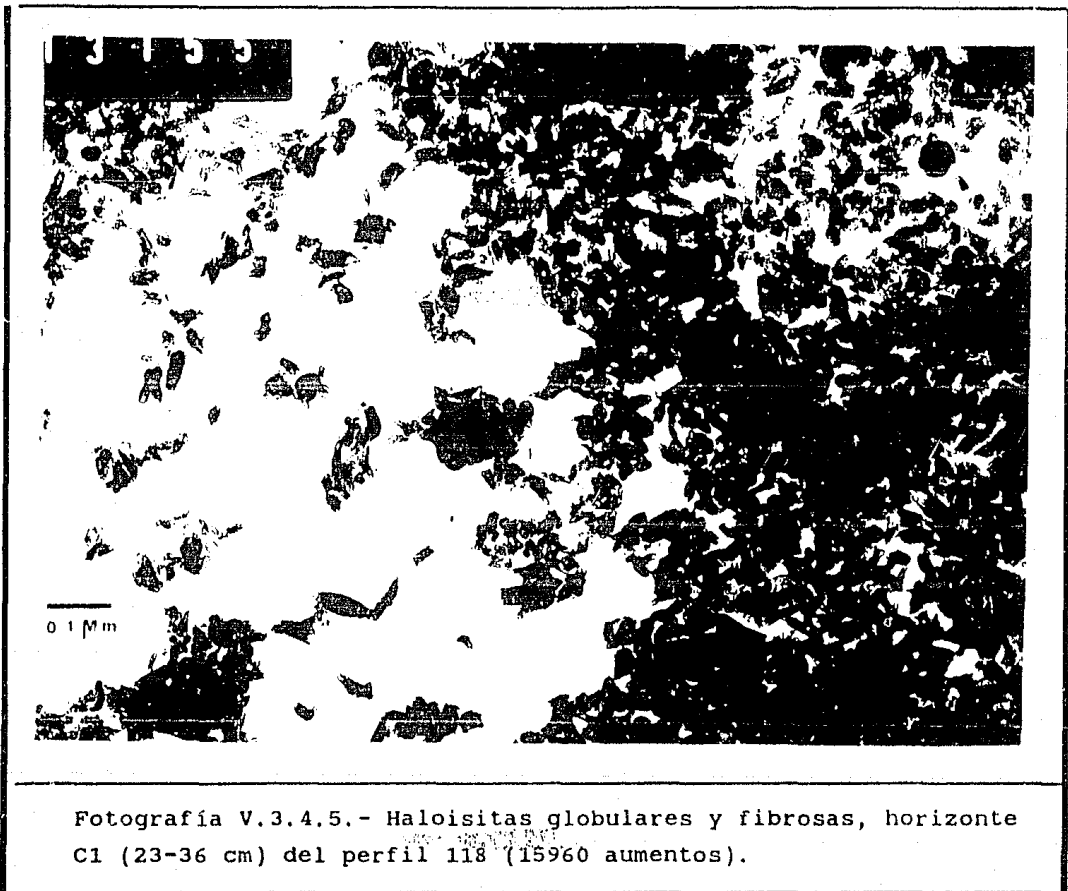


V.3.4.7.- Espectros de absorción infrarroja de la arcilla con materia orgánica, perfil 118, muestras A1 (0-10 cm), B2 (10-23 cm) y C1 (23-36 cm)



V.3.4.7.- Espectros de absorción infrarroja de la fracción arcilla con materia orgánica, perfil 118, horizontes A1 (0-10 cm), B2 (10-23 cm) y C1 (23-36 cm).





Fotografía V.3.4.5.- Halositas globulares y fibrosas, horizonte C1 (23-36 cm) del perfil 118 (15960 aumentos).

V.4.- CLASIFICACION DE LOS ANDOSOLES.

Se han sistematizado muchas clasificaciones o sistemas de clasificación de suelos en el mundo, casi cada país tiene una. En México las más utilizadas en la actualidad por los Edafólogos son: la clave de clasificación de suelos elaborada por la FAO (1974) para expresar el mapa de los suelos del mundo, y el sistema de clasificación de suelos "Soil Taxonomy" elaborado por el Soil Survey Staff (1975). Ambas clasificaciones de los suelos se han mantenido en una constante evolución, por lo que han sufrido cambios, que de no mantenerse informado oportunamente sobre ellos, originan mucha confusión.

V.4.1.- El nuevo orden Andisol de la Soil Taxonomy.

Cuando fué creado el sistema Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975), se propusieron 6 niveles de categorización para clasificar los suelos, éstos son: Orden, Suborden, Gran Grupo, Subgrupo, Familia y Serie. Se propusieron originalmente 10 órdenes de suelos los cuales fueron: Alfisol, Aridisol, Entisol, Histosol, Inceptisol, Molisol, Oxisol, Espodosol, Ultisol y Vertisol.

Los suelos derivados de cenizas volcánicas que en la clave FAO se les conoce como Andosoles fueron incluidos a nivel de suborden (Andepts) dentro del orden Inceptisol.

En la práctica, se vió la necesidad de contar con un orden específico para los suelos derivados de material piroclástico, por lo que G.D. Smith (citado por Leamy *et al.*, 1980), pionero del Soil Taxonomy, propuso en un documento sin publicar, reestructurar este sistema de clasificación con base en sus experiencias de trabajo en Sudamérica y Nueva Zelanda, para eliminar a los suelos volcánicos más típicos del orden Inceptisoles. Posteriormente, en una carta de fecha 13 de febrero de 1979 titulada "Propuesta preliminar para la Reclasificación de los Andepts y algunos subgrupos Andicos", introdujo el nombre Andisol (Leamy *et al.*, 1980).

Con el objetivo de sugerir criterios de clasificación, se creó el ICOMAND (International Committee on the Classification of Andisols). El ICOMAND ha dado a conocer el desarrollo de la creación del nuevo

orden de suelos a través de boletines (Leamy et al., 1984, 1987 y 1988) y no fué hasta 1990 en que el nuevo orden Andisol apareció ya formando parte del cuerpo del libro de claves de la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1990).

La Soil Taxonomy actual (Soil Survey Staff, 1990), establece que los Andisoles son suelos que tienen propiedades ándicas en todos los subhorizontes, ya sean sepultados o no, los cuales tienen un espesor acumulativo de 35 cm o más dentro de los 60 cm de suelo mineral superficial o del límite de una capa orgánica poco profunda que presenta propiedades ándicas.

V.4.2.- Propiedades ándicas en la Soil Taxonomy 1990.

Para presentar propiedades ándicas, el material del suelo deberá tener menos del 25% de carbón orgánico y satisfacer uno o más de los siguientes dos requisitos:

1.- Cualquiera de los siguientes:

a) El aluminio más la mitad del hierro extraíbles con oxalato ácido es del 2.0 % como mínimo de la fracción de suelo menor de 2.0mm, y

b) La densidad aparente de la fracción menor de 2 mm medida a una humedad relativa de un tercio de bar (Capacidad de Campo), es de 0.90 g/cm^3 o menor, y

c) La retención de fosfatos de la fracción menor de 2 mm es 85 % o más; o.

2.- La fracción menor de 2 mm tiene una retención de fosfatos mayor del 25 % y la fracción de 0.02-2.0 mm es al menos el 30 % de la fracción menor de 2 mm; y reúne uno de los siguientes tres requisitos:

a) La fracción menor de 2 mm tiene 0.4% o más de aluminio más la mitad del hierro extraíbles con oxalato ácido y presenta al menos 30 % de vidrio volcánico en la fracción de 0.02-2.0 mm, o

b) La fracción menor de 2 mm tiene 2 % o más de aluminio más la mitad del hierro extraíbles con oxalato ácido, y hay al menos 5 % de vidrio volcánico en la fracción de 0.02-2.0 mm; o

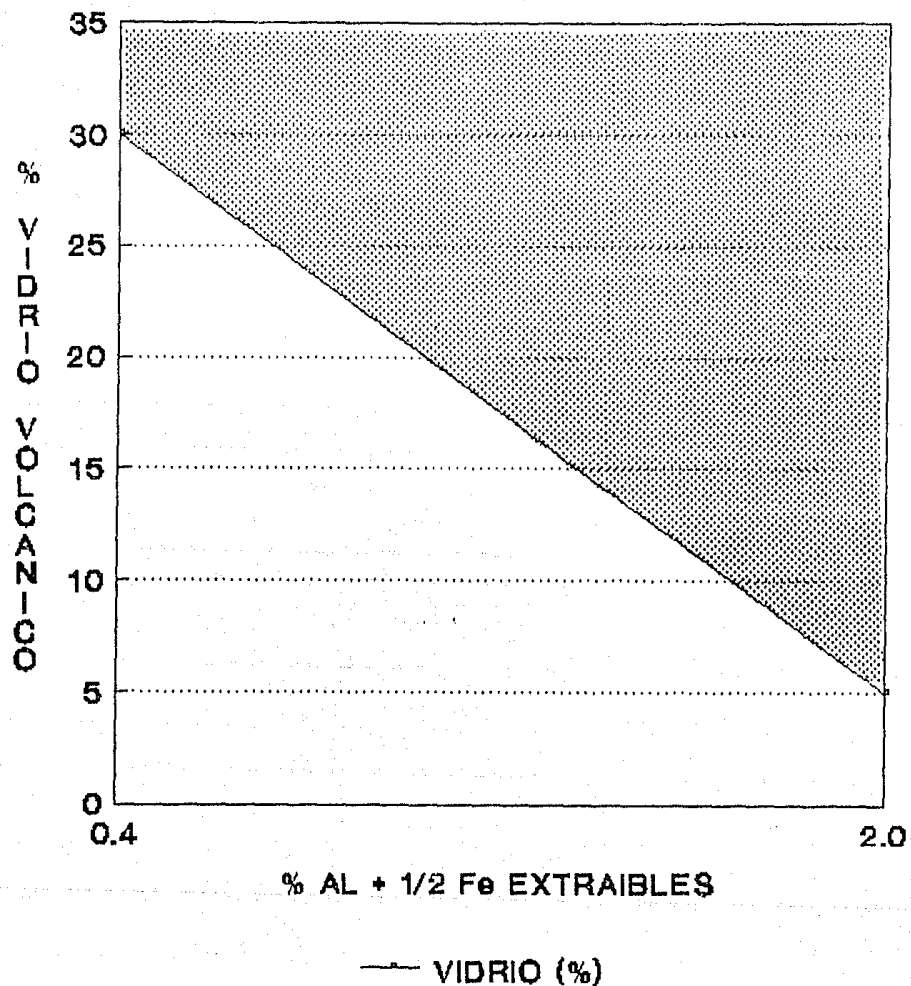


Figura V.4.2.1.- Variación del porcentaje de vidrio en la fracción tierra fina del suelo (0.02 - 2.0 mm) y los contenidos en aluminio más la mitad del hierro extraíbles con el reactivo oxalato ácido, el área sombreada corresponde a suelos que tienen propiedades ándicas (Soil Survey Staff, 1990).

c) La fracción menor de 2mm presenta aluminio más la mitad del hierro extraíbles con oxalato ácido entre 0.4 % y 2.0 % y tiene suficiente vidrio volcánico en la fracción de 0.02-2.0 mm para que el porcentaje de vidrio se ubique en un punto dentro del área sombreada de la figura V.4.2.1.

V.4.3.- Clasificación de los suelos de la región de Teziutlán con base al sistema de clasificación de suelos Soil Taxonomy.

Con base en la clave de la Soil Taxonomy (1990), los suelos de la región de Teziutlán son representados en el mapa que aparece en la figura V.4.3.1., donde aparecen localizados los perfiles de suelo estudiados, los regímenes de humedad y las estaciones meteorológicas correspondientes a los climogramas de las figuras V.4.3.2. a la V.4.3.9.

La clasificación de cada uno de los perfiles es la siguiente:

a) Perfil 30 Haplustand.- Suelo que presenta propiedades ándicas en los primeros 60 cm, tiene régimen de humedad ústico y no presenta duripán.

b) Perfil 35 Ustivitränd.- Suelo que presenta propiedades ándicas en los primeros 75 cm y tiene un régimen de humedad ústico.

c) Perfil 36 Haplustand.- Suelo que presenta propiedades ándicas en los primeros 35 cm, tiene régimen de humedad ústico y no presenta duripán.

d) Perfil 41 Haplustand.- Suelo que presenta propiedades ándicas en los primeros 67 cm, tiene régimen de humedad ústico y no presenta duripán.

e) Perfil 62 Haplustand.- Suelo que presenta propiedades ándicas en los primeros 47 cm, tiene régimen de humedad ústico y no presenta Duripán.

f) Perfil 63 Ustivitränd.- Suelo que presenta propiedades ándicas en los primeros 125 cm y tiene régimen de humedad ústico.

g) Perfil 84 Haplustand.- Suelo que presenta propiedades ándicas en los primeros 42 cm, tiene régimen de humedad ústico y no presenta duripán.

h) Perfil 87 Hapludand.- Suelo que presenta propiedades ándicas en los primeros 110 cm, tiene epipedón ócrico y régimen de humedad údico.

i) Perfil 6 Hapludand.- Suelo que presenta propiedades ándicas en los primeros 50 cm, tiene epipedón ócrico y régimen de humedad údico.

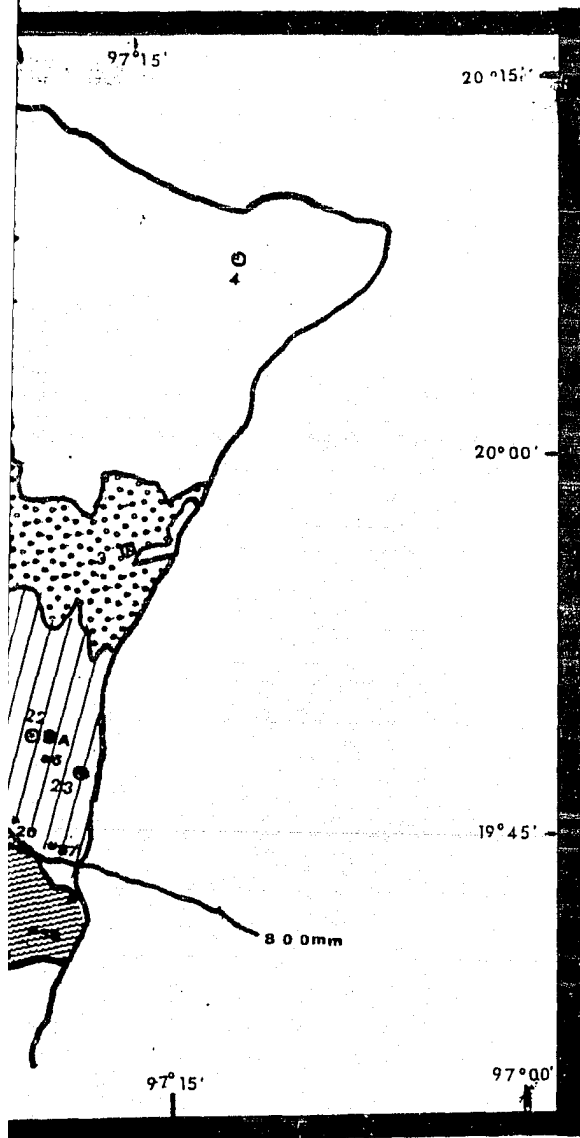
j) Perfil 20 Udivitrang.- Suelo que presenta propiedades ándicas en los primeros 35 cm mezclados, tiene epipedón ócrico y régimen de humedad údico.

k) Perfil 110 Fulvudand.- Suelo que presenta propiedades ándicas en los primeros 73 cm, tiene epipedón úmbrico y régimen de humedad údico.

l) Perfil 111 Fulvudand.- Suelo que presenta propiedades ándicas en los primeros 101 cm, tiene epipedón úmbrico y régimen de humedad údico.

m) Perfil 118 Hapludand.- Suelo que presenta propiedades ándicas en los primeros 36 cm, tiene un epipedón ócrico y régimen de humedad údico.

onomy, 1990), correspon-
a la región de Teziutlán,



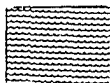
ología.

SIMBOLOGIA.

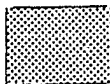
- LIMITE DE LA REGION.
- LIMITE DE UNIDADES DE SUELO.
- 35 PERFIL Y NUMERO DE PERFIL DE SUELO.
- POBLACION.
- ESTACION METEOROLOGICA.
- 800 — ISOYECTA DE LOS 800 mm.

GRANDES GRUPOS DE SUELOS

(ZONA 1)

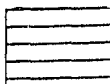


USTIVITRANDES + HAPLUSTANDES.



HAPLUSTANDES + USTIVITRANDES.

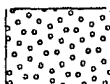
(ZONA 2)



HAPLUDANDS + FULVUDANDS +
UDIVITRANDES.



FULVUDANDS + HAPLUDANDS +
UDIVITRANDES.



FULVUDANDS + HAPLUDANDS.

Escala 1 : 400 000.

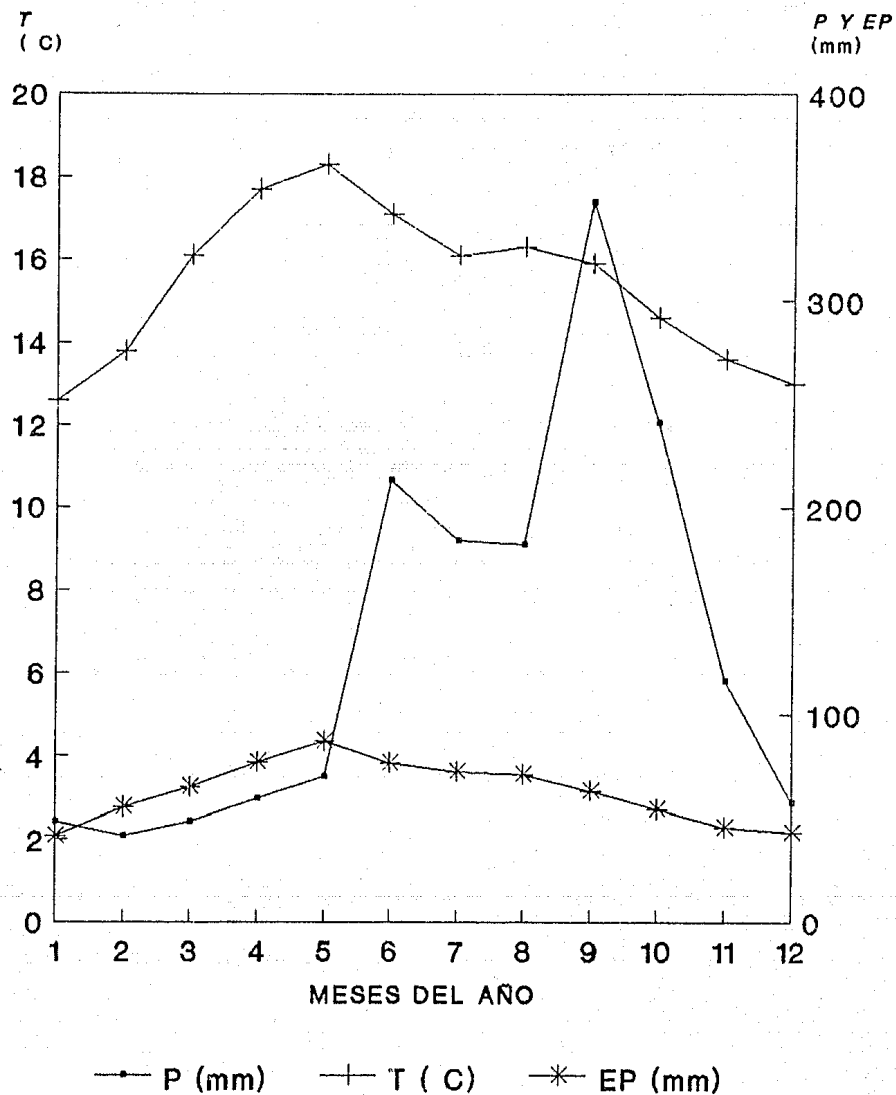
Número: POBLACION:

- 1 Tuzamapan
- 2 Tenampulco
- 3 Hueytamalco
- 4 Acateno
- 5 Atlequizayan
- 6 Jonotla
- 7 Ayototxo
- 8 Huutzilan
- 9 Xochitlán
- 10 Zoquiapán
- 11 Nauzonitla
- 12 Cuetzalan
- 13 Xochiapulco
- 14 Zacapoaxtla
- 15 Zaragoza
- 16 Tlallauquitepec
- 17 Yaonduac
- 18 Hueyapan
- 19 Teteles
- 20 Atempan
- 21 Chignautla
- 22 Teziutlan
- 23 Xtuteleco

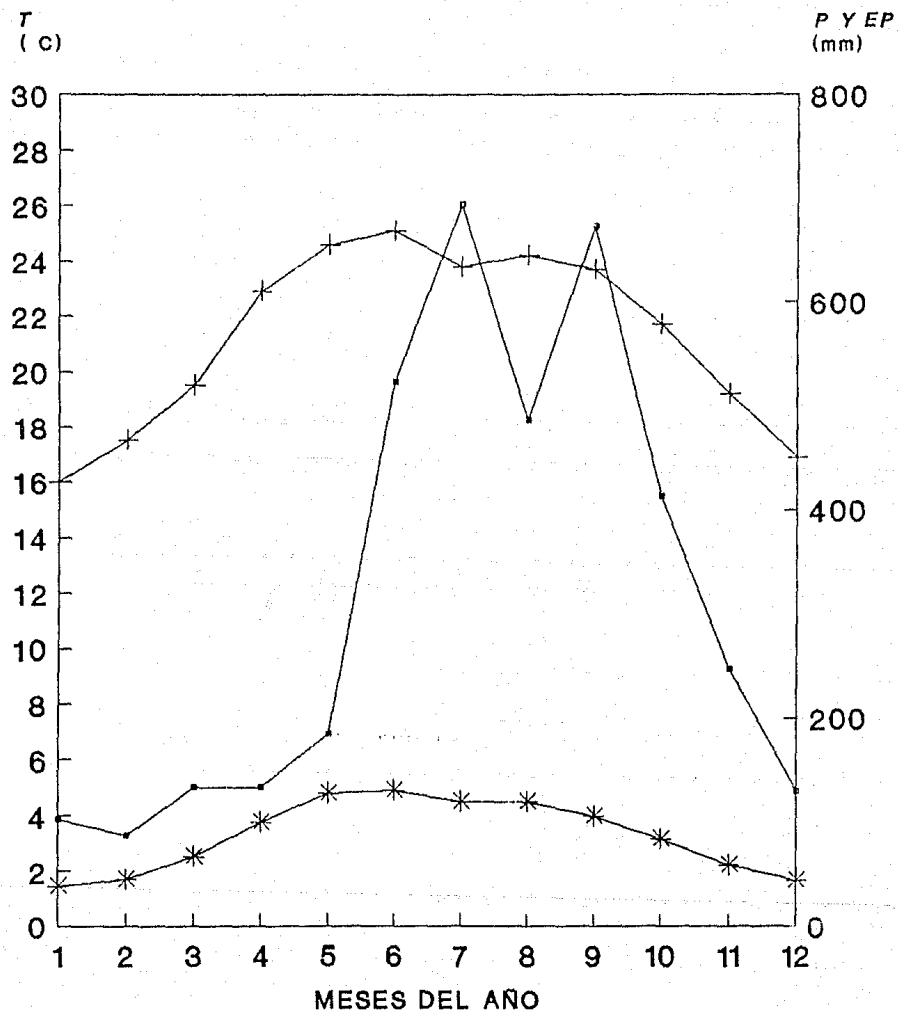
ESTACIONES METEOROLOGICAS

	clave*
A TEZIUTLAN	(21-089)
B LAS MINAS	(21-054)
C TLATLAUQUITEPEC	(21-095)
D CUETZALAN	(21-026)
E ZACAPOAXTLA	(21-101)
F SAN JUAN APULCO	(21-060)
G HUAHUAXTLA	(21-037)
H ZAUTLA	(21-106)

* Clave con la que son identificadas las estaciones meteorológicas en las cartas de INEGI.



V.4.3.2.- Climograma de la estación Teziutlán (21-089).
 Humedad del suelo con régimen Udico.
 P (mm): Precipitación Media Mensual.
 T (°C): Temperatura Media Mensual.
 EP (mm): Evapotranspiración Potencial Media Mensual.

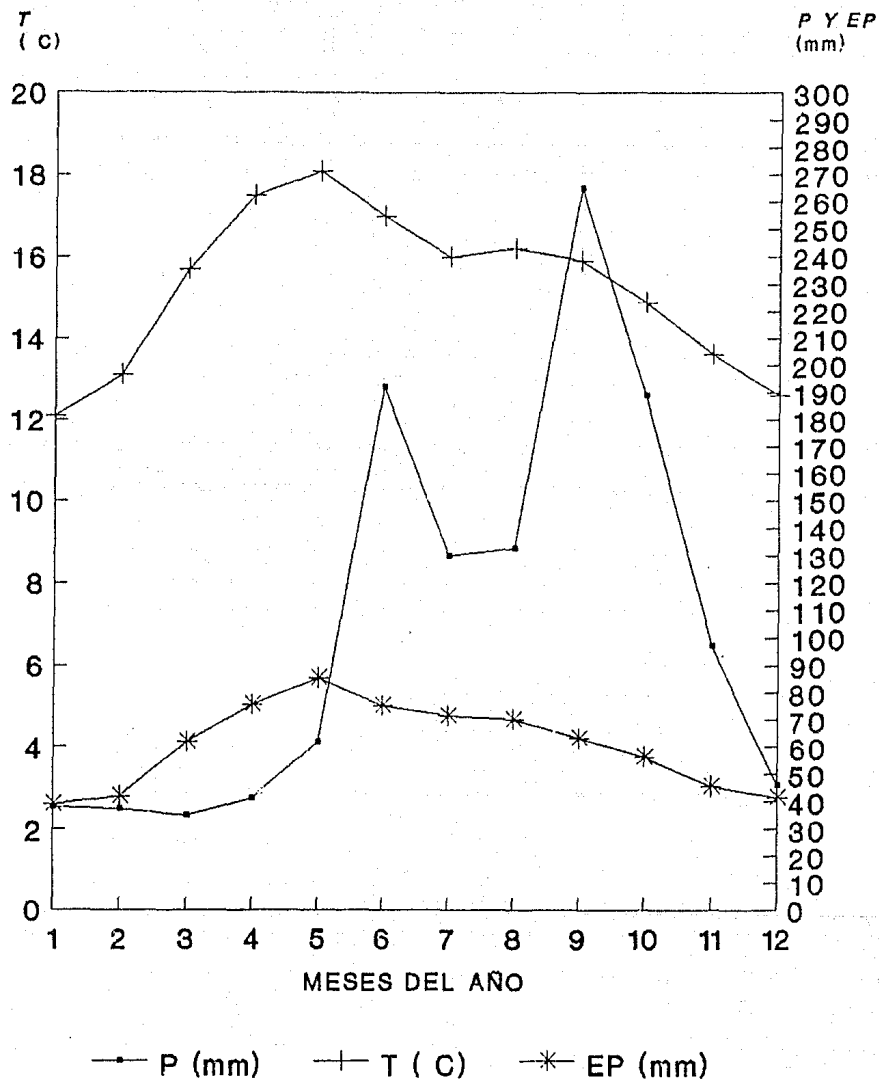


V.4.3.3.- Climograma de la estación Las Minas (21-054). Humedad del suelo con régimen Perúdic o Acuíco, dependiendo del relieve.

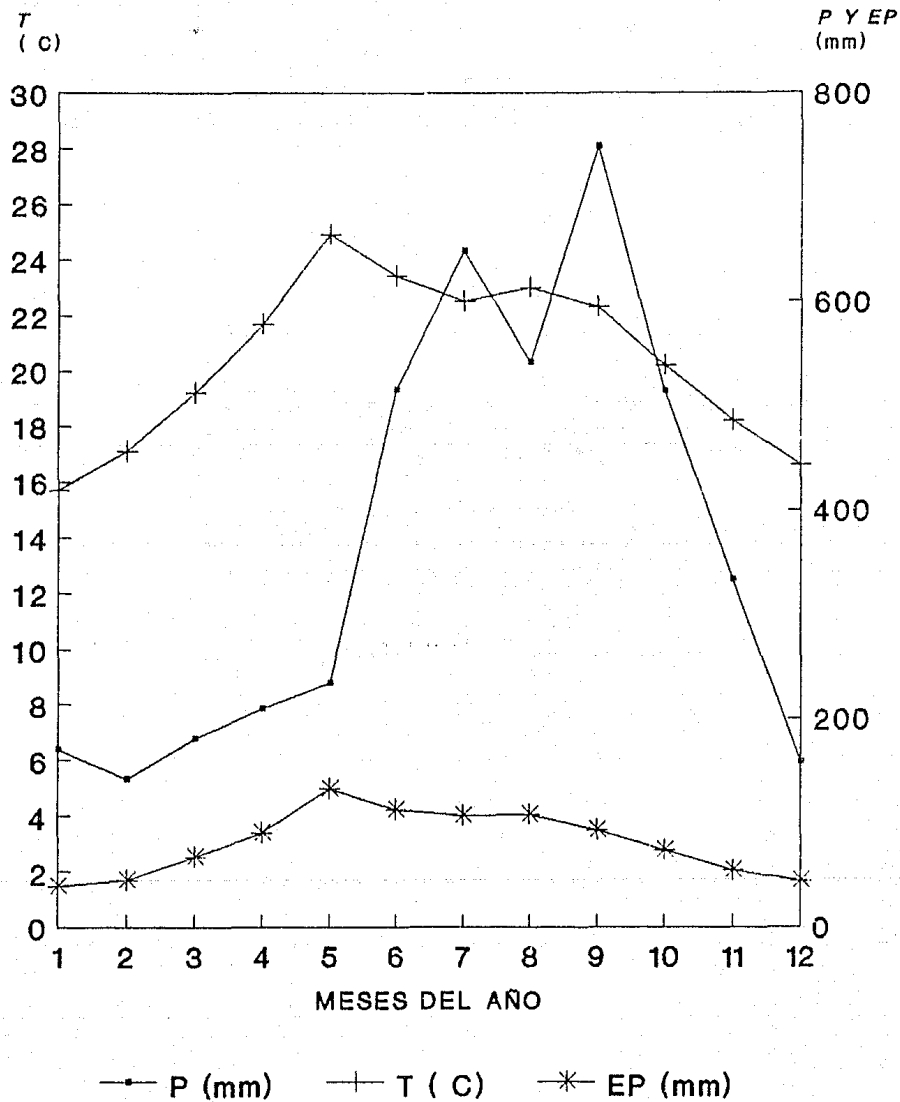
P (mm): Precipitación Media Mensual.

T (°C): Temperatura Media Mensual.

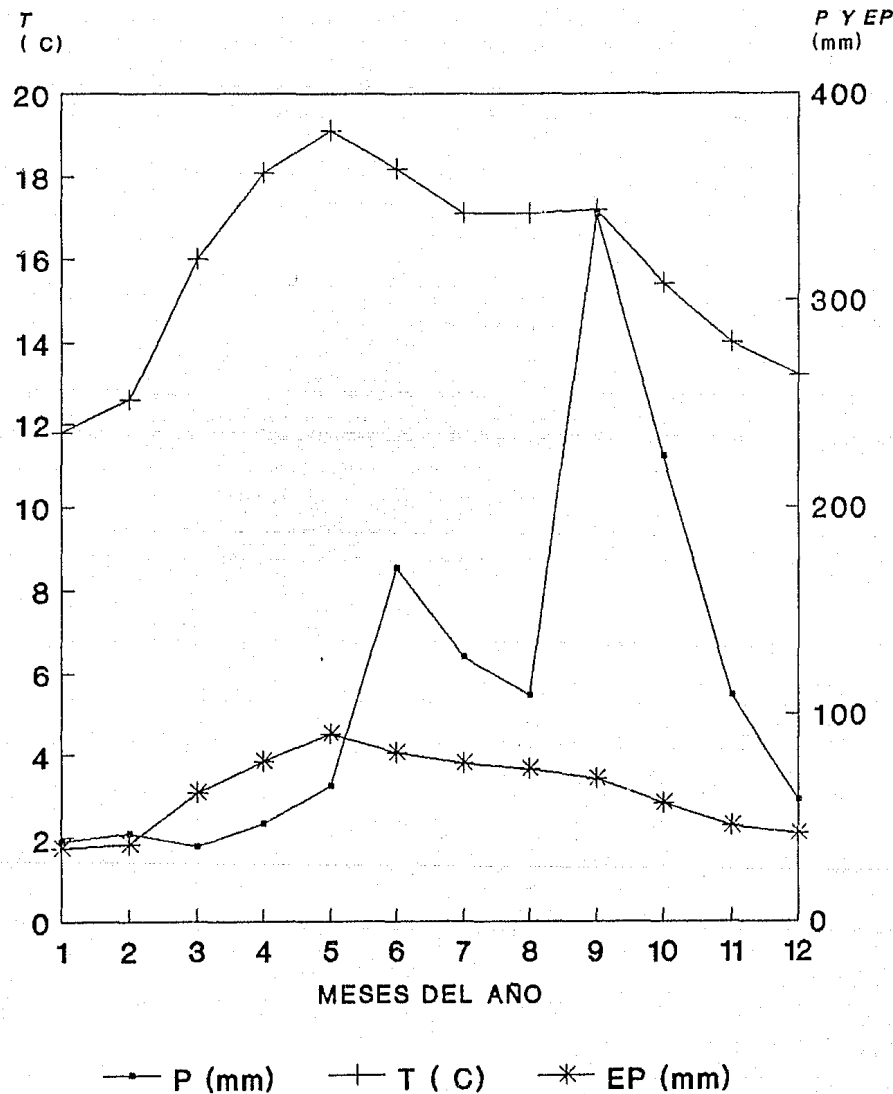
EP (mm): Evapotranspiración Potencial Media Mensual.



V.4.3.4.- Climograma de la estación Tlatlauquitepec (21-095).
 Humedad del suelo con régimen Udico.
 P (mm): Precipitación Media Mensual.
 T (°C): Temperatura Media Mensual.
 EP (mm): Evapotranspiración Potencial Media Mensual.



V.4.3.5.- Climograma de la estación Cuetzalan (21-026). Humedad del suelo con régimen Perúdic o Acuíco, dependiendo del relieve.
 P (mm): Precipitación Media Mensual.
 T (°C): Temperatura Media Mensual.
 EP (mm): Evapotranspiración Potencial Media Mensual.



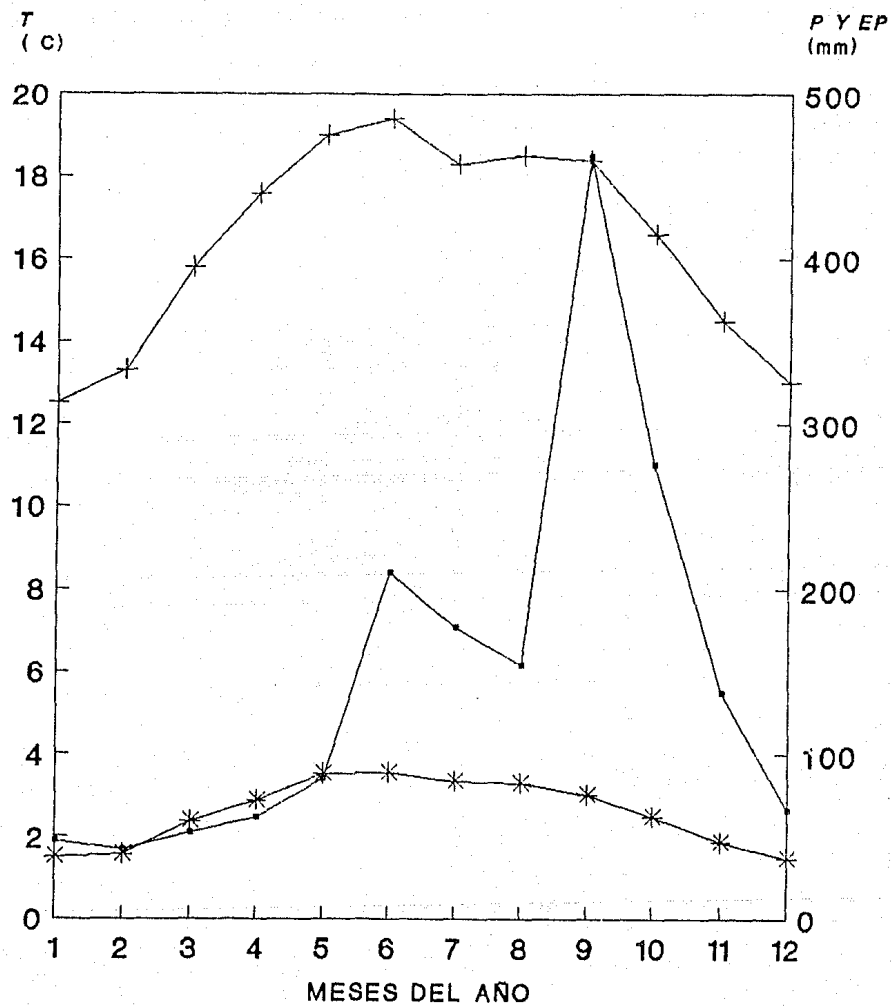
V.4.3.6.- Climograma de la estación Zacapoaxtla (21-101).

Humedad del suelo con régimen Udico.

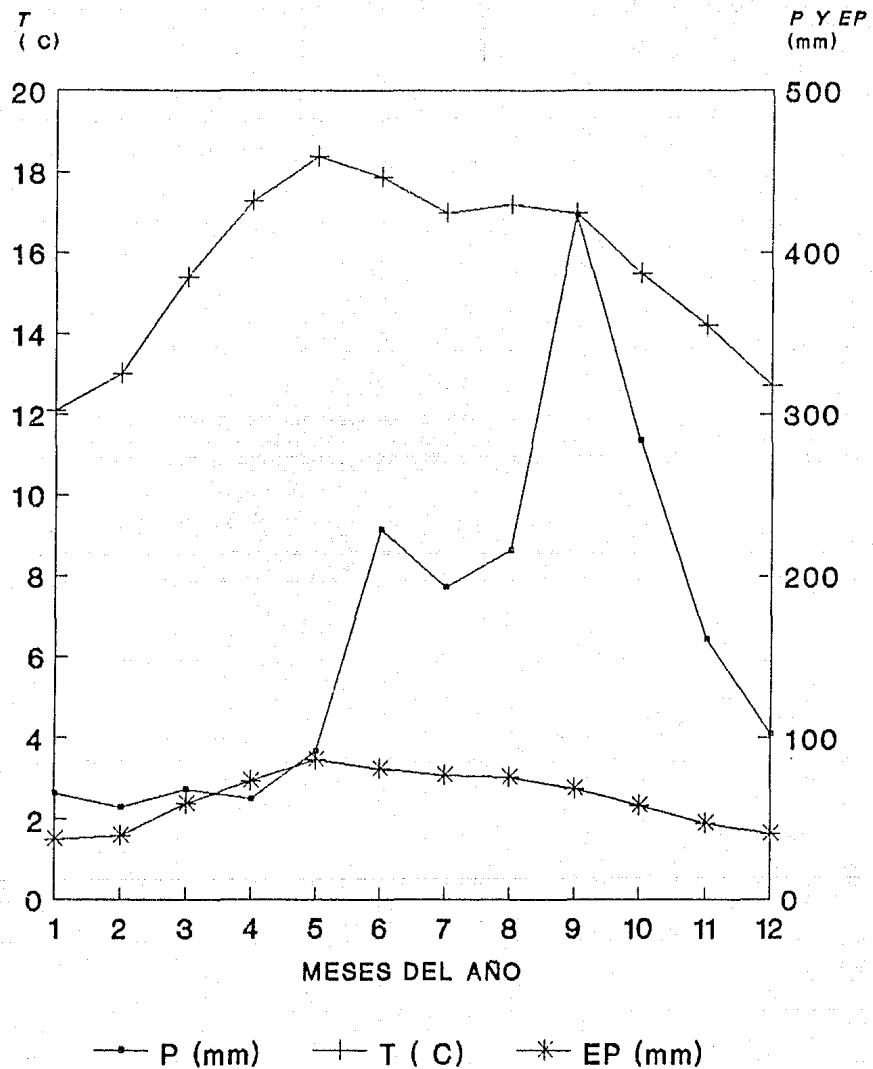
P (mm): Precipitación Media Mensual.

T (°C): Temperatura Media Mensual.

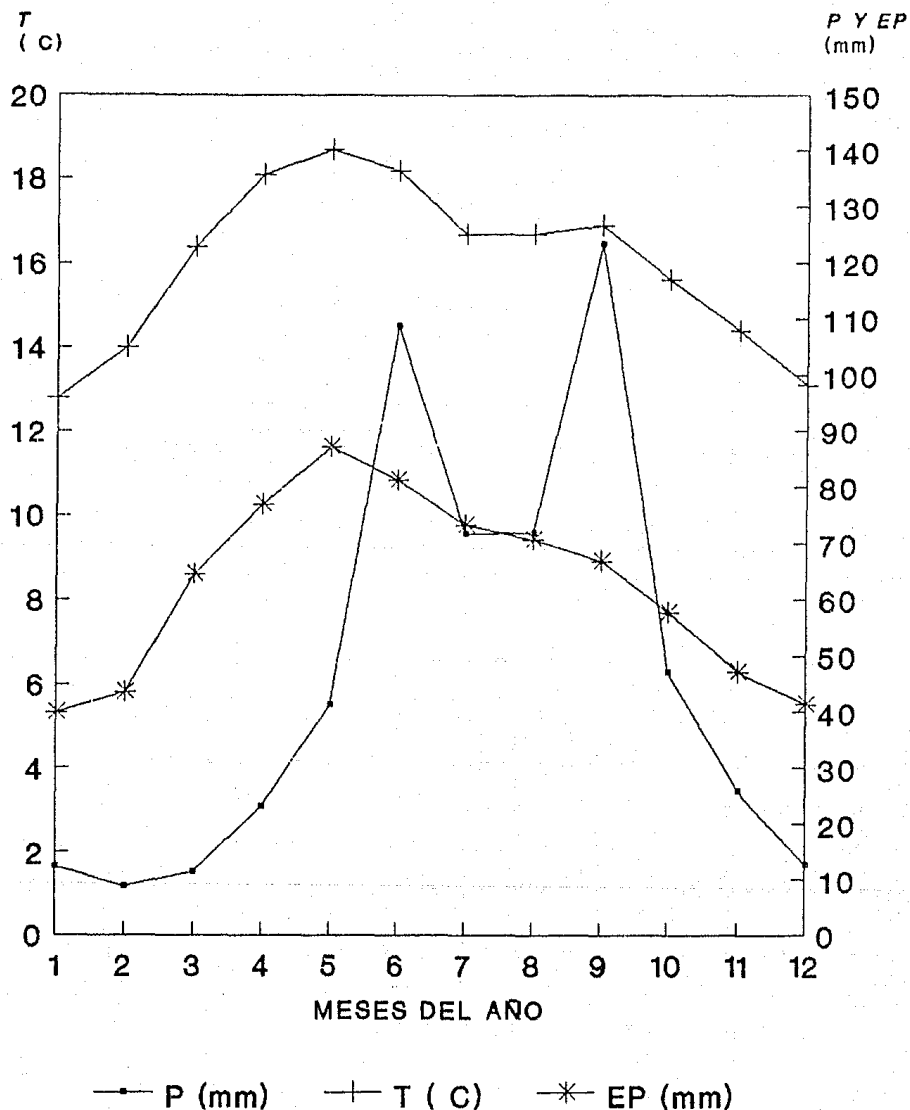
EP (mm): Evapotranspiración Potencial Media Mensual.



V.4.3.7.- Climograma de la estación San Juan Apulco (21-069).
 Humedad del suelo con régimen Udico.
 P (mm): Precipitación Media Mensual.
 T (°C): Temperatura Media Mensual.
 EP (mm): Evapotranspiración Potencial Media Mensual.



V.4.3.8.- Climograma de la estación Huahuaxtla (21-037).
 Humedad del suelo con régimen Udico.
 P (mm): Precipitación Media Mensual.
 T (°C): Temperatura Media Mensual.
 EP (mm): Evapotranspiración Potencial Media Mensual.



V.4.3.9.- Climograma de la estación Zautla (21-106).

Humedad del suelo con régimen Ustico.

P (mm): Precipitación Media Mensual.

T (°C): Temperatura Media Mensual.

EP (mm): Evapotranspiración Potencial Media Mensual.

VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VI.1.- CONCLUSIONES DEL TRABAJO.

VI.1.1.- Conclusiones generales.

1.- En relación a la hipótesis planteada al inicio del trabajo sobre si "el clima, y en particular, el régimen de humedad, da origen a diferencias significativas en los procesos de intemperización de Andisoles, por lo que la composición mineralógica de los mismos también presentará importantes diferencias, sobre todo en sus fracciones de tamaño de partícula más pequeño". La conclusión es que con base en los resultados la hipótesis es correcta.

2.- Por medio del presente trabajo, si fue posible establecer la relación entre la composición mineralógica de la fracción arcilla y las características fisicoquímicas más importantes de los Andosoles con las diferentes condiciones de humedad ambiental.

3.- Se considera que tanto los objetivos como las metas originales del trabajo fueron cubiertas.

VI.1.2.- Conclusiones sobre el ambiente y la morfología de los suelos.

1.- Los resultados de realizar el inventario de los suelos de la región de Teziutlán, permitieron identificar como Andosoles a 52 de los perfiles descritos, los cuales fué posible organizar en dos grupos en función de sus características morfológicas, físicas y químicas contra las condiciones ambientales de humedad a que están sometidos.

2.- El límite de separación de ambos grupos de Andosoles fué establecido sobre la isoyecta de los 800 mm.

3.- Los cambios más significativos en la morfología de los perfiles de suelo pueden ser más fácilmente asociados con la precipitación media anual.

4.- Los suelos del primer grupo son en su mayoría, Andosoles con poco desarrollo edáfico (vítricos 68%, háplicos 26%, úmbricos 6%), se encuentran sometidos a una precipitación media anual entre 600 y 800 mm, presentan el solum relativamente poco profundo pues sólo el 10% de los perfiles lo mostraron mayor a los 100 cm, predominando los epipedones ócricos sobre los úmbricos.

5.- los Andosoles del segundo grupo sometidos a una precipitación entre los 800 y los 1200 mm, presentaron morfologías típicas para este orden de suelos, predominando los Andosoles úmbricos (73 %) sobre háplicos (9 %) y vítricos (9 %), con un solum de más de 100 cm de profundidad (67 %) y en muchos casos con más de 200 cm (24 %), los suelos en su mayoría presentaron epipedón úmbrico.

6.- De los 52 perfiles de Andosol, sólo 6 no presentaron horizonte B cámbico y ninguno presentó duripán o fragipán.

7.- Todos los suelos dieron reacción positiva a la prueba del NaF, variando la reacción entre muy débil y moderada en los suelos del primer grupo, con características vítricas muy marcadas, y de muy fuerte a moderada en el resto de los Andosoles.

8.- Los Andosoles conservan muchas características de suelo forestal, lo que nos está indicando el tiempo relativamente reciente en que han sido destinados a una explotación agrícola intensiva.

9.- Las estructuras granular y migajosa, reportadas como típicas en los epipedones de Andosoles, sólo fueron presentadas excepcionalmente por los Andosoles de la región.

10.- La importante presencia de suelos sepultados es marcadamente evidente al analizar los perfiles; en algunos casos, estos suelos sepultados son también Andosoles, sin embargo, en muchos casos se trata de suelos diferentes a Andosoles, o de rocas que son origen de una discontinuidad litológica.

11.- Una asociación comúnmente encontrada fue la que un Andosol sepultara a un Luvisol, donde los Luvisoles pueden ser considerados como Paleosuelos.

VI.1.3.- Conclusiones sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos.

1.- Las densidades aparentes de los Andosoles estudiados corresponden perfectamente a las esperadas, independientemente del método empleado en su determinación.

2.- Los Andosoles del primer grupo muestran una densidad aparente más baja que los del segundo, esto puede ser explicado con base en las diferencias en los contenidos en materia orgánica, las texturas y la densidad real del suelo.

3.- En la baja densidad aparente de los Andosoles tiene mayor relevancia la microporosidad con respecto a los macroporos entre unidades estructurales.

4.- Las texturas determinadas en el laboratorio por el método de Bouyoucos en general fueron más gruesas que las determinadas en el campo al momento de describir los diferentes perfiles.

5.- Las texturas determinadas por el método de Kilmer y Alexander resultaron ser semejantes a las estimadas en campo y en algunos casos incluso más finas.

6.- Los contenidos en arena, limo y arcilla determinados a una misma muestra de suelo por los dos métodos diferentes, dependieron del método empleado, las diferencias entre los resultados del análisis mecánico de una misma muestra de suelo mostraron ser mayores para los suelos del segundo grupo de Andosoles, en relación a las del primer grupo.

7.- La elevada capacidad de agregación de las partículas de la fracción arcillosa de los Andosoles ocasiona que los métodos convencionales para la determinación de la textura del suelo proporcionen resultados completamente erróneos, aún incluso al realizar el análisis de la textura de suelo por el método de Kilmer y Alexander siguiendo todas las recomendaciones de los diferentes autores para lograr la máxima dispersión de la muestra, ésto no se consigue completamente.

8.- En los Andosoles de la región de Teziutlán, se puede apreciar una tendencia al aumento en los contenidos de carbono orgánico en el suelo en función del aumento en la precipitación media anual.

9.- Con respecto a sí los Andosoles son o no sometidos a cultivo, es evidente la pérdida de materia orgánica ocasionada por la falta de un aporte permanente de desechos vegetales y el aumento de la temperatura y de la evapotranspiración del suelo, efectos que se originan por la falta de la protección que proporciona una cobertura vegetal permanente.

10.- Existe en general la tendencia a disminuir la concentración de aluminio y hierro activos en función inversa al aumento de la concentración del carbono orgánico en el suelo, sin embargo, al parecer esta tendencia se puede invertir, de inversa a directa, como resultado de la alteración del suelo por el desmonte y/o el uso agrícola.

11.- Con respecto a la relación entre los contenidos de materia orgánica de los Andosoles de la región de Teziutlán y su capacidad para formar agregados estables se encontró que los perfiles con mayores contenidos en materia orgánica y mayor desarrollo edáfico, son los que también presentaron mayores problemas para su dispersión en la determinación de la textura.

12.- De nuestros resultados de relación C/N y contenidos en

aluminio y hierro activos podemos suponer que el humus de nuestros suelos está constituido principalmente por sustancias húmicas poco desarrolladas o jóvenes, ésto es corroborado por el hecho de que el índice melánico dió en el caso de los perfiles 110 y 111, valores mayores de 1.70.

13.- Los resultados obtenidos sobre retención de fosfatos en Andosoles de la región de Teziutlán, muestran una clara tendencia al aumento del porcentaje de retención de fosfatos por los suelos, en función inversa al aumento de materia orgánica y en función directa del aumento del porcentaje en los contenidos de aluminio y hierro activos.

14.- Existe una relación entre el aumento en la humedad ambiental y el aumento en el valor de las propiedades ándicas de los suelos (retención de fosfatos, aluminio y hierro activos y pH en NaF).

15.- Los suelos mostraron tener propiedades débilmente ácidas, lo cual significa que la cantidad de hidrógeno y aluminio intercambiables presentes en nuestros suelos es baja, y que la posibilidad de toxicidad por aluminio también lo es.

16.- El pH de los suelos aumenta con la profundidad del perfil, y al parecer ésto también tiene una relación con el aumento de la concentración de aluminio activo.

VI.1.4.- Conclusiones sobre la mineralogía de los suelos.

1.- Se comprobó una marcada tendencia a disminuir la concentración de sílice con el consecuente aumento en las concentraciones de óxidos de aluminio y hierro y sus correspondientes fracciones en cationes activos.

2.- La secuencia de pérdida de sílice y acumulación de aluminio y hierro en sus diferentes formas es esencialmente la misma que la

relacionada con la variación de las propiedades ándicas de los suelos y el aumento de la humedad ambiental.

3.- Los suelos mostraron tener una composición mineral homogénea, con excepción del perfil 118 que presenta muchas evidencias de tener un origen diferente.

4.- Las ligeras variaciones en la composición mineral de los perfiles muestran una importante relación con las diferencias en el ambiente, morfología y propiedades físicas y químicas de los Andosoles de la región, ocasionando, y a la vez siendo consecuencia, del diferente desarrollo edáfico de cada perfil.

5.- La persistencia de los mismos minerales primarios tales como cuarzo, micas y feldespatos cálcicos y sódico-cálcicos en los diferentes perfiles de suelo son evidencia de una génesis común.

6.- Las condiciones medioambientales y los componentes originales de los suelos han propiciado la neoformación de minerales de rango corto, principalmente alofano, pues no se encontraron resultados que evidenciaran la presencia de imogolita.

7.- La presencia de sílice coloidal sólo fué detectada en los perfiles de menor desarrollo edáfico, es decir, con menor desarrollo de sus propiedades ándicas.

8.- La presencia de haloisita y gibbsita en estos suelos, sobre todo en los que corresponden al segundo grupo, parece corroborar lo señalado por Wada, ésto implica que la edad de los Andosoles podría ser estimada a partir de las concentraciones de haloisita y gibbsita en el suelo, y que en nuestro caso, la diferenciación mineralógica entre los Andosoles, no sólo correspondería con las diferentes condiciones de humedad ambiental, sino también con el tiempo transcurrido desde el inicio de la formación del suelo.

VI.1.5.- Conclusiones sobre la clasificación de los suelos.

1.- Con base en la clave de la Soil Taxonomy los suelos del primer grupo son clasificados como Haplustands y Ustivitrands, y los del segundo grupo como Fulvudands, Hapludands y Udivitrands.

VI.2.- RECOMENDACIONES.

1.- Es de fundamental importancia profundizar en el conocimiento sobre los suelos de las diferentes regiones de México, del tal forma que ésto nos permita su explotación racional.

2.- Con respecto a los Andosoles, estos son suelos de origen forestal y su uso potencial, de mayor rentabilidad económica y mayor provecho ecológico, es también el forestal. El cambio de uso del suelo, de forestal a agrícola o pecuario, tiene como consecuencia la degradación de este recurso natural, por lo que ésto no es recomendable.

3.- El estudio sobre la mineralogía de los Andosoles desarrollado en este trabajo, tuvo muchas limitaciones relacionadas con la disponibilidad del instrumental necesario para su realización y a pesar del importante apoyo brindado por el Centro de Ciencias Medioambientales del C.S.I.C. de España, el tiempo durante el cual se pudo trabajar para este proyecto, no fue el suficiente, por lo que es deseable que en trabajos posteriores, se profundice sobre este tema, no solo para los Andosoles de la región de Teziutlán, sino para los de todo el país.

4.- Es de fundamental importancia el impulso a la investigación sobre mineralogía de suelos en este país, ya que es una disciplina científica escasamente desarrollada y a la cual las instituciones, tanto de investigación como de financiamiento a la investigación, han dado muy escasa importancia, al grado de que los científicos dedicados a esta importante disciplina se pueden contar con los dedos de una sola

mano. El desarrollo de la mineralogía de suelos en México, no debe circunscribirse exclusivamente a la repetición de técnicas ya estandarizadas, sino a la innovación y desarrollo de métodos apropiados a las necesidades y características de los suelos mexicanos.

VII.- REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- Adachi, T. 1973. STUDIES ON THE HUMUS OF VOLCANIC ASH SOILS-REGIONAL DIFFERENCES OF HUMUS COMPOSITION IN VOLCANIC ASH SOILS IN JAPAN. Bull. Nat. Inst. Agr. Sci. Japan B24: 127-246.
- Aeppli, H., y E. Schonnals. 1975. LOS SUELOS EN LA CUENCA DE PUEBLA-TLAXCALA. INVESTIGACIONES ACERCA DE SU FORMACION Y CLASIFICACION. Fundación Alemana para la Investigación Científica, México. (Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala 8).
- Aguilar, A. G. 1987. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO, pp. 93-107. En: A. Aguilar, J. D. Etchevers y J. Z. Castellanos (ed). Análisis Químico Para Evaluar La Fertilidad del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. (Publicación Especial No. 1).
- Aguilera, N. 1949. ESTUDIO DE ARCILLAS Y ALGUNOS SUELOS DE MEXICO CON EL MICROSCOPIO ELECTRONICO. Instituto Politécnico Nacional, Escuela de Ciencias Biológicas, México, D. F. (Tesis de Licenciatura).
- Aguilera, N. 1961. GENESIS Y CLASIFICACION DE ALGUNOS SUELOS DE LA MESETA TARASCA, MICHOACAN, MEXICO. Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México. (Folleto Técnico No. 1).
- Aguilera, N. 1963. ALGUNAS CONSIDERACIONES, CARACTERISTICAS, GENESIS Y CLASIFICACION DE SUELOS DE ANDO, pp. 233-247. En: Memorias del Primer Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Chapingo, México.
- Aguilera, N. 1965. SUELOS DE ANDO: GENESIS, MORFOLOGIA Y CLASIFICACION. Serie de Investigación No. 6, Colegio de Postgraduados de Chapingo, México.
- Aguilera, N. 1969. DISTRIBUCION GEOGRAFICA Y CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS DE MEXICO, pp A.6.1.-A.6.10. En: Primer Panel sobre Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas de América Latina. IICA, Turrialba, Costa Rica.
- Aguilera, N. 1989. TRATADO DE EDAFOLOGIA DE MEXICO, TOMO I. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Aguilera, N., et al. 1970. SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS Y SUS RELACIONES CON LOS VERTISOLES. En: Memorias de la Rev. Latinoamericana de Fitotecnia. VIII Reunión Latinoamericana de Fitotecnia, Bogotá, Colombia. pp. 122-137.
- Aguilera, N., y R. Hernández. 1953. ARCILLAS DEL VALLE DE MEXICO. ESTUDIO MORFOLOGICO EN EL MICROSCOPIO ELECTRONICO. En: Memoria del Congreso Científico Mexicano. UNAM, México. pp. 475-478.
- Aguilera, N., y B. Inohuye. 1961. ESTUDIOS FISICOQUIMICOS DE LOS COLOIDES ARCILLOSOS DE ALGUNOS SUELOS DEL SURESTE DE MEXICO. Pub. Cerámicas. Soc. Cerám. Mex. 1(2): 91-104.
- Aleixandre, T. 1960. ESTUDIO DE LAS FRACCIONES ARENA Y ARCILLA DE SUELOS ESPAÑOLES DE ORIGEN VOLCANICO. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Complutense de Madrid, España. (Tesis de Doctorado).
- Aleixandre, T., y A. Pinilla. 1968. ALGUNAS MODIFICACIONES EN LAS TECNICAS APLICADAS AL ESTUDIO MINERALOGICO DE LAS FRACCIONES GRUESAS O ARENAS. An. Edafología y Agrob. 27: 564-567.
- Alvarez, V. H. 1982. EFECTO DE LOS FACTORES CALIDAD, INTENSIDAD Y CALIDAD AMORTIGUADORA DE FOSFATO EN LA EVALUACION DE FOSFORO DISPONIBLE DE SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS DE LA MESETA TARASCA, EDO. DE MICHOACAN. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. (Tesis de Doctorado).

- Amano, Y. 1983. ANDISOL PROPOSAL AND JAPANESE VOLCANIC ASH SOILS-CRITERIA FOR CHEMICAL PROPERTIES, pp. 187-204. En: N. Yoshinaga (ed.), Volcanic ash soils-genesis, properties, classification. Hakuyusha, Tokyo.
- Aomine, S. 1972. NITROGEN FERTILITY AND HUMIC MATTER OF CHILEAN ANDOSOLS. *Soil Sci. Plant Nutr.* 18: 105-113.
- Baham, J., y O. H. Simonson. 1985. CLASSIFICATION OF SOIL WITH ANDIC PROPERTIES FROM THE OREGON COAST. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 777-780.
- Bascomb, C. L. 1968. DISTRIBUTION OF PYROPHOSPHATE-EXTRACTABLE IRON AND ORGANIC CARBON IN SOILS OF VARIOUS GROUPS. *J. Soil Sci.* 19: 251-268.
- Baus, P. 1980. EFECTO DE LA FERTILIZACION ORGANICA E INORGANICA DEL FOSFORO EN UN SUELO DE ANDO. Colegio de Postgraduados, Chapigo, México. (Tesis de Maestría).
- Baver, L. D. 1956. SOIL PHYSICS, 3a. ed. Wiley New York.
- Besoain, E. 1969. IMOGOLITE IN VOLCANIC SOILS OF CHILE. *Geoderma* 2: 151-169.
- Beutelspacher, H., y H. W. Van der Marel. 1968. ATLAS OF ELECTRON MICROSCOPY OF CLAY AND THEIR ADMIXTURES. Elsevier Publishing Company. Amsterdam.
- Bielders, C. L., et al. 1990. PARTICLE DENSITY OF VOLCANIC SOILS AS MEASURED WITH A GAS PYCNOMETER. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 822-826.
- Bierkeland, W. P. 1974. PEDOLOGY WEATHERING AND GEOMORPHOLOGICAL RESEARCH. Oxford University Press.
- Black, C. A. 1975. RELACIONES SUELO-PLANTA. Tomo II. Editorial Hemisferio Sur, Argentina.
- Blakemore, L. C., et al. 1977. SOIL BUREAU LABORATORY METHODS: METHODS FOR CHEMICAL ANALYSIS OF SOILS. New Zealand Soil Bureau Scientific Report.
- Buol, S. W., F. D. Hole y R. J. McCracken. 1981. GENESIS Y CLASIFICACION DE SUELOS. Primera edición en español, traducción al español por A. Contin. Editorial Trillas, México.
- Brindley, G. W., y G. Brown. (ed). 1980. MINERALOGICAL SOCIETY MONOGRAPH No. 5: CRYSTAL STRUCTURES OF CLAY MINERALS AND THEIR X-RAY IDENTIFICATION. Mineralogical Society. London.
- Brindley, G. W. y G. Pedro. 1970. REPORT OF THE AIPEA NOMENCLATURE COMMITTEE. *Assoc. Int. Etud. Argiles (AIPEA) Newsletter* 4: 3-4.
- Brydon, J. E., y S. Shimoda. 1972. ALLOPHANE AND OTHER AMORPHOUS CONSTITUENTS IN PODZOL FROM NOVA SCOTIA. *Can. J. Soil Sci.* 52: 465-475.
- Brown, G. 1955. REPORT OF THE CLAY MINERALS GROUP SUB-COMMITEE ON NOMENCLATURE OF CLAYS MINERALS. *Clay Miner. Bull.* 2: 294-302.
- Bunn, C. W. 1961. CHEMICAL CRYSTALLOGRAPHY. Clarendon Press, Oxford.
- Cajuste, L. 1979. ADSORCION DE FOSFORO EN ALGUNOS SUELOS DE ORIGEN VOLCANICO EN MEXICO Y SU RELACION CON CIERTOS COMPONENTES DE SUELOS. *Agrociencia, México.* 36: 137-144.
- Calderón, E., et al. 1983a. ESTUDIO PRELIMINAR DE FERTILIZACION EN FRIJOL DE TEMPORAL EN LA COMUNIDAD DE AMATLAN, MUNICIPIO DE ZOQUIAPAN, PUEBLA. Resúmenes del XVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. pp. 162.
- Calderón, E., et al. 1983b. ESTUDIO PRELIMINAR DE FERTILIZACION EN MAIZ DE TEMPORAL EN LA COMUNIDAD DE AMATLAN, MUNICIPIO DE

- ZOQUIAPAN, PUEBLA. Resúmenes del XVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. pp. 163.
- Calderón, E., *et al.* 1984. RESPUESTA A LA FERTILIZACION QUIMICA DEL MAIZ V-524 EN LA ZONA BAJA DEL PLAN ZACAPOAXTLA, PUE. Resúmenes del XVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. pp. 87.
- Castañeda, J. M. 1987. EVALUACION DE LOS RECURSOS AGROHIDRAULICOS DE LA SIERRA NOR-ORIENTE DEL ESTADO DE PUEBLA. Escuela de Ingenieria Civil y Topografía, Universidad Autónoma de Puebla. (Tesis de Licenciatura).
- Castillo, R. 1975. EMPLEO DE PARAMETROS AGRONOMICOS Y ALGUNAS CARACTERISTICAS ECOLOGICAS EN EL ESTUDIO DEL PROBLEMA NUTRICIONAL DE LOS SUELOS DE LA SIERRA TARASCA, ESTADO DE MICHOACAN. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. (Tesis de Maestría).
- Cavallaro, N., J. D. Etchevers y D. García. 1984. THE NATURE OF THE VOLCANIC MATERIAL FROM THE CHICHONAL VOLCANO (MEXICO) AND ITS EFFECT ON AGRICULTURAL PRODUCTIONS. Panel Internacional de Suelos Volcánicos, Tenerife, España.
- Cervantes, L. G. 1965. GENESIS Y CLASIFICACION DE ALGUNOS SUELOS DE LA MESETA TARASCA, ESTADO DE MICHOACAN. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. (Tesis de Maestría).
- Chapa, J. R. 1987. DINAMICA DEL SISTEMA ESTRUCTURAL DE UN ANDOSOL MOLICO DEL ESTADO DE MICHOACAN, BAJO TRES SISTEMAS DE LABOREO. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. (Tesis de Maestría).
- Chen, Y., *et al.* 1977. INFORMATION PROVIDED ON HUMIC SUBSTANCES BY E_4/E_6 RATIOS. Soil Sci. Soc. Am. J. 41: 352-358.
- CIMMYT. 1969. THE PUEBLA PROJECT, 1967-1969. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, El Batán, México.
- CIMMYT. 1974. THE PUEBLA PROJECT, SEVEN YEARS OF EXPERIENCE. 1967-1973. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, El Batán, México.
- Claridge, G. G. C. 1981. MINERALOGY OF THE SOILS OF THE KINGDOM OF TONGA, pp 176-177. En: Soils with Variable Charge, Programme and Abstracts.
- Colmet-Daage, F. 1969. NATURE OF THE CLAY OF SOME VOLCANIC ASH SOILS OF THE ANTILLES, ECUADOR Y NICARAGUA, pp. B.2.1-B.2.11. En: Primer Panel sobre Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas de América Latina. IICA, Turrialba, Costa Rica.
- Colmet-Daage, F., *et al.* 1967. CARACTERISTIQUES DE QUELQUES SOILS D'EQUATER DERIVES DE CENDRES VOLCANIQUES. II. CONDITIONS DE FORMATION ET D'EVOLUTION. Cah. ORSTOM, Série Pédologie, 5: 353-392.
- Colmet-Daage, F., *et al.* 1970. CARACTERISTIQUES DE QUELQUES SOLS DERIVES DE CENDRES VOLCANIQUES DE LA COTE PACIFIQUE DU NICARAGUA. Cah. ORSTOM, Série Pédologie, 8: 113-172.
- Cortes, A. 1966. ESTUDIO PEDOLOGICO DE LA ZONA ORIENTE DEL IZTACCIHUATL, EN SUELOS DERIVADOS DE ROCAS Y CENIZAS VOLCANICAS ANDESITICAS. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. (Tesis de Maestría).
- Cortes, J. I. 1975. DISEÑO DE RECOMENDACIONES PRACTICAS DE FERTILIZACION Y DE DENSIDAD DE POBLACION EN MAIZ DE TEMPORAL

- PARA VARIAS CONDICIONES DE PRODUCCION EN LA SIERRA TARASCA. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. (Tesis de Maestría).
- Cradwick, P. D. G., et al. 1972. IMOGOLITE, A HIDRATED ALUMINUM SILICATE OF TUBULAR STRUCTURE. Nature Phys. Sci. 240: 187-189.
- Critchfield, W. B., y E. L. Little. 1966. GEOGRAPHIC DISTRIBUTION OF THE PINES OF THE WORLD. U. S. Department of Agriculture, Forest Service. Misc. Publ. 991. Washington, D. C. 97 pp.
- Cruz, J. et al. 1992. EVALUACION DE METODOS ANALITICOS DE FOSFORO EN SUELOS DE LA REGION DE TEZIUTLAN, PUEBLA. Memoria del XXV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C., pp. 74.pp. 74.
- De Jesús, A. 1992. USO POTENCIAL DE LOS SUELOS DE LA REGION ZAUTLA-TENEXTATILOYAN. Escuela de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Puebla, México. (Tesis de Licenciatura).
- Dewis, J., y F. Freitas. 1984. METODOS FISICOS Y QUIMICOS DE ANALISIS DE SUELOS Y AGUAS. FAO/UNESCO, Boletín de Suelos de la FAO No. 10.
- Dirección de Agrología. 1972. INSTRUCTIVO PARA LA DETERMINACION DEL CLIMA DE ACUERDO AL SEGUNDO SISTEMA DE THORNTHWAITE. Secretaría de Recursos Hidráulicos, México, D. F.
- Domínguez, V. I., y N. Aguilera. Sin fecha. METODOLOGIA DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE SUELOS. Facultad de Ciencias, U.N.A.M., México, D.F.
- Duchaufour, P. 1978. MANUAL DE EDAFOLOGIA. Editorial Toray-Masson S.A., España.
- Dudal, R. 1976. INVENTORY OF THE MAJOR SOILS OF THE WORLD WITH SPECIAL REFERENCE TO MINERAL STRESS HAZARDS. En: M. J. Wright (ed), Plant Adaptation to Mineral Stress in Problem Soils. Proceedings Workshop, Cornell Univ. Agr. Exp. Stat., Ithaca, N. Y., pp. 3-14.
- Egawa, T. 1977. PROPERTIES OF SOILS DERIVED FROM VOLCANIC ASH, pp. 10-63. En: Y. Ishizuca y C. A. Black (ed). Soils derived from volcanic ash in Japan. Centro Internacional para el Mejoramiento del Maíz y Trigo (CIMMYT), México.
- Etchevers, J. D. 1985. UN CUARTO DE SIGLO DE INVESTIGACION EN LOS SUELOS VOLCANICOS DE MEXICO. Serie Cuadernos de Edafología No.1, Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Etchevers, J. D. 1977. DETERMINACION DE NITROGENO EN SUELOS, pp. 45-84. En: A. Aguilar, J. D. Etchevers y J. Z. Castellanos (ed), Análisis Químico para Evaluar la Fertilidad del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. (Publicación Especial No. 1).
- Etchevers, J. D., L. Cruz y C.M.I. Hidalgo. 1986a. CRITERIOS ANALITICOS PARA LA CLASIFICACION DEL NUEVO ORDEN DE ANDISOL. Terra 4: 10-15.
- Etchevers, J. D., et al. 1985. LEVANTAMIENTO NUTRICIONAL DEL MAIZ EN LA SIERRA TARASCA DE MICHOACAN. Agrociencia 60: 143-152.
- Etchevers, J. D., K. Oleschko y C. Hidalgo. 1986b. COMPLEX NATURE OF THE MECHANICAL ELEMENTS IN ANDOSOLS FROM MEXICO. En: Transactions XIII Congress of the International Society of Soil Science. Vol. 2: 55. Hamburgo, Alemania.
- Etchevers, J. D., A. Trinidad y A. Pérez. 1982. ALGUNAS CARACTERISTICAS

- QUIMICAS RELACIONADAS CON LA FERTILIDAD DE SUELOS DE LA SIERRA TARASCA, pp. 67. En: Resúmenes del XV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C., Chapingo. Méx.
- FAO. 1974. SOIL MAP OF THE WORLD: VOL. I. LEGEND. UNESCO, Paris.
- FAO. 1976. MAPA MUNDIAL DE SUELOS: VOL. III. MEXICO Y AMERICA CENTRAL. UNESCO. París, Francia.
- FAO. 1977. GUIA PARA LA DESCRIPCION DE PERFILES DE SUELO. Servicio de Fomento y Conservación de Recursos de Suelos, Dirección de Fomento de Tierras y Aguas, UNESCO, Roma. 69 pp.
- FAO. 1988. SOIL MAP OF THE WORLD, 1 : 5 000 000, REVISED LEGEND. UNESCO, Rome.
- FAO. 1989. MAPA MUNDIAL DE SUELOS, LEYENDA REVISADA. UNESCO, Roma. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos 60.
- Farmer, V. C. 1982. SIGNIFICANCE OF THE PRESENCE OF ALLOPHANE AND IMOGOLITE IN PODZOL B HORIZONS FOR PODZOLIZATION MECHANISMS: A REVIEW. Soil Sci. Plant Nutr. 28: 571-578.
- Farmer, V. C., y A. R. Farser. 1979. SYNTHETIC IMOGOLITE, pp. 547-553. En: M. M. Mortland y V. C. Farmer (ed). International Clay Conference. Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam.
- Farmer, V. C., A. R. Fraser y J. M. Tait. 1977. SYNTHESIS OF IMOGOLITE: A TUBULAR ALUMINIUM SILICATE POLYMER. J. Chem. Soc. Chem. Comm. 13: 462-463.
- Farmer, V. C., J. D. Russell, y M. L. Berrow. 1980. IMOGOLITE AND PROTO-IMOGOLITE ALLOPHANE IN SPODIC HORIZONS: EVIDENCE FOR A MOBILE ALUMINIUM SILICATE COMPLEX IN PODZOL. J. Soil Sci. 31: 673-684.
- Fassbender, H. W., y E. Bornemisza. 1987. QUIMICA DE SUELOS: CON ENFASIS EN SUELOS DE AMERICA LATINA. Editorial IICA, San José, Costa Rica. 420 pp.
- Fieldes, M. 1966. THE NATURE OF ALLOPHANE IN SOILS: PART. 1, SIGNIFICANCE OF STRUCTURAL RANDOMNESS IN PEDOGENESIS. N. Z. J. Sci. 9: 599-607.
- Fieldes, M., y G. G. C. Claridge. 1975. ALLOPHANE, pp. 351-393. En: J. E. Gieseking (ed). Soil Components, Vol. 2, Inorganic Components. Springer-Verlag, New York.
- Fieldes, M., y K. W. Perrott. 1966. THE NATURE OF ALLOPHANE IN SOILS, PART. 3: RAPID FIELD AND LABORATORY TEST FOR ALLOPHANE. N. Z. J. Sci. 9: 623-629.
- Fieldes, M., y R. K. Schofield. 1960. MECHANISMS OF ION ADSORPTION BY INORGANIC SOIL COLLOIDS. N. Z. J. Sci. 3: 563-579.
- FitzPatrick, E. A. 1984 SUELOS, SU FORMACION, CLASIFICACION Y DISTRIBUCION. Primera edición en español, traducción al español por A. Marino. Editorial C. E. C. S. A., México.
- Flach, K. W. 1965. GENESIS AND MORPHOLOGY OF ASH-DERIVED SOILS IN THE UNITED STATES OF AMERICA. FAO World Soil Res. Rep. 14: 61-70.
- Flach, K. W., et al. 1980. GENESIS AND CLASSIFICATION OF ANDEPTS AND SPODOSOLS, pp. 441-426. En: K. G. Theng (ed). Soils with variable charge, New Zealand. Society of Soil Sci. Lower Hutt, N. Z.
- Forsythe, W., et al. 1969. PROBLEMS RELATED TO THE PHYSICAL PROPERTIES OF VOLCANIC ASH SOILS, pp. B3. En: Primer Panel sobre Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas de América Latina. IICA, Turrialba, Costa Rica.
- Forsythe, W. 1985. FISICA DE SUELOS: MANUAL DE LABORATORIO. Editorial

- IICA, San José, Costa Rica. 212 pp.
- Furkert, R. J., y M. Fieldes. 1968. ALLOPHANE IN NEW ZEALAND SOILS; Int. Congr. Soil Sci., Trans. 9th, Adelaide, 3. Aust., 3: 133-141.
- Gandoy, W. 1982. PRACTICAS DE FISICA DE SUELOS. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- García, E. 1988. MODIFICACIONES AL SISTEMA DE CLASIFICACION CLIMATICA DE KÖPPEN. 217 pp. (Edición Especial Realizada por la Autora).
- García, N. E. 1970. ESTUDIOS EDAFOLOGICOS DE SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS DEL POPOCATEPETL, ESTADO DE PUEBLA. Facultad de Ciencias, UNAM. (Tesis de Licenciatura).
- García, N. E. 1984. ESTUDIO BIOQUIMICO, MINERALOGICO Y FISICOQUIMICO DE DIVERSOS ANDOSOLES DE MEXICO. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Complutense de Madrid, España. (Tesis de Doctorado).
- Gavande, A. S. 1972. FISICA DE SUELOS. Cuarta reimpression en español, Editorial Limusa, México, D.F.
- Gebhardt, H., y N. T. Coleman. 1974a. ANION ADSORPTION BY ALLOPHANIC TROPICAL SOILS I: CHLORIDE ADSORPTION. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 38: 255-259.
- Gebhardt, H., y N. T. Coleman. 1974b. ANION ADSORPTION BY ALLOPHANIC TROPICAL SOILS II: SULFATE ADSORPTION. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 38: 259-262.
- Gebhardt, H., y N. T. Coleman. 1974c. ANION ADSORPTION BY ALLOPHANIC TROPICAL SOILS III: PHOSPHATE ADSORPTION. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 38: 263-265.
- Geissert, D., et al. 1987. LA MORFOEDAFOLOGIA EN LA ORDENACION DE LOS PAISAJES RURALES. INIREB y ORSTOM. 83 p.
- Gibbs, H. 1968. VOLCANIC ASH SOILS IN NEW ZEALAND. New Zealand Department of Scientific and Industrial Research. Information Series 65.
- Gobierno del Estado de Puebla, et al. 1988. LOS MUNICIPIOS DE PUEBLA. Colección: Enciclopedia de los Municipios de México.
- Gojberg, G. y A. Aguilar. 1987. pH DEL SUELO Y NECESIDADES DE CAL, pp. 17-44. En: A. Aguilar, J. D. Etchevers y J. Z. Castellanos (ed), Análisis Químico para Evaluar la Fertilidad del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. (Publicación Especial No. 1).
- González-Batista, A., J. M. Hernández-Moreno, E. Fernández-Caldas, y A. J. Herbillon. 1982. INFLUENCE OF SILICA CONTENT ON THE SURFACE CHARGE CHARACTERISTICS OF ALLOPHANIC CLAYS. Clays Clay Min. 30: 103-110.
- Götz, J., y R. Masson. 1971. THIMETHYLSILYL DERIVATES FOR THE STUDY OF SILICATE STRUCTURES. PART 2: ORTHOSILICATE, PYROSILICATE, AND RING STRUCTURES. J. Chem. Soc. Abstr. 686-688.
- Gradwel, M. W. 1974. THE AVAILABLE-WATER CAPACITIES OF SOME SOUTHERN AND CENTRAL SOILS OF NEW ZEALAND. N. Z. J. Agr. Res. 17: 465-478.
- Gradwel, M. W. 1976. AVAILABLE-WATER CAPACITIES OF SOME INTRAZONAL SOILS OF NEW ZEALAND. N. Z. J. Agr. Res. 19: 69-78.
- Grim, R. E. 1968. CLAY MINERALOGY. McGraw-Hill Book Co., New York.
- Gruner, J. W. 1935. THE STRUCTURAL RELATIONSHIP OF NONTRONITE AND MONTMORILLONITE. Am. Mineral. 20: 475-483.
- Guajardo, R. 1967. CARACTERIZACION DE ALGUNOS SUELOS DE ANDO DE LA SIERRA TARASCA. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. (Tesis de Maestría).

- Gutiérrez, E. 1980. EFECTO DE LA APLICACION DE ABONOS ORGANICOS E INORGANICOS SOBRE LAS PROPIEDADES QUIMICAS Y FISICAS DE UN SUELO DE ANDO. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. (Tesis de Maestría).
- Hernández, T. 1984. RELACIONES ENTRE ALGUNAS PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DE LOS SUELOS DE LA COMUNIDAD DE AMATLAN, MUNICIPIO DE ZOQUIAPAN, PUEBLA. (Tesis de Licenciatura).
- Hernández, V., y M. T. Pardo. 1982. ADSORPTION OF PHOSPHATE BY VOLCANIC ASH SOILS. *Agrochimica*. 26: 487-494.
- Hidalgo, C. M. I., *et al.* 1986. DETERMINACION DE LA DENSIDAD APARENTE EN SUELOS DE ANDO. *Terra* 4: 3-9.
- Hidalgo, C. M. I. 1988. CARACTERIZACION Y DISPERSION EN SUELOS DE ANDO. Escuela de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Puebla. (Tesis de Licenciatura).
- Higashi, T., y K. Wada. 1977. SIZE FRACTIONATION, DISSOLUTION ANALYSIS, AND INFRARED SPECTROSCOPY OF HUMUS COMPLEXES IN ANDO SOILS. *J. Soil Sci.* 28: 653-663.
- Iimura, K. 1966. ACIDIC PROPERTIES AND CATION EXCHANGE OF ALLOPHANE AND VOLCANIC ASH SOILS. *Bull. Nat. Inst. Agric. Sci. Japan* B17: 101-156.
- INEGI. 1981. CARTA FISIOGRAFICA MEXICO, ESCALA 1:1'000,000.
- INEGI. 1982. GUIA PARA LA DESCRIPCION DE PERFILES DE SUELO. Departamento de Edafología. (Guía de Campo).
- INEGI. 1984a. CARTA GEOLOGICA E14-3, ESCALA 1:250,000.
- INEGI. 1984b. CARTA GEOLOGICA F14-12, ESCALA 1:250,000.
- INEGI. 1984c. CARTA EDAFOLOGICA E14-3, ESCALA 1:250,000.
- INEGI. 1984d. CARTA EDAFOLOGICA F14-12, ESCALA 1:250,000.
- INEGI. 1984e. CARTA TOPOGRAFICA E14-3, ESCALA 1:250,000.
- INEGI. 1987. SINTESIS GEOGRAFICA, NOMENCLATOR Y ANEXO CARTOGRAFICO DEL ESTADO DE PUEBLA.
- Jackson, M. L. 1965. SOIL CHEMICAL ANALYSIS, ADVANCED COURSE. (Segunda edición). Dep. of Soils Sci., Univ. Wis., Madison, Wisconsin.
- Kato, Y. 1970. A MODEL FOR AMORPHOUS MATTERS OF HUMIC SOILS IN JAPAN - A PRELIMINARY REPORT. *Pedologist* 14: 16-21.
- Klink, H. K. 1973. LA DIVISION DE LA VEGETACION NATURAL EN LA REGION PUEBLA-TLAXCALA. Fundación Alemana para la Investigación Científica, México. (Suplemento Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala 7: 25-30).
- Kilmer, K., y L. T. Alexander. 1949. METHOD OF MAKING MECHANICAL ANALYSIS OF SOILS. *Soil Sci.* 68: 15-24.
- Kirkman, J. H. 1977. POSSIBLE STRUCTURE OF HALLOYSITE DISKS AND CYLINDERS OBSERVED IN SOME NEW ZEALAND RHYOLITIC TEPHRAS. *Clay Min.* 12: 199-216.
- Kitagawa, Y. 1977. DETERMINATION OF ALLOPHANE AND AMORPHOUS INORGANIC MATTER IN CLAY FRACTION OF SOILS II. SOIL CLAY FRACTIONS. *Soil Sci. Plant Nutr.* 23: 21-31.
- Kitagawa, Y. 1976. SPECIFIC GRAVITY OF ALLOPHANE AND VOLCANIC ASH SOIL DETERMINED WITH A PYCNOMETER. *Soil Sci. Plant Nutr.* 22: 199-202.
- Kobo, K., y Y. Oba. 1974a. GENESIS AND CHARACTERISTICS OF VOLCANIC ASH SOIL IN JAPAN. Pt. 7. *J. Sci. Soil Man. Japan* 45: 227-233.
- Kobo, K., y Y. Oba. 1974b. GENESIS AND CHARACTERISTICS OF VOLCANIC ASH SOIL IN JAPAN. Pt. 8. *J. Sci. Soil Man. Japan* 45: 293-297.
- Kubota, T. 1972. AGGREGATE FORMATION OF ALLOPHANE SOILS: EFFECT OF DRYING ON THE DISPERSION OF THE SOILS. *Soil Sci. Plant Nutr.* 18: 79-87.

- Kubota, T. 1974. ROLE OF HYDROXYALUMINIUM IONS IN THE INTERPARTICLE BONDING OF LAYER ALUMINOSILICATE CLAYS. *Soil Sci. Plant Nutr.* 21: 1-12.
- Kubota, T. 1976. SURFACE CHEMICAL PROPERTIES OF VOLCANIC ASH SOIL-ESPECIALLY ON PHENOMENON AND MECHANISMS OF IRREVERSIBLE AGGREGATION OF THE SOIL BY DRYING. *Bull. Nat. Inst. Agr. Sci. Japan B28*: 1-74.
- Kuroboku Soken. 1983. INTERNATIONAL CORRELATION OF KUROBOKU SOILS (VOLCANIC ASH SOILS) AND RELATED SOILS. Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka.
- Laird, R. J. 1974. 25 AÑOS DE INVESTIGACION AGRICOLA DE LA SIERRA TARASCA EN EL ESTADO DE MICHOACAN, pp. 149-171. En: A. Trinidad y O. Miranda (Eds). Seminario sobre suelos de ando y sus implicaciones en el desarrollo agrícola de la Sierra Tarasca, 2a. Edición. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Lara, J. D., et al. 1989. LEVANTAMIENTO FISIOGRAFICO DE LA ZONA DE OYAMELES, SIERRA NORTE DEL ESTADO DE PUEBLA. Resúmenes del XXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. pp. 17.
- Lara, J. D. et al. 1992. USO POTENCIAL DE LOS SUELOS DE LA REGION ZAUTLA-TENEXTATILOYAN, NORESTE DEL ESTADO DE PUEBLA. Memoria del XXV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. pp. 378.
- Lavin, S., y N. Aguilera. 1972. FRACCIONAMIENTO DE LA MATERIA ORGANICA Y SEPARACION DE ACIDOS FULVICOS, AZUCARES, AMINOACIDOS Y NUCLEOTICOS EN SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS DE ANDO. En: Segundo Panel sobre Suelos Volcánicos de América. Universidad de Nariño, Pastos, Colombia.
- Leamy, M. L., et al. 1980. THE MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF ANDISOL, pp. 17-34. En: B. K. G. Theng (ed). Soil with variable charge. New Zealand. Soc. of Soil Sci. Lower Hutt, N. Z.
- Leamy, M. L., et al. 1984. ICOMAND. CIRCULAR LETTER No. 6. New Zealand. Soil Bureau. DSIR, Private Bag. Lower Hut.
- Leamy, M. L., et al. 1987. ICOMAND. CIRCULAR LETTER No. 9. New Zealand. Soil Bureau. DSIR, Private Bag. Lower Hut.
- Leamy, M. L., et al. 1988. ICOMAND. CIRCULAR LETTER No. 10. New Zealand. Soil Bureau. DSIR, Private Bag. Lower Hut.
- León, R., y A. Aguilar. 1987. MATERIA ORGANICA, pp. 85-92. En: A. Aguilar, J. D. Etchevers y J. Z. Castellanos (ed), Análisis Químico para Evaluar la Fertilidad del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. (Publicación Especial No. 1).
- Lindqvist, B. y S. Jansson. 1962. ON THE CRYSTAL CHEMISTRY OF HISINGERITE. *Am. Mineral.* 47: 1356-1362.
- Liverovskii, Yu A. 1971. VOLCANIC ASH SOILS OF KAMCHATKA. *Pochvovedenie*, No. 6: 3-11.
- Loock, E. E. M. 1950. THE PINES OF MEXICO AND BRITISH HONDURAS. Union of South Africa Department of forestry Bull. 35. Pretoria. 244 pp.
- Lozano, B., M. A. Valera y S. D. Orecchia. 1983. RELACION ENTRE LAS PROPIEDADES HIDROFISICAS Y LA CANTIDAD DE NUTRIENTES DISPONIBLES EN LOS SUELOS DE LA ZONA BAJA DEL PLAN ZACAPOAXTLA, Resúmenes del XVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. pp. 43.
- Luciano, F. 1974. ESTUDIO DE LAS RELACIONES AGUA SUELO EN SUELOS DE CENIZAS VOLCANICAS DE LA PARTE CENTRAL DE MEXICO. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. (Tesis de Maestría).

- Maeda, T., et al. 1977. PHYSICAL PROPERTIES OF ALLOPHANE SOILS. Adv. Agron. 29: 229-264.
- Martini, J. A. 1969. GEOGRAPHIC DISTRIBUTION AND CHARACTERISTICS OF VOLCANIC ASH SOILS IN CENTRAL AMERICA, pp A.5. En: Primer Panel sobre Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas de América Latina. IICA, Turrialba, Costa Rica.
- McConaghy, S. 1969. GEOGRAPHIC DISTRIBUTION AND CHARACTERISTICS OF VOLCANIC ASH SOILS IN THE ANTILLES, PP A.4. En: Primer Panel sobre Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas de América Latina. IICA, Turrialba, Costa Rica.
- McKeague, J. A., y J. H. Day. 1966. DITHIONITE- AND OXALATE-EXTRACTABLE Fe AND Al AS AIDS IN DIFFERENTIATING VARIOUS CLASSES OF SOILS. Can. J. Soil Sci. 46: 13-22.
- Meurisse, R. T. 1985. PROPERTIES OF ANDISOLS IMPORTANT TO FORESTRY, pp. 53-67. En: F. H. Beiproth, W. Luzio, F. Maldonado y H. Eswaran (ed). Proceedings of the Sixth International Soil Classification Workshop, Chile and Ecuador. Part 1; Papers. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, Santiago, Chile.
- Miehlich, G. 1980. LOS SUELOS DE LA SIERRA NEVADA DE MEXICO. Fundación Alemana para la Investigación Científica, México. (Suplemento Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala 7).
- Miramontes, B. 1972. EFECTO DEL CARBONATO DE CALCIO Y SILICATO DE CALCIO SOBRE EL RENDIMIENTO DE SORGO Y ALGUNAS PROPIEDADES QUIMICAS EN TRES SUELOS DE MEXICO. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. (Tesis de Maestría).
- Misono, S. 1964. SOIL MOISTURE, pp. 75-79. En: Volcanic ash soils in Japan. Ministry of Agriculture and Forestry Japanese Government, Tokyo.
- Mitchell, B. D., et al. 1964. AMORPHOUS INORGANIC MATERIALS IN SOILS. Adv. Agron. 16: 327-383.
- Mitsuko, M. L. 1971. ESTUDIO DE SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS DEL NEVADO DE TOLUCA, ESTADO DE MEXICO. Facultad de Ciencias, UNAM, México, D. F. (Tesis de Licenciatura).
- Mizota, C., y K. Wada. 1980. IMPLICATIONS OF CLAY MINERALOGY TO THE WEATHERING AND CHEMISTRY OF Ap HORIZONS OF ANDO SOILS. Geoderma 23: 49-63.
- Mizota, C., M. A. Carrasco y K. Wada. 1982. CLAY MINERALOGY AND SOME CHEMICAL PROPERTIES OF Ap HORIZONS OF ANDO SOILS USED FOR PADDY RICE IN JAPAN. Geoderma 27: 225-237.
- Moncada, J. 1960. ESTUDIO FISICO-QUIMICO DE ALGUNOS SUELOS DE ORIGEN VOLCANICO DEL ESTADO DE MICHOACAN, MEXICO. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. (Tesis de Maestría).
- Morales, S. 1987. FERTILIZACION QUIMICA EN CULTIVO DE MAIZ HIBRIDO 503 Y VARIEDAD 524, EN LA COMUNIDAD DE AMATLAN, MUNICIPIO DE ZOQUIAPAN, PUEBLA. Escuela de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Puebla, México. (Tesis de Licenciatura).
- Munsell. 1954. SOIL COLOR CHARTS. Munsell Color Co. Inc. Mary Land. USA.
- Nagelschmidt, G. 1944. X-RAY DIFFRACTION EXPERIMENTS ON ILLITE AND BRAVAISITE. Min. Mag. 27: 59-61.
- Nakai, M., y N. Yoshinaga. 1980. FIBROUS GOETHITA IN SOME SOILS FROM JAPAN AND SCOTLAND. Geoderma 24: 143-158.
- Navarro, I. A., et al. 1967. PROBLEMAS DE FERTILIDAD DE ALGUNOS SUELOS DE LA SIERRA TARASCA. Agricultura Técnica en México. 12: 28-33.
- N. Z. Soil Bureau, 1968. SOILS OF NEW ZEALAND. PARTS 1, 2 AND 3. N.Z. Soil Bureau Bulletin 26.

- Ortiz, C. 1981. EVALUACION DE LA APTITUD DE LAS TIERRAS DE MEXICO PARA LA PRODUCCION DE MAIZ, FRIJOL Y SORGO BAJO CONDICIONES DE TEMPORAL. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Orbell, G. E., et al. 1981. SOME PROPERTIES OF A SEQUENCE OF ANDOSOLS UNDER DIFFERENT RAINFALL. pp. 167-168. En: Soils with Variable Charge, Programa y Resúmenes.
- Palmer, R. G., y F. R. Troeh. 1980. INTRODUCCION A LA CIENCIA DEL SUELO: MANUAL DE LABORATORIO. Primera edición en español, traducido al español por F. Márquez. G.T. Editor, S.A. México.
- Parfitt, R. L. 1977. AMORPHOUS MATERIAL IN SOME PAPUA NEW GUINEA SOILS; Soil Sci. Soc. Am. Proc. 36: 683-686.
- Parfitt, R. L. 1985. THE NATURE OF ANDIC AND VITRIC MATERIALS, pp. 21-37. En: F. H. Beinroth, W. Luzio, F. Maldonado y H. Eswaran (ed). Proceedings of the Sixth International Soil Classification Workshop, Chile and Ecuador. Part 1: Papers. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, Santiago, Chile.
- Parfitt, R. L., et al. 1977. ADSORPTION ON HYDROUS OXIDES II: OXALATE, BENZOATE AND PHOSPHATE ON GIBBSITE. J. Soil Sci. 28: 40-47.
- Parfitt, R. L., y T. Henmi. 1980. STRUCTURE OF SOME ALLOPHANES FROM NEW ZEALAND. Clays Clay Min. 28: 285-294.
- Peña, J. et al. 1971a. RESPUESTA DEL MAIZ A LA DOSIS Y FORMA DE APLICAR FERTILIZANTE FOSFORADO EN LOS SUELOS DE LA SIERRA TARASCA. Memorias del V Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Tomo II, pp. 251-259.
- Peña, J., et al. 1971b. ESTUDIOS PARA CORREGIR EL PROBLEMA NUTRICIONAL DE LOS SUELOS DE LA SIERRA TARASCA. Memorias del V Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Tomo II, pp. 251-259.
- Peña, J., et al. 1971c. EFECTO E INTERACCIONES DE FACTORES N, P₂O₅, GALLINAZA, CARBONATO DE CALCIO Y SILICATO DE CALCIO EN SUELOS DE LA SIERRA TARASCA. Memorias del V Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Tomo II, pp. 271-276.
- Peregrina, M. P. 1986. VARIACION DE LAS PROPIEDADES FISICOQUIMICAS DE LA FRACCION COLOIDAL DEL SUELO A DIFERENTES TRATAMIENTOS DE EXTRACCION DE LA MATERIA ORGANICA. Escuela de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Puebla, México. (Tesis de Licenciatura).
- Pérez-Mateos, J. 1965. ANALISIS MINERALOGICO DE ARENAS: METODOS DE ESTUDIO. Patronato "Alonso de Herrera", Madrid. 265 pp.
- Pritchett, W. L. 1986. PROPERTIES AND MANAGEMENT OF FOREST SOILS. John Wiley and Sons, Inc.
- Plancarte, I. 1971. FOSFORO APLICADO AL SUELO Y AL FOLLAJE EN EL DESARROLLO DEL MAIZ, EN LOS SUELOS DE LA MESETA TARASCA BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO. Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México. (Tesis de Licenciatura).
- Ponce, R. 1978. METODOLOGIA PARA LA DEFINICION DE AGROHABITATS Y GENERACION DE RECOMENDACIONES DE PRODUCCION EN BASE A LA TECNOLOGIA AGRICOLA TRADICIONAL. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. (Tesis de Maestría).
- Puente, J. A. 1964. EFECTO DE ALGUNOS ACIDOS ORGANICOS SOBRE LA DISPONIBILIDAD DE FOSFORO EN UN SUELO DE LA SIERRA TARASCA. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. (Tesis de Maestría).

- Pullar, W.A. y K. S. Birrell. 1973. AGE AND DISTRIBUTION OF LATE QUATERNARY PYROCLASTIC AND ASSOCIATE COVER DEPOSITS OF CENTRAL NORTH ISLAND, NEW ZEALAND. N. Z. Soil Survey Reports 1, 2.
- Quantín, P. 1972. LES ANDOSOLS. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE DES CONNAISSANCES ACTUELLES. Cah. ORSTOM, Série Pédologie, 10: 273-301.
- Quantín, P. 1987. CURSO: MINERALOGIA DE LOS ANDOSOLS Y SUELOS DE ORIGEN VOLCANICO. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. (Apuntes xerografiados del curso).
- Rajan, S. S. 1975. MECHANISM OF PHOSPHATE ADSORPTION BY ALLOPHANIC CLAYS. New Zealand J. Sci, 18: 93-101.
- Rajan, S. S. S., y R. L. Fox. 1975. PHOSPHATE ADSORPTION BY SOILS II: REACTIONS IN TROPICAL ACID SOILS. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 39: 846-851.
- Ramos, H. 1972. ESTUDIO DEL ALOFANO Y SUS EFECTOS EN LA ACTIVIDAD METABOLICA DE LA FLORA MICROBIANA EN TRES SUELOS: VERTISOL, ANDOSOL Y RANKER ALPINO. Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México. (Tesis de Maestría).
- Rico, M. 1965. REPORT ON SOILS OF VOLCANIC ASH ORIGIN IN EL SALVADOR. En: World Soil Resources Report. 14. FAO/UNESCO. pp. 23-29.
- Romero, G. 1992. EFECTO DE LA FERTILIZACION NITROGENADA Y FOSFORICA SOBRE EL RENDIMIENTO DE MAIZ DE TEMPORAL EN LA REGION DE TEZIUTLAN, PUEBLA. Memoria del XXV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. pp. 276.
- Romero, G., et al. 1992. CORRELACION DE METODOS DE ANALISIS DE FOSFORO EN SUELOS DE LA REGION DE TEZIUTLAN, PUEBLA. Memoria del XXV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. pp. 73.
- Rose, C. W. 1969. AGRICULTURAL PHYSICS. Pergamon Press, Oxford, Inglaterra.
- Ross, C. S., y P. F. Kerr. 1934. HALLOYSITE AND ALLOPHANE. U.S. Geol. Surv. Prof. Pap. 185G: 135-148.
- Rzedowski, J. 1981. VEGETACION DE MEXICO. Editorial Limusa. México.
- Saigusa, M., et al. 1980. PLANT ROOT GROWTH IN ACID ANDOSOLS FROM NORTHEASTERN JAPAN. Soil Sci. 130: 242-250.
- Sánchez, S. 1980. ESTUDIOS EDAFOLOGICOS DE SUELOS CAFETALEROS EN LA ZONA VOLCANICA DEL MUNICIPIO DE HUEYTAMALCO, ESTADO DE PUEBLA. Facultad de Ciencias, UNAM, México. (Tesis de Licenciatura).
- Sasaki, T. (ed) 1974. DISTRIBUTION OF THE LATE QUATERNARY PYROCLASTIC DEPOSITS IN HOKKAIDO, JAPAN. Miscellaneous Publication Hokkaido Nat. Agr. Exp. Stat. No. 4.
- Saucedo, S. 1990. CARACTERIZACION FISICA DE LOS SUELOS VOLCANICOS DE LA REGION DE TLATLAUQUITEPEC, SIERRA NORTE DE PUEBLA. Escuela de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México. (Tesis de Licenciatura).
- Saucedo, S., J. D. Lara y M. A. Valera. 1989. CARACTERIZACION FISICA DE LOS SUELOS VOLCANICOS DE LA REGION DE TLATLAUQUITEPEC, SIERRA NORTE DEL ESTADO DE PUEBLA. Memoria del XXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Montecillos, México. pp. 28.
- Sherman, D., y L. D. Swindale. 1964. HAWAIIAN SOILS FROM VOLCANIC ASH, pp. 36-49. En: World soil resources reports 14. FAO/UNESCO.
- Shin, Y. H. 1965. VOLCANIC ASH SOILS OF KOREA. En: World Soil Resources Report. 14. FAO/UNESCO. pp. 50-52.
- Shoji. S. 1988. SEPARATION OF MELANIC AND FULVIC ANDISOLS. Soil Sci. Plant Nutr. 34(2): 303-306.

- Shoji, S., et al. 1982. CHEMISTRY AND CLAY MINERALOGY OF ANDO SOILS, BROWN FOREST SOILS, AND PODZOLIC SOILS FORMED FROM RECENT TOWADA ASHES, NORTHEASTERN JAPAN. Soil Sci. 133: 69-86.
- Shoji, S., et al. 1985. PROPERTIES OF NONALLOPHANIC ANDOSOLS FROM JAPAN. Soil Science V. 140, 4: 264-277.
- Shoji, S., y J. Masui. 1971. OPALINE SILICA OF RECENT VOLCANIC ASH SOILS IN JAPAN. J. Soil Sci. 126: 297-312.
- Shoji, S., y T. Ono. 1978. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES AND CLAY MINERALOGY OF ANDOSOLS FROM KITAKAMI, JAPAN. Soil Sci. 126: 297-312.
- Simón, M. 1991. DINAMICA MACRONUTRIMENTAL (N, P, K, Ca, Mg, S) DEL SUELO DURANTE EL DESARROLLO DEL CICLO AGRICOLA (1988-1989) DEL CULTIVO DE MAIZ EN LA REGION DE TEZIUTLAN, SIERRA NORTE DEL ESTADO DE PUEBLA. Escuela de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Puebla, México. (Tesis de Licenciatura).
- Simonson, R. W. 1979. ORIGIN OF THE NAME "ANDO SOILS". Geoderma, 22: 333-335.
- Simonson, R. W., y S. Rieger. 1967. SOILS OF THE ANDEPT SUBORDER IN ALASKA. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 31: 692-699
- Soil Conservation Service. 1984. PROCEDURES FOR COLLECTING SOIL SAMPLES AND METHODS OF ANALYSIS FOR SOIL SURVEY. Soil Survey Investigation Report. No. 1. USDA, Soil Conservation Service, Washington, D. C.
- Soil Survey Staff. 1975. SOIL TAXONOMY, A BASIC SYSTEM OF SOIL CLASSIFICATION FOR MAKING AND INTERPRETING SOIL SURVEYS, USDA, AGRIC HANBOOK. U. S. Govt. Printing Office Washington, D. C.
- Soil Survey Staff. 1987. KEYS TO SOIL TAXONOMY. SMSS, NY.
- Soil Survey Staff. 1990. KEYS TO SOIL TAXONOMY. SMSS, NY.
- Stewart, R. B., V. E. Neall, J. A. Pollok y J. K. Syers. 1977. PARENT MATERIAL STRATIGRAPHY OF AN EGMONT LOAM PROFILE, TARANAKI, NEW ZEALAND. Austr. J. Soil Res. 15: 177-190.
- Tait, J. M., N. Yoshinaga y B. D. Mitchell. 1978. THE OCCURRENCE OF IMOGOLITE IN SOME SCOTTISH SOILS. Soil Sci. Plant Nutr. 24: 145-151.
- Theng, B. K. G., M. Russell, G. J. Churchman y R. L. Parfitt. 1982. SURFACE PROPERTIES OF ALLOPHANE, HALLOYSITA, AND IMOGOLITE. Clays Clay Min. 30: 143-149.
- Thorp, J. y G. D. Smith. 1949. HIGHER CATEGORIES IN SOIL CLASSIFICATION; ORDER, SUBORDER, AND GREAT SOIL GROUPS. Soil Sci. 67: 117-126.
- Tobar, C. 1991. CORRELACION DE METODOS ANALITICOS DE FOSFORO EN SUELOS DE LA REGION DE TEZIUTLAN, PUEBLA. Escuela de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Puebla, México. (Tesis de Licenciatura).
- Tobón, E. 1990. CLASIFICACION DE LOS SUELOS Y COLECTA DE UN MONOLITO DE LA ZONA DE ZACAPOAXTLA-CUETZALAN SIERRA NORTE DE PUEBLA. Escuela de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Puebla, México. (Tesis de Licenciatura).
- Tokashiki, Y., y K. Wada. 1975. WEATHERING IMPLICATIONS OF THE MINERALOGY OF CLAY FRACTION OF TWO ANDO SOILS, KYUSHU. Geoderma 14: 47-62.
- Trinidad, A., et al. 1980. EVALUACION DE LA ROCA FOSFORICA COMO FERTILIZANTE EN EL CULTIVO DE MAIZ EN LOS ANDOSOLES DE LA SIERRA TARASCA. Avances en la Enseñanza e Investigación en el Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. pp. 142-144.

- Turrent, A. 1962. ESTUDIO DE LAS FORMAS DE ELIMINAR EL ATRASO DEL CRECIMIENTO DE LECHUGAS CUANDO SE TRASPLANTAN EN INVERNADERO SOBRE SUELOS DE LA SIERRA TARASCA. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. (Tesis de Maestría).
- Uehara, G. 1985. PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF ANDISOLS, pp. 39-50. En: F. H. Beinroth, W. Luzio, F. Maldonado y H. Eswaran (ed). Proceedings of the Sixth International Soil Classification Workshop, Chile and Ecuador. Part 1: Papers. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, Santiago, Chile.
- Uehara, G., y G. Guilman. 1981. THE MINERALOGY, CHEMISTRY, AND PHYSICS OF TROPICAL SOILS WITH VARIABLE CHARGE CLAYS. Westview Press, Boulder, Colorado.
- Vainshtein, B. K. 1966. DIFFRACTION OF X-RAYS BY CHAIN MOLECULES. Elsevier Publishing Co. Amsterdam.
- Valera, M. A., et al. 1984. INFLUENCIA DE LAS DIFERENTES FRACCIONES ORGANICAS EN LA DETERMINACION DE LA C.I.C., EN SUELOS DE LA ZONA BAJA DEL PLAN ZACAPOAXTLA, PUE. Resúmenes del XVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. pp. 26.
- Valera, M. A., et al. 1986a. AVANCES DEL PROYECTO "EVALUACION DEL RECURSO SUELO EN LA REGION DE TEZIUTLAN, PUEBLA". Programa y Resúmenes del XIX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. pp. 4.
- Valera, M. A., et al. 1986b. VARIACION DE LAS PROPIEDADES QUIMICAS DE LA FRACCION COLOIDAL DEL SUELO A DIFERENTES TRATAMIENTOS DE EXTRACCION DE LA MATERIA ORGANICA. Programa y Resúmenes del XIX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. pp. 17.
- Valera, M. A., et al. 1987. CONTRIBUCION DE DIFERENTES FRACCIONES DE MATERIA ORGANICA Y COLOIDES MINERALES A LA CIC DE HORIZONTES A DE FEOZEMS. En: Resúmenes del X Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo.
- Valera, M. A., et al. 1988a. SELECCION DEL EXTRACTANTE DE COBRE Y HIERRO ADECUADO PARA SUELOS VOLCANICOS. Memorias del XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. pp. 62.
- Valera, M. A., et al. 1988b. EVALUACION DE LOS NIVELES DE COBRE Y HIERRO EN SUELOS VOLCANICOS DE LA REGION DE TEZIUTLAN, PUEBLA. Memorias del XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. pp. 63.
- Vainshtein, B. K. 1966. DIFFRACTION OF X-RAYS BY CHAIN MOLECULES. Elsevier Publishing Co., Amsterdam.
- Van Olphen, H. 1971. AMORPHOUS CLAY MATERIALS. Science 171: 90-91.
- Vanden Huevel, R. C. 1965. ELEMENTAL ANALYSIS BY X-RAY EMISSION SPECTROGRAPHY. PP. 771 A 821. En: C. A. Black (ed). Methods of Soil Analysis, Agronomy 9. parte 1. Am. Soc. of Agronomy, Inc. Publisher, Madison, Wisconsin, U.S.A.
- Van der Marel, H. W., y H. Beutelspacher. 1976. ATLAS OF INFRARED SPECTROSCOPY OF CLAY MINERALS AND THEIR ADMIXTURES. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam, Netherlands. 396 pp.
- Voyutsky, S. 1978. COLLOID CHEMISTRY. Translated from the russian by Nicholas Bobrov. Ed. Mir, Moscú, URSS.
- Wada, K. 1977. ALLOPHANE AND IMOGOLITE, pp. 603-638. En: J. B. Dixon (ed). Minerals in Soil Environments. Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wis. USA.

- Wada, K. 1980. MINERALOGICAL CHARACTERISTICS OF ANDISOLS, pp. 87-107. En: K. G. Theng (ed). Soils with Variable Charge. New Zealand Society of Soils Science, Lower Hutt.
- Wada, K. 1989. ALLOPHANE AND IMOGOLITE, pp. 1051-1088. En: J. B. Dixon y S. B. Weed (ed). Mineralin Soil Environmemts (Second Edition). Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wis. USA.
- Wada, K. 1985. THE DISTINCTIVE PROPERTIES OF ANDOSOLS, pp. 173-229. En: Advances in Soil Science, Vol. 2. Springer-Verlag New York, Inc.
- Wada, K., et al. 1970. HIGH RESOLUTION ELECTRON MICROGRAPHS OF IMOGOLITE. Clay Miner. 8: 487-489.
- Wada, K., y N. Gunjigake. 1979. ACTIVE ALUMINIUM AND IRON AND PHOSPHATE ADSORPTION IN ANDO SOILS. Soil Sci. 128: 331-336.
- Wada, K., y T. Higashi. 1976. THE CATEGORIES OF ALUMINUM AND IRON HUMUS COMPLEXES IN ANDO SOILS DETERMINED BY SELECTIVE DISSOLUTION. J. Soil Sci. 27: 357-368.
- Wada, K. y Y. Okamura. 1980. ELECTRIC CHARGE CHARACTERISTICS OF ANDO A1 AND BURIED A1 HORIZON SOILS. J. Soil Sci. 31: 307-314.
- Wada, S. I., et al. 1979. SYNTHETIC ALLOPHANE AND IMOGOLITE. J. Soil Sci. 30: 347-355.
- Wada, S. I., y C. Mizota. 1982. IRON-RICH HALLOYSITE (10Å) WITH CRUMPLED LAMELLAR MORPHOLOGY FROM HOKKAIDO, JAPAN. Clays Clay Min. 30: 315-317.
- Wada, S. I., y A. Nagasato. 1983. FORMATION OF SILICA MICROPLATES BY FREEZING DILUTE SILICIC ACID SOLUTIONS. Soil Sci. Plant Nutr. 29: 93-95.
- Wada, S. I., y K. Wada. 1977. DENSITY AND STRUCTURE OF ALLOPHANE. Clay Min. 12: 289-298.
- Warkentin, B. P., y T. Maeda. 1974. PHYSICAL PROPERTIES OF ALLOPHANE SOILS FROM THE WEST INDIES AND JAPAN. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 38: 372-377.
- Warkentin, B. P., y T. Maeda. 1980. PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF ANDISOLS, pp. 281-301. En: B. K. G. Theng (ed). Soils with variable charge. N. Z. Soc. Sci., Palmerston North, N. Z.
- Werner, G. 1976. LOS SUELOS DEL VOLCAN "LA MALINCHE". Fundación Alemana para la Investigación Científica, México. (Suplemento Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala 13: 3-17).
- Werner, G. 1978. LOS SUELOS DE LA CUENCA ALTA DE PUEBLA-TLAXCALA. Fundación Alemana para la Investigación Científica, México. (Suplemento Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala 6).
- Wesley, L. D. 1973. SOME BASIC ENGINEERING PROPERTIES OF HALLOYSITE AND ALLOPHANE CLAYS IN JAVA, INDONESIA. Geotechnique 23: 471-494.
- Whelan, J. A., y S. S. Goldich. 1961. NEW DATA FOR HISINGERITE AND NEOTOCITE. Am. Mineral. 46: 1412-1423.
- Whittig, L. D. 1965. X-RAY DIFFRACTION TECHNIQUES FOR MINERAL IDENTIFICATION AND MINERALOGICAL COMPOSITION, pp. 671-698. En: C. A. Black (ed). Methods of Soil Analysis, Agronomy 9. parte 1. Am. Soc. of Agronomy, Inc. Publisher, Madison, Wisconsin, U.S.A.
- Wielemarker, W. G., y T. Wakatsuki. 1984. PROPERTIES, WEATHERING AND CLASSIFICATION OF SOME SOILS FORMED IN PERALKALINE VOLCANIC ASH IN KENYA. Geoderma 32: 21-44.
- Wright, A. C. S. 1965. THE "ANDOSOLS" OR "HUMIC ALLOPHANE" SOILS OF SOUTH AMERICA, pp. 9-22. En: World soil resources report 14. FAO/UNESCO.

- Yamada, S. 1977. DISTRIBUTION AND MORPHOLOGY OF SOILS DERIVED FROM VOLCANIC ASH IN JAPAN. En: Y. Ishizuka y C. A. Black (ed). Soils Derived from Volcanic Ash in Japan. International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), México. pp. 1-9.
- Yamanaka, K. y Y. Yamada. 1964. DISTRIBUTION OF VOLCANIC ASH SOILS. En: Volcanic Ash Soils in Japan. Ministry of Agriculture and Forestry, Japanese Government. pp. 4-7.
- Yoshida, M. 1970. ACIDIC PROPERTIES OF MONTMORILLONITE AND HALLOYSITE. J. Sci. Soil Manure (Japan) 41:483-486.
- Yoshida, M. 1971. ACIDIC PROPERTIES OF KAOLLINITE, ALLOPHANE AND IMOGOLITE. J. Sci. Soil Manure (Japan) 42:329-332.
- Yoshinaga, N., y S. Aomine. 1962a. ALLOPHANE IN SOME ANDOSOILS. Soil Sci. Plant Nutr. (Tokyo) 8 (2):6-13.
- Yoshinaga, N., y S. Aomine. 1962b. IMOGOLITE IN SOME ANDOSOILS. Soil Sci. Plant Nutr. (Tokyo) 8 (3):22-29.
- Zárate, J. L. 1986. EVALUACION DE LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS DE PRADERA DE LA REGION DE TEZIUTLAN, PUEBLA. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo Edo. de México. (Tesis de Ingeniería Agronómica).