

00381

5
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Universidad Nacional Autónoma de
México

Facultad de Ciencias
División de Estudios de Posgrado

LOS SUELOS TROPICALES DE MEXICO. I GENESIS,
DINAMICA Y DEGRADACION

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

DOCTOR EN CIENCIAS (BIOLOGIA)

P R E S E N T A

JORGE ENRIQUE GAMA CASTRO

MEXICO, D.F.

1996

TESIS CCN
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 esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

TESIS

COMPLETA

LOS SUELOS TROPICALES DE MEXICO. I GENESIS, DINAMICA Y DEGRADACION

POR: JORGE ENRIQUE GAMA CASTRO
DIRECTOR: DR. DAVID FLORES ROMAN
ASESORES: DR. NICOLAS AGUILERA HERRERA Y
DR. VICTOR MANUEL MALPICA CRUZ.

En años recientes ha crecido el interés, por parte de las Instituciones nacionales e internacionales, Secretarías de Estado, Corporaciones multinacionales, Organizaciones de desarrollo local, y por los propios Productores del campo, por la forma en que los recursos de la tierra son utilizados en el Trópico Mexicano.

Los suelos son parte del medio ambiente. Ellos son la base del desarrollo sustentable. Esta es una tesis acerca de los suelos tropicales y subtropicales de México. La Ciencia del suelo, puede contribuir a la solución de problemas relativos a la producción de alimentos, así como a la conservación de los recursos naturales en el Trópico.

En esta tesis, algunos aspectos de la Ciencia del suelo son enfatizados. Uno de ellos se refiere a la diversidad de los suelos en estas zonas, ya que no todos los suelos presentes se formaron de modo similar. Para entender esta diversidad, es necesario conocer su génesis y las características que ésta le infiere. Una gran parte del texto trata sobre la génesis de estos suelos.

La Parte 1, describe el ambiente, los factores presentes y sus relaciones con los suelos. Sin embargo; no se trata de una compilación sobre la geografía física de los trópicos, ya que sólo los puntos que son relevantes en la formación del suelo son tratados. Estos incluyen clima, material parental, vegetación y fauna.

La parte 2, describe taxonómicamente a los suelos, y se propone un sistema de clasificación para ellos, que pretende utilizar una terminología internacionalmente aceptada.

Es de esperar, que la mayor parte del texto resulte comprensible y útil, tanto a los especialistas de suelos, como aquellos profesionistas de otras disciplinas que desean entender el significado de los suelos para aplicarlo en el desarrollo agrícola y económico del país.

MEXICAN TROPICAL SOILS. I GENESIS, DINAMICA AND SOIL DEGRADATION

BY: JORGE ENRIQUE GAMA CASTRO
DIRECTOR: DR. DAVID FLORES ROMAN
ADVISERS: DR. NICOLAS AGUILERA HERRERA Y
DR. VICTOR MANUEL MALPICA CRUZ.

There has been in recent years a growing interest by the national and international institutions, government agencies, multinational corporations, local development organizations and, finally, small farmers in the ways that the land resources are utilized in the Mexican tropics.

Soils are part of this environment, they are the basis of sustained development. This is a thesis about Mexican tropical and subtropical soils written from the point of view of the field soil scientist. Soil science can contribute by clarifying many of the pressing problems in food production and can assist in the conservation of natural resources in the tropics.

Some aspects of soils science are emphasized. One of them relates to the diversity of soils: not all soils were created equally. To understand this diversity it is necessary to know their modes of formation and the genetic pathways that shaped their characteristic attributes. A large part of the text deals with soil genesis.

Part 1, describes the Mexican tropical environment and its interactions with soils however, it is not a comprehensive compilation of the physical geography of the tropics; only points that are relevant to soil formation are mentioned. These include climate, parent materials, vegetation, and fauna.

Part 2, describes the mayor kinds of soils of the Mexican tropics and subtropics it starts by introducing one classification system that is needed to provide an internationally acceptable terminology.

It's hopping that the greater part of the text will also be both comprehensible and useful to non-pedologists, including agriculturalists, economists and planner, who wish to understands the significance of soils for reasons of agricultural and economic development.



I

CONTENIDO

RESUMEN PROLOGO

XX
XXII

- I. INTRODUCCION GENERAL
 - I.1. FORMULACION DEL PROBLEMA
 - I.2. HIPOTESIS OPERACIONAL
 - I.3. JUSTIFICACION
 - I.4. MARCO TEORICO
 - I.5. OBJETIVOS
 - I.5.1. OBJETIVO GENERAL
 - I.5.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS
 - I.5.3. OBJETIVOS METODOLOGICOS
 - I.6. METAS
- COMENTARIOS Y CONCLUSIONES**

1
3
4
7
9

II. DISEÑO METODOLOGICO

12

II.1 INTRODUCCION

II.2 DESARROLLO DEL DISEÑO METODOLOGICO

- II.2.1. ETAPA A: Compilación de la Información Básica
- II.2.2. ETAPA B: Empleo de Técnicas de Teledetección y SIG.
- II.2.3. ETAPA C: Levantamiento de Campo
- II.2.4. ETAPA D: Análisis de Laboratorio
 - Análisis Físico
 - Análisis Químico
 - Análisis Físicoquímico
 - Análisis Mineralógico
 - Análisis Optico
 - Análisis Total
 - Análisis Mecánico

13
14

- II.2.5. ETAPA E: Interpretación de la Información
 - II.2.6. ETAPA F: Elaboración de Documento Final
- COMENTARIOS Y CONCLUSIONES**

19
20
21

RESULTADOS Y DISCUSION

III. MEDIO AMBIENTE TROPICAL Y SUBTROPICAL: DIAGNOSIS Y SELECCION.

24

- DEFINICION Y CRITERIOS UTILIZADOS PARA SELECCIONAR EL AREA DE ESTUDIO.

- FACTORES AMBIENTALES PRESENTES EN EL TROPICO Y SUBTROPICO MEXICANO.

30

RESULTADOS Y DISCUSION

II

III.A.	EDAFOClima	30
III.A.1.	RADIACION SOLAR	
III.A.2.	AIRE Y TEMPERATURA DEL AIRE	
III.A.3.	ALTITUD	
III.A.4.	QUEMA DE VEGETACION	
III.B.	Clima	32
III.B.1.	TIPOS CLIMATICOS	
III.B.2.	FACTORES DINAMICOS DEL CLIMA	33
III.B.3.	REGIONES CLIMATICAS Y SU EFECTO EN LOS SUELOS DEL TROPICO Y SUBTROPICO	36
III.C.	MATERIAL PARENTAL	38
III.C.1.	INTEMPERISMO Y ETAPAS DE INTEMPERISMO	39
III.C.2.	MATERIAL PARENTAL Y FORMACION DE SUELOS TROPICALES Y SUBTROPICALES	40
III.C.3.	LAS ROCAS COMO MATERIAL PARENTAL, Y SU REGIONALIZACION EN LAS ZONAS TROPICALES Y SUBTROPICALES DE MEXICO	42
III.C.4.	AMBIENTES GENETICOS Y LITOESTRATIGRAFIA EN EL TROPICO MEXICANO	43
III.C.5.	CLASIFICACION DEL MATERIAL PARENTAL LOCALIZADO EN EL TROPICO Y SUBTROPICO MEXICANO	49
III.C.6.	GRUPOS DE ROCAS Y MATERIALES BASALES Y/O PARENTALES, COMUNES EN EL AREA DE ESTUDIO	51
	■ PERFIL DE SUELO 9: Amapa Franco	54
	■ PERFIL DE SUELO 5: Inefap II Franco	59
	■ PERFIL DE SUELO 6: Los Otates Migajón Limoso	66
	■ PERFIL DE SUELO 7: Puerta de Mangos Arcillo Limoso	71
III.D.	RELIEVE	77
III.D.1.	RELIEVE Y PAISAJE EN EL TROPICO MEXICANO	78
III.D.2.	EVOLUCION DE LAS PENDIENTES EN EL TROPICO Y SUBTROPICO	81
III.D.3.	CATENAS DE SUELOS Y TOPOSECUENCIAS	82
III.E.	HIDROLOGIA Y DRENAJE	83
	■ PERFIL DE SUELO 12: Cerritos Migajón Arenoso	85
	COMENTARIOS Y CONCLUSIONES	89

RESULTADOS Y DISCUSION

III

III.F.	ORGANISMOS Y BIOMASA	93
III.F.1.	LOS ORGANISMOS COMO UN FACTOR FORMADOR DE SUELOS	94
III.F.2.	TIPOS DE VEGETACION ACTUALMENTE PRESENTES EN EL AREA DE ESTUDIO	100
III.F.3.	DIAGNOSIS Y DISTRIBUCION DE LA VEGETACION	101
III.F.4.	FACTOR HOMBRE: DEFORESTACION EN LOS TROPICOS Y SUBTROPICOS, Y ALTERACION ANTROPOGENICA DEL SUELO	120
III.F.5.	ORGANISMOS ANIMALES: FAUNO EDAFOPERTURBACION	123
III.F.6.	HOMBRE: CREADOR Y DESTRUCTOR DE SUELOS	124
	COMENTARIOS Y CONCLUSIONES	131
III.G.	FACTOR TIEMPO	134
III.G.1.	CRONOLOGIA, LITOLOGIA Y SUELOS DEL AREA DE ESTUDIO	135
III.G.2.	ROCAS SEDIMENTARIAS	135
III.G.3.	ROCAS VOLCANICAS Y VOLCANO- SEDIMENTARIAS	138
III.G.4.	ROCAS INTRUSIVAS	144
III.G.5.	ROCAS METAMORFICAS	145
	COMENTARIOS Y CONCLUSIONES	147
III.H.	INTEMPERISMO Y ALTERACION EN EL TROPICO Y SUBTROPICO MEXICANO	149
III.H.1.	PROCESOS DE INTEMPERISMO Y ALTERACION	
III.H.2.	FASES DE INTEMPERISMO Y ALTERACION	151
III.H.3.	DINAMICA DEL INTEMPERISMO FISICO Y DE LA ALTERACION QUIMICA	152
III.H.4.	FACTORES ECOLOGICOS DE INTEMPERISMO Y DE ALTERACION	154
III.H.5.	CRONOSECUENCIAS DE ALTERACION EN EL TROPICO Y SUBTROPICO MEXICANO ■ PERFIL DE SUELO D-33	173 173
III.H.6.	FASES Y ETAPAS DE LA DINAMICA DEL INTEMPERISMO Y DE LA ALTERACION EN EL TROPICO	178
	COMENTARIOS Y CONCLUSIONES	184

III.I.	DEGRADACION DE LOS EDAFOECOSISTEMAS EN EL TROPICO Y SUBTROPICO MEXICANO	191
III.I.1.	ORIGEN DE LA DEGRADACION	193
III.I.2.	TIPOS DE DEGRADACION	194
	■ Erosión Hídrica	
	■ Exceso de Sales: Salinización y/o Sodificación	
	■ Degradación Química	
	■ Toxicidad	
	■ Degradación Física	
	■ Degradación Biológica	
	COMENTARIOS Y CONCLUSIONES	211
III.J.0.	UBICACION TAXONOMICA DE LOS SUELOS TROPICALES Y SUBTROPICALES DE MEXICO	213
	■ ESQUEMA TAXONOMICO:	213
	■ CLASE I. SUELOS MINERALES POCO EVOLUCIONADOS	
	■ SUBCLASE I.1. SUELOS MINERALES ALOCTONOS NO CLIMATICOS (Sa)	
	GRUPO I.1.1. Suelos de Aporte Aluvial (Saa)	
	GRUPO I.1.2. Suelos de Aporte Coluvial (Sac)	
	GRUPO I.1.3. Suelos de Aporte Eólico	
	GRUPO I.1.4. Suelos de Aporte Volcánico (Sav)	
	GRUPO I.1.5. Suelos de Aporte Marino (Sam)	
	■ SUBCLASE I.2. SUELOS MINERALES AUTIGENOS NO CLIMATICOS	
	GRUPO I.2.1. Leptosuelos (LS)	
	GRUPO I.2.2. Suelos Regolíticos Residuales (Srr)	
	■ SUBCLASE I.3. SUELOS DE ORIGEN ANTROPICO Y/O TECNOGENICO	
	GRUPO I.3.1. Antroposuelos (AT)	
	■ CLASE II. SUELOS ARCILLOSOS SIALITICOS NEUTRO-ALCALINOS: SUELOS CALCIMAGNESICOS	
	■ SUBCLASE II.1. SUELOS SIALITICOS CARBONATADOS	214
	GRUPO II.1.1. Rendzinas Negras Típicas (Rnt)	
	GRUPO II.1.2. Rendzinas Pardas (Rnp)	
	GRUPO II.1.3. Rendzinas Rojas Ferrocarbonatadas (Rnf)	

RESULTADOS Y DISCUSION

- **SUBCLASE II.2. SUELOS SIALITICOS
DESCARBONATADOS EMPARDECIDOS**
 - GRUPO II.2.1. Suelos Sialíticos Empardecidos Calcáricos (Ssec)
 - GRUPO II.2.2. Suelos Sialíticos Empardecidos Cálricos (SSck)
 - GRUPO II.2.3. Suelos Sialíticos Empardecidos Acidificados (Ssea)
 - GRUPO II.2.4. Suelos Sialíticos Empardecidos Vérticos (Ssev)

- **SUBCLASE II.3. SUELOS MONTMORILLONITICOS:
VERTISOLES**
 - GRUPO II.3.1. Vertisoles Típicos (Vrt)
 - GRUPO II.3.2. Vertisoles Cámbicos (Vrt)
 - GRUPO II.3.3. Vertisoles Cálricos (Vrk)
 - GRUPO II.3.4. Vertisoles Ferruginosos Lixiviados (Vrfl)

- **SUBCLASE II.4. SUELOS VERTICOS**
 - GRUPO II.4.1. Suelos con Propiedades Vérticas (Spv)
 - GRUPO II.4.2. Suelos Vérticos con Grado de Alteración Elevado (Sva)
 - GRUPO II.4.3. Suelos Vérticos Degradados por Acidificación o Hidromorfía (Svph)

- **CLASE III. SUELOS CON PROPIEDADES ANDICAS
DIAGNOSTICAS: ANDISOLES** 215
- **SUBCLASE III.1. ANDISOLES VITRICOS CON
DRP LIMITADO**
 - GRUPO III.1.1. Andisoles Vítricos con Régimen Ustico (Avu)
 - GRUPO III.1.2. Andisoles Vítricos con Régimen Udico (AvU)
- **SUBCLASE III.2. ANDISOLES USTICOS CON DRP
MODERADO**
 - GRUPO III.2.1. Andisoles Usticos Típicos (Aut)
- **SUBCLASE III.3. ANDISOLES UDICOS CON DRP
MODERADO A ALTO**
 - GRUPO III.3.1. Andisoles Udicos con Retención de Humedad muy alta (AUh)
 - GRUPO III.3.2. Andisoles Udicos Típicos (AUt)

- **CLASE IV. SUELOS FERSIALITICOS Y FERRUGINOSOS
ROJOS, AMARILLOS Y PARDOS:
SUELOS RICOS EN SESQUIOXIDOS** 215

RESULTADOS Y DISCUSION

■ **SUBCLASE IV.1. SUELOS TROPICALES RICOS EN SESQUIOXIDOS, CON HORIZONTE B CAMBICO (STB)**

GRUPO IV.1.1. Suelos STB con Régimen Acuico (STB)

GRUPO IV.1.2. Suelos STB con Régimen Udico o Ustico Eutróficos (STBUe)

GRUPO IV.1.3. Suelos STB con Régimen Perúdico-Udico, Distróficos (STBPd)

■ **SUBCLASE IV.2. SUELOS TROPICALES ARGILICOS, RICOS EN SESQUIOXIDOS Y ARCILLAS DE BAJA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO (STA)**

■ **SUPER-GRUPO: SUPER-GRUPO: EUTROFICOS TROPICALES (e)**

GRUPO IV.2.1. Suelos STA Eutróficos con Régimen Acuico (STAqe)

GRUPO IV.2.2. Suelos STA Eutróficos con Régimen Acuico que muestran Plintita (STAqv)

GRUPO IV.2.3. Suelos STA Eutróficos con Régimen Udico (STA)

GRUPO IV.2.4. Suelos STA Eutróficos con Régimen Ustico (STAus)

■ **SUPER-GRUPO: SUELOS DISTROFICOS TROPICALES**

GRUPO IV.2.5. Suelos STA Distróficos con Régimen Acuico (STAqd)

GRUPO IV.2.6. Suelos STA Distróficos con Régimen Udico (STAud)

GRUPO IV.2.7. Suelos STA Distróficos con Régimen Ustico (STAut)

■ **CLASE V. FERRALSOLES: SUELOS FERRALITICOS**

■ **SUBCLASE V.1. FERRALSOLES MODALES (FEM)**

GRUPO V.1.1. Suelos FEM háplicos (FEMh)

GRUPO V.1.2. Suelos FEM ródicos (FEMr)

■ **SUBCLASE V.2. FERRALSOLES GERICOS (FEG)**

GRUPO V.2.1. Suelos FEG gibsíticos (FEGg)

GRUPO V.2.2. Suelos FEG alíticos (FEGa)

GRUPO V.2.3. Suelos FEG caoliníticos (FEGc)

SUBCLASE V.3 FERRALSOLES INTERGRADADOS (FE)

- V.3.1.A. Suelos FEI húmicos (FEIh)
- V.3.1.B. Suelos FEI eútricos (FEIe)
- V.3.1.C. Suelos FEI seudo gléyicos (FEIlg)
- V.3.1.D. Suelos FEI plánticos (FEIlp)
- V.3.1.E. Suelos FEI líxicos (FEIli)
- V.3.1.F. Suelos FEI líticos (FEIls)

- **DINAMICA TAXONOMICA** 218

- III.J. **GENESIS, DIAGNOSIS Y CLASIFICACION DE LOS SUELOS PRESENTES EN EL TROPICO Y SUBTROPICO MEXICANO** 222

- III.J.1. **CLASE 1. SUELOS MINERALES POCO EVOLUCIONADOS**
- III.J.1.4. **GENESIS DE LOS SUELOS REPRESENTATIVOS DE LA CLASE 1.** 231

- III.J.1.5 **INDICES DE INTEMPERISMO PARA LA CLASE 1.** 232

- III.J.1.6. **CARACTERIZACION DE LOS PERFILES REPRESENTATIVOS DE LOS GRUPOS DE SUELOS** 233

- **CLASE 1**
- **PERFIL DE SUELO 1** 234
 - Análisis de Laboratorio
 - Caracteres Diagnósticos 235
 - Evolución

- **PERFIL DE SUELO 1a.** 237
 - Observaciones
 - Clasificación Taxonómica
 - Análisis de Laboratorio 237
 - Interfase: Fluvisol sódico-Solonchaks 240

- **PERFIL DE SUELO 2** 244
 - Morfología del Perfil
 - Análisis de Laboratorio 245
 - Caracteres Diagnósticos
 - Evolución 246

- **PERFIL DE SUELO 3** 247
 - Morfología del Perfil
 - Análisis de Laboratorio
 - Caracteres Diagnósticos
 - Evolución 250

■ PERFIL DE SUELO 4	251
- Morfología del Perfil	
- Análisis de Laboratorio	252
- Evolución	253
■ PERFIL DE SUELO 5	255
- Morfología del Perfil	
- Análisis de Laboratorio	
- Caracteres Diagnósticos	
- Evolución	256
■ PERFIL DE SUELO 6	258
- Morfología del Perfil	
- Análisis de Laboratorio	259
- Caracteres Diagnósticos	
- Evolución	
■ PERFIL DE SUELO 7	261
- Morfología del Perfil	
- Análisis de Laboratorio	262
- Caracteres Diagnósticos	
- Evolución	262
III.J.1.7. DISTRIBUCION DE LOS GRUPOS DE SUELOS	
III.J.2. CLASE II. SUELOS ARCILLOSOS SIALITICOS	
NEUTRO-ALCALINOS:	
SUELOS CALCIMAGNESICOS	265
■ PERFIL DE SUELO 8	275
- Morfología del Perfil	
- Análisis de Laboratorio	
- Caracteres Diagnósticos	
- Micromorfología	
- Génesis y Evolución	277
■ PERFIL DE SUELO 9	279
- Morfología del Perfil	
- Análisis de Laboratorio	
- Caracteres Diagnósticos	
- Evolución	280

■ PERFIL DE SUELO 10	281
- Morfología del Perfil	
- Análisis de Laboratorio	
- Observaciones	282
■ PERFIL DE SUELO 11	283
- Morfología del Perfil	
- Análisis de Laboratorio	284
- Caracteres Diagnósticos	
- Evolución	
- Micromorfología	285
■ PERFIL DE SUELO 12	286
- Morfología del Perfil	
- Análisis de Laboratorio	287
- Caracteres Diagnósticos	288
- Génesis	289
■ PERFIL DE SUELO 13	290
- Morfología del Perfil	
- Análisis de Laboratorio	291
- Caracteres Diagnósticos	
- Evolución	292
III.J.3. CLASE III. SUELOS CON PROPIEDADES ANDICAS DIAGNOSTICAS: ANDISOLES	293
III.J.3A. PROPIEDADES DIAGNOSTICAS GENERALES	
■ Diagnosis	293
■ Morfología	
■ Mineralogía	294
■ Arcillas amorfas	
■ Características Químicas	295
■ Características Físicas	296
■ Características Fisicoquímicas	297
III.J.3B. PROPIEDADES DIAGNOSTICAS	299
■ Cuantificación Analítica de las Propiedades Andicas	300
III.J.3C. TAXONOMIA DE LOS ANDISOLES TROPICALES Y SUBTROPICALES DE MEXICO: CLASE III ANDISOLES	301

III.J.3D. GENESIS Y ALTERACION DE LOS ANDISOLES	306
■ PERFIL DE SUELO 14	309
- Morfología del Perfil	
- Análisis de Laboratorio	310
- Caracteres Diagnósticos	
- Evolución	311
■ PERFIL DE SUELO 15	313
- Morfología del Perfil	
- Análisis de Laboratorio	
- Caracteres Diagnósticos	
- Consideraciones Generales	316
■ PERFIL DE SUELO 16	317
- Morfología del Perfil	
- Análisis de Laboratorio	318
- Caracteres Diagnósticos	319
- Evolución	321
III.J.4. CLASE IV. SUELOS FERSIALITICOS Y FERRUGINOSOS ROJOS, AMARILLOS Y PARDOS: SUELOS RICOS EN SESQUIOXIDOS	322
III.J.4.A. CARACTERES MORFOLOGICOS DE LOS SUELOS	322
III.J.4.B. PROPIEDADES DIAGNOSTICAS	325
III.J.4.C. CLASES MINERALOGICAS	326
III.J.4.D. TAXONOMIA	328
III.J.4.D.1c. GENESIS DE LOS SUELOS QUE CONSTITUYEN LA SUBCLASE IV.1	335
■ PERFIL DE SUELO 17	338
- Morfología del Perfil	
- Análisis de Laboratorio	339
- Caracteres Diagnósticos	340
- Propiedades Mineralógicas	341
■ PERFIL DE SUELO 18	342
- Morfología del Perfil	
- Análisis de Laboratorio	343
- Caracteres Diagnósticos	344
- Propiedades químicas y bioquímicas	345

III.J.4.D.2. SUBCLASE IV.2. SUELOS TROPICALES ARGILICOS, RICOS EN SESQUIOXIDOS Y ARCILLAS DE BAJA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO (STA)	346
■ PERFIL DE SUELO 19	
- Morfología del Perfil	357
- Análisis de Laboratorio	358
- Caracteres Diagnósticos	359
- Génesis	
- Observaciones	360
■ PERFIL DE SUELO 20	362
- Morfología del Perfil	
- Análisis de Laboratorio	363
- Caracteres Diagnósticos	364
- Génesis de la Plintita	365
■ PERFIL DE SUELO 21	367
- Morfología del Perfil	
- Análisis de Laboratorio	368
- Caracteres Diagnósticos	369
- Posición Taxonómica	
- Génesis	370
■ PERFIL DE SUELO 22	372
- Morfología del Perfil	
- Análisis de Laboratorio	373
- Caracteres Diagnósticos	374
- Posición Taxonómica	
- Génesis	375
III.J.5. CLASE V. FERRALSOLES: SUELOS FERRALITICOS	377
III.J.5.A. CONCEPTOS, DIAGNOSIS Y PROPIEDADES	378
III.J.5.B. TIPOGENESIS	
III.J.5.C. MACROMORFOLOGIA	379
III.J.5.D. MICROMORFOLOGIA	380
III.J.5.E. CARACTERES FISICOQUIMICOS	380
III.J.5.F. NIVELES TAXONOMICOS PROPUESTOS	380

■ PERFIL DE SUELO 23	386
- Morfología	387
- Análisis de Laboratorio	388
- Observaciones	389
■ PERFIL DE SUELO 24	389
- Morfología	390
- Análisis de Laboratorio	390
- Observaciones	392
■ PERFIL DE SUELO 25	392
- Morfología	393
- Análisis de Laboratorio	394
- Observaciones	401
CONCLUSIONES	401
BIBLIOGRAFIA	
ANEXOS	

CONTENIDO: TABLAS

TABLA 1.	CLASES CLIMATICAS Y VEGETACION	36
TABLA 2.	VALORES LIMITE DE PRECIPITACION ANUAL, MESES HUMEDOS Y TEMPERATURA	38
TABLA 3.	DISTRIBUCION DE LAS PRINCIPALES REGIONES CLIMATICAS EN LOS TROPICOS	38
TABLA 4.	ETAPAS DE ALTERACION EDAFICA	40
TABLA 5.	REGIONES FISIOGRAFICAS Y PROVINCIAS GEOLOGICAS	43
TABLA 6.	CLASIFICACION DE LAS ROCAS MAS COMUNES EN EL TROPICO	51
TABLA 7.	NUMERO DE MICROORGANISMOS PRESENTES EN UN LUVISOL VERTICO	95
TABLA 8.	REDUCCION DE ACETILENO Y FIJACION DE N ₂ POR <i>A. FILICULOIDES</i> .	97
TABLA 9.	CUANTIFICACION DE SUELO FORMADO <i>IN SITU</i> POR EFECTO DE LIQUENES	97
TABLA 10.	SUCESIONES VEGETALES Y PROPIEDADES EDAFICAS	117
TABLA 11.	FAUNOEDAFOPERTURBACION EN EL TROPICO	124
TABLA 12.	EFFECTOS DEL ENCALADO Y FERTILIZACION SOBRE UN FLUVISOL DISTRICO	127
TABLA 13.	EFFECTOS DEL USO AGRICOLA SOBRE LA MATERIA ORGANICA Y EL NITROGENO	128
TABLA 14.	NIVEL DE CONTAMINANTES POR METALES PESADOS	129
TABLA 15.	INDICE DE FORMACION DE SUELOS	134
TABLA 16.	FECHADO ABSOLUTO DEL PERFIL DEL SUELO	135
TABLA 17.	MATERIAL LITOLOGICO FECHADO POR Rb-Sr; K-Al; y U-Pb	140
TABLA 18.	ANALISIS DE OXIDOS TOTALES Y SUS RELACIONES EN SUELOS	144
TABLA 19.	RELACION SUELOS-VEGETACION	157
TABLA 19a.	VEGETACION Y SERIES DE SUELOS EN PLAYA VICENTE, VERACRUZ	159
TABLA 20.	ZONAS BIOCLIMATICAS, ALTERACION Y TRANSFORMACION	161
TABLA 21.	LITOSECUENCIA EN SUELOS DERIVADOS DE GRANITO	167
TABLA 22.	CRONOSECUENCIA DE ALTERACION	173
TABLA 23.	PROPIEDADES FISICAS, QUIMICAS Y CONTENIDO EN METALES PESADOS EN UN SULFAQUET DE CINCO AÑOS DE EDAD	176
TABLA 24.	ANALISIS DE UN BASALTO ANDESITICO Y DE LOS MATERIALES INTEMPERIZADOS DERIVADOS	182

TABLA 25.	INDICES DE INTEMPERISMO	183
TABLA 26.	CONTENIDO DE SALES, SODIO Y CLORUROS EN LOS MANTOS FREATICOS	196
TABLA 26a.	CALIDADES DE AGUA	198
TABLA 27.	LIXIVIACION DE BASES EN ALFISOLES Y ULTISOLES	199
TABLA 28.	CLIMA COMO FACTOR DE DEGRADACION QUIMICA	200
TABLA 29.	RIESGOS DE LIXIVIACION Y ACIDIFICACION POR EFECTO DE LA PENDIENTE	201
TABLA 30.	COBERTURA VEGETAL Y PORCENTAJES DE LIXIVIACION	202
TABLA 31.	EVALUACION DEL RIESGO A LA DEGRADACION DE LOS SUELOS	205
TABLA 32.	DEGRADACION BIOLOGICA EN SUELOS TROPICALES DE MEXICO	208
TABLA 32a.	DISTRIBUCION GEOGRAFICA DE LAS CLASES	220
TABLA 33.	CLASIFICACION Y CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES EOLICOS	249
TABLA 34.	DETERMINACION DE LA CICT EN UN SUELO SENSITIVO	298
TABLA 35.	PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DE UN SUELO STBWw (Perfil 35-A)	329
TABLA 36.	PERFIL 36a: SUELO RICO EN MATERIALES SULFIDICOS	329
TABLA 37.	COMPOSICION QUIMICA DE UN BASALTO Y DE UNA PLINTITA	337
TABLA 38.	CONTENIDO VOLUMETRICO DE NUTRIMENTOS	341
TABLA 39.	CORRELACION TAXONOMICA	352
TABLA 40.	RELACIONES ENTRE EL GRUPO STAust Y OTROS SUELOS ARGILICOS	374

CONTENIDO: FIGURAS

- FIGURA 1. LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO
FIGURA 2. AMPLITUD DEL RELIEVE
FIGURA 3. REGIONES DE SUELOS Y ZONAS CLIMATICAS
FIGURA 4. NUMERO DE MESES AL AÑO CON CAPACIDAD DE CAMPO
FIGURA 5. CARTA GEOLOGICA DE MEXICO
FIGURA 6. PROVINCIAS FISIOGRAFICAS
FIGURA 7. PROVINCIAS GEOLOGICAS DE MEXICO
FIGURA 8. GEOMORFOLOGIA
FIGURA 9. SUELOS CON PROPIEDADES GLEYICAS
FIGURA 10. COLONIZACION DE UNA RAIZ POR UN HONGO ENDOMICORRIZICO
FIGURA 11. USO DEL SUELO Y CULTIVOS
FIGURA 12. INDICE DE VEGETACION
FIGURA 13. INDICE DE DETERIORO DE LA VEGETACION
FIGURA 14. INDICE DE DETERIOR AMBIENTAL
FIGURA 15. TASA DE DEFORESTACION
FIGURA 16. FUERZA DE TRABAJO VS CRECIMIENTO ECONOMICO (1965-1986)
FIGURA 17. EROSION INCONTROLADA Y DISMINUCION DE LA PRODUCCION AGRICOLA ESTIMADA PARA EL AÑO 2000
FIGURA 18. DETERMINACION CRONOLOGICA DE ROCAS
FIGURA 19. SULFURIZACION BIOLOGICA EN SUELOS HIDROMORFICOS
FIGURA 20. RELACION-SUELOS-VEGETACION
FIGURA 21. ALTERACION CLIMATICA Y COMPLEJO DE ALTERACION
FIGURA 22. DEGRADACION BIOLOGICA DE LOS SUELOS
FIGURA 23. ORDEN DE INTEMPERISMO DE LOS MINERALES
FIGURA 24. SECUENCIA DE INTEMPERISMO PROPUESTA POR VAN DER MERWE
FIGURA 25. TOPOSECUENCIA COMO FACTOR TIPOGENETICO
FIGURA 26. CRONOSECUENCIA EVOLUTIVAS DE SUELOS GENERADOS POR EL PROCESO DE SULFURIZACION
FIGURA 27. ZONAS DE INTEMPERISMO EN EL PERFIL
FIGURA 28. ETAPAS DE INTEMPERISMO Y MINERALOGIA
FIGURA 29. DEGRADACION DE SUELOS
FIGURA 29.2. ELECTROMICROGRAFIA DE LA FRACCION FINA
FIGURA 30. FRACCION LIMO EN UN SUELO DE APORTE VOLCANICO
FIGURA 31. FOTOMICROGRAFIA DE BARRIDO
FIGURA 32. DIFRACTOGRAMA DE LA FRACCION DE ARENA FINA DE UN LEPTOSOL

- FIGURA 33. DIFRACTOGRAMA DE LA FRACCION DE ARENA FINA (ARENOSOL)**
- FIGURA 34. DISTRIBUCION DE LOS GRUPOS DE SUELOS**
- FIGURA 35. CARGAS ELECTRICAS EN ANDISOLES**
- FIGURA 36. NOMOGRAMA PARA LA DETERMINACION DE DE LAS PROPIEDADES ANDICAS DE SUELO**
- FIGURA 37. CLASE TEXTURAL**

CONTENIDO: PERFILES DE SUELOS

1.	PERFIL 9a:	Amapa Franco.	56
2.	PERFIL 5a:	Inefap II Franco.	61
3.	PERFIL 6a:	Los Otates Migajón Limoso.	68
4.	PERFIL 7a:	Puerta de Mangos Arcillo Limoso.	73
5.	PERFIL 12a:	Cerritos Migajón Arenoso.	90
6.	PERFIL D33:	Sulfaquent.	173
7.	PERFIL 1:	Suelo de Aporte Aluvial	233
8.	PERFIL 1a:	La Presa Franco	236
9.	PERFIL 2:	Suelo de Aporte Coluvial	242
10.	PERFIL 3:	Suelo de Aporte Eólico	245
11.	PERFIL 4:	Suelo de Aporte Volcánico	249
12.	PERFIL 5:	Suelo de Aporte Marino	253
13.	PERFIL 6:	Leptosuelo	256
14.	PERFIL 7:	Suelo Regolítico Residual	259
15.	PERFIL 8:	Rendzina Negra	273
16.	PERFIL 9:	Pararendzina Parda	277
17.	PERFIL 10:	Pararendzina Roja	279
18.	PERFIL 11:	Suelo Sialítico Empardecido Vértico	281
19.	PERFIL 12:	Vertisol Cálcico Salino	284
20.	PERFIL 13:	Suelo vértico con Gley	288
21.	PERFIL 14:	Andisol Vitríco Udico-Léptico	306
22.	PERFIL 15:	Andisol Ustíco Típico-Ocríco	310
23.	PERFIL 16:	Andisol Udíco Típico-Distríco	313
24.	PERFIL 17:	Suelo STB Eutrófico	334
25.	PERFIL 18:	Suelo STB Distrófico	338
26.	PERFIL 19:	Suelo STAqet Típico	353
27.	PERFIL 20:	Suelo STAqva	358
28.	PERFIL 21:	Suelo STAud Ultíco	363
29.	PERFIL 22:	Suelo STAusT Típico	368
30.	PERFIL 23:	Ferralsol (FEMr)	382
31.	PERFIL 24:	Ferralsol (FEGc)	385
32.	PERFIL 25:	Ferralsol (FEI-Líxico)	388

DATOS GENERALES SOBRE LOS PERFILES DE SUELOS ESTUDIADOS.

PERFIL No.	LOCALIZACION APROXIMADA	RECOLECTOR	AÑO DE MUESTREO	ANALIZO
P9a ⁺	21°47'-105°15'	J.E. Gama-Palacios	1994	Depto. Edaf. UNAM
P5A ⁺	21°50'-105°07'	J. E. Gama-Solleiro	1994	Depto. Edaf. UNAM
P6A ⁺	21°40'-105°24'	J. E. Gama-Ibañez	1994	Depto. Edaf. UNAM
P7A ⁺	21°37'-105°25'	J. E. Gama	1994	Depto. Edaf. UNAM
P12a ⁺	21°48'-105°05'	J. E. Gama-Palacios	1994	Depto. Edaf. UNAM
PD33*	18°23'-93°11'	J. E. Gama-Allende	1977	Lab. Edaf. DETENAL
P1	20°55'-97°40'	J. E. Gama-Villegas	1985	Depto. Edaf. UNAM
P2	15°40'-93°10'	J. E. Gama-Allende	1984	Depto. Edaf. DETENAL
P3 ⁺	18°43'-95°45'	J. E. Gama-Villegas	1986	Depto. Edaf. DETENAL
P4 ⁺	17°16'-93°08'	J. E. Gama-Allende	1982	Depto. Edaf. DETENAL
P5	24°30'-107°39'	J. E. Gama-Cota	1985	Depto. Edaf. DETENAL
P6	15°33'-92°30'	J. E. Gama-Allende	1983	Depto. Edaf. DETENAL
P7	18°10'-91°08'	J. E. Gama-Quinóñez	1986	Depto. Edaf. INEGI
P8	20°11'-89°27'	J. E. Gama-Quinóñez	1986	Depto. Edaf. INEGI
P9	20°30'-89°40'	J. E. Gama-Quinóñez	1986	Depto. Edaf. INEGI
P10	20°30'-89°40'	J. E. Gama-Quinóñez	1986	Depto. Edaf. INEGI
P11	18°11'-96°05'	J. E. Gama-Guajardo	1985	Depto. Edaf. UNAM
P12	18°42'-91°32'	J. E. Gama-Allende	1987	Depto. Edaf. INEGI
P13	20°31'-88°25'	J. E. Gama-Allende	1987	Depto. Edaf. INEGI
P14 ⁺	19°40'-97°31'	J. E. Gama-Cárdenas	1987	Depto. Edaf. UNAM
P15 ⁺	19°43'-96°45'	J. E. Gama-Cárdenas	1987	Depto. Edaf. UNAM
P16 ⁺	19°50'-97°20'	J. E. Gama-Cárdenas	1987	Depto. Edaf. UNAM
P17	20°30'-48°30'	J. E. Gama-Cárdenas	1989	Depto. Edaf. UNAM
P18 ⁺	20°12'-98°05'	J. E. Gama-Guajardo	1988	Depto. Edaf. UNAM
P19	18°12'-91°10'	J. E. Gama-Guajardo	1985	Depto. Edaf. UNAM
P20	16°00'-92°50'	J. E. Gama-Allende	1983	Depto. Edaf. DETENAL
P21	17°10'-92°45'	J. E. Gama	1987	Depto. Edaf. INEGI
P22	19°24'-90°45'	J. E. Gama	1987	Depto. Edaf. INEGI
P23	15°24'S-49°00'W	J. B. Puchig	1988	Univ. Nancy. FRANCIA
P24	17°20'S-49°15'W	J.B. Puchig	1988	Univ. Nancy. FRANCIA
P25	17°59'-96°03'	J. E. Gama-Guajardo	1985	Depto. Edaf. UNAM

OBSERVACIONES

*1 Estos suelos representan, actualmente, dentro de los programas académicos del Depto. de Edafología (Sección Génesis de Suelos) del Instituto de Geología de la UNAM, un motivo de interés particular para profundizar en su investigación, principalmente sobre su micromorfología y mineralogía de su fracción arcillosa. Asimismo, resultan importantes desde el punto de vista de su alteración, comportamiento físico y mecánico. Con base en lo anterior fue programado un nuevo muestreo de tales perfiles, el cual se inició en mayo de 1995 y continuará durante 1996 y 1997.

De los perfiles colectados antes de 1981, fue necesario actualizar y complementar los análisis de laboratorio realizados. En todos los casos, estos análisis fueron actualizados con base al Soil survey Laboratory Methods and Procedures for Collecting Soil Samples (1981-1986).

Debido a las diferentes fechas en que se realizó el muestreo, así como a la necesidad ética de conservar la información original, los datos de los análisis de laboratorio, en muchos de los ejemplos utilizados en esta tesis, se expresan conforme al Sistema Métrico de Unidades. Sin embargo, en los perfiles que se analizaron más recientemente, los resultados se expresan con base al Sistema Internacional de Unidades adoptado en 1985 por la Comunidad Científica Norteamericana. En el anexo I se presentan las correlaciones que existen entre las Unidades del Sistema Métrico, y las Unidades del Sistema Internacional utilizadas actualmente por la Soil Science Society of America.

RESUMEN

Esta tesis aunque sólo representa una primera aproximación sobre el conocimiento de los suelos Tropicales y Subtropicales de México, tiene como línea directriz establecer de forma actual y retrospectiva, un juicio crítico relativo a su valor y significado genético, morfológico y dinámico, dentro de los edafoeosistemas.

A priori, este juicio crítico requiere a modo de condición necesaria basarse, para su logro, tanto en los conocimientos que se dan a partir de la experiencia, como en el empleo del método científico aplicado a la investigación formal y evaluativa del recurso suelo.

Así, no obstante que el suelo, en este trabajo, es el sujeto principal de estudio y de análisis, no representa en la realidad una abstracción, ya que sus caracteres diagnósticos, axiomáticamente, son resultado de la dinámica de su medio. Es decir, el contexto suelo-medio-procesos, se considera similar a una experiencia entre un conjunto de variables discretas y cuantitativas, que muestran una contrastabilidad formal.

Este modelo factorial: suelo-medio-procesos; constituye, además, una trilogía natural con bases empíricas y teóricas ya que se fundamenta, respectivamente, en la concordancia de los hechos, y en las leyes e hipótesis científicas validadas para estos ecosistemas. Dicha trilogía integra la totalidad de eventos existentes y concretos que rodean los fenómenos que se presentan en el área de estudio.

El tema, por su connotación de complejidad y extensión fue catalogado en cuatro capítulos, cuyos cánones particulares son los de identificar y concluir sobre los caracteres y dinámica de cada componente medioambiental, aunque siempre cuidando su coligación, etiología, y su análisis factorial con relación al suelo.

El proceso de investigación empleado para convertir los fenómenos observados en evidencias científicas que, permitan obtener conclusiones válidas, puede ser sintetizado en cinco fases principales: (1) planteamiento del problema; (2) compilación y ordenación de datos; (3) análisis de datos y elaboración de la información; (4) interpretación de los resultados y (5) informe de los resultados. La conexión lógica que se da entre estas fases, y el juicio que se pretende demostrar en esta tesis, fueron establecidos siguiendo el esquema de Ackoff (1988) propuesto en el Diccionario de la Investigación Científica.

Así, en los capítulos I y II se establecen tres pasos fundamentales : tema, problema y metodología, cuidando que esta última fuera específica y actualizada para las condiciones de zonas tropicales y subtropicales. En el capítulo III, se muestran los resultados obtenidos con relación a los factores ambientales de estación y bioclimáticos presentes en el área. Con base en estos factores ambientales se ordena, reflexiona e interpreta su significado a fin de establecer conclusiones, específicas, acerca de los hechos estudiados. Esto implica además, la explicación de si la hipótesis de que se partió, y que dio lugar a esta investigación se cumplió, y en que medida.

Dentro del capítulo III, también se propone, en una primera aproximación, una

clasificación taxonómica para los suelos tropicales y subtropicales de México. La necesidad de establecer esta clasificación se basa en la prueba y la razón.

Así, en la realidad, la dimensión de los suelos estudiados, como una variable taxonómica, rebasa el patrón rígido que establecen la mayoría de las clasificaciones actualmente utilizadas. Esta limitante se debe, principalmente, a que el concepto y definición, artificiales, de "Suelo Tipo" o "Suelo Modal" no se ajusta a suelos que, como los investigados, se caracterizan principalmente por sus fenómenos de intergradación, agradación y degradación constantes, dentro de un tiempo geológico, antes que por su estabilidad ecológica, morfológica y evolutiva.

Es necesario advertir que la mayoría de los datos, resultados, conclusiones y ejemplos contenidos en el texto, incluyendo la clasificación propuesta, son particulares para México. consecuentemente, los postulados y suposiciones conceptuales que se deriven de ellos, sólo deben ser aplicados a la realidad nacional. Esto significa que el empleo de esta información a través de procesos matemáticos o estadísticos para hallar una función, o su valor, fuera de los valores tabulados para estas zonas, siempre mostrará un nivel de incertidumbre. Sin embargo, las extrapolaciones para conocer la tendencia futura del trópico y subtrópico mexicano con base en los datos obtenidos, si permiten contar con un pronóstico confiable, y aproximado, de lo que podría suceder de continuar tal tendencia, hacer algunas previsiones a corto y largo plazos, y cuantificar sobre ciertas bases la magnitud de las futuras necesidades sociales y económicos, así como los recursos indispensables para hacerles frente.

Finalmente, en el capítulo IV, se da una lista de los libros, artículos, informes y tesis consultados, previamente a la realización de este trabajo. En cada una de estas obras, se basa una fracción significativa de la representatividad de esta tesis, ya que con base en ellas, en la metodología utilizada, y en los resultados obtenidos, fue posible definir las características diagnósticas, dinámicas y evolutivas de las unidades edáficas y del entorno que conforman el sistema del Trópico y Subtrópico Mexicano.

PROLOGO

La expresión: "La conquista de la naturaleza" en la cual se incluye al suelo, es una de las más cuestionables y engañosas del lenguaje occidental. Refleja la ilusión de que las fuerzas naturales pueden ser enteramente controladas y expresa, la presunción criminal, de que hay que considerar la naturaleza, ante todo, como una fuente de materias primas y de energía para fines humanos. -René Dubos-, (1991).

Mirando hacia atrás, a los últimos 25 años, asombra observar el desprecio con que los discípulos del "progreso" tecnológico han tratado al mundo natural, de modo especial, a los recursos agua, vegetación y suelo. Particularmente a los que se localizan en el trópico y subtropico. Al respecto, en los escritos de algunos "consejeros en la producción"; los suelos tropicales parecen no tener importancia para la generación de alimentos.

La receta de la "moderna agricultura" dice, aproximadamente, así: **(1) ponga fertilizantes; (2) utilice una nueva batería de pesticidas; (3) consiga e introduzca las razas más productivas; (4) allane o deforeste los campos más extensos; (5) riegue hasta que desaparezca la sequía; (6) utilice maquinaria agrícola pesada y (7) olvide los miles de millones de toneladas de suelo que se pierden cada año.**

El hecho, histórico, es que en los últimos 25 años los suelos, y demás recursos de los trópicos se han caracterizado por un deterioro progresivo, en su mayoría irreversible, más que por un vertiginoso incremento en la producción de insumos. De seguir así; el camino de las nuevas generaciones no será fácil ni continuo. Sin embargo, se necesita un talento extraordinario para emprender el análisis de lo obvio.

Es importante recordar que el conocimiento y conservación óptima de los suelos Tropicales y Subtropicales de México tiene, fundamentalmente, una perspectiva genética que contrasta con la actitud "práctica" del estudio de la "capacidad" de la tierra. Este último concepto, generalmente, considera al suelo como una máquina que produce cultivos y ganadería, y ha sido la causa principal, a nivel mundial, de la pérdida de más de 2000 millones de hectáreas de tierras fértiles desde que se inició la agricultura.

Consecuentemente el suelo tropical debería considerarse, por lo menos, de tres maneras: **(1) como una especie anatómica, altamente especializada e individualizada en unidades naturales y taxonómicas**, muy diferentes a los suelos de zonas templadas y áridas en cuanto a su manejo; conservación; aptitud de uso y vocación natural; **(2) como un transformador de energía**, donde los intercambios se verifican entre el medio, los organismos y el propio suelo y **(3) como un sistema abierto que evoluciona**. Estas consideraciones dan origen a tres principios fundamentales relacionados con el uso, manejo, producción y conservación del suelo en los trópicos:

- 1. Para el manejo de los suelos, es básico el conocimiento de la génesis del suelo.**

2. **En la génesis del suelo, la complejidad es más común que la simplicidad y**
3. **El suelo y su cubierta vegetal modifican los procesos que degradan al ecosistema tropical y subtropical.**

Hasta ahora, estos principios han sido casi totalmente ignorados; arguyendo una distinción entre la pedología como "ciencia de base" y la agrología como "ciencia aplicada". Esta división, además de artificial, es inoperante y dañina ya que no es posible abordar, con provecho, la segunda disciplina sin un conocimiento profundo de la primera. **Actualmente, esto es tan cierto que; la independencia y la autonomía absoluta son cada vez menos concebibles.** Esta orientación a la vez científica y práctica no debería sorprender.

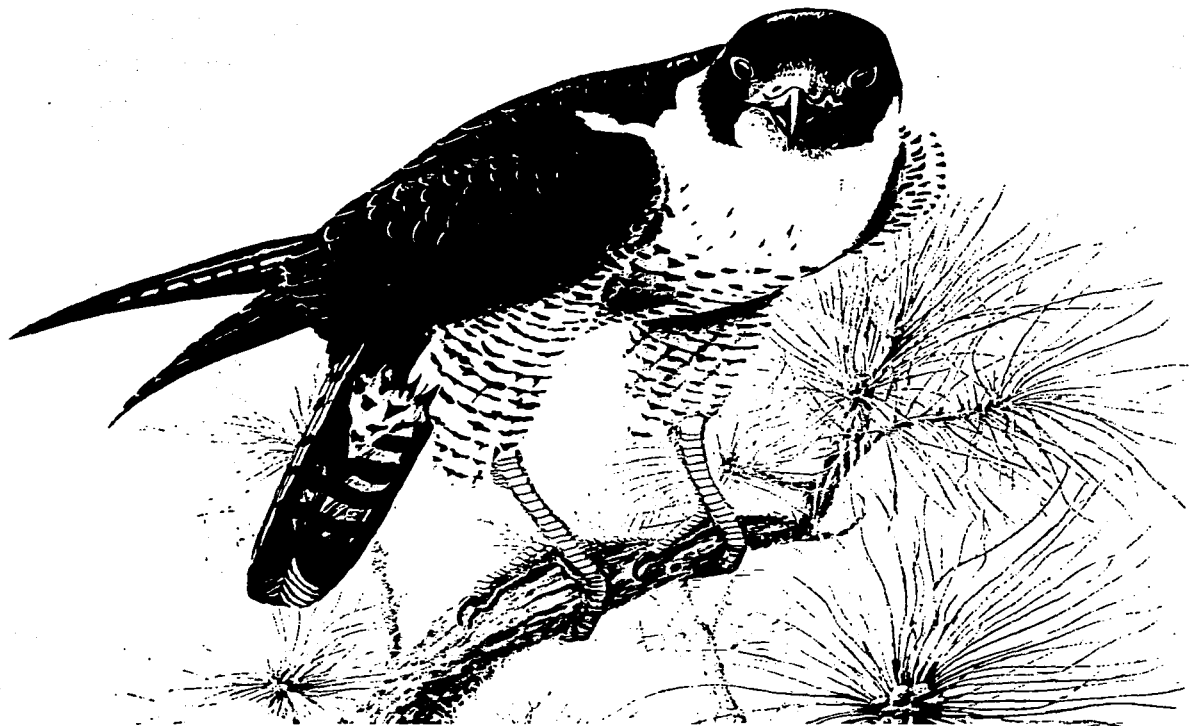
Por otra parte, es necesario considerar el hecho de que en años recientes; la expansión demográfica y la económica aumentaron la presión sobre la tierra, especialmente sobre los edafocistemas más vulnerables como son los tropicales y subtropicales. Se sabe que casi la mitad de los bosques húmedos del mundo han sido destruidos, y que a menos que se emprenda una acción drástica; más de la sexta parte restante habrá desaparecido entre el año 2000 y 2030. Esto implica que, seguramente miles de hectáreas de suelos serán degradadas, muchas de ellas de modo irreversible.

Desafortunadamente en México, como en muchos otros países en desarrollo, este fenómeno de degradación posiblemente sólo será considerado como un "factor de disminución en la fertilidad agrícola" y no como una fuente de degradación del ambiente que propiciará, a nivel mundial, la pérdida de más de 24,000 millones de toneladas de la capa superior de suelo, las cuales serán depositadas en los océanos.

Como menciona Sir Ghillean Prance: (1991), "Sabemos más sobre la superficie de la luna que sobre muchas comunidades biológicas y edafocistemas que hemos, o que estamos destruyendo rápidamente en la tierra".

Componentemente esencial de una administración responsable de los recursos presentes en el trópico y subtropico es su conocimiento, evaluación e inventario, desechando la curiosa supertición de que el hombre tiene un derecho especial a explotar estos recursos *ad infinitum* para sus propios fines. También, es necesario considerar si la especie humana, ¿es la única responsable del correcto funcionamiento del clima, de la composición de los océanos, del aire y del suelo?. En realidad, como lo plantea Lovelock (1991), "el hombre no es dueño de la tierra, ni de sus recursos, sólo es un trabajador elegido por los restantes seres vivos de este planeta, los cuales están indignados por las diabólicas libertades que nos hemos tomado con su planeta y sus vidas".

La antitesis a esta doctrina conservacionista, se basa en el hecho, cuestionablemente válido, de que toda la sociedad humana, actual, trata de organizarse y apoyarse en una tetralogía de factores: (1) el número de individuos; (2) el nivel de recursos naturales disponibles; (3) la calidad ambiental y (4) la intensidad del desarrollo económico.



Lo anterior acontece todos los días en numerosas regiones. Tal parece que no razonamos, tal parece que los humanos no valoramos el entorno que nos da la vida y somos incapaces de lograr un equilibrio entre nuestras necesidades y la vida silvestre; mas esta situación no puede continuar eternamente. Antes, cuando no había tanta gente, la naturaleza remendaba más o menos los estropicios que causaban las actividades humanas. Hoy ya no tiene tiempo porque el destrozamiento es demasiado rápido y simultáneo en todos los rincones del planeta. Contaminamos el aire y las aguas, destrozamos la cubierta forestal y dejamos que la tierra fértil sea arrastrada a los mares; o la quemamos. Una tierra que se ha formado durante el transcurso de los siglos y es la que hace posible las cosechas de alimentos. Esos indispensables alimentos que no produce la tecnología, ni la fábrica, ni el supermercado, todos derivan de una forma u otra de la tierra fértil, cada vez más escasa.

A Barbosa 1990

Aparentemente, los intereses conservacionistas, los intereses sociales y de desarrollo económico son antagónicos. Sin embargo, este antagonismo sólo es virtual y no real, ya que el uso racional de los recursos, particularmente del suelo y del agua, su conservación, la calidad ambiental y el desarrollo económico son absolutamente compatibles dentro de una política ecológica. Poner por obra de solución una política ecológica significa: tratar la vida y los recursos con imaginación e inteligencia, conocimiento y emoción, responsabilidad y cultura, oponiéndose a la burocracia e ideología, a la uniformidad, al autoritarismo y a todo intento de eliminar la diversidad y la autonomía.

I. INTRODUCCION GENERAL

La Edafología Tropical como ciencia ambiental incluye, por silogismo, a los recursos suelo, clima y organismos; dentro del concepto de ecotessera propuesto por Jenny (1980). Este concepto considera a la trilogía: suelo-clima-vegetación como una relación directa, que en condición de equilibrio ambiental es la base que sustenta la biodiversidad. Sin embargo, también implica, axiomáticamente, que las variables de esta trilogía, al ser alteradas cambian en el mismo sentido, es decir, lo que afecte a una, afecta a las demás.

Así, según Gaucher (1971) el suelo tropical y subtropical, además de ser un soporte y una reserva de insumos, muy eficiente para los organismos nativos, es un catalizador natural que actúa como intermediario entre el clima ambiental y la propia planta, a través de generar un edafoclima que incrementa o disminuye, frente a ella, los efectos de temperatura y de precipitación. Sin duda, el clima ambiental es, en los trópicos y subtropicos, el factor causal de la distribución y frecuencia de las poblaciones vegetales y de los cultivos, en tanto que el edafoclima; es uno de los principales factores responsables de la producción de biomasa.

Por otra parte, la relevancia de la vegetación tropical no sólo radica en su función como un pulmón del ecosistema, sino que, además, se relaciona dinámicamente como un regulador del clima y edafoclima; un factor formador de suelo, y como una variable que influye en la calidad del hábitat y en la calidad de la vida animal en estas zonas. Sin embargo; las relaciones planta-clima, planta-suelo, planta-medio biótico y/o abiótico, son en extremo complejas y, con frecuencia, cambiantes, en el Trópico y Subtrópico Mexicano. Esta complejidad, en parte natural, muestra, también, como causalidad una serie de condiciones concomitantes, asociadas a la presión demográfica y explotación de recursos. Este fenómeno de complejidad, además, es actualmente, un indicador expresivo de la degradación tan severa que el hombre ha generado en estas áreas.

I.1. FORMULACION DEL PROBLEMA

En un informe reciente (1991) dado a conocer a la opinión mundial, a través del World Resources Institute, en cooperación con el Banco Mundial, FAO-PNUMA y la UNESCO, se revelaba que cada año desaparecen más de 20 millones de hectáreas de bosques y selvas tropicales y subtropicales, y que más de 25 000 millones de toneladas de suelos agrícolas y forestales, son depositadas en los océanos anualmente, después de erosionarse. La predicción fundamentada en estos datos reales, indica que para el año 2000 habrán desaparecido unos 556 millones de hectáreas de selvas y suelos, o sea, el 20 porciento de la vida vegetal y animal en el planeta tierra (Myers, 1991).

A modo de introspección, en México, a seis años del fin del siglo XX, y del fin del segundo milenio, el paisaje verde de hace 35 años, integrado por nuestras selvas, bosques y suelos, ahora es un horizonte gris de suelos degradados y rocas, interrumpido por algunos

islotos de vegetación primaria y sucesiones de vegetación secundaria. A medida que la discusión del concepto "trópico degradado" se amplía; el número de indicadores sobre la incompatibilidad del hombre con su medio se acentúa.

De los veinte países del mundo más afectados por la tala y la degradación del suelo y del agua, ninguno pertenece al mundo desarrollado; nueve son latinoamericanos, siete son asiáticos y cuatro son africanos".

Así, Brasil encabeza la explotación maderera mundial con 3.65 millones de hectáreas de selva y bosque que pierde anualmente. Lo siguen en este ecogenocidio Colombia, con 2.02 millones de hectáreas, e Indonesia, con 1.48 millones de hectáreas, y México está en cuarto lugar, con 1.37 millones de hectáreas, aunque seguramente ocupa el primer sitio en cuanto a la degradación del suelo y del agua.

Las fuentes oficiales reportan que en México, durante la estación de sequía, solamente, existe un promedio establecido desde 1990, de 7000 incendios forestales en el país, el 98 por ciento de ellos provocados intencionalmente, lo cual afecta más de 200 000 hectáreas de bosques y selvas, anualmente, provocando la erosión del suelo en un 70 por ciento de ellas.

Por otra parte, más del 90 por ciento de los pantanos y manglares ya se han acabado, y junto con ellos su flora y fauna. Actualmente, en México, el problema es nombrar una especie que no tenga problemas de sobrevivencia, que no esté amenazada, que no sea víctima de la destrucción, degradación y/o contaminación de su hábitat.

Desde 1970, Aguilera, H. N., Martín del Campo, R., Sarukhán, K. J., Herrera, T. y Villaseñor, A. R., entre otros, han postulado que "los estudios del hombre y su medio ambiente son básicos para planear hacia el futuro los métodos de explotación forestal, agrícola y ganadera de las zonas tropicales". Aguilera, H. N., agrega: "las regiones tropicales húmedas del mundo, al igual que las de México, han sido objeto de poca investigación".

Un ejemplo actual, que valida los postulados establecidos por estos investigadores, es el que presenta el Dr. Jeffrey Wilkerson sobre la Selva Lacandona. Esta selva sufría hasta 1992, un ritmo de destrucción mayor y más rápido que el de la Amazonia, pues en los últimos 30 años se perdió un 70 por ciento de ella, afectándose por degradación biológica, física y química a la mayoría de los suelos presentes. Se estima que unas 200 000 hectáreas de suelos han sufrido daños severos y el 15 por ciento de ellas, daños irreversibles.

En 1875, la selva abarcaba 1.3 millones de hectáreas; entre 1875 y 1960 se redujo 6 por ciento, disminuyendo en 1 por ciento cada 14 años, aproximadamente. Sin embargo, entre 1960 y 1982, su reducción fue de 1.6 por ciento al año, una destrucción 22 veces más rápida que la del período anterior. De 1982 a 1990, ésta ha sido de 3.5 por ciento al año; 50 veces más acelerada. En 1990, quedó solamente un 30 por ciento de la extensión del bosque original, con un porcentaje mayor de 18.3 por ciento dañado. Ejemplos como los presentados son muy numerosos en México.

I.2. HIPOTESIS OPERACIONAL

Para resolver, en lo posible, el problema del Trópico y Subtrópico Mexicano, se debe incrementar la educación ambiental y dar prioridad a la investigación formal, sistemática e intensiva de sus recursos, la cual, hasta ahora, según lo señala Aguilera, H. N. (1970) ha sido reducida, particularmente para el recurso suelo.

Esta investigación se debe llevar a cabo con base en el método científico del análisis, es decir, con base en un procedimiento reflexivo, sistemático, controlado y crítico, que permita describir nuevos hechos o datos, relaciones o leyes, en cualquier campo del conocimiento humano sobre los recursos del trópico y subtropico. En este caso específico, sobre el recurso suelo.

Consecuentemente, el propósito personal inherente a esta tesis, consiste en que a partir de planteamientos originales, y particulares para México, generados a través de este estudio, así como por diferentes investigadores nacionales, y en algunos casos extranjeros, sea posible vincular la Ciencia del Suelo a las condiciones y necesidades de los edafocistemas tropicales y subtropicales con dos fines:

- 1. Búsqueda del progreso científico mediante el acrecentamiento de los conocimientos teóricos.**
- 2. Aplicación, en una fase posterior, de los conocimientos adquiridos a realidades concretas.**

I.3. JUSTIFICACION

No obstante que la mayoría de los principios y leyes físicas, químicas y biológicas que se aplican a los suelos de zonas templadas tienen validez absoluta, para ser aplicados a los suelos de las zonas tropicales y subtropicales, existe sin embargo, una razón crítica para dividir su investigación:

- A. La formación del suelo y la relación planta-suelo involucra procesos biológicos que son activados por organismos vivos, específicos del trópico y**
- B. Las prácticas y paquetes tecnológicos son frecuentemente inadecuados, debido a la diferencia ecológica entre las zonas templadas y tropicales. Estos paquetes no deben ser transferidos ni adaptados de una zona a otra.**

I.4. MARCO TEORICO

Se presentan, además, otra serie de razonamientos axiomáticos sobre la problemática actual del Trópico y Subtrópico Mexicano, que por sí mismos son suficientes para justificar este trabajo de tesis. Los principales son:

1. Se sabe que la degradación, natural o inducida, de los suelos y de la vegetación en el trópico y subtrópico nacional, es un problema muy severo, extenso y en ocasiones irreversible. Sin embargo, su distribución en estas zonas, su dinámica, y el área total afectada, prácticamente se desconocen.
2. Los suelos de las zonas Tropicales y Subtropicales de México son, probablemente, el recurso menos conocido en su génesis, naturaleza y dinámica pero, posiblemente, el más frágil e importante de todos.
3. Cada unidad de suelo presente en estas zonas representa, en la realidad, un sustrato ecológico muy exclusivo y dinámico que, consecuentemente, requiere de un uso, manejo y conservación particular, dada la vocación, singular, de cada suelo.
4. Para que se cumpla con el axioma anterior, es un prerequisite indispensable el conocimiento básico del suelo, es decir, el conocimiento sobre su génesis, morfología y clasificación taxonómica, previo a la asignación de un uso, o a la corrección de un problema.
5. Históricamente la falta de metodología, prácticas y paquetes tecnológicos con operacionalidad para el Trópico y Subtrópico Mexicano, tienen tres factores causales:
 - A. Falta de una definición nominal sobre las variables naturales o inducidas, que afectan positiva o negativamente al suelo.
 - B. Ausencia de una definición real que enumere los factores que benefician o dañan estos suelos y sus dimensiones, y
 - C. Carencia de una definición metodológica que especifique los procedimientos necesarios para el control o atenuación de los factores de degradación.

Estos tres factores, son elementos que validan la hipótesis operacional de esta tesis, ya que son una demostración directa de la insuficiente investigación que se ha efectuado sobre los suelos de Trópico y Subtrópico Mexicano.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Este trabajo de tesis tiene como objetivo general el de contribuir, con base en planteamientos originales, al conocimiento de la ciencia básica y aplicada para los Suelos del Trópico y Subtrópico Mexicano, esperando además, representar un aporte creativo y positivo en esta disciplina.

la diferente temática de los recursos naturales presentes en el trópico y subtropical, es posible cumplir con el objetivo de actualizar su información. Esta actualización, resulta particularmente necesaria en el caso de la vegetación y del uso del suelo, aunque también es necesario realizarla para varios conceptos relativos a la Geología, Climatología, Geomorfología y Suelos.

- C. Es parte fundamental de los objetivos metodológicos propuestos para actualizar la información sobre los recursos, respetar los criterios originalmente establecidos por los investigadores pioneros. Sin embargo, no es posible realizarlo en todos los casos ya que el conjunto de acciones, deseadas o no, que el hombre ha emprendido desde hace muchos años, ha propiciado profundas modificaciones ideológicas sobre el manejo de estas zonas.
2. **Selección de las Unidades Tipo de Suelos.** Con base en los siguientes criterios:
- A. **Estudios indirectos.** Se incluyen en este concepto el uso de técnicas (SIG); (TM) y (FI), así como los estudios de análisis de documentos, estudios descriptivos, estudios de correlación y estudios comparativos.
- B. **Estudios directos de casos, comunidades y conjuntos.** Se basan en levantamientos de campo, transectos, observaciones, mediciones, descripciones y muestreo de suelos, rocas y vegetación. Estos estudios se vienen realizando personalmente desde hace más de 20 años aunque, inicialmente, con diferentes propósitos.
- C. **Estudios de laboratorio.** Estos estudios, junto con la estadística descriptiva, sirven de estándares para la comparación y valoración cuantitativa de los horizontes, propiedades y fases diagnósticas de los perfiles analizados.
- D. **Estudios taxonómicos.** La integración de los estudios indirectos, directos y de laboratorio, permiten ubicar en niveles taxonómicos, naturales, a los diferentes conjuntos de suelos investigados, así como proponer a la Unidad Tipo que caracteriza a cada uno. En este caso no se ocupan las características de los individuos, como tales, para definir la Unidad Tipo, sino las características generalizadas, que resultan de los datos que se obtienen de un conjunto de suelos similares.
- E. **Estudios interpretativos.** La estadística de los datos obtenidos se recolecta, ordena, e interpreta, es decir, durante estos estudios se explica su significado, se reflexiona sobre ellos, y se establecen las conclusiones acerca de los hechos estudiados.

I.5.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

Es condición necesaria para cumplir con el objetivo general propuesto, el establecer los siguientes objetivos específicos:

1. Delimitar cartográficamente el sector del territorio nacional al cual se circunscribe el fenómeno a investigar. En este caso, el edafocosistema tropical y subtropical.
2. Actualizar, en lo posible, la información sobre los recursos ambientales característicos de estas áreas. Principalmente, la relacionada con los factores formadores del suelo.
3. Seleccionar las principales Asociaciones y Unidades Tipo de suelos presentes indicando, sistemáticamente, sus propiedades y características diagnósticas, así como su influencia o conexión mutua con los otros elementos ambientales
4. Establecer, la génesis, alteración, dinámica y degradación de los suelos tipo investigados, evaluando su etiología con los factores formadores presentes, y
5. Proponer una clasificación taxonómica, específica, para los Suelos del Trópico y Subtrópico Mexicano. Esta clasificación podrá correlacionarse a nivel de Unidad y Subunidad, con los sistemas Taxonómicos Americano y de FAO-UNESCO.

I.5.3. OBJETIVOS METODOLOGICOS

Con la finalidad de aclarar el sentido de la hipótesis, y colaborar con el logro operacional de esta investigación, hasta su consecución, se elaboran los siguientes objetivos metodológicos:

1. **Establecer un modelo metodológico específico para las condiciones del área investigada.** Este modelo contempla el uso de técnicas de baja incertidumbre que sean congruentes, además con la infraestructura y economía del País. Así, los objetivos específicos propuestos son realizados con base en los siguientes objetivos metodológicos:
 - A. Uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), Teledetección de Imágenes (TM), y Fotointerpretación (FI), en diferentes escalas, con el fin de delimitar cartográficamente el área de estudio y con el propósito de establecer estudios de casos, comunidades y conjuntos de los edafocosistemas presentes.
 - B. Con base en las observaciones y resultados obtenidos mediante el uso de las técnicas (SIG); (TM) y (FI), y apoyado en estudios de análisis de documentos e investigaciones generadas, desde hace 50 años sobre

3. **Establecimiento de la génesis, dinámica y degradación de lo Suelos Tipo.** El objetivo metodológico necesario para cumplir con este objetivo específico, se basa, necesariamente, en el nivel de acrecentamiento de los conocimientos teóricos y prácticos adquiridos durante la realización de los objetivos A, B, C y D, así como en los principios y leyes físicas y químicas, sobre la alteración edáfica, previamente establecidos a nivel nacional e internacional.
4. **Propuesta de una clasificación taxonómica.** Los objetivos metodológicos empleados se basan en: (a) análisis de la morfología del suelo; (b) horizontes de diagnóstico; (c) propiedades y fases del suelo; (d) génesis del suelo; (e) propiedades físicas y químicas del suelo; (f) intergradaciones genéticas y (g) relaciones clima-suelo; edafoclima-suelo; roca-suelo y clima-roca suelo.

I.6. METAS

Las metas propuestas son:

1. Estudiar los suelos y edafocistemas del Trópico y Subtrópico Mexicano, de acuerdo a una estructura científica, y con miras a incrementar su conocimiento básico y aplicado.
2. Examinar como estos suelos son producto de su medio ambiente, y como sus propiedades están estrechamente asociadas con los factores ambientales.
3. Acrecentar el conocimiento sobre los constituyentes de estos suelos, de como controlan sus características y reacciones, y como muchas de esas reacciones del suelo afectan, dentro de una coexistencia natural, a su medio.
4. Definir, en una primera aproximación, la delimitación cartográfica de las zonas Tropicales y Subtropicales de México, su Geomorfología, Geología, Relieve, Clima, Vegetación y Degradación.
5. Actualizar, e incrementar la información relativa a estas zonas, particularmente la que se refiere a la Geología, Cronología, Vegetación y Uso del Suelo.
6. Presentar las Unidades de Suelos Típicos, su morfología, propiedades diagnósticas, génesis, clasificación y riesgos a la degradación.
7. Establecer las Clases genéticas; las Familias mineralógicas, Intergradaciones entre Unidades Edáficas y Fases, en los Suelos Tipo.
8. Proponer una Clasificación Taxonómica de estos suelos, con base en una distribución lógica de características diagnósticas, y de sus relaciones recíprocas con los factores del medio, ponderando sus coeficientes de correlación y de variabilidad, y

9. Incrementar la parte de la filosofía tecnológica que se interesa por la verdad, por el problema del método y por la posibilidad, origen y esencia del conocimiento sobre los suelos Tropicales y Subtropicales de México.

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

A. PRINCIPIOS BASICOS Y FILOSOFICOS SOBRE LOS SUELOS DEL TROPICO Y SUBTROPICO MEXICANO

- A.1.** La Edafología aplicada en el Trópico y Subtrópico Mexicano tiene, en primera instancia, sus objetivos generales definidos para satisfacer, ampliamente, las necesidades vitales que demanda la población; sobre una mayor y mejor producción de alimentos. Sin embargo, es necesario comprender que estos objetivos siempre están condicionados por la aptitud y vocación natural del suelo.
- A.2.** La aptitud y vocación de un suelo, invariablemente están condicionadas por la morfogénesis del mismo y su dinámica ambiental. En consecuencia, el uso adecuado del suelo en los Trópicos y Subtrópicos dista mucho de ser homogéneo, ya que depende de la aptitud y vocación que cada unidad muestra. Esto último, con frecuencia contrasta, fuertemente, con la actitud práctica de extender las "fronteras agrícolas" con base, únicamente, en la "capacidad de uso potencial del suelo", obtenida paramétricamente, y de modo general para un conjunto de unidades edáficas.
- A.3.** "La capacidad de uso potencial del suelo", es un concepto que incluye metodologías, valores paramétricos, y paquetes tecnológicos eficientes y prácticos, sólo para su aplicación en zonas templadas, que es donde se crea este concepto. Consecuentemente, su aplicación a las zonas Trópicas y Subtrópicas de México, en la mayoría de los casos, es totalmente errónea ya que no está diseñado, para funcionar eficientemente bajo las condiciones ecológicas, culturales y económicas que prevalecen en estas zonas.
- A.4.** Así, "la capacidad de uso potencial del suelo", como una metodología propia de zonas templadas, es un paradigma que no debe ser aplicado al Trópico Mexicano, ya que su utilización, históricamente, siempre ha propiciado la degradación del edafosistema. Durante los últimos 100 años, existen docenas de ejemplos en el Territorio Nacional que validan este axioma. Es necesario considerar, seriamente, el hecho de que los suelos del Trópico y Subtrópico Mexicano son parte del medio ambiente, y de su equilibrio, y no entidades naturales aisladas con una capacidad potencial de producir cultivos y ganadería indefinidamente.
- A.5.** Consecuentemente, el mejor uso "potencial" que puede asignarse a un suelo tropical, o subtropical, es aquel que muestre mayor afinidad con su aptitud y vocación natural. Sin embargo, para definir y evaluar ambas características, adecuadamente, existe la necesidad de dar un enfoque morfogenético y ecológico a todas las disciplinas básicas, y ramas aplicadas

de la Ciencia del Suelo Tropical y subtropical. Esta conclusión no debe sorprender, ya que en todas las Escuelas de Suelos, que actualmente existen a nivel mundial, el conocimiento de la génesis de un suelo es un prerrequisito, imprescindible, previo a la asignación de uso del suelo.

- A.6.** Se concluye, además, que la comprensión y aplicación del axioma anterior, genera, como consecuencias probables:
- a. **Incrementar y, posteriormente, asegurar el aprovechamiento eficiente del suelo y de los recursos presentes en el edafecosistema, con base en su aptitud y vocación natural de uso.**
 - b. **Diseñar las prácticas y paquetes tecnológicos, necesarios y específicos, para la conservación, mejoramiento y productividad de los suelos Tropicales y Subtropicales, con base en las características medioambientales, económicas y culturales que prevalecen en las diferentes regiones Tropicales y Subtropicales de México.**
 - c. **Crear un banco de datos confiables, uniformes y exactos sobre el suelo y sobre los demás recursos asociados al edafecosistema. La existencia de esta información, además de coayudar al avance de investigaciones temáticas relacionadas con los suelos, permitiría generar modelos predictivos, ya sean matemáticos o paramétricos, sobre los riesgos y aptitudes de cada Grupo de suelos, bajo un uso y/o manejo determinados a priori.**
- A.7.** Sin embargo, el trabajo de campo es insustituible ("Verdad de Campo") y para su realización, óptima, es indispensable su planeación correcta, eliminando los elementos del azar, como sería por ejemplo: (a) número inadecuado de muestras y (b) localización incorrecta del sitio muestreado. (Ambos son los errores más comunes). Actualmente, los Sistemas de Información Geográfica, entre otras herramientas, son útiles y confiables para subsanar estas deficiencias.
- A.8.** Es muy importante para la interpretación de la información disponible y/o generada, directamente, cumplir con los siguientes principios: (1) clasificar y tabular ecosistemas; (2) agrupar los factores ambientales pertinentes con los objetivos establecidos; (3) formular hipótesis y conclusiones sobre los suelos, procesos y medio ambiente y (4) probar y validar los resultados y las conclusiones derivadas de estos, mediante el uso del método científico.
- A.9.** Existe, a nivel mundial, un conjunto de conocimientos emanados de la investigación básica y práctica realizada por muchos autores sobre los Trópicos. Teóricamente, estos conocimientos podrían representar un paquete de soluciones virtuales para resolver un gran número de los problemas ambientales que se presentan en estas zonas, a través de aplicar un "modelo sencillo" basado en la trilogía: causa: efecto: solución. ¿Porqué no se aplica

este modelo? y ¿Porqué cuando llega a aplicarse, generalmente, no tiene éxito? Con base en la investigación realizada en esta tesis, se pueden presentar las siguientes conclusiones:

- **El modelo no se aplica fundamentalmente por tres causas:** (1) desinterés a nivel gubernamental; (2) falta de recursos económicos y (3) falta de recursos humanos dedicados a la investigación del problema. Estas causas se pueden considerar como ciertas, pero de ningún modo como verdades absolutas. Basta citar el caso de Africa Ecuatorial donde se han invertido una gran cantidad de insumos, y la respuesta obtenida ha sido mínima o nula.

- **El modelo no funciona eficientemente debido a:** la degradación de los recursos del trópico y subtropico es un fenómeno complejo, en el que se presentan, además, algunas variables intercurrentes como son: la deficiente educación de la población, la desnutrición, la mala nutrición y la sobrepoblación. Estas variables no son susceptibles de ser medidas, y mucho menos atenuadas por un modelo tan simplista, y desvinculado del método científico, como es el de la trilogía: causa-efecto-solución.

A.10. Finalmente, es necesario concientizar el hecho de que la deficiente educación de que adolece la población, en general, que habita las áreas Tropicales y Subtropicales, no solo de México, sino a nivel mundial, es uno de los principales factores causales de la degradación de los recursos, particularmente del suelo, la vegetación y el agua. Este fenómeno social implica el hecho de que aunque existiera la posibilidad, científica y tecnológica, de rehabilitar, en gran medida, los recursos renovables del Trópico y Subtrópico Mexicano, existiría, también, el riesgo inmediato, o mediato, a nuevas degradaciones sobre los ecosistemas presentes en estas zonas, en tanto no se fomente la educación ambiental entre la población. El concepto "población" incluye, en este caso, tanto al productor agrícola como al empresario que desea invertir en ellas.

II. DISEÑO METODOLOGICO

II.1. INTRODUCCION

Como se mencionó anteriormente, una de las principales directrices de esta tesis consistió en conjuntar, analizar, seleccionar y formular las opciones metodológicas más adecuadas, dentro del procedimiento y método científico, para estudiar y representar a los suelos del Trópico y Subtrópico Mexicano.

Este diseño se basa, en gran parte, en modelos empíricos y teóricos contenidos en las propuestas metodológicas presentadas por: (1) *Soil Survey Manual 18, SCS-USDA, (1993)*; (2) *Soil Survey Laboratory Methods; SCS-USDA, (1986)*; (3) *FAO-UNESCO, (1990)*; (4) *FAO-PNUMA, (1980)* y (5) *Manual of Terrain Analysis and Classification, I.T.C. The Netherlands, (Van Zuidam, 1990)*.

Estas metodologías fueron, en parte, modificadas y ajustadas, estratégicamente, para ser empleadas en el análisis de suelos de las zonas tropicales y subtropicales de América, con base en el programa presentado por la International Union of Biological Sciences, UNESCO: "**Man and the Biosphere**". Programme: **The Decade of the Tropics**". Asimismo, fueron utilizadas varias técnicas selectivas para suelos tropicales y subtropicales, contenidas en el Manual de Métodos titulado: **Tropical Soil Biology and Fertility**. Este último manual, publicado en 1989, fue patrocinado por la Fundación Rockefeller y diseñado por la International Soil Science Society.

Finalmente, con aceptación implícita, las consideraciones fundamentales sobre la aplicabilidad y confiabilidad de este diseño, se basaron en las experiencias y contribuciones científicas de un gran número de investigadores mexicanos que han trabajado las zonas cálido-húmedas de México. Entre ellos destacan los trabajos trascendentes, realizados por: Aguilera, H. N. (1955), Aguilera, H. N. (1959), Cuanalo, C. H. (1964), Cuanalo, C. H. y Aguilera, H. N. (1970), Macías, V. M. (1962), Ortiz, M. R. (1957) y Ríos, M. F. (1956) en el área de Suelos. En el área de Botánica y Ecología son básicas las investigaciones realizadas por Gómez, P. A. (1965), Hernández, X. E. (1963), Villaseñor, A. R. (1970), Sarukhán, K. J. (1964) Chiang, C. F. (1967), Diego, P. N. (1970), Miranda, F. (1947), Sousa, S. M. (1964), Rzedowski (1962) y Toledo, V. (1969) entre otros.

Sin duda, los modelos teóricos realizados por García, E. (1965), García y Mosiño (1968) y Mosiño (1964) son la base para los estudios climáticos, en tanto que las investigaciones de campo realizadas por Ordóñez, E. (1896), López-Ramos (1950) y De Cserna, Z. (1960) son la base para los estudios geológicos, de las zonas Tropicales y Subtropicales de México.

II.2 DESARROLLO DEL DISEÑO METODOLOGICO

Este trabajo fue realizado en las siguientes seis etapas:

II.2.1. ETAPA A

II.2.1.1. Compilación de la Información Básica.

Como elemento necesario de comparación, se puede mencionar que la compilación de la información y documentos cartográficos, relativos al Trópico y Subtrópico Mexicano, tomó una quinta parte del tiempo empleado para la realización de esta tesis. Esto significa que fue necesario invertir 10 meses para reunir, seleccionar y clasificar el material temático, sobre el medio ambiente tropical, estudiado en el lapso de 1950 a 1994, por varios investigadores nacionales y extranjeros.

Sin duda alguna, el material compilado dista mucho de haber agotado el conocimiento actual sobre el Trópico Mexicano y sus recursos, particularmente el suelo. Seguramente existen, en proceso, numerosas investigaciones sobre este tópico que aún no han sido publicadas. Sin embargo, la calidad y confiabilidad del material colectado, posiblemente, sea suficiente, en esta primera aproximación, para dar una diagnosis de estas zonas y sobre el recurso suelo que prevalece en ellas.

II.2.2. ETAPA B

II.2.2.1. Empleo de Técnicas de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica.

Debido a la numerosa información reunida, así como a la necesidad, justificada, de actualizar gran parte de ella, especialmente la relativa al uso del suelo, vegetación y degradación ambiental, fue preciso determinar las diferentes categorías que muestran los elementos del paisaje a través del método propuesto por Van Zuidan (1990) mediante el examen analógico de imágenes LANDSAT 3, en las bandas espectrales MSS-4-5-6 y 7 en falso color; así como mediante el uso de Imágenes TM, en las bandas 3-5-4.

Esta información se complementó con la interpretación de fotografías aéreas; pancromáticas y de infrarrojo, de escala 1:50,000. Posteriormente, con el propósito de incrementar la precisión y calidad de la información obtenida, y de seleccionar los sitios más representativos de los edafocistemas investigados, se realizó un segundo estudio a nivel semidetallado, con base en el análisis fotointerpretativo indicado por Bergama (1980). En este caso, fueron utilizadas ampliaciones de las imágenes, fotografías aéreas y mosaicos aerofotográficos de escalas 1:50 000, 1:25 000 y 1: 15 000, respectivamente.

II.2.3. ETAPA C

II.2.3.1. Levantamiento de Campo.

Durante esta etapa, se realizó lo siguiente: (a) rectificación o ratificación de la información generada durante el análisis e interpretación espectral obtenido en la Etapa B

(Verdad de Campo). Para ello fueron empleados los principios establecidos por la ASP (1985); (b) descripción y muestreo de perfiles de suelos representativos. En este caso, es necesario aclarar que los perfiles de suelos que se presentan en esta tesis, son el resultado de una serie de estudios de suelos, realizados, personalmente, desde 1970, a la fecha; (c) selección de los sitios de observación, medición y muestreo, tanto de vegetación como de suelos y roca y (d) observación directa de la mecánica de los procesos formadores y/o degradadores del suelo, a través de criterios visuales (FAO-PNUMA, 1980).

II.2.4. ETAPA D

II.2.4.1. Análisis de Laboratorio.

Como se mencionó, anteriormente, los análisis se realizaron, en su mayoría, con base en el Manual "Soil Survey Laboratory Methods and Procedures for Collecting Soil Samples" (1981, 1986 adaptados a zonas tropicales por USDA-UIBS-UNESCO (1989). Los análisis, especiales para determinar algunas propiedades y fases diagnósticas de los suelos, se realizaron con base a FAO-UNESCO (1985) y con base a la International Society of Soil Science. Los análisis, realizados fueron los siguientes:

II.2.4.1.1. Análisis Físicos:

- a. **Color en húmedo.** (0.33 bar) y **Color en Seco** (15 bar) determinado a través de las tablas Munsell (1990).
- b. **Clase textural.** Determinada por el método de Bouyoucos, G. J. (1955) modificado por Villegas y colaboradores (1978).
- c. ^{*1} **Tamaño de partículas.** Fracción < 2mm, determinada por el método de la pipeta (USDA, 1990).
- c.1. Fracción > 2 mm. Mediante pesadas en laboratorio y en campo.
- d. **Densidad en masa.** Por el método de Blake (1982) para suelos gravosos y no gravosos, y por el método de Shaw (1978) para suelos arcillosos expandibles (USDA-UNESCO-UIBS, 1989).
- d.1. Por el método de terrones secados al horno y recubiertos con parafina. (*USDA, 1986). *En todos los casos, USDA, 1986 se refiere al "Soil Survey Laboratory Methods" (1986).
- d.2. Por el método de terrones saturados de líquidos no polares (USDA, 1986).
- e. ^{*2} **Densidad de partícula.** Por el método del picnómetro (Baver, L. D. 1980).
- f. **Retención de agua.** Extracción de presión de placa (1/3-1/10 bar) USDA, 1986.

- f.1. Extracción de presión de membrana (15 bar) USDA, 1986.
- g. **Capacidad de campo.** Por el método de Klute, A. (1986) modificado por USDA-UNESCO-UIBS, (1989).
- h. **Punto de marchitez permanente.** Klute, A. (1986) modificado por USDA-UNESCO-UIBS, (1989).
- i. **Capacidad de retención de agua por la planta.** Sahw, R. J. y Yule, D. F., (1978) modificado por USDA-UNESCO-UIBS, (1989).
- j. **Infiltrometría.** Según el Manual "Booker Tropical Soil", Anon (1984).
- k. **Macroporosidad.** Con base en Soil Science Society of America, (Bouma, 1981).
- l. **Permeabilidad.** Según el método de R.G. Palmer (1980).
- m. **Extensibilidad lineal.** Por el método de Franzmeier y Ross (1968) modificado por USDA (1986).
- n. **Índice de plasticidad.**
 - n.1. Límite líquido. Con base en American Society Testing and materials:
 - n.2. Límite plástico. ASTM-USA (1986).
 - ñ. **Micromorfología.** Con base en Cady (1965) modificado USDA, (1986)
 - ñ.1. Secciones delgadas. Con base en Cady (1965) modificado USDA, (1986)
 - ñ.2. Microscopía de barrido de electrones. USDA, 1986

II.2.4.1.2. Análisis Físicoquímico:

- a. ***3 Capacidad de intercambio de cationes.**
 - a.1. Por el método de NH_4OAc , pH 7.0 (Peech, 1947)
 - a.2. Por el método de NaOAc , pH 8.2 (Richards, 1959)
 - a.3. Por el método de NH_4OAc , pH 7.0 modificado por ASTM-USA (1986)
- b. **Suma de cationes.**
- b.1. Acidez. Mediante la técnica de BaCl_2 , pH 8.2
- b.2. Bases. NH_4OAc pH 7 (Peech, 1947)
- c. ***4 Acidez intercambiable (Aluminio).** Por el método propuesto por ASTM-USA (1989).

- d. **Bases extraíbles.** Extracción NH_4OAc . Peech (1947) modificado por USDA (1986).
- e. ***₅ Reacción (pH).**
- e.1 Dilución en agua. Fields y Perrot, (1966) modificado por USDA (1986).
- e.2. Dilución en KCL. Fields y Perrot, (1966) modificado por USDA (1986).
- e.3. Dilución en NaF. Fields y Perrot, (1966) modificado por USDA (1986).
- e.4 Dilución en CaCl_2 . Peech (1965) modificado por USDA-(1986)
- f. **Valor K.** Con base en Wischmeier (1976).
- g. **Valor n.** Con base en Pons y Zonnveld, (1965) modificado por Soil Survey Staff (1987).

II.2.4.1.3 Análisis Químico:

- a. **Materia orgánica.** Determinada por el método de Walkley, A. y Black, I. A. (1947).
 - b. ***⁶ Carbono-orgánico.** Fueron utilizadas las siguientes técnicas: (1) digestión de dicromato ácido (Walkley, 1935); (2) método de oxidación completa (Nelson, DW. y Sommers, L. E. (1975) modificada por ASTM-USDA, 1989); (c) oxidación parcial (Walkley y Black modificada(1976).
 - c. **Bases Intercambiables.** Por extracción con acetato de amonio a pH7. El Na^+ y el K^+ se determinaron por flamometría y el Ca^{++} y el Mg^{++} , preferiblemente, por absorción atómica (ASTM-USDA 1989). En algunos casos el Ca^{++} y el Mg^{++} fueron determinados por titulación con EDTA.
 - d. **Nitrógeno total.** Por el método de Digestión de Kjeldahl, según la Association of Official Agricultural Chemists (1945). Semimicro Kjeldahl. (USDA, 1986).
 - e. **Mineralización de Nitrógeno total. Determinada en condiciones aeróbicas,** según el método de Matson y Vitousek (1981) modificado por USDA-UIBS-UNESCO (1989).
- Determinada en condiciones anaeróbicas.** Según el método de Brenner (1965) modificado por USDA-UIBS-UNESCO (1989).

- f. *7 Hierro.** Extracción por ditionito-citrato-versenato, (Aguilera, H. N. y Jackson, M. L. (1956).
- f.1.** Extracción por ditionito-citrato. (USDA 1990), (FAO, 1994).
- f.2.** Extracción por pirofosfato de sodio. (Bascomb, 1968)).
- f.3.** Extracción por ditionito-citrato bicarbonato. (Mehra y Jackson (1960)).
- f.4.** Extracción por el Reactivo de Nancy. (ORSTOM, 1970).
- f.5.** Extracción por el método de Segalen. (1970).
- g. Aluminio.** Extracción con pirofosfato de sodio. (Bascomb, 1968) modificada por USDA, 1986.
- g.1.** Extracción por oxalato de amonio. (USDA, 1986).
- g.2.** Extracción por ditionito-citrato. (USDA 1990), FAO 1994).
- h. Manganeso.** Extracción por ditionito. (Jackson 1958).
- i. Carbonato de calcio.** Tratamiento de HCL. (Association of Official (Semicuantitativo) Agricultural Chemists (1945)
- j. *8 Conductividad eléctrica.** Determinada con base en Rhoades, J. O. (1982).
- J.0. Carbonatos.** Pasta saturada. (Richards, 1954).
- J.1. Bicarbonatos.** Pasta saturada. (Richards, 1954).
- J.2. Cloruros.** Pasta saturada. (Richards, 1954).
- J.3. Sulfatos.** Pasta saturada. (Richards, 1954).
- J.4. Nitratos.** Pasta saturada. (Richards, 1954).
- J.5. Calcio.** Pasta saturada. (Richards, 1954).
- J.6. Magnesio.** Pasta saturada. (Richards, 1954).
- J.7. Sodio.** Pasta saturada. (Richards, 1954).
- J.8. Potasio.** Pasta saturada. (Richards, 1954).
- k. Azufre.** Extracto de NaHCO_3 , pH 8.5. (Kilmer y Nearpass, 1960).
- l. Fósforo total.** Digestión de ácido perclórico. (Sherman 1942).

OBSERVACIONES:

*1 FAO-UNESCO, (1994) recomienda para el caso de Andisoles y Ferralsoles, determinar los contenidos de arcilla dispersable en agua, empleando para ello la técnica de Blake, G. R. y Hartge, K. H. (1986).

*² FAO-UNESCO (1994) considera necesario que la densidad aparente se obtenga a capacidad de campo (33 KPa agua).

*³ FAO-UNESCO (1994) recomienda el método NH_4OAc , pH7 como el más confiable para determinar la CIC.

*⁴ FAO-UNESCO (1994) propone el método de percolación con KCL IM como el más seguro para determinar la acidez intercambiable (H+A).

*⁵ FAO-UNESCO (1994) considera que la medición del pH en un suelo normal debe hacerse con una relación 1:2.5. En tanto que para la determinación de horizontes sulfúricos, o muy salinos, el pH debe medirse en una relación 1:1.

*⁶ FAO-UNESCO (1994) recomienda, particularmente el método de Walkley y Black modificado por Nelson, D.W., y Sommers, L. E. (1982):

*⁷ El método de Aguilera, N. H y Jackson (1956), sigue siendo muy eficiente para la extracción de hierro, particularmente en la fracción fina del suelo. En suelo total, (< 2mm) los métodos del Mehra y Jackson, así como el de Holmgren, son recomendados por FAO-UNESCO, (1994) para la determinación de Fe y Al y de Al y Fe, respectivamente.

*⁸ FAO-UNESCO, (1994) recomienda medir la conductividad eléctrica a través del método de Rhoades, J. D. (1982).

II.2.4.1.4. Análisis Mineralógico.

Análisis Instrumental.

- | | | |
|----|---|--|
| a. | Eliminación de carbonato. | Acetato de sodio (Jackson, M. L., 1956). |
| b. | Eliminación de materia orgánica. | Peróxido de hidrógeno 35% (Kilmer 1949). |
| c. | Eliminación de hierro. | Aguilera, H. N. y Jackson, M. L. (1956). |
| d. | Desagregación y fraccionamiento en tamaños de partículas. | Bicarbonato de sodio (pH 9.5) y Metafosfato de sodio (Jackson, M. L. (1956). |
| A. | Difracción de rayos X. | (U.S. Geological Survey (1980). |
| B. | Análisis térmico diferencial. | (Mckenzie, R. C. (1957). |
| C. | Análisis por infrarrojo. | Equipo: Perkin Elmer 780 Serie A. |

II.2.4.1.5. Análisis Óptico.

- A. Microscopía electrónica.
- B. Microsonda.
- C. Microscopía petrográfica.

II.2.4.1.6. Análisis Total.

- A. Químico. Shapiro y Brannock (1956).
- B. Espectrografía de emisión de rayos X. Vander Heuvel (1965).

II.2.4.1.7. Análisis Mecánico.

- a. Area de superficie. Retención de glicerol (Kinter y Diamond (1958).
- b. Estabilidad y colapsamiento. Gibbs, H. J. (1966).
- c. Resistencia al corte. Juárez, B. E. (1963).
- d. Permeabilidad. Sherard, J.L. (1972).
- e. Compresibilidad. Kassiff, G. M. (1969).
- f. Variación volumétrica. Sherard, J.L. (1972).
- g. Resistencia a la erosión. USDA-SCS. (1990).
- h. Clasificación textural U.S. Standard. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

OBSERVACION: Los análisis de laboratorio que aparecen enlistados, fueron realizados de modo selectivo, no general, dependiendo de la Unidad de Suelo estudiada.

II.2.5. ETAPA E

II.2.5.1. Interpretación de la Información.

Durante esta etapa se integró toda la información compilada, así como la generada en las etapas B y C. La interpretación de la información se basó en los principios universales establecidos por las diferentes escuelas de suelos, particularmente, por las Escuelas Mexicana, Estadounidense y Francesa, así como en los principios generados por FAO-UNESCO.

Esta interpretación permitió vincular los teoremas establecidos por la Ciencia y la Tecnología de cada una de estas Escuelas además de:

1. Analizar el problema de los suelos Tropicales y Subtropicales de México, así como de los recursos presentes en estas zonas.

2. Formular hipótesis de trabajo para dar forma y dirección al problema investigado.
3. Agrupar los hechos ambientales pertinentes.
4. Clasificar y tabular datos para encontrar similitudes, secuencias y correlaciones entre los suelos y los edafocistemas, con énfasis a su Génesis, Dinámica y Degradación.
5. Formular conclusiones sobre los suelos y el medio ambiente, a través de encontrar similitudes, secuencias y correlaciones, mediante el uso de procesos lógicos.
6. Probar y verificar las conclusiones y resultados mediante el uso del método científico y

II.2.6. ETAPA F

II.2.6.1. Elaboración del Documento Final.

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

C. DISEÑO METODOLOGICO

- C.1. Compilación.** La integración de la información básica sobre los recursos bióticos y abióticos del Trópico y Subtrópico Mexicano, aunque fue realizada de modo exhaustivo y ordenado, dista de haber agotado el conocimiento actual sobre estas zonas, ya que su intensa evolución ambiental debida, principalmente, a la presión demográfica las hace poco estables, tanto en paisaje como en dinámica. Sin embargo, la selección de la información utilizada, le da calidad y confiabilidad suficientes, en esta primera aproximación, para dar una diagnosis de las zonas, de su evolución, degradación y dinámica, particularmente enfocada al recurso suelo que prevalece en ellas.
- C.1.1.** Sin duda, una de las principales limitantes para el estudio ordenado y sistemático de los suelos y factores ambientales presentes, es la anarquía que caracteriza a gran parte de la información disponible. Así, las principales limitantes para su uso fueron: (1) anacronismo (60%); (2) nomenclaturas heterogéneas (25%) y (3) diferentes escalas de detalle (15%). Estas deficiencias se presentaron principalmente en los siguientes tópicos: (1) uso del suelo y vegetación (75%); (2) degradación del suelo (15%) y (3) otros (10%).
- C.2. Teledetección.** Los mejores medios, metodológicos, para subsanar esta deficiencia en la información, son: (1) empleo de técnicas de teledetección y de sistemas de información geográfica, integradas a un monitoreo multitemporal basado en imágenes; (2) complementación de la información a través de estudios semidetallados obtenidos por el análisis fointerpretativo y (3) establecimiento de patrones espectrales, relativos a los recursos.
- C.2.1.** Aunque estos sistemas metodológicos, indirectos, son económicos y, particularmente, eficientes para diagnosticar vegetación, uso del suelo; geomorfología y litología, aún carecen de una estricta validez científica en otras áreas como son, particularmente, suelos y degradación del suelo, por lo que los resultados obtenidos fueron ratificados y/o rectificadas en campo, utilizando únicamente aquellos que mostraran un nivel de confiabilidad, mínima, de 85%.
- C.3. Trabajo de campo.** Como se mencionó anteriormente, se concluye que el trabajo de campo es, además de absolutamente necesario, insustituible por ninguna otra técnica. Sin embargo, se concluye, también, que uno de los mejores medios para obtener economía en tiempo y recursos, con un nivel de precisión aceptable, es el uso de la teledetección, particularmente, después de que se tienen patrones espectrales bien establecidos.

- C.3.1.** El recorrido preliminar de campo, así como la verificación de suelos a través de barrenaciones, previas a la apertura y muestreo de perfiles, resultó el mejor método para seleccionar el perfil tipo y establecer sus intergradaciones. Colateralmente, también, es el momento óptimo para afinar los contactos de suelos, vegetación, uso del suelo, geomorfología, litología y degradación, previamente establecidos en la etapa de teledetección.
- C.3.2.** No existe, aún, mejor técnica de campo que sobrevolar, en helicóptero, entre 50 y 100 metros de altura, el área de estudio para integrar, cabalmente, las relaciones que existen entre lo suelos y los demás elementos del paisaje. La mejor hora para realizar este recorrido es entre las 5:30 a.m. y las 12:30 p.m.
- C.3.3.** En general, se concluye que los perfiles de los suelos seleccionados, deben ser estudiados, clasificados y evaluados en el campo, dejando al análisis de laboratorio su ratificación y, en algunos casos, la identificación de propiedades y/o fases diagnósticas de naturaleza estrictamente química. Es casi imposible ver a través del análisis químico, aquellas características que no fueron observadas en el campo. Hasta ahora, no existe un manual más completo para diagnosticar un suelo en el campo, que el manual elaborado por USDA, 1994.
- C.4.** **Análisis de Laboratorio.** La economía en los análisis de laboratorio es absolutamente necesaria. El número y tipo de análisis indispensables para identificar y conocer la dinámica de una Unidad de Suelo, debe ser siempre selectivo. La discriminación en el número y tipo de análisis está preestablecida en función del grupo taxonómico en que se sitúa el suelo.
- C.4.1.** Es muy importante considerar que para el análisis correcto de los suelos del Trópico y Subtrópico Mexicano, se deben utilizar antes que "técnicas nuevas", métodos de análisis específicos y/o modificados para los suelos tropicales. También es necesario conocer que aún las técnicas específicas no son universales, y que su grado de confiabilidad estadística, en muchas de ellas, varía no sólo entre las diferentes Unidades genéticas de suelos, sino incluso entre los diferentes horizontes de un sólo perfil.
- C.4.2.** En estudios experimentales sobre algunas técnicas selectivas para los suelos del Trópico, se observó que dentro de un grupo de suelos con características taxonómicas similares (Suelos de cargas variables), las oscilaciones en pH, contenido de materia orgánica, naturaleza de las arcillas presentes y contenidos de amorfos, bastaban para alterar los resultados generados por la técnica.
- C.5.** **Interpretación de la Información.** Además de cumplir con los cuatro incisos contenidos en el párrafo A.8 se deben tomar las siguientes consideraciones para una buena interpretación de los datos:
1. Los procesos edafogénicos actuales operan en el espacio y en el tiempo.

2. Regímenes de procesos genéticos distintos en procesos de formación del suelo, producen suelos distintos.
3. El suelo, su cubierta vegetal y su uso modifican los procesos de degradación del edafoeosistema.
4. La arcilla se produce en el suelo.
5. En el suelo se producen complejos orgánicos y minerales.
6. En el curso de la edafogénesis ocurre una sucesión de suelos, representada en ocasiones como una intergradación genética.
7. En la génesis de los suelos tropicales, la complejidad es más común que la simplicidad.
8. En el Trópico y Subtrópico Mexicano, muy poco del continuo del suelo es anterior al Terciario, y la mayor parte no es anterior al Pleistoceno.
9. Para una comprensión clara de los suelos del Trópico es requisito el conocimiento del clima, asimismo, es indispensable un conocimiento del Pleistoceno y
10. Siempre hay evidencias observables de cambio en los índices y el grado de respuesta del suelo al medio.

C.6. Elaboración del documento final. Se concluye que la elaboración de la tesis se realizó siguiendo un diseño metodológico específico y es el resultado del encadenamiento de raciocinios obtenidos con base a la información generada en las diversas etapas metodológicas. En todos los casos, estos razonamientos tienen como premisas los fundamentos de la demostración, y por conclusión final la tesis que se va a demostrar. La validez de este trabajo se basa en que únicamente acepta proposiciones que han sido admitidas o probadas para el Trópico y Subtrópico Mexicano.

III. RESULTADOS Y DISCUSION

MEDIO AMBIENTE TROPICAL Y SUBTROPICAL: DIAGNOSIS Y SELECCION

Según la definición geográfica, más comúnmente aceptada, los trópicos se sitúan entre los 23°27' norte y sur del Ecuador, comprenden el 39% de la superficie terrestre, e incluyen a la mayoría de los países en desarrollo. Sin embargo, al igual que cualquier definición cuantitativa, ésta pierde gran parte de su significado a medida que se acerca a los límites porque, estos cambios entre zonas tropicales y templadas son graduales e irregulares.

Dos características han sido tradicionalmente empleadas como conceptos esenciales para definir un trópico: (1) baja variación estacional en la temperatura y (2) concentración de las lluvias en el verano. Aunque ambas características son muy discutibles, FAO (1981) las considera fundamentales para apoyar su proyecto de Zonas Agroecológicas. FAO, considera como clima tropical aquél que muestra una temperatura media mensual, (corregida a nivel del mar por el factor 0.6°C/100m) que es mayor a 18°C. Las zonas que muestran uno o más meses con temperaturas, corregidas, abajo de 5°C se consideran templadas, en tanto que las zonas que se encuentran entre estos extremos climáticos se denominan subtropicales, independientemente que las lluvias se presenten en el verano o en el invierno.

DEFINICION Y CRITERIOS UTILIZADOS PARA SELECCIONAR EL AREA DE ESTUDIO

En esta tesis, los criterios utilizados como resultado de la investigación realizada, para definir el área de estudio de los suelos tropicales y subtropicales de México son los siguientes:

CRITERIOS GEOGRAFICOS.

1. Esta área se localiza en la vertiente del Pacífico, aproximadamente, entre los paralelos 24° N, hasta 15°30' N, en tanto que en la vertiente del Golfo, sus límites son 23° N hasta 16° N (Figura 1).
2. El área de estudio, en la vertiente del Pacífico comprende, total o parcialmente, las siguientes Provincias y Regiones Geomorfológicas: (1) Plataforma Continental de la Margen Submarina de Occidente; (2) Sur de las Montañas del Bloque de Jalisco; (3) Cordillera de Colima-Oaxaca, Flanco Occidental; (4) Planicie Costera de Chiapas; (5) Plataforma Continental de la Margen Submarina del Sur de México; (6) Montañas del Bloque Cristalino del Soconusco; y (7) Sierras Bajas y Altiplanos Plegados del Norte de Chiapas.
3. En la vertiente del Golfo, las zonas tropicales y subtropicales se incluyen en las siguientes Provincias y Regiones: (1) Sur de la Planicie y Lomeríos de

FIGURA 1 LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO



Tamaulipas; (2) Margen Oriental del Piedemonte del Eje Neovolcánico; (3) Planicies del Suroeste; (4) Planicie Costera de Tabasco y Campeche; (5) Planicie del Norte de Yucatán; (6) Planicies y Lomeríos del Sur y (7) Planicies del Suroeste.

CRITERIOS MORFOMETRICOS Y MORFODINAMICOS

1. **El relieve, en el área de estudio está constituido, en su morfología por planicies y lomeríos.** Con amplitudes de relieve que oscilan, respectivamente, de 0-200 m y de 1000 a 1500 m en superficies de 950 km² (Figura 2).
2. Los valores dominantes de inclinación del relieve fluctúan de < 25° en las zonas de lomeríos y áreas cerriles.
3. La altitud varía desde el nivel del mar, hasta 1500 m de altura. Excepcionalmente, se consideran altitudes de 1800 m.
4. Los procesos exógenos dominantes en el área del Pacífico son: la erosión fluvial vertical y remontante, la erosión fluvial general por descenso de divisorias, y la erosión fluvial y carsificación superficial y subterránea.
5. Los procesos exógenos dominantes en el área del Golfo son: la erosión fluvial general por descenso de las divisorias, así como la carsificación superficial y subterránea.
6. Los procesos de acumulación son, fundamentalmente: el fluvial, marino, deltaico, lacustre y eólico.

CRITERIOS CLIMATICOS.

1. **Con base en Köeppen, modificado por García (1988) el área de estudio muestra tres tipos principales de climas:** (1) caliente húmedo con lluvias abundantes (> 1500 mm) durante todo el año. La precipitación del mes más seco es > 60 mm (Af); (2) caliente subhúmedo con lluvias en verano (> 70% de la precipitación total). Existe al menos un mes en que la precipitación media es < 60 mm (Am) y (3) caliente, húmedo, con lluvias abundantes en verano. Muestra una estación corta, seca (< 5 meses) en la mitad fría del año (Figura 3).
2. En todos los casos, la precipitación promedio anual siempre es mayor a 800 mm, y la temperatura del mes más frío superior a 18°C.
3. La cantidad de lluvia total durante el año, es suficiente para mantener saturada la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo por un período mínimo de 6 meses.

4. La diferencia, en mm, que muestra la evapotranspiración real, con respecto a la precipitación; siempre propician un excedente de agua en el suelo por un período mayor de 30 días. Bajo estas condiciones climáticas, existe suficiente humedad para sostener cultivos cuya duración del período de crecimiento sea mayor de 120 días.

CRITERIOS EDAFOCLIMATICOS.

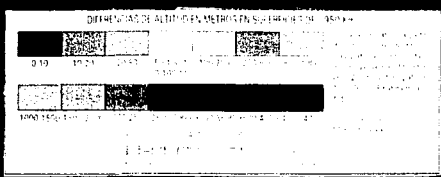
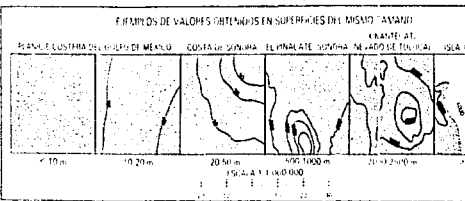
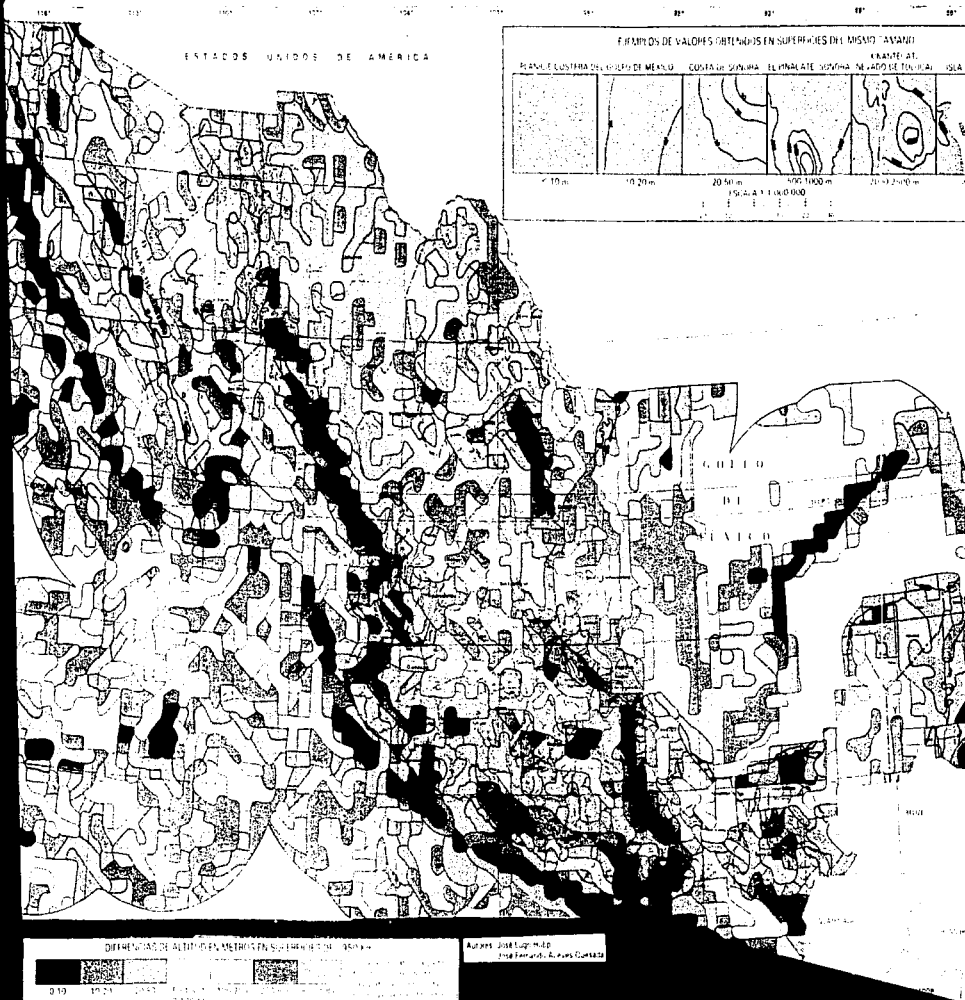
1. Los suelos que se localizan en estas zonas, generalmente, muestran un régimen de humedad ústico, údico o ácuico, y un régimen de temperatura que oscila de hipertérmico a isohiptérmico (Figura 4).
2. Estos suelos muestran, además, un índice de alteración, y de lixiviación potenciales, mayores de 1000 y 500, respectivamente, así como un drenaje climático mayor de 200 mm en los climas Aw, entre 200 a 400 mm en el clima Am y mayor de 400 en el clima Af (Figura 4).

CRITERIOS BIOLÓGICOS.

1. La vegetación natural de las zonas tropical y subtropical, originalmente presentaba una estrecha correlación con el clima. Esta vegetación podía, hasta principios de este siglo, agruparse en cinco categorías distintivas: (1) bosques perennifolios de hoja ancha; (2) bosques semidecíduos y deciduos; (3) arbustos y matorrales; (4) praderas y sabanas y (5) áreas carentes de vegetación.
2. Actualmente, sólo es posible, en la mayoría de los casos, inferir algunas asociaciones vegetales que fueron dominantes, en función de los siguientes tipos climáticos:
 - a. Tipos de clima Af y Am: (1) Selva alta perennifolia; (2) Selva alta semidecídua; (3) Acahuals altos (Vegetación secundaria); (4) Palmars altos; (5) Sabanas y regiones sabanoides; (6) Popales y (7) Manglar.
 - b. Tipo de clima Aw: (8) Selva mediana subcaducifolia y caducifolia; (9) Palmars de Sabal; (10) Sabanas. Opcionalmente, se incluyen algunas formaciones de Selva baja caducifolia, de Selva espinosa perennifolia, y asociación de halófitas.
3. Se excluyen totalmente, dentro del área de estudio, las siguientes formaciones vegetales: (1) Agrupaciones de crasicuales; (2) Asociación de Magueyes; (3) Asociación de Yucas; (4) Asociación de Ocotillo; (5) Asociación de Nopales; (6) Matorral de Encinos; y (7) Pastizal Natural.
4. Los bosques de escumifolios, el matorral inerme, los encinares altos, los

FIGURA 2

AMPLITUD DEL RELIEVE



Autres 208 Log 1000
1000 10000 100000 1000000

pinares, el bosque mesófilo, el bosque de oyamel y el zacatonal se consideran indicadores de climas templados.

FACTORES AMBIENTALES PRESENTES EN EL TROPICO Y SUBTROPICO MEXICANO

III.A. EDAFOCLIMA

El edafoclima es el único atributo común para todos los suelos de las zonas tropicales y subtropicales; siendo, además, el más importante para separarlos de los suelos de zonas templadas.

El edafoclima lo constituyen la temperatura y la humedad del suelo. Su conocimiento no sólo es importante desde el punto de vista agrológico, sino que además es fundamental para comprender la génesis y distribución geográfica de los suelos y, también de los paleosuelos (Figura 4).

Los principales factores que afectan el edafoclima de los suelos de zonas tropicales y subtropicales son:

III.A.1 RADIACION SOLAR.

Debido al bajo ángulo de incidencia solar, los suelos de las zonas tropicales de México, reciben mayor radiación que los suelos de zonas templadas. Al mismo tiempo, el espesor de la capa atmosférica es más delgado en el trópico. Ambos factores: radiación solar y espesor de la capa atmosférica, propician que en los suelos del trópico, en especial aquellos que muestran uso agrícola, las variaciones de temperatura entre el día y la noche, lleguen a ser mayores de 20°C en la capa superficial. Este incremento tan notable, genera, además, grandes fluctuaciones en la humedad del suelo, lo cual acelera la descomposición de la materia orgánica y, consecuentemente, una mayor variación en la temperatura. Se sabe que el calor específico de un suelo es, aproximadamente, una quinta parte del calor específico del agua (0.2 cal/g/°C = 838 J/kg/K) y que el de la materia orgánica representa la mitad (2000 J/kg/K). Esto implica que un suelo tropical que muestra buena cobertura vegetal, mantiene constante su temperatura (Régimen edafotérmico).

III.A.2. AIRE Y TEMPERATURA DEL AIRE.

En general, estos factores sólo afectan a aquellos suelos cuyo régimen de temperatura no está influenciado directamente por la radiación solar (suelos de zonas templadas). En los trópicos, la temperatura media anual del suelo, generalmente es mayor que la temperatura del aire. Sin embargo es importante considerar la diferencia entre ambas, ya que esta diferencia afecta directamente el régimen de humedad de los suelos. En suelos con régimen arídico, la diferencia generalmente es mayor de 5°C, en tanto que en suelos con régimen údico, la diferencia es de sólo 2°C o menor (Régimen de humedad edáfica).

III.A.3. ALTITUD.

La temperatura del aire disminuye, generalmente, 0.6°C por cada 100 m de incremento en altitud. La temperatura del suelo, en este caso, sigue la misma secuencia. El mayor efecto de un decremento en la temperatura, por efecto altitudinal, se refleja, fundamentalmente, en la velocidad de descomposición de la materia orgánica presente en el suelo, así como en la biomasa y producción de biomasa.

III.A.4. QUEMA DE VEGETACION.

Los cambios en el régimen de temperatura del suelo pueden, en muchos casos, ser causados por la quema de la vegetación. El nivel que alcanzan estos cambios depende de la intensidad del fuego y de su duración. La temperatura que el suelo puede alcanzar cuando se quema la vegetación, está en función directa de los contenidos de materia orgánica y agua que presente, así como de la velocidad de combustión. Esta última es influenciada por el viento. Se estima que la velocidad con que el fuego se propaga, normalmente, varía entre 75 a 300 m/h, ocasionalmente alcanza 900 m/h. Las temperaturas durante este evento alcanzan los 300°C en los primeros 5 cm, y aproximadamente 200°C a una profundidad de 15 cm. Bajo estas condiciones, el edafoclima del suelo, es totalmente alterado, en especial el régimen de humedad, ya que gran parte de la reserva de humedad se pierde por evaporación.

III.B. CLIMA

El clima como un factor formador de suelos, posiblemente, ha sido sobreestimado. En realidad, el edafoclima es el factor que directamente influye sobre los procesos de formación del suelo. La velocidad e intensidad del intemperismo, se relacionan directamente con la temperatura del suelo, y con el período en el cual el suelo contiene agua pedológicamente activa. Sin embargo, el edafoclima no debe ser considerado como un factor independiente del clima, ya que este último es el factor más importante que regula los contenidos de materia orgánica, así como las propiedades asociadas con ella (nitrógeno, estabilidad estructural, fertilidad natural). Además, influye sobre el pH, la saturación de bases, la profundidad del suelo, la textura y la síntesis de arcilla, entre otros.

Con base en García (1988), el área de estudio está comprendida dentro del Grupo de climas A. Estos climas se dividen en tres tipos principales: Af, Am y Aw (Figura 3).

III.B.1.1 Clima Af.

Las zonas con clima Af, se caracterizan por sus altas temperaturas, alto contenido de humedad y por su precipitación durante todo el año. Estas zonas se encuentran situadas al sur del paralelo 20°N , a lo largo del declive Este de la Sierra Madre Oriental y a lo largo del pie septentrional de las montañas del Norte de Chiapas.

Según García (1988), este clima no está, aún, bien caracterizado en México, y es Af típico sólo en lo que se refiere a la cantidad de lluvia del mes más seco (> 60 mm), pero en lo referente a su distribución estacional de la lluvia, a lo largo del año, y a la cantidad total anual de esta, es mucho más parecido al tipo de clima Am.

III.B.1.2 Clima Am

El tipo de clima Am, caliente y húmedo, con lluvias en verano, es típico de muchas áreas situadas al sur del Tropicó de Cáncer. Principalmente se localiza en la Llanura Tabasqueña, en la base del declive Este de la Sierra Madre Oriental, al sur del paralelo 22°N, y en el declive del Pacífico en la porción Sureste de la Sierra de Chiapas.

Las lluvias del lado del Pacífico del Sureste de la Sierra Madre de Chiapas, están concentradas en la estación caliente, lo que origina una temporada seca más acentuada que del lado del Golfo, a pesar de que la cantidad de lluvia anual es mayor que en esta última región. Se estima que la diferencia que existe entre ambas regiones radica en el porcentaje de lluvia invernal, y también se debe a la mayor humedad del lado del Golfo, en invierno, producida por la acción de los "nortes"; los cuales no sólo originan precipitación orográfica en los declives de las sierras, determinando climas Af, sino también en la parte de la llanura próxima a ellos, en donde el clima es similar a Am.

III.B.1.3 Clima Aw

El tipo de clima Aw, es caliente, aunque subhúmedo, con lluvias en verano. Los lugares con clima Aw se extienden a lo largo de la vertiente del Pacífico, desde el paralelo 24°N hacia el sur, y abarcan desde el nivel del mar hasta una altitud de 1000 m. En la región norte se internan hacia la base de la Sierra Madre Occidental hasta una latitud de 1600 m; por el lado del Golfo se les encuentra al sur del paralelo 23°N, en algunas de las partes más bajas de la llanura costera y, también, en la mayor parte de la Península de Yucatán, así como en algunas zonas interiores, tales como: la Cuenca del Balsas y la Depresión Central de Chiapas.

III.B.2. FACTORES DINAMICOS DEL CLIMA

III.B.2.1 Radiación Solar y Fotoperíodo.

Como se mencionó anteriormente, las zonas tropicales y subtropicales reciben más radiación solar anual aprovechable para la fotosíntesis que las zonas templadas. Esto se debe, según Sánchez (1981), a tres factores: (1) la inclinación del eje terrestre; (2) el menor espesor de la atmósfera y (3) mayor lapso de crecimiento vegetativo.

La radiación solar promedio en los trópicos es de aproximadamente 400 langleys por día (400 calorías, cm²), en tanto que en la zona templada, el promedio diario sólo alcanza la mitad (150-200 langleys) pero con una gran variabilidad estacional entre el verano y el invierno (300-500 en verano y 100-150 en el invierno).

Estos hechos implican que las áreas tropicales y subtropicales, tienen casi el doble de potencial de producción, por hectárea, por año, que las áreas templadas. Esto implica que el rendimiento potencial de materia seca total es, de aproximadamente, 60 t/ha, considerándose que, aproximadamente, el 50% de esta cantidad corresponde a rendimiento económico, lo que le da a los suelos de estas regiones una gran ventaja sobre la agricultura de zonas templadas (Van Wambeke, 1992).

En el área de estudio, la duración del día cambia durante el año, estimándose un máximo de 13 a 13.30 horas y un mínimo de 10 a 11 horas. Desde el punto de vista de uso agrícola del suelo, estas características de duración/día tienen importancia práctica, ya que en general se considera que la mayoría de los cultivos del trópico son plantas de días cortos, siendo algunas de ellas muy sensibles al fotoperíodo. Al respecto, Sánchez (1981), reporta que en algunas variedades de arroz, un cambio de 10 minutos en la duración del día, altera o incluso impide su floración.

A diferencia de la zona templada, en las zonas Tropicales y Subtropicales de México, la longitud del día y la radiación solar no están bien correlacionadas, por esta razón se presentan en el trópico, regímenes de iluminación-radiación con un ámbito más amplio.

III.B.2.2 Temperatura

La temperatura es, posiblemente, el principal factor que gobierna la cinética de los procesos químicos. La velocidad de la mayoría de las reacciones inorgánicas se incrementa, exponencialmente, con la temperatura, aproximadamente dos a tres veces por cada 10°C (Q10). Este hecho hace evidente la importancia de las temperaturas que se registran durante el verano en el área de estudio. En el caso de la fracción mineral del suelo, la temperatura influye, principalmente, en el intemperismo. En el caso de la fracción orgánica, la temperatura es un factor que propicia su mineralización.

Sin embargo, es muy difícil establecer las propiedades del suelo que se deben directa y exclusivamente a la temperatura, pero, probablemente, el color del suelo sea una de ellas. Se ha observado en el área de estudio que muchos suelos que se localizan en climas calientes que muestran un período de sequía (Aw) se caracterizan por presentar colores rojos o amarillos brillantes. Estos colores les son conferidos a los suelos por la presencia de varios minerales de óxidos de hierro que actúan como pigmentantes. La goethita y la hematita son los más importantes. La primera es de un color pardo amarillento, mientras que la segunda es roja. Schwertmann (1985) considera que la hematita se forma, principalmente, en temperaturas altas y que cristaliza a partir de precipitados, en tanto que la goethita cristalizada se forma en soluciones diluidas que no están sujetas a las altas temperaturas ni a la sequía. En ocasiones, durante algunos incendios forestales donde el suelo alcanza temperaturas de 400 a 500°C en la capa superficial, varios óxidos de hierro son transformados en maghemitas.

Por otra parte, la temperatura también influye, notablemente, sobre la germinación, el crecimiento radical y la actividad microbiana. Normalmente en las áreas tropicales y subtropicales del Golfo de México, el algodón germina de modo óptimo a 30-34°C, el maíz a 25-27°C y el sorgo a 16°C. La germinación de muchos cereales que se producen en estas zonas se ha visto seriamente afectada cuando la temperatura rebasa los 33-35°C. La mortandad de las semillas, especialmente las del sorgo, se presenta cuando la temperatura excede, durante varios días, los 40°C.

En las áreas de suroeste de México, muchas de las formaciones vegetales de *Acacia spp.* son resultado de las quemadas de pastizales, debido a que esta práctica estimula la germinación de las semillas.

Se sabe, además, que la actividad de los microorganismos es fuertemente afectada por la temperatura del suelo. En el caso de *Rhizobium*, se ha observado que su nodulación en las legumbres es óptima a 25°C, y que esta llega a reducirse en un 70% cuando la temperatura baja a 17°, o cuando excede los 30°C, y no existe crecimiento a temperaturas menores de 12°C o mayores de 33°C.

A temperaturas mayores de 40°C, la habilidad de *Nitrobacter* para oxidar los nitritos a nitratos es severamente reducida. *Nitrobacter* muere a 57°C. El efecto de temperatura sobre esos microorganismos puede causar toxicidad por nitritos si estos se acumulan en el suelo (Van Wambeke, 1992).

III.B.2.3 Precipitación.

Las áreas tropicales y subtropicales estudiadas, son regiones que presentan lluvias en verano. Existen, por lo menos, cuatro aspectos de importancia que considerar con respecto a la precipitación en estas áreas: (1) cantidad total anual y distribución; (2) su origen; (3) su periodicidad estacional y (4) su variabilidad anual y estacional.

Así, los principales factores que influyen en la cantidad anual de lluvia y su distribución son: (1) presencia de regiones de convergencia y divergencia de los vientos; (2) contenido de humedad alta de los vientos; (3) temperatura moderada a alta de los vientos; (4) proximidad a los océanos y (5) ausencia casi total de barreras montañosas. Esta precipitación, generalmente, tiene su origen por convección, o es de tipo frontal y/o ciclónica, como ocurre en la mayor parte del Golfo. La precipitación orográfica es más frecuente en la vertiente del Pacífico.

En general, muestra un régimen de lluvias de verano, el cual es característico de las zonas continentales localizadas entre los 10° y 25° de latitud. La sequía se presenta en la estación fría, época en que las calmas subtropicales y los vientos del oeste se desplazan hacia el sur. Algunos climas Af, tienen precipitaciones análogas a un régimen ecuatorial, caracterizadas por lluvias abundantes, y la ausencia de una estación seca bien definida. Sin embargo, no se trata de un verdadero régimen ecuatorial ya que éste está confinado, con respecto al Ecuador, a una latitud máxima de 15°N.

En estas áreas, tropicales y subtropicales, los promedios de pluviosidad son útiles para describir la situación en forma general, pero debido a su alta variabilidad carecen de valor para predecir si las condiciones de humedad son adecuadas para un cultivo específico. La mejor herramienta de predicción es una estimación de las probabilidades de lluvia semanal. Esto se logra con datos de lluvia de 15 ó más años, mediante procedimientos estadísticos simples. Nievwolt (1977), considera que las variaciones entre 50 y 150% de la precipitación promedio anual, de un período de 30 años, es representativa. La variabilidad de la lluvia es particularmente dañina en los trópicos semiáridos del país, por lo que la planeación agrícola debe ser muy cuidadosa.

Por otra parte, los volúmenes de lluvia por unidad de tiempo, son atributos importantes en la planeación agrícola, desafortunadamente en México se carece, en la mayoría de los casos, de esta información. En general las lluvias tropicales en los climas

Aw, están definidas por períodos cortos y casi ininterrumpidos de intensa precipitación. En los climas templados, las intensidades de lluvias rara vez exceden los 75 mm por hora, y ello, tan sólo en las tormentas estivales. En las zonas tropicales con climas Af, regularmente, se registran intensidades de 150 mm/hora. Muchas de las observaciones realizadas para el Trópico Mexicano, indican que los suelos presentes tienden a erosionarse a intensidades mayores de 25 mm/h. Desafortunadamente, no existen datos para estimar los períodos de lluvias catastróficas en las zonas tropicales del territorio. Para ello, se estima que la densidad de pluviómetros debería de ser, al menos, de uno por cada 250 km².

III.B.3 REGIONES CLIMATICAS Y SU EFECTO EN LOS SUELOS DEL TROPICO Y SUBTROPICO

En la tabla 1, se muestran las clases climáticas que son significativas, en general, en la pedogénesis y distribución de la vegetación de los trópicos.

TABLA 1 CLASES CLIMATICAS Y VEGETACION

REGION CLIMATICA	PRECIPITACION ANUAL (mm)	ESTACION SECA (< 60 mm) MESES	TIPO CLIMATICO
BOSQUES PLUVIALES	> 2000	0-2	Af-Am
BOSQUES PLUVIALES SEMIDECIDUOS	1200-1800	2-6	Am
BOSQUES SEMI-DECIDUOS	900-1200	3-5	Aw'
BOSQUES DECIDUOS Y SEMIDECIDUOS	800-1200	5-7	Aw

Como puede observarse, se definen cuatro regiones climáticas asociadas con la vegetación y el tipo climático. Las definiciones de las regiones climáticas son las siguientes:

III.B.3.1 Bosques Pluviales.

Se caracterizan por presentar un tipo de vegetación, o vestigios de ella, típica de un ambiente perúdic-údic. Aunque su superficie es limitada en el territorio nacional ($\pm 3\%$) este tipo de bosque se localiza en las tierras bajas tropicales, en áreas que no muestran un período de sequía, o que este es tan breve que no afecta la humedad del suelo, en los primeros 100 cm de profundidad.

Las condiciones, permanentes, de calor y humedad que lo tipifican, generan un rápido e intenso intemperismo que propicia en los suelos más antiguos, la casi, ausencia total de minerales primarios en el perfil, con excepción del cuarzo. La gran cantidad de humedad presente en el suelo, conduce a una intensa lixiviación, acidez y pobreza de bases. La caolinita domina en la fracción arcillosa y la gibsita se presenta, comúnmente, pero el índice

de lixiviación, tan alto, impide la formación de montmorillonita. La presencia de óxidos de hierro y aluminio libres en cantidades significativas, también es diagnóstica, especialmente en los suelos ferruginosos y ferralíticos (Figura 4).

III.B.3.2 Bosques Pluviales-Semideciuos.

Son áreas donde el bosque semi-decidiuo y, en ocasiones, algunos elementos de sabana están presentes. Se caracterizan por un régimen údico, en ocasiones transicional al ústico. El intemperismo y la lixiviación son menos agresivos, de tal modo que el contenido de minerales primarios, generalmente excede al 18%, en tanto que el porcentaje de bases en el suelo, con frecuencia es mayor al 50%. La caolinita sigue siendo dominante, en la mayoría de los suelos, aunque con frecuencia esta asociada a contenidos significativos de haloisita, e incluso montmorillonita que se presenta en los suelos menos drenados. En esta región climática, el período de sequía aunque esta establecido, es muy irregular, y su variación es de 30 a 60 días en los regímenes údicos, y hasta de 180 días en los regímenes ústicos. Bajo estas condiciones, la presencia de suelos ferralíticos es rara, siendo moderadamente frecuentes los suelos ferruginosos y los suelos fersialíticos (Figura 4).

III.B.3.3 Bosques Semideciuos.

El clima tipo de esta región climática es particularmente favorable para propósitos agrícolas, especialmente en el caso de presentar dos períodos húmedos en el año. Esta clasificación comprende, principalmente, ambientes ústicos. Estos bosques son una transición entre el bosque pluvial y los completamente decidiuos. El ciclo de nutrimentos es totalmente diferente al de los bosques pluviales. Presentan una considerable defoliación durante la estación o estaciones de sequía, lo que propicia que la radiación solar que llega al suelo aumente drásticamente, evitando la descomposición de la hojarasca. El intemperismo y el lavado del suelo son de una intensidad moderada, por lo que el complejo de alteración de los suelos, en este caso, aún es rico en minerales primarios (> 30%) siendo la haloisita y la montmorillonita predominantes sobre las arcillas caolíníticas. Sin embargo, la formación de algunos Acrisoles y Ferralsoles aún es posible, especialmente cuando el suelo se forma a partir de rocas básicas o intermedias. El clima resulta especialmente favorable para cultivos que requieren una estación seca, como es el caso del café, algodón y cereales (Figura 4).

III.B.3.4 Bosques Decidiuos y Semideciuos.

Son bosques situados en una región climática en que los suelos son lixiviados durante el período húmedo, y llegan al punto de marchitez permanente, en los primeros 100 cm de profundidad, durante el período de sequía. En esta zona, los cambios concomitantes de humedad-sequía favorecen la generación de la rubificación como un proceso dominante en muchos suelos. La fracción arcillosa está constituida, principalmente, por una mezcla de caolinita y de arcillas 2:1, la gibsita está ausente. La acidez y la saturación de bases, generalmente son moderados: $\text{pH} > 5.0$ y saturación $> 50\%$. Los suelos Fersialíticos y algunos Ferruginosos, están presentes, pero no existen suelos Ferralíticos.

En las tablas 2 y 3 se ilustran otros criterios sobre la distribución de las zonas climáticas, tanto para América Tropical, como para África y Asia Tropicales.

TABLA 2 VALORES LIMITE DE PRECIPITACION ANUAL, MESES HUMEDOS Y TEMPERATURA

TIPOS DE CLIMA AMBIENTAL	PISOS EXTREMOS	EXTREMOS DE PRECIPITACION Y TEMPERATURA
Super-Húmedo y muy húmedo 11 a 12 meses húmedos	Páramo bajo, Vertientes Tierra Caliente	> 1500 mm < 12°C > 5000 mm > 24°C
Húmedo 9 a 11 meses húmedos	Páramo alto Tierra Caliente	< 1500 mm < 12°C < 5000 mm > 24°C
Semi-Húmedo 7 a 9 meses húmedos	Páramo interandino Tierra Caliente	< 800 mm < 12°C < 2500 mm > 24°C
Semi-Arido 4 a 7 meses húmedos	Puna húmeda Tierra Caliente	< 500 mm < 12°C < 1500 mm > 24°C
Arido 2 a 4 meses húmedos	Puna seca Tierra Caliente	< 250 mm < 12°C > 500 mm > 24°C
Semi-Desértico 0 a 2 meses húmedos	Puna desértica Tierra Caliente	< 200 mm < 12°C > 200 mm > 24°C

TABLA 3 DISTRIBUCION DE LAS PRINCIPALES REGIONES CLIMATICAS EN LOS TROPICOS

			AREAS GEOGRAFICAS			
			(Millones de ha)			
CLIMA	MESES HUMEDOS	VEGETACION PREDOMINANTE	América Tropical	África Tropical	Asia Tropical	TOTAL
Lluvioso	9.5-12	Bosque Pluvial	646	197	348	1191
Estacional	4.5-9.5	Sabana o Bosque Deciduo	812	1144	484	2430
Seco	2-4.5	Arbustos y árboles espinosos	84	486	201	771
Desierto	0-2	Matorral desértico y semidesértico	25	304	229	558
TOTAL			1557	2131	1262	4950

Fuente: President's Science Advisory Committee (1967).

III.C. MATERIAL PARENTAL

Los materiales, orgánicos y/o minerales de los cuales se forman los horizontes del

suelo, se denominan material parental. Para la formación del material parental, dos aspectos son fundamentales: (1) el intemperismo y (2) la redistribución de las grolitas por erosión y sedimentación, como una función de la topografía.

III.C.1. INTEMPERISMO Y ETAPAS DE INTEMPERISMO

El intemperismo, en ocasiones, denominado incorrectamente como meteorización o alteración, incluye la desintegración física y la descomposición química de los materiales expuestos a la atmósfera. El intemperismo deja residuos cuando la descomposición es incongruente, es decir, cuando los materiales presentes en la roca parental no se descomponen a una misma velocidad. Los solutos pueden, eventualmente, recombinarse para formar minerales secundarios, o pueden ser removidos por lixiviación y/o lavado.

Tres etapas son fundamentales para evaluar el intemperismo: (1) la alteración de los minerales primarios y líticos; (2) la formación de minerales secundarios y (3) la estabilidad de los minerales secundarios.

Durante el intemperismo, los minerales primarios reducen su tamaño, a través de la ruptura de sus planos de clivaje y juntas (intemperismo físico: Termoclastia). Posteriormente, a esta desintegración del volumen, se suma una alteración química que, gradualmente, reduce su tamaño a fracciones de limo y, posteriormente de limo fino. En la mayoría de los casos, la presencia de limo fino es un indicador de alteración en los horizontes o capas. A medida que se incrementa el intemperismo, el limo fino decrece y aumenta el contenido de arcilla. El decremento en el contenido de limo fino, durante el intemperismo, es utilizado por la mayoría de los Sistemas de Clasificación para caracterizar las etapas de intemperismo de un suelo. Por ejemplo; FAO-UNESCO, 1988, utiliza este criterio para establecer las siguientes etapas:

1. **Relación Limo: Arcilla > 1 = Suelos o capas débil a moderadamente alteradas.**
2. **Relación Limo: Arcilla de 0.99 a 0.2 = Alteración Moderada**
3. **Relación Limo: Arcilla < 0.2 a 0.15 = Alteración Fuerte**
4. **Relación Limo: Arcilla < 0.15 = Alteración extrema**

En la tabla 4 se muestran las diferentes etapas de alteración de dos suelos presentes en el Trópico Mexicano, derivados de roca basáltica, de edad similar, pero con un régimen climático y edafoclimático distintos en cada caso.

TABLA 4 ETAPAS DE ALTERACION EDAFICA

PERFIL 33A: Clima: Am Edafoclima: Udico				PERFIL 36A: Clima Aw Edafoclima: Ustico			
Prof. cm.	Arcilla (%)	Limo %	Limo Arcilla	Prof. (cm)	Arcilla (%)	Limo (%)	Limo Arcilla
0-25	75	14	0.18	0-32	42	20	0.47
25-45	77	12	0.15	32-51	47	18	0.38
45-70	78	11	0.14	51-73	52	15	0.28
70-110	78	11	0.14	73-125	55	14	0.25
110-150	78	11	0.14	125-140	50	16	0.32
150-180	76	13	0.17	140-179	46	24	0.52
180-200	60	18	0.26	179-200	39	30	0.77

En el primer caso, el perfil 33A se ha desarrollado por la alteración de roca basáltica, cuya edad probable es de 45000 años \pm 3500. Este suelo localizado a 10 km al norte de Belice, ha evolucionado en condiciones de clima tropical húmedo y edafoclima údico-isohipertérmico. Las relaciones Limo: Arcilla para el horizonte A (0-25 cm) indican una alteración fuerte y extrema para los horizontes Bt (25-180 cm). Estas características han sido confirmadas como válidas, debido a la ausencia casi total de minerales primarios (<5%), a la naturaleza predominantemente caolínica y gibsítica de las arcillas, a la riqueza de óxidos de hierro y aluminio, así como a la pobreza de bases que muestra (<15%). El suelo de acuerdo con la Clasificación FAO-UNESCO cumple con los requisitos para un Nitosol dístico. Más del 35 por ciento de la arcilla que presenta es dispersable en agua.

Por otra parte, el perfil 36A se ha desarrollado en condiciones de menor intemperismo (Clima Aw, Edafoclima Ustico-isohipertérmico) a partir de roca basáltica de edad similar a la del perfil 33A. Sin embargo, la alteración alcanzada en todos los horizontes es moderada. Los análisis realizados al complejo de alteración de este suelo, muestran más altos contenidos de minerales primarios (>20%), bases (>50%) y mayor heterogeneidad en la fracción arcilla, en la cual, aunque predomina la caolinita, existen porcentajes significativos de haloisita y esmectita. Este perfil se localiza en la población de Abasolo, Veracruz; y fue clasificado como Luvisol férrico.

III.C.2 MATERIAL PARENTAL Y FORMACION DE SUELOS TROPICALES Y SUBTROPICALES

Existen tres variables, principales, en el material parental, que determinan la edafogénesis: (1) grado de consolidación; (2) tamaño del grano y (3) composición química y mineralógica.

III.C.2.1. Consolidación.

Desde el punto de vista edafogénico, un estrato geológico no consolidado, por

ejemplo: piroclásticos del Terciario, tiene propiedades semejantes, en su comportamiento físico y mecánico, que los depósitos superficiales del Pleistoceno. Ambos, genéricamente, se agrupan como materiales no consolidados. Los materiales no consolidados contrastan, en el trópico, con los materiales litificados de origen edáfico, debido a que estos últimos preceden a la formación del suelo.

III.C.2.2. Tamaño de Grano.

Es el principal determinante de la textura del suelo en sus primeros estadios de alteración. Este efecto textural, afecta muchas otras propiedades del suelo como son: (1) contenido de materia orgánica; (2) erodabilidad; (3) capacidad de intercambio catiónico total; (4) drenaje interno; y (5) retención de humedad. Todas estas son características de importancia agrícola.

III.C.2.3. Composición.

Esta es de importancia fundamental sobre las propiedades de los suelos del Trópico Mexicano, así como sobre su potencial agrícola. La principal variable observada es el contenido de sílice y de ahí se establecen los siguientes tipos de rocas:

III.C.2.3.1 Rocas de materiales félsicos. Son de colores claros, y contienen sílice libre en forma de cuarzo. El límite inferior de SiO_2 es de 66%, incluyendo las formas de sílice combinado que se presenta en los feldespatos. El cuarzo es el mineral más común en las rocas félsicas, seguido de la ortoclasa, plagioclasa, muscovita y biotita.

III.C.2.3.2 Rocas intermedias. Muestran porcentajes totales de sílice entre 55-66%. Los minerales ferromagnesianos como la hornblenda a menudo están presentes, en ocasiones, la augita y plagioclasa son comunes, en tanto que la ortoclasa y el cuarzo, se presentan en menor porcentaje.

III.C.2.3.3 Rocas básicas. Son de colores oscuros y tiene menos de 55% de SiO_2 total, o en formas combinadas. Los minerales ferromagnesianos como la hornblenda, olivino y augita son comunes. La plagioclasa puede estar presente, pero no la ortoclasa.

III.C.2.3.4 Rocas ultrabásicas. Son poco comunes en el Territorio Nacional, y se caracterizan por sus bajos contenidos en feldespatos, y por un porcentaje de SiO_2 menor a 45%.

La composición de la roca, afecta el contenido de bases en el suelo y en la solución del suelo. Así, las rocas félsicas al intemperizarse, proporcionan una fuente muy pobre de calcio, magnesio, potasio, hierro y manganeso, en contraste; liberan grandes cantidades de sílice, en ocasiones poco soluble. En este caso, los suelos del trópico muestran un complejo de alteración dominado principalmente por arcillas 1:1, y el suelo presenta una reserva baja de minerales intemperizables (Subgrupos díftricos).

Los suelos derivados de rocas básicas poseen un desarrollo estructural fuerte, generalmente, con agregados en forma de bloques, los cuales frecuentemente están

recubiertos por películas arcillosas (Horizonte Argílico). Estos suelos en la Clasificación Africana, reciben el nombre de Basisoles, y en ellos se incluye a los Ferrisoles, Ferrisoles húmicos y suelos Fersialíticos. En general, estos suelos en México, muestran una alta fertilidad natural para la producción de cultivos aclimatados al trópico, con excepción del arroz.

Probablemente, existen en estos suelos (Basisoles) dos limitantes, comunes, que demeritan su fertilidad: (1) los altos contenidos de arcillas expandibles, que dificultan su manejo (Vertisoles) y (2) el riesgo de toxicidad, muy común en las rocas ultrabásicas por la presencia de contenidos elevados de níquel, cobalto, cobre y plomo (Van Wambeke, 1992).

Por otra parte, los suelos derivados de rocas ricas en CaCO_3 , tienden bajo las condiciones del trópico, principalmente de subtropical, a constituir suelos con horizontes mólicos. Las Rendzinas tropicales son un ejemplo. En los trópicos húmedos, los materiales altamente carbonatados, generalmente desarrollan suelos de colores rojizos, inicialmente alcalinos, que a medida que evolucionan se acidifican. Estos suelos son más fértiles que los que derivan de rocas félsicas, pero no poseen las características de fertilidad de los suelos derivados de rocas básicas.

III.C.3 LAS ROCAS COMO MATERIAL PARENTAL, Y SU REGIONALIZACION EN LAS ZONAS TROPICALES Y SUBTROPICALES DE MEXICO

El conocimiento que se tiene acerca de la litología, origen y estructura geológica de México es aún incompleto; debido a la alta complejidad que el Territorio Nacional presenta en estos aspectos (Figura 5). Sin embargo, actualmente existen elementos sobre el conocimiento geológico de México que permiten establecer, con la mínima incertidumbre, las Regiones y Provincias Geológicas que ocupan las zonas tropicales y subtropicales incluidas en este estudio, así como su edad, origen y ambiente geotectónico en que se desarrollaron, incluyendo la litología que las caracteriza.

Como puede observarse en las figuras 6 y 7, el área de estudio comprende ocho regiones fisiográficas, o parte de ellas, como en los casos del: Eje neovolcánico, Sierra Madre del Sur y Cordillera Centroamericana. Estas regiones dentro del área tropical y subtropical están constituidas, a su vez, por 16 Provincias Geológicas que, con excepción del Batolito de Chiapas (Paleozoico) oscilan en su edad del Mesozoico al Cenozoico. Desde luego, existen afloramientos, algunos muy alterados, de rocas más antiguas. Generalmente, se reconocen cinco tipos de origen para estas provincias y seis ambientes geotectónicos donde se formaron.

En la tabla 5, se sintetiza esta información.

TABLA 5 REGIONES FISIOGRAFICAS Y PROVINCIAS GEOLOGICAS

REGION FISIOGRAFICA	PROVINCIA GEOLOGICA	EDAD	ORIGEN	AMBIENTE GEOTECNICO
VII. LLANURA COSTERA DEL PACIFICO	25. Cinturón Orogénico Sinaloense	Mesozoico	Volcano-Sedimentario	Arco submarino
	27. Cuenca de Nayarit	Cenoicoico	Sedimentario Marino	Geoclinal
VIII. LLANURA COSTERA DEL GOLFO NORTE	19. Miogeoclinal del Golfo de México	Cenoicoico	Sedimentario Marino	Geoclinal
	18. Macizo Igneo de Palma Sola	Cenoicoico	Volcánico	Arco Continental
X. EJE NEOVOLCANICO	15. Faja Volcánica Transmexicana	Cenoicoico	Volcánico	Arco Continental
XI. PENINSULA DE YUCATAN	1. Plataforma de Yucatán	Cenoicoico	Sedimentario marino	Plataforma
	17. Batolito de Jalisco	Mesozoico	Plutónico	Rafz de Arco
XII. SIERRA MADRE DEL SUR	16. Complejo Orogénico Guerrero-Colima	Mesozoico	Volcano Sedimentario	Arco Submarino
	12. Chiatina	Mesozoico	Plutónico	Arco de Arco
	7. Cuenca Deltaica de Veracruz	Cenoicoico	Sedimentario Continental	Geoclinal
XIII. LLANURA COSTERA DEL GOLFO SUR	8. Macizo Volcánico Tuxtlas	Cenoicoico	Volcánico	Arco Continental
	2. Cuenca Deltaica de Tabasco	Cenoicoico	Sedimentario Continental	Geoclinal
XIV. SIERRAS DE CHIAPAS	3. Cinturón Chiapaneco	Cenoicoico	Sedimentario marino	Orógeno
XV. CORDILLERA CENTRO AMERICANA	4. Bartolito Chiapas	Paleozoico	Plutónico	Rafz de Arco
	5. Macizo Igneo del Soconusco	Cenoicoico	Plutónico	Rafz de Arco
	6. Cuenca de Tehuantepec	Cenoicoico	Sedimentario marino	Geoclinal

FUENTE: INSTITUTO DE GEOLOGIA, UNAM (1994).

III.C.4. AMBIENTES GENETICOS Y LITOESTRATIGRAFIA EN EL TROPICO MEXICANO

Como puede observarse, en la tabla 5, dentro del área de estudio, fueron identificadas ocho Regiones Fisiográficas y 16 Provincias Geológicas, con edades predominantemente del Cenoicoico, aunque desde luego existen complejos litológicos muchos más antiguos que afloran en ellas.

A continuación se diagnostican sus principales ambientes, litología y unidades cronoestratigráficas que al interemperizarse, han propiciado la formación de más de 20 unidades edáficas en las zonas tropicales y subtropicales estudiadas:

III.C.4a LLANURA COSTERA DEL PACIFICO

III.C.4a.1. Cinturón Orogénico Sinaloense.

Esta provincia está constituida, principalmente, por afloramientos de rocas sedimentarias marinas del Pérmico, rocas volcano-sedimentarias marinas, del Cretácico Inferior, rocas ígneas volcánicas continentales del Paleoceno y rocas ígneas intrusivas graníticas y gabroides del Paleoceno.

III.C.4a.2. Cuenca de Nayarit.

Está constituida, principalmente, por materiales sedimentarios continentales del Cuaternario, rocas ígneas extrusivas volcánicas continentales del Oligoceno, y rocas ígneas volcánicas continentales del Mioceno-Plioceno. Eventualmente, se presentan algunos depósitos de rocas ígneas volcano sedimentarias del Plioceno.

III.C.4b. LLANURA COSTERA DEL GOLFO NORTE

III.C.4b.1. Miogeoclinal del Golfo de México.

Se presentan rocas ígneas básicas, volcánicas del Cuaternario; rocas sedimentarias del Holoceno; rocas sedimentarias marinas del Eoceno y Mioceno, y rocas ígneas intrusivas, graníticas y gabroides del Mioceno-Plioceno.

III.C.4b.2. Macizo Igneo de Palma Sola.

Está constituido, principalmente por rocas ígneas extrusivas volcánicas del Plioceno, asociadas con rocas marinas sedimentarias del Eoceno, Oligoceno y Mioceno. Existen además algunos afloramientos de rocas marinas sedimentarias del Cretácico Inferior.

III.C.4c. EJE NEOVOLCANICO

III.C.4c.1. Faja Volcánica Transmexicana.

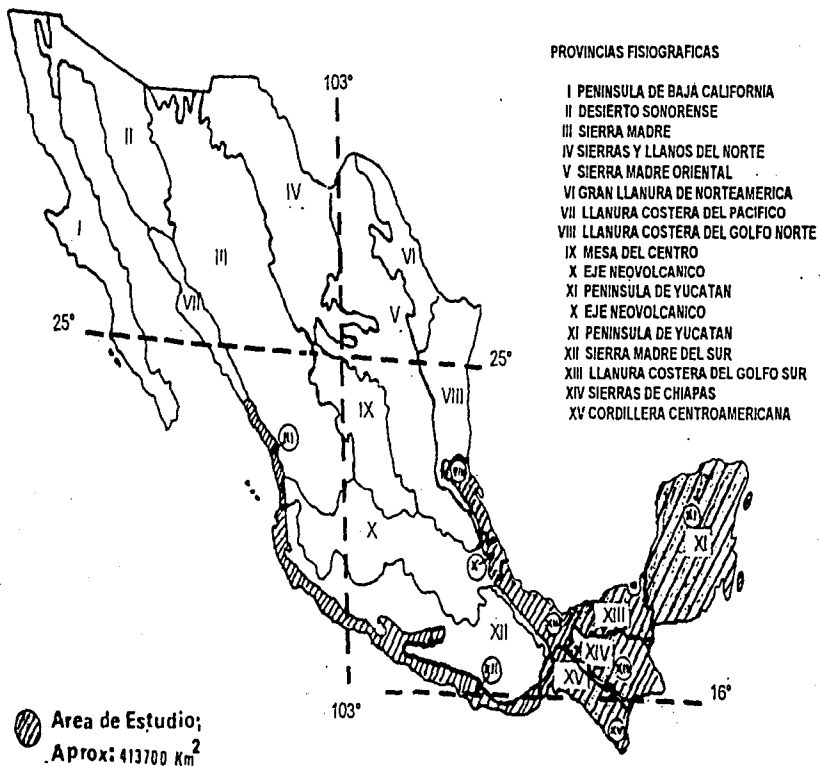
Predominan las rocas ígneas volcánicas continentales del Cuaternario y Terciario, asociadas a rocas sedimentarias continentales del Neógeno.

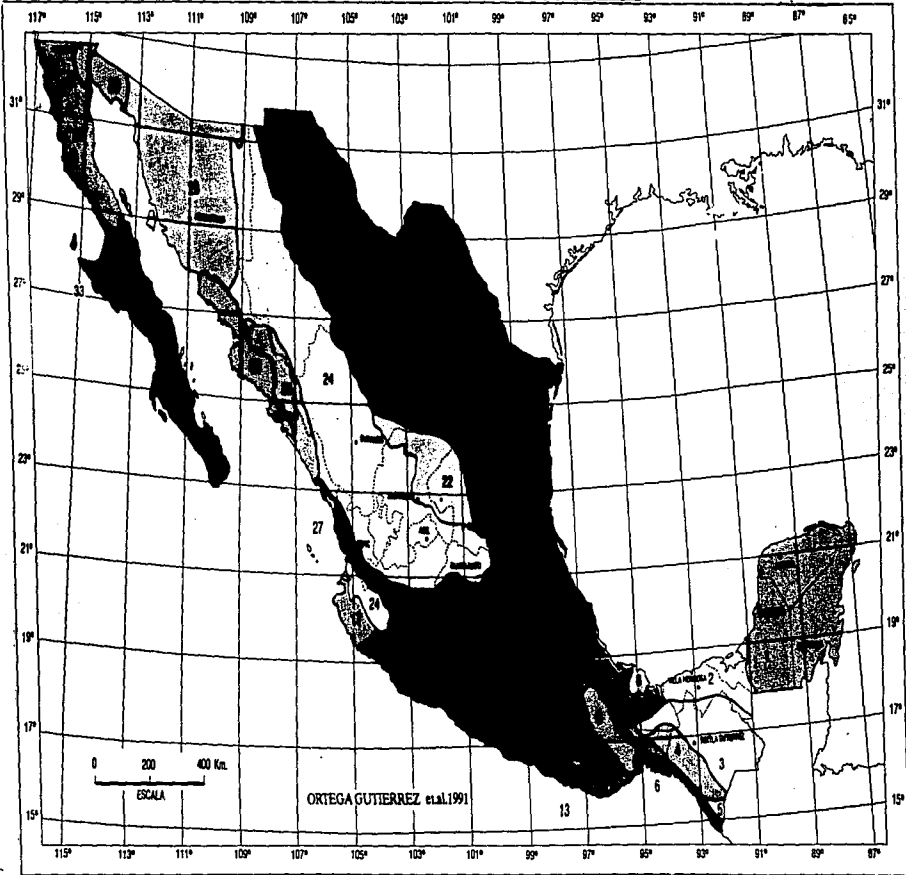
III.C.4d. PENINSULA DE YUCATAN

III.C.4d.1. Plataforma de Yucatán.

Está constituida por rocas sedimentarias marinas del Terciario (Paleogeno-Neógeno) y Cuaternario.

FIGURA 6 PROVINCIAS FISIOGRAFICAS





PROVINCIAS GEOLÓGICAS DE MÉXICO (entre paréntesis se indica su edad, origen y ambiente geotectónico predominantes, en ese orden): 1, Plataforma de Yucatán (C, sm, p); 2, Cuenca Deltaica de Tabasco (C, sc, g); 3, Cinturón Chiapaneco de Pliegues y Fallas (C, sm, or); 4, Batolito de Chiapas (P, p, ra); 5, Macizo Igneo del Sonorusco (C, p, ra); 6, Cuenca de Tehuantepec (C, sm, g); 7, Cuenca Deltaica de Veracruz (C, sc, g); 8, Macizo Volcánico de los Tuxtlas (C, v, ac); 9, Cuicateca (M, vs, as); 10, Zapoteca (p-C, c, co); 11, Mixteca (P, c, co); 12, Chatina (M, p, ra); 13, Juchateca (P, vs, as); 14, Plataforma de Morelos (M, sm, p); 15, Faja Volcánica Transmexicana (C, v, ac); 16, Complejo Orogénico de Guerrero-Coima (M, vs, as); 17, Batolito de Jalisco (M, p, ra); 18, Macizo Igneo de Palma Sola (C, v, ac); 19, Miogeoclinal del Golfo de Méjico (C, sm, g); 20, Cinturón Mexicano de Pliegues y Fallas (M, sm, or); 21, Plataforma de Coahuila (M, sm, p); 22, Zacatecana (M, c, co); 23, Plataforma de Valles San Luis Potosí (M, sm, p); 24, Faja Igimbrítica Mexicana (C, v, ac); 25, Cinturón Orogénico Sinaloense (M, vs, as); 26, Chihuahuense (C-M, c, co); 27, Cuenca de Nayarit (C, sm, g); 28, Cuenca Deltaica de Sonora-Sinaloa (C, sc, g); 29, Sonorense (p-C, c, co); 30, Delta del Colorado (C, sc, g); 31, Batolito de Juárez-San Pedro Mártir (M, p, ra); 32, Cuenca de Vizcaino-Purisima (C, sm, g); 33, Cinturón Orogénico de Cedros-Margarita (M, vs, cs); 34, Faja Volcánica de La Giganta (C, v, ac); 35, Complejo Plutónico de La

III.C.4e. SIERRA MADRE DEL SUR

III.C.4e.1. Batolito de Jalisco.

Predominan las rocas ígneas intrusivas graníticas y gabroides del Cretácico Superior, asociadas con materiales sedimentarios continentales del Cuaternario y rocas volcánicas continentales del Oligoceno.

III.C.4e.2. Complejo Orogénico Guerrero-Colima.

Está constituido por una variedad muy grande de rocas. Sin embargo, las más frecuentes son las rocas ígneas volcano-sedimentarias marinas del Jurásico Superior y Cretácico Inferior, las rocas ígneas intrusivas graníticas y gabroides, y las rocas sedimentarias marinas del Cretácico Inferior.

III.C.4e.3. Chatina.

Son predominantes las rocas ígneas intrusivas graníticas y gabroides del Paleoceno, así como las rocas metamórficas regionales de edad Cretácica. Se presentan, además, algunos materiales sedimentarios continentales del Cuaternario.

III.C.4f. LLANURA COSTERA DEL GOLFO SUR

III.C.4f.1. Cuenca Deltaica de Veracruz.

Predominan las rocas sedimentarias continentales del Cuaternario, así como las rocas sedimentarias marinas del Mioceno.

III.C.4f.2. Macizo Volcánico de los Tuxtlas.

Son dominantes las rocas ígneas básicas del Cuaternario, así como las rocas sedimentarias marinas del Mioceno.

III.C.4f.3. Cuenca Deltaica de Tabasco.

Presenta una litología muy similar a la Cuenca Deltaica de Veracruz.

III.C.4g. SIERRA DE CHIAPAS

III.C.4g.1. Cinturón Chiapaneco.

Muestra una litología constituida, principalmente, por rocas sedimentarias marinas del Cretácico Inferior y Superior, así como rocas sedimentarias continentales del Jurásico Medio y Superior. En menor proporción se presentan afloramientos de rocas sedimentarias marinas del Oligoceno, y algunas sedimentarias continentales del Cuaternario.

III.C.4h. CORDILLERA CENTROAMERICANA

III.C.4h.1. Batolito de Chiapas.

Está formado por rocas ígneas intrusivas, graníticas y gabroides sobre las que se encuentran algunas rocas sedimentarias Cuaternarias continentales.

III.C.4h.2. Macizo Igneo del Soconusco.

En esta provincia existe un complejo de rocas de diferentes edades, entre las que se encuentran rocas sedimentarias marinas del Pérmico y Jurásico Superior, rocas ígneas intrusivas graníticas del Carbonífero, y rocas metamórficas del Devónico. Con frecuencia sobreyacen a estas rocas materiales volcánicos continentales del Cuaternario.

III.C.4h.3. Cuenca de Tehuantepec.

Esta constituida, en su gran mayoría, por materiales sedimentarios continentales del Cuaternario, existiendo pequeños afloramientos de rocas ígneas volcánicas del Mioceno-Plioceno.

III.C.5. CLASIFICACION DEL MATERIAL PARENTAL LOCALIZADO EN EL TROPICO Y SUBTROPICO MEXICANO

El concepto de material parental se refiere, en este caso, a los materiales minerales y orgánicos no consolidados en que se formó el suelo. Los materiales parentales detectados en el área de estudio se clasifican de la siguiente manera:

III.C.5.1. Mezcla Litológica.

Se distinguen los siguientes materiales parentales: (1) mezclado. Es la unión de varios tipos de material parental; (2) mezcla no calcárea. Es la unión de materiales parentales no calcáreos; (3) mezcla calcárea. Son materiales que contienen carbonato de calcio, de magnesio, o ambos; (4) mezcla ígnea, metamórfica y sedimentaria. Es un complejo de materiales ígneos, metamórficos y sedimentarios; (5) mezcla ígnea y metamórfica. Es un complejo de materiales ígneos y metamórficos y (6) mezcla ígnea y sedimentaria. Es un complejo de materiales ígneos y sedimentarios. Este tipo de material parental es muy común en los suelos de origen aluvial.

III.C.5.2. Conglomerados.

Se divide en dos tipos de materiales parentales: (1) conglomerados no calcáreos y (2) conglomerados calcáreos.

III.C.5.3. Rocas Ígneas.

Se distinguen como las más comunes: (1) andesita; (2) basalto; (3) gabro; (4) granito; (5) riolita y (6) diorita.

III.C.5.4. Rocas Metamórficas.

(1) gneiss; (2) serpentina; (3) pizarra; (4) filita; (5) esquisto; (6) mármol y (7) cuarcita.

III.C.5.5. Rocas Sedimentarias.

(1) marga y (2) glauconita.

III.C.5.5.1. Rocas sedimentarias estratificadas.

(1) lutita-arenisca-caliza; (2) arenisca-limolita; (3) lutita-limolita; (4) limolita-caliza; (5) lutita-arenisca; (6) arenisca-caliza y (7) lutita-caliza.

III.C.5.5.2. Areniscas: (1) arenisca arcosa; (2) arenisca no calcárea; (3) arenisca calcárea.

III.C.5.5.3. Lutitas: (1) lutita calcárea y (2) lutita no calcárea.

III.C.5.5.4. Limolitas: (1) limolita calcárea y (2) limolita no calcárea.

III.C.5.5.5. Calizas: (1) creta; (2) dolomía y (3) coquina.

III.C.5.6. Rocas Igneas-Sedimentarias:

III.C.5.6.1. Rocas piroclásticas: (1) toba; (2) brecha; (3) toba-brecha; (4) pahoehoe y (5) aa.

III.C.5.6.2. Materiales expulsados por deyección: (1) cenizas ácidas; (2) cenizas básicas; (3) cenizas intermedias; (4) tezontle; (5) pómez; (6) escoria y (7) bombas.

III.C.5.7. Materiales Orgánicos.

(1) material herbáceo; (2) material musgoso; (3) material leñoso; (4) carbón vegetal y (5) carbón mineral.

En la tabla 6, se da una clasificación de los tipos de rocas más comunes, o de sus propiedades como material parental del suelo.

OBSERVACIONES:

Existe, dentro de la literatura nacional, un trabajo de investigación sobre la relación: roca-ambiente. Este trabajo, realizado por Hernández-Silva, *et al.*, (1990), representa un ejemplo adecuado de la investigación de ambientes edafogénéticos y litoestratigrafía, en México, particularmente en zonas templadas.

TABLA 6 CLASIFICACION DE LAS ROCAS MAS COMUNES EN EL TROPICO

<u>COMPOSICION</u>	<u>GRANO</u>	<u>CRISTALINAS</u>	<u>SEDIMENTARIAS</u>	<u>NO CONSOLIDADAS</u>
Félsica	Grueso Medio Fino	Granito Gneiss Riolita	Arenisca Conglomerado Pizarra	Aluvión arenoso Aluvión limoso Aluvión arcilloso
Intermedia	Grueso Medio Fino	Diorita Gneiss Esquistos	-- -- Pizarras ferrosas	-- -- --
Básica	Grueso Medio Fino	Gabro Anfibolita Basalto-Andesita	-- -- --	-- -- Aluvión de basalto
Ultra-básica		Peridotita		
Calcárea		Mármol	Caliza	Aluvión calcáreo

FUENTE: INSTITUTO DE GEOLOGIA, UNAM (1994).

III.C.6. GRUPOS DE ROCAS Y MATERIALES BASALES Y/O PARENTALES, COMUNES EN EL AREA DE ESTUDIO

Los siguientes ocho grupos, son predominantes como materiales parentales y/o basales en los suelos del trópico y subtropical mexicano.

III.C.6.1. Rocas Cristalinas Félsicas.

Comprenden principalmente los granitos y los granitos-gneiss con tamaño de grano grueso a medio. Las rocas cristalinas félsicas de grano fino, han sido reportadas en áreas muy localizadas. Los granos de cuarzo liberados por la alteración de estas rocas, se acumulan para formar regolitas (Arenosoles) o suelos de texturas arenosas, en ocasiones con una distribución bimodal: arena-arcilla, muy frecuente en varios suelos derivados de granito.

En las zonas con climas Af o Am, estos suelos se caracterizan por sus bajos contenidos en bases (<35%) y en minerales intemperizables (18%), así como por su alta permeabilidad y lavado, lo que les confiere una gran acidez y un complejo de alteración dominado por caolinita. En casos extremos, (Tabasco) no se encuentran minerales intemperizables en los primeros dos metros de profundidad. Estos suelos muestran una baja fertilidad natural (Dístricos), buen drenaje, fácil penetración de raíces y moderada a baja retención de humedad. Además se caracterizan por su pobreza en materia orgánica, baja capacidad de intercambio catiónico y deficiente estructura.

En algunas zonas próximas a San Juan Evangelista, Veracruz, se presenta un subgrupo de estos suelos. Este subgrupo se caracteriza por presentarse en zonas sabanoides, así como por su extrema alteración y muy baja fertilidad natural ("Suelos pobres de Sabana"). El perfil de estos suelos (Arenosoles dístricos) presenta una regolita profunda y un subsuelo desprovisto de minerales primarios, con excepción del cuarzo (Hernández Silva G., 1980).

III.C.6.2. Rocas Cristalinas Intermedias.

En esta clasificación se incluyen muchos esquistos y gneiss, principalmente los de hornblenda y biotita. En condiciones de climas Am y ambientes údicos, estas rocas tienden a constituir suelos fersialíticos o ferruginosos. En condiciones de climas Af y ambiente údico llegan a formar suelos ferralsíticos debido, en parte, a que los contenidos de bases en estas rocas no son altos.

III.C.6.3. Rocas Igneas Básicas.

El basalto es la roca principal en este grupo. La andesita aunque es una roca intermedia de grano fino, con frecuencia genera materiales parentales similares a los del basalto. Bajo condiciones de un ambiente údico o ústico, los suelos derivados de rocas básicas, son arcillosos en su textura, bien estructurados, ricos en arcilla 2:1, y presentan porcentajes altos de minerales intemperizables. Estos suelos se les ha denominado Basisoles, e incluyen desde Vertisoles hasta Ferralsoles. Generalmente, con excepción de los Ferralsoles, muestran una alta fertilidad y una buena aptitud natural para sostener cultivos de grano durante todo el año, si hay disponibilidad de agua.

III.C.6.4. Rocas Sedimentarias de Grano Grueso y Medio.

Este grupo incluye las areniscas, los conglomerados y algunas cuarcitas metamorfoseadas. Los materiales parentales formados muestran caracteres predominantes, similares a los de las areniscas. Su influencia en la formación del suelo es casi igual a la de las rocas cristalinas félsicas, excepto que estas rocas cristalinas se intemperizan más lentamente. En ambientes údicos y perúdicos, llegan a constituir suelos ferruginosos de textura gruesa, en ambientes ústicos sólo llegan a formar suelos fersialíticos. En ocasiones, algunas cuarcitas son tan lentamente alterables que sólo constituyen Regosoles y/o Leptosoles, además de algunos Arenosoles.

III.C.6.5. Rocas Sedimentarias de Grano Fino.

Comprenden, principalmente, las pizarras. Algunas son félsicas en su composición, otras son ricas en hierro. Estas últimas se intemperizan más rápido y más profundo, originando suelos más fértiles que las primeras. Se observó que las pizarras, en general, no muestran una regolita de gran espesor, y ésta se encuentra a no más de 2 m. Esto se debe, probablemente, a que los minerales que constituyen estas pizarras, en muchos casos, son producto de otros ciclos de alteración (alteración Policíclica).

Los suelos que se forman a partir de las pizarras muestran propiedades físicas pobres, que le confieren baja estabilidad estructural, erodabilidad alta, compactación y valores n menores, en la mayoría de los suelos, a 0.7. Sin embargo, muestran propiedades químicas aceptables, ya que bajo un ambiente ústico, el suelo posee una C.I.C.T. alta (> 24 meq) alta saturación de bases (< 60%) y contenidos altos de materia orgánica (> 3%). En condiciones de un ambiente údico, se ha observado que algunas pizarras ricas en hierro, como las que se localizan en Paraíso, Veracruz, tienden a formar horizontes concrecionarios pseudo-lateríticos.

III.C.6.6. Calizas.

En climas Af y Am, bajo condiciones ambientales údicas-isohipertérmicas, las calizas evolucionan a suelos con propiedades oxidícas, los que sin embargo, muestran una fertilidad aceptable, similar a la de los suelos derivados de rocas cristalinas intermedias, aunque nunca muestran la fertilidad de los suelos derivados de rocas ígneas básicas.

En climas Aw, bajo un ambiente údico, estas rocas, normalmente, evolucionan a suelos fersialíticos, y en climas Aw con régimen ústico, forman suelos calcáreos y vérticos. En la Península de Yucatán, los corales son un material parental muy importante que originan una gran variedad de unidades de suelos, en las que se incluyen Vertisoles, Rendzinas, Cambisoles Vérticos, Luvisoles y Acrisoles, así como algunos Leptosoles. Al parecer, la tipogénesis tan variada a partir de un material parental común, muy similar en edad, no sólo es resultado de los diferentes ambientes presentes sino, en gran parte, de la composición y contenido de CaCO_3 que muestra el coral.

III.C.6.7. Arenas no consolidadas.

Estos materiales se originan por procesos aluviales, marinos o eólicos. En ambientes údicos o perhúdicos, están confinados a las terrazas fluviales; pero en ambientes ústicos, generalmente se encuentran en toda la llanura de inundación. En algunos sitios, como por ejemplo la llanura costera de Nayarit, estas arenas llegan a constituir más del 95% de los apartados texturales de una capa.

Resulta sorprendente el hecho de que en algunos de estos suelos, su comportamiento físico, químico y mecánico, no sea típico de lo que se espera para una capa arenosa, ya que la capacidad de intercambio que muestran, los contenidos de humedad y sus propiedades mecánicas, principalmente penetrabilidad y comprimilidad, son muy similares a las de un migajón franco. Esto se explica, en gran parte, por la presencia de material vítreo, de origen vulcano-clástico, que al alterarse en condiciones de un régimen údico, libera amorfos de tipo alofánico. Estos amorfos, recubren a la mayoría de los granos de arena, impidiendo su consolidación y evitando su rigidez. Los perfiles P9 Amapa y P5 INIFAP, son un ejemplo de esta situación, tan particular (Perfiles P9 y P5). Ambos perfiles fueron colectados en el Edo. de Nayarit (Vallejo-Gómez E., *et al.*, 1994).

Normalmente, los suelos constituidos por arenas, forman Regosoles Arenosoles, e incluso Fluvisoles, pero en este caso se trata de suelos aluviales arenosos que muestran propiedades ándicas, y que actualmente, no están contemplados en ninguna clasificación taxonómica.

OBSERVACIONES:

García Calderón N., *et al.*, (1986), señalan para la mineralogía de Andosoles, como rasgo común, la mala dispersión de material, especialmente, del vidrio que da lugar a una pasta que engloba minerales fuertemente agregados de tamaño de arena fina y limo.

PERFIL DE SUELO 9: AMAPA FRANCO**Localización: Amapa, Nayarit.****Ap 0-28 cm.**

Horizonte de textura media, permeable aunque ligeramente compactado y encostrado en su superficie. De color pardo oscuro en seco, el cual varía a pardo muy oscuro en húmedo. Muestra una estructura de forma angular y subangular, de tamaño fino y medio, con desarrollo medio; consistencia en seco muy dura, pero friable en húmedo, adhesivo y plástico en grado ligero. No muestra estructuras características como: argilanes, cutanes o facetas, y el ped se caracteriza por presentar poros finos vesiculares, casi continuos y en cantidad moderada. Se presentan algunos cristales de cuarzo y feldespato, así como fragmentos líticos, todos ellos de tamaño fino, poco alterados y dispersos en la matriz del suelo. El pH es ligeramente alcalino. Las raíces presentes son de tamaño fino y medio en cantidad moderada. La separación de este horizonte con el subyacente, es gradual y, relativamente, con pequeñas ondulaciones.

AC 28-57 cm.

Horizonte de textura similar al Ap, aunque muestra una permeabilidad moderada. Este horizonte es de color pardo amarillento, en seco, a pardo muy oscuro en húmedo. Muestra una estructura angular media y gruesa, débilmente desarrollada, de consistencia ligeramente dura pero friable, moderadamente adhesivo y plástico. Porosidad fina vesicular y casi continua. El pH es moderadamente alcalino. Se detectó presencia de raíces de tamaño medio, en cantidad escasa. La separación es clara y plana. Muestra fase sódica.

IC1 57-89 cm.

Horizonte de textura gruesa, moderadamente permeable, con un contenido moderado en limo y nulo en arcilla*. De color pardo y pardo amarillento, en seco, a pardo grisáceo muy oscuro en húmedo; estructura subangular media, débilmente desarrollada; consistencia blanda, y muy friable en húmedo; la adhesividad y la plasticidad son nulas. El ped muestra poros finos intersticiales, casi continuos que se presentan en cantidad moderada. El pH es ligeramente alcalino. Raíces medias en cantidad escasa. Separación clara y plana.

IC2 89-150 cm.

Capa de arena* muy permeable constituida por fragmentos muy finos, redondeados y subredondeados, y, en menor proporción, subangulares. Macroscópicamente, destacan granos de color pardo muy pálido, blancos y rojos en seco, y pardo amarillento claro y pardo rojizo en húmedo. No presenta estructura ni adhesividad, aunque es comprimible, en grado ligero, debido a la presencia escasa de geles arcillosos y orgánicos que recubren un

gran número de granos. Estos geles han sido translocados, de las capas superiores, por el drenaje. En esta capa destaca, además, la presencia de cristales de cuarzo, feldespatos, líticos y vidrio volcánico**. Los poros finos y medios son frecuentes, aunque muestran una orientación caótica. El pH es ligeramente alcalino. No se presentan raíces. La separación es clara y plana.

IC3 150-180 cm.

Capa arenosa, muy permeable, suelta porosa, con tamaño de grano muy homogéneo. De color abigarrado por la presencia de partículas con cromas muy variados, aunque predominan los granos de colores semejantes a los de la capa que le sobreyace. Muestra una separación clara y plana con la capa que lo subyace.

OBSERVACIONES

* El análisis de laboratorio, relativo a la determinación de la textura del suelo (Bouyoucos, 1962) indica la ausencia de partículas de tamaño arcilla en las capas IC1, IC2 y IC3. Sin embargo, la ausencia de arcillas es virtual, no real, ya que la observación al microscopio de barrido muestra la existencia de arcilla ilítica y montmorillonítica, formando aglomerados con el limo y cristales. (Figura P9-1).

Estos aglomerados están parcialmente cementados por amorfos, los cuales son resistentes al tratamiento utilizado en la técnica de Bouyoucos (1962), para su dispersión. Consecuentemente, la agregación y cementación de los limos y arcillas propicia:

1. Floculación de las arcillas en tamaños de limos, e incluso de arenas (artificio) y
2. Capacidades de intercambio altas en fracciones texturales gruesas, pobres en materia orgánica. (Ejemplo: capa IC1).

** Como se ha mencionado, anteriormente, la presencia y alteración de materiales volcánico-clásticos, especialmente vidrio volcánico, influye notablemente sobre el comportamiento físico-químico y mecánico de las capas.

CLASIFICACION TAXONOMICA:

Este perfil clasifica como Fluvisol eútrico con propiedades flúvicas, de cambio textural abrupto y pseudo-ándicas. Muestra fases de densipan y sódica, siendo de tipo textural Franco.

Clave Taxonómica: FLe (pf-ct-psa)
Fd+Fn - C

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
DEPARTAMENTO DE EDAFOLOGIA

ANALISIS QUIMICOS Y FISICOS DEL PERFIL 2

FUNDADID (cm)	HORIZONTE (A-B-C)	M.O. (M)	N.T. (M)	N-KO3 (ppm)	BASES INTERCAMBIABLES mg/100 g de suelo				REL. Ca ⁺⁺ Mg ⁺⁺	P ASIMILANLE (ppm)	SUMA DE BASES	O.I.C.T. (mg/100g)	SATURACION DE BASES (%)	C.E. mhos/cm	pH DEL EXTRACTO	PSI (N)	pH EN EL SUELO			M ⁺⁺ (ppm)
					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺									H ₂ O	KCL	pH DELTA	
0-28	Ap	1.10	0.071	13.75	10.0	7.0	0.456	2.60	1.42	20.35	20.14	21.00	95.90	0.70	7.9	2.17	7.7	6.0	-1.7	15.42
28-57	AC	1.07	0.045	5.87	13.5	5.0	1.858	0.97	2.70	9.52	21.33	23.40	91.15	0.62	8.2	7.94	7.9	6.4	-1.5	9.91
57-89	IC1	1.08	0.017	3.50	0.0	4.0	0.543	0.66	2.00	4.55	13.29	14.80	89.19	0.58	8.1	3.67	7.7	6.1	-1.6	6.22
89-150	IC2	0.41	0.010	3.37	6.0	2.5	0.260	0.46	2.40	4.02	9.22	9.50	97.05	0.42	8.2	2.74	7.7	6.2	-1.5	3.40
150-180	IC3	0.30	0.000	1.27	3.5	1.0	0.100	0.40	3.50	2.00	5.00	5.50	90.90	0.42	8.0	1.81	7.7	6.2	-1.5	3.20

ANALISIS FISICOS Y FISICO-QUIMICOS: FRACCION <2 mm

PROFUNDIDAD (cm)	HORIZONTE (A-B-C)	COLOR MUNSELL-1990		CLASE TEXTURAL TOTAL (%)			FRAG. GRUEGOS (%)			TIPO TEXTURAL	DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)	DENSIDAD REAL (g/cm ³)	POROSIDAD (%)	C.C. (%)	PMP (%)	AA (%)	HUMEDAD DE CAMPO (%)	PERMEABI- LIDAD cm/h
		SUCCO	HUMEDO	ARENA 2-0.05 (mm)	LIMO 0.05- 0.002 (mm)	ARCILLA <0.002 (mm)	Gr. 2-20 mm	G. 7.5-25 cm	F. > 25 cm									
0-28	Ap	10YR/3	10YR/2	42.2	46.7	11.1	0.0	0.0	0.0	C	1.2	2.17	44.70	31.20	13.60	17.60	17.80	7.60
28-57	AC	10YR5/4	10YR2/2	40.0	46.0	14.0	0.0	0.0	0.0	C	1.3	2.39	45.60	30.80	15.20	15.60	10.60	1.62
57-89	IC1	10YR5/3	10YR3/2	72.5	27.5	0.0	0.0	0.0	0.0	Am	1.3	2.45	46.93	24.90	9.20	15.70	5.60	4.95
89-150	IC2	10YR3/3	10YR3/2	95.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	A	1.4	3.07	54.39	7.30	4.60	2.70	6.60	38.94
150-180	IC3	10YR4/3	10YR3/3	97.5	2.5	0.0	0.0	< 1.0	0.0	A	1.4	3.02	53.64	7.00	4.10	2.90	5.00	39.70

OBSERVACIONES

En este perfil las relaciones C/N son: Ap= 8.98; AC= 13.79; IC1= 36.84; IC2= 23.78 y IC3= 174.0

ANALISIS QUIMICO DEL EXTRACTO DE SATURACION

PROFUNDIDAD (cm)	HORIZONTE (A-B-C)	CATIONES SOLUBLES (meq/l)				ANIONES SOLUBLES (meq/l)				PORCENTAJE DE SALES	CLASIFICACION	
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼		SALINIDAD	SODICIDAD
0-28	Ap	1.80	1.60	2.17	0.97	0.0	1.80	3.40	1.10	0.05		
28-57	AC	1.60	1.80	2.39	0.40	0.0	0.80	1.00	4.02	0.05		
57-89	IC1	1.80	0.60	3.02	0.27	0.0	0.80	2.50	4.08	0.04		
89-150	IC2	1.00	1.20	1.80	0.21	0.0	0.80	2.80	0.80	0.03		
150-180	IC3	1.00	1.30	1.70	0.21	0.0	0.80	2.80	0.80	0.03		

ANALISIS DEL SUELO POR MICROSCOPIA

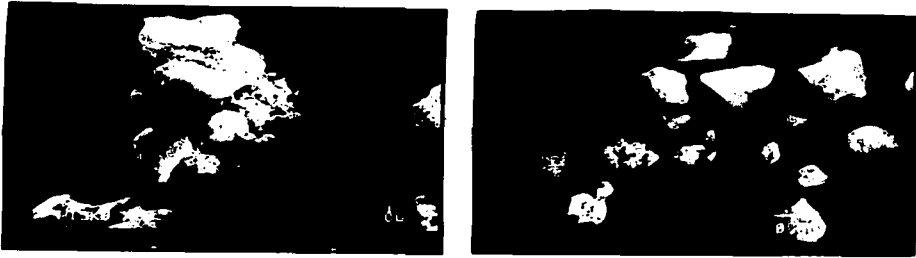


Fig. P9-1 Fotomicrografía, tomada por microscopía electrónica de barrido que muestra aglomerados de limos, arcillas, líticos y cristales, que se comportan como partículas del tamaño de limos gruesos y arenas, y que enmascaran los porcentajes reales de arcillas.

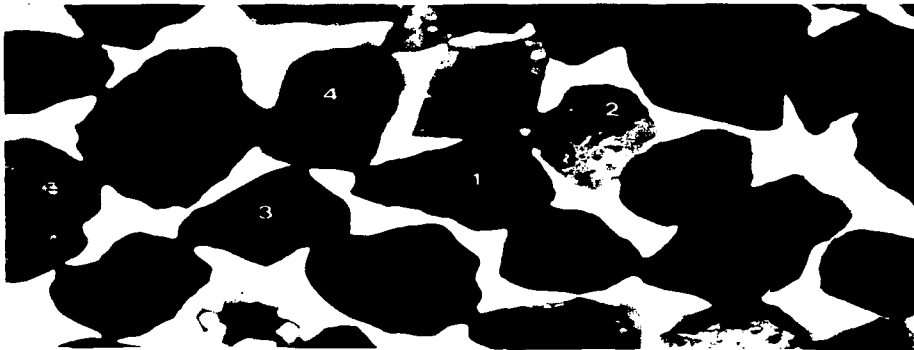


Fig. P9-2 Materiales volcanoclásticos. Fotomicrografía óptica que muestra las fracciones de limo y arena presentes, en la capa IC2, constituídas por feldespatos (1), fragmentos líticos (2), pómez (3) y vidrio volcánico (4). El cuarzo y algunos minerales ferromagnesianos son frecuentes en las capas más profundas.

PERFIL DE SUELO 5; INIFAP II FRANCO

Localización: Santiago Ixc., Nayarit.

Ap 0-20 cm.

Capa moderadamente compactada y ligeramente cementada, probablemente, por arcillas y sílice coloidal, proveniente de la alteración de los vidrios volcánicos presentes en la matriz del suelo. Este horizonte se caracteriza por presentar un color pardo amarillento en seco (15 bar), que oscila a pardo grisáceo muy oscuro en húmedo (0.33 bar). Presenta una estructura predominantemente subangular de tamaño medio (10-20 mm) a fino (5 a 10 mm) y, poco frecuente, de tamaño grueso (20-50 mm), moderadamente desarrollada. El ped es de consistencia dura en seco, pero muy friable en húmedo, siendo ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; con poros finos y muy finos presentes en cantidad moderada. Muestra un esqueleto constituido por gravas (0.2 -7.5 cm) subredondeadas en cantidad muy escasa (<5% en volumen). Raíces finas (<1-2mm) en cantidad escasa (1 a 20 en 10 dm³). El pH es neutro. La separación entre horizontes es gradual (6 a 12.8 cm) y con una, relativamente, pequeña ondulación.

C1 20-44 cm.

Capa compactada, con una permeabilidad moderadamente lenta y una porosidad fina y escasa, en muchas ocasiones no continua, que favorece el encharcamiento superficial. Se observa el desarrollo de un moteado ocre, de tamaño pequeño (<5 mm) y escaso (<2%) no contrastado; con bordes difusos. Este horizonte muestra un color pardo amarillento en seco, y pardo grisáceo muy oscuro en húmedo. Estructura subangular de tamaño medio a grueso, débilmente desarrollada, de consistencia dura en seco y muy friable en húmedo, no plástica y ligeramente adhesiva. El ped, además, muestra raíces finas y medias (2-5 mm) en cantidad escasa. Se presentan, cristales de tamaño fino (<1mm), en cantidad escasa (2-5% en vol.) dispersos en la matriz del suelo (matrix-S). La separación con el horizonte que lo subyace es clara (2.5-6 cm) y, relativamente, plana a lo largo del perfil descrito. Reacción muy débil al HCL; pH ligeramente alcalino.

IC1 44-61 cm.

Capa muy limosa, que muestra una permeabilidad moderadamente lenta y una porosidad fina y muy fina. Esta capa está moderadamente compactada y ligeramente cementada. Presenta un color pardo en seco, y pardo grisáceo muy oscuro en húmedo. Estructura subangular de tamaño medio y fino con desarrollo débil a moderado, dura y friable; ligeramente adhesiva, plástica. El ped muestra películas arcillosas con distribución zonal, de espesor delgado, ubicadas en tubos, canales de raíces y poros. Se presentan cristales de tamaño fino, escasos y dispersos, de cuarzo y feldespatos, así como abundantes fragmentos muy finos de roca y vidrio volcánico, parcialmente alterados.

Raíces finas y medias frecuentes en cantidad (20-100 en 10 dm²). El pH es neutro. La separación es clara y, relativamente, plana. ("Horizonte").

IC2 61-110 cm.

Capa moderadamente permeable, de color pardo en seco a pardo grisáceo muy oscuro en húmedo. Estructura subangular media, moderadamente desarrollada, de consistencia blanda y muy friable, moderadamente adhesiva y ligeramente plástica. No muestra esqueleto y carece de raíces. La porosidad es fina y se presenta en cantidad moderada. El pH es neutro. La separación es clara y relativamente plana.

IC3 110-180 cm.

Capa moderadamente permeable, de color pardo en seco a pardo grisáceo muy oscuro en húmedo. Estructura subangular media, débilmente desarrollada, de consistencia blanda y muy friable, moderadamente adhesiva y ligeramente plástica. No muestra esqueleto y carece de raíces. Muestra poros finos en cantidad escasa. El pH es ligeramente alcalino. La separación es clara y relativamente plana.

OBSERVACIONES

La alteración del vidrio propicia la formación de minerales arcillosos amorfos, con una relación $\text{SiO}_2: \text{Al}_2\text{O}_3 < 2$. De este carácter, resultan compuestos muy porosos, con gran superficie, alta CICT y alto poder para retener los fosfatos. Con frecuencia, estos amorfos se presentan recubriendo los granos de arena y limo (silanes) o como cementante entre ellos. Esta última cualidad, propicia artificios cuando se determinan los porcentajes de los apartados texturales en el suelo, debido a que las partículas cementadas precipitan en forma de aglomerados, dando un tamaño mayor con relación al que verdaderamente tienen. Con base en lo anterior, las arcillas cementadas, pueden dar tamaños que, granulométricamente, corresponden a limos o arenas.

Los trabajos de investigación realizados por Uzochukwu (1990) sobre suelos aluviales que muestran vidrio volcánico, demostraron que la alteración del vidrio influye, significativamente, en tres propiedades fundamentales para su fertilidad natural:

1. Incrementa la superficie específica de las partículas, mediante la formación de geles coloidales.
2. Incrementa la capacidad de retención de agua aprovechable y
3. Incrementa, significativamente la C.I.C.T.

Por otra parte la presencia del vidrio volcánico y de amorfos órgano minerales, le confieren a las capas propiedades mecánicas atípicas.

CLASIFICACION TAXONOMICA:

Este perfil fue clasificado como Fluvisol eútrico con propiedades fluvicas y pseudo-ándicas, que muestra además, una fase de densipan. El tipo textural es Franco.

Clave Taxonómica: FLe (pf-psa)
Fd-C

FALTA PAGINA

No. 62

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
DEPARTAMENTO DE EDAFOLOGIA

ANALISIS QUIMICOS Y FISICOS DEL PERFIL 5

COTIDAD (m)	HORIZONTE	M.O. (%)	N.T. (%)	N-HOJ (ppm)	BASES INTERCAMBIABLES mg/100 g de suelo				REL.: Ca ⁺⁺ / Mg ⁺⁺	P ASIMILABLE (%)	SUMA DE BASES	C.I.C.T. (mg/100g)	SATURACION DE BASES (%)	C.E. mmhos/cm ³	pH DEL EXTRACTO	PSI (%)	pH EN EL SUELO			Pn ⁺⁺ (ppm)
					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺									H ₂ O 1:2	KCL 1:2	pH DELTA	
					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺									1:2	1:2	DELTA	
-20	Ap	1.10	0.057	8.00	10.0	5.0	0.261	1.78	2.00	10.025	17.04	19.7	86.49	0.45	7.5	1.32	7.3	5.6	-1.7	17.88
-44	C1	1.03	0.047	11.75	12.5	5.0	0.304	1.05	2.50	10.500	18.85	21.8	86.46	0.40	7.5	1.39	7.4	5.8	-1.6	11.87
-61	IC1	1.20	0.032	8.87	16.5	5.5	0.424	0.99	3.00	5.775	23.41	25.0	93.64	0.38	7.4	1.69	7.3	5.5	-1.8	10.05
-110	IC2	0.42	0.053	11.75	17.5	5.5	0.456	0.61	3.18	9.100	24.07	26.0	92.57	0.37	7.6	1.75	7.3	6.0	-1.3	10.43
-180	IC3	1.15	0.043	6.75	15.0	6.0	0.435	0.83	2.50	9.971	22.26	24.0	92.75	0.38	7.6	1.81	7.4	6.1	-1.3	7.15

ANALISIS FISICOS Y FISICO-QUIMICOS: FRACCION <2 mm

COTIDAD (cm)	HORIZONTE (A-D-C)	COLOR MUNSELL-1920		CLASE TEXTURAL TOTAL (%)			FRAC. GRUEGOS (%)			TIPO TEXTURAL S.I.	DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)	DENSIDAD REAL (g/cm ³)	POROSIDAD (%)	C.C. (%)	PMP (%)	AA (%)	HUMEDAD DE CAMPO (%)	PERMEABI- LIDAD cm/h
		SECO	HUMEDO	ARAYA 2-0.05 (mm)	LIMO 0.05- 0.002 (mm)	ARCILLA 0.002 (mm)	Gr. 2-5 cm 7.5 cm	G. 7.5 cm- 25 cm	FD. 25 cm									
0-20	Ap	10YR5/4	10YR3/2	30.8	46.9	14.3	2.0	0.0	0.0	C	1.4	2.41	41.90	37.00	13.50	23.50	25.38	0.91
20-44	C1	10YR5/4	10YR3/2	43.5	43.5	13.0	0.0	0.0	0.0	C	1.3	2.33	44.20	37.46	12.70	24.70	22.87	0.93
44-61	IC1	10YR5/3	10YR3/2	37.5	52.5	10.0	<1.0	0.0	0.0	M	1.3	2.30	43.47	44.10	15.30	28.80	29.02	0.82
61-110	IC2	10YR5/3	10YR3/2	31.1	48.9	20.0	0.0	0.0	0.0	C	1.2	2.14	43.92	40.00	18.10	21.90	31.28	1.88
110-150	IC3	10YR5/3	10YR3/2	53.9	33.3	12.0	0.0	0.0	0.0	M	1.1	2.30	52.17	42.40	15.30	27.10	23.14	3.62

OBSERVACIONES

En este perfil las relaciones C/N son: Ap=11.19, C1=12.71; IC1=21.75; IC2=4.59 y IC3=15.51

ANALISIS QUIMICO DEL EXTRACTO DE SATURACION

PROFUNDIDAD (cm)	HORIZONTE	CATIONES SOLUBLES (meq/l)				ANIONES SOLUBLES (meq/l)				PORCENTAJE DE SALES
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	
0-20	Ap	1.0	1.6	1.13	0.63	0.0	1.2	2.1	1.00	0.04
20-44	Cl	1.2	0.6	1.67	0.41	0.0	0.8	2.5	0.40	0.03
44-61	IC1	1.2	0.2	1.80	0.26	0.0	0.8	2.1	0.41	0.03
61-110	IC2	1.2	0.4	1.26	0.15	0.0	1.2	2.5	0.00	0.03
110-180	IC3	1.2	0.8	1.06	0.27	0.0	1.2	1.9	0.20	0.03

ANÁLISIS DEL SUELO POR MICROSCOPIA



Fig. P5-1 Fotomicrografía óptica de vidrio volcánico. Este material ha sido transportado y depositado en la llanura fluvial, por efecto de los desbordamientos del Río Grande de Santiago. Es detectable en muchas capas aluviales de textura gruesa, donde llega a alcanzar porcentajes significativos. Su alteración le confiere a los suelos propiedades físicas, químicas y mecánicas muy importantes para su fertilidad.

PERFIL DE SUELO 6: LOS OTATES MIGAJON LIMOSO**LOCALIZACION:** Los Otates, Nayarit.**Ap 0-26 cm.**

Horizonte de textura mediana y permeabilidad lenta. De color pardo muy oscuro en húmedo. La estructura está muy alterada por el efecto de la labranza profunda y el subsoleo. Rompe en bloques subangulares* de tamaño fino y medio, con desarrollo, aparentemente, moderado; consistencia blanda en seco y muy friable en húmedo; moderadamente adhesivo y moderadamente plástico. Estos terrones, muestran poros finos abundantes, de aspecto esponjoso aunque poco continuos**, así como cristales, de tamaño fino, de cuarzo y feldespato en cantidad escasa. El pH es ligeramente alcalino y el porcentaje de sales es muy bajo. Se presentan con frecuencia, raíces finas y medias, y la separación entre este horizonte y el que le subyace es clara y plana.

C 26-58 cm.

Capa de textura mediana y permeabilidad lenta, de color pardo en seco a pardo grisáceo muy oscuro en húmedo. Presenta una pseudo-estructura subangular fina y media; consistencia blanda, muy friable, moderadamente adhesiva y plástica. Se observan poros similares a los descritos para el horizonte Ap, aunque estos poros presentan, zonalmente, argilanes. La mineralogía es similar a la del horizonte Ap, aunque en este horizonte se observó, además, vidrio volcánico. Adicionalmente, el horizonte muestra un moteado fino de color ocre, generado por las deficiencias que se presentan en el drenaje interno de este suelo. La presencia de una capa, de textura moderadamente fina, que subyace a este horizonte, propicia cambios en la permeabilidad del perfil. El pH es neutro y el porcentaje de sales es muy bajo. Presenta raíces finas y medias en cantidad escasa. La separación abrupta y plana.

IA_b 58-120 cm.

Horizonte de textura moderadamente fina, y permeabilidad muy lenta sepultado por aluvión reciente. Muestra algunas propiedades vérticas*** como: argilanes, facetas de presión-fricción, grietas y fisuras; consistencia dura y firme; porosidad fina y escasa, así como adhesividad y plasticidad fuertes. Presenta un color pardo, en seco, que oscila a pardo grisáceo muy oscuro en húmedo. El pH es ligeramente alcalino y no presenta sales en cantidad significativa. Es característico de este horizonte, la presencia, escasa, de raíces de grosor medio, así como el moteado fino de color ocre, ocasionado por el efecto de su drenaje deficiente.

> 120 cm:**Manto freático estacional******

OBSERVACIONES

* La pseudo-estructura es propiciada por las actividades antrópicas y tecnogénicas (destrucción de los pedos y formación de terrones).

** En este caso, la labranza profunda se hizo, al parecer, bajo condiciones desfavorables de humedad, lo cual además de propiciar compactación en los terrones, redujo el espacio de macroporos, a través de su deformación y oclusión parcial. Es importante mencionar, que el suelo muestra una compactación importante por el uso frecuente de maquinaria agrícola pesada.

*** La presencia en el subsuelo de una capa con propiedades vérticas (montmorillonita-ilita) de permeabilidad muy lenta propicia que el agua de lluvia y del escurrimiento no incidan, de forma inmediata, sobre la fluctuación de la profundidad del manto freático.

**** El término "estacional" se refiere al hecho de que el nivel freático fluctúa, en su profundidad, al menos en dos épocas anuales extremas:

1. Durante los meses de abril y mayo en la que se alcanza su máxima profundidad, debido a que la precipitación y el escurrimiento son mínimos, y
2. Durante los meses de julio y/o agosto en la que debido a las lluvias, su profundidad llega al nivel mínimo, la acumulación de agua y, consecuentemente, la elevación del manto freático ocurre por lo general, de forma gradual.

CLASIFICACION TAXONOMICA:

No obstante que el perfil muestra características antropogénicas y tecnogénicas muy evidentes que podrían situarlo dentro de los Antrosoles, se optó por clasificarlo con base en su morfogénesis. El perfil clasifica como un Fluvisol eútrico con propiedades vérticas, gleyicas y de cambio textural abrupto. Muestra, además, fase freática profunda y densipan. El tipo textural es Migajón limoso.

Clave Taxonómica: FLe (pv-pg-ct)
Fd + Ff - MI

ANALISIS QUIMICOS Y FISICOS DEL PERFIL 6

PROFUNDIDAD (cm)	HORIZONTE	M.O. (%)	N.T. (%)	N-N ₂ (ppm)	BASES INTERCAMBIABLES mg/100 g de suelo				REL: Ca ⁺⁺ Mg ⁺⁺	P ASIMILABLE (ppm)	SUMA DE BASES	C.I.C.T. (mg/100g)	SATURACION DE BASES (%)	C.E. mmhos/cm	pH DEL EXTRACTO	PSI (%)	pH EN EL SUELO			Mn ⁺⁺ (ppm)
					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺									H ₂ O	1:2	NCL	
					Ca ⁺⁺ Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺ Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺ Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺ Mg ⁺⁺	1:2	1:2	1:2	1:2								
0-26	Ap	1.50	3.065	10.5	19.5	3.0	0.695	2.35	6.5	6.65	25.55	27.0	94.62	0.80	7.6	2.57	7.5	6.1	-1.4	13.69
26-58	C	1.09	0.050	11.75	16.0	7.0	0.760	1.11	2.28	2.97	24.87	29.8	86.35	0.72	7.8	2.64	7.3	5.9	-1.4	11.84
58-120	1A _b	1.03	0.060	0.87	22.0	7.0	1.152	1.12	3.14	7.00	31.27	33.0	94.76	0.94	7.9	3.49	7.5	6.3	-1.2	11.88
> 120	M.FreStico																			

ANALISIS FISICOS Y FISICO-QUIMICOS: FRACCION < 2 mm

PROFUNDIDAD (cm)	HORIZONTE (A-D-C) FAO-UNESCO	COLOR MUNSELL-1990		CLASE TEXTURAL TOTAL (%)			FRAG. GUEZOG (%)			TIPO TEXTURAL S.I.	DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)	DENSIDAD REAL (g/cm ³)	POROSIDAD (%)	C.C. (%)	PMP (%)	AA (%)	HUEVED DE CAMPO (%)	PERMEABI- LIDAD cm/h
		SECO	MOJADO	ARENA 2-0.05 (mm)	LIMO 0.05- 0.002 (mm)	ARCILLA <0.002 (mm)	Gr. 2-5 cm 7.5 cm	G. 7.5 cm- 25 cm	FL. 25 cm									
0-26	Ap	10YR4/3	10YR2/2	31.0	52.0	17.0	0.0	0.0	0.0	ML	1.3	2.26	42.47	40.3	17.2	23.1	27.5	0.40
26-58	C	10YR5/3	10YR3/2	20.2	64.3	15.5	<1.0	0.0	0.0	ML	1.3	2.21	41.17	53.0	25.6	27.4	32.1	0.32
58-120	1A _b	10YR5/3	10YR3/2	15.1	46.5	38.4	0.0	0.0	0.0	Hr1	1.5	2.75	45.45	64.0	36.4	27.6	33.6	0.15
> 120	M.FreStico																	

OBSERVACIONES

En este perfil las relaciones C/N son: A_p=11.19, C1=12.71; IC1=21.75; IC2=4.59 y IC3=15.51

ANALISIS QUIMICO DEL EXTRACTO DE SATURACION

PROFUNDIDAD (cm)	HORIZONTE	CATIONES SOLUBLES (meq/l)				ANIONES SOLUBLES (meq/l)				PORCENTAJE DE SALES
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	
0-26	Ap	2.90	1.56	2.13	1.27	0.0	3.20	3.70	0.62	0.06
26-58	C1	2.60	1.80	2.19	0.53	0.0	2.60	3.40	0.70	0.05
58-120	IA _b	3.20	2.20	3.00	0.87	0.0	1.80	5.30	2.06	0.06
> 120	N.Freático									

ANÁLISIS DEL SUELO POR MICROSCOPIA

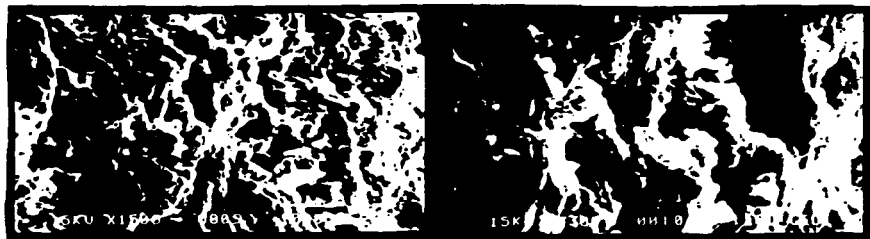


Fig. P6-1 Fotomicrografía por microscopía electrónica de barrido de la fracción arcillosa del suelo. Se detectan arcillas illíticas y montmorilloníticas, presentes en el subsuelo, que le confieren al mismo propiedades vérticas y permeabilidad lenta, propiciando que el agua de lluvia y del escurrimiento no incidan, de forma inmediata, sobre la fluctuación de la profundidad del manto freático.

PERFIL DE SUELO 7: PUERTA DE MANGOS ARCILLO LIMOSO
LOCALIZACION: Puerta de Mangos, Nayarit.

Ap_n 0-18 cm

Horizonte de textura fina, moderadamente compactado de permeabilidad lenta; que presenta, zonalmente, encostramiento en su superficie. Este horizonte muestra un color pardo oscuro, en seco, a pardo, ligeramente, más oscuro en húmedo; estructura subangular media, con desarrollo fuerte; consistencia dura pero friable*, fuertemente adhesivo y moderadamente plástico. El ped muestra argilanes zonales, moteado fino de color ocre y poros muy finos y finos, intersticiales, poco continuos, y en cantidad moderada, además, de un esqueleto constituido por gravas, muy escasas y finas, fuertemente alteradas. El pH es ligeramente alcalino con valores que oscilan de 7.4 a 7.6. Presenta raíces escasas, de tamaño fino y medio. Separación gradual y casi plana. Muestra fase sódica.

A_n 18-55 cm.

Horizonte de textura fina, muy lentamente permeable, moderadamente compactado y ligeramente cementado, que muestra algunas propiedades vérticas como son: facetas de presión-fricción, fisuras y grietas; consistencia muy dura y firme**, y adhesividad y plasticidad fuertes. Este horizonte muestra un color pardo en seco a pardo grisáceo muy oscuro en húmedo, y está constituido por peds de forma subangular; tamaño medio y desarrollo fuerte. Los poros muy finos y microporos predominan, aunque el porcentaje de porosidad total en el ped es bajo. Los poros no capilares son escasos. El pH es moderadamente alcalino, aunque no se presentan fases salinas pero, muestra fase sódica***. Presenta raíces, escasas, finas y de espesor medio. La separación es gradual y, en algunas zonas, difusa (18-55/63 cm) pero predomina el contacto casi plano.

AC_n 55-85 cm.

Horizonte de textura moderadamente fina; muy poco permeable, con caracteres morfológicos muy similares al horizonte que le sobreyace, diferenciándose de él, por presentar peds de mayor tamaño y menor porosidad, por una reducción en el porcentaje de arcilla y una atenuación del carácter vértico. El pH es moderadamente alcalino y muestra fase sódica, siendo factible observar la presencia de algunos cristales de halita. Presenta, únicamente, raíces de espesor medio en cantidad escasa. Separación gradual y casi plana.

IC_{bn} 85-140 cm.

Horizonte de textura moderadamente fina, de permeabilidad muy lenta que, además de presentar un moteado ocre (producto del hidromorfismo ocasionado por el mal drenaje interno), muestra cristales finos de halita, en cantidad

escasa, y un pH moderadamente alcalino. La capa es de color pardo pálido en seco a pardo oscuro en húmedo; estructura angular gruesa, mal desarrollada y floculada; consistencia muy dura, aunque muy friable, moderadamente adhesivo y moderadamente plástico, poco poroso. No presenta raíces y está en contacto con el nivel freático. Muestra fase sódica, y propiedades sódicas.

> 140 cm:

Nivel freático.

OBSERVACIONES

* Este horizonte muestra, durante el período de descanso del suelo, una compactación moderada, discontinua y temporal, que le confiere a los pedos una consistencia dura en seco. Sin embargo, una vez que el horizonte se humedece, la compactación disminuye gradualmente.

** Es probable que el uso excesivo de maquinaria agrícola pesada, esté formando un piso de compactación en esta capa (densipan). Consecuentemente, una labor obligada es aflojar la tierra, con arado de disco o vertedera y, en algunos, arado de subsuelo.

*** Los valores de PSI detectados, indican concentraciones de Na⁺ que pueden afectar a cultivos sensibles e, incluso, a cultivos moderadamente resistentes.

CLASIFICACION TAXONOMICA:

Con base en sus caracteres morfogénéticos y físico-químicos este perfil fue clasificado como Fluvisol sódico* con propiedades vérticas, gleyicas, sódicas y de cambio textural abrupto. Muestra, además, fase sódica, fréatica profunda y densipan. Es de tipo textural Arcillo limoso.

* Subunidad taxonómica propuesta en este estudio.

Clave Taxonómica: FLn (pv-pg-ct)
Fn+Ff+Fd-Rl

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
DEPARTAMENTO DE EDAFOLOGIA

ANALISIS QUIMICOS Y FISICOS DEL PERFIL 7

PROFUNDIDAD (cm)	HORIZONTE	H.O. (%)	H.T. (%)	H-H ₂ O ₃ (%)	BASES INTERCAMBIABLES mg/100 g de suelo				REL: Ca ⁺⁺ Mg ⁺⁺ K ⁺	P ASIMILABLE (µg/m)	SUMA DE BASES	C.I.C.T. (mg/100g)	SATURACION DE BASES (%)	C.E. milieq/cm ³	pH DEL EXTRACTO	PSI (%)	pH EN EL SUELO			P _h ⁺⁺ (ppm)	
					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺									pH _{1:2}	pH _{1:1}	pH DELTA		
																					1:2
0-18	Ap	2.14	0.111	19.37	17.5	5.5	1.761	1.52	3.18	12.00	26.28	28.00	93.86	0.83	7.8	6.29	7.5	5.9	-1.6	17.73	
18-55	A	1.93	0.081	13.00	17.0	5.5	2.272	1.20	3.03	7.53	25.97	27.00	96.18	0.92	8.3	8.41	8.1	5.9	-2.2	11.68	
55-85	AC _n	1.31	0.063	13.25	23.5	9.0	6.950	1.14	2.61	5.95	49.59	43.00	94.39	1.76	8.5	16.16	8.3	6.2	-2.1	10.63	
85-140	IC _{bn}	1.24	0.043	7.5	11.0	8.0	7.608	0.64	1.37	3.85	27.25	29.00	93.96	1.71	8.5	26.23	8.3	6.3	-2.0	8.01	
> 140	M. Pedregoso																				

ANALISIS FISICOS Y FISICO-QUIMICOS: FRACCION < 2 mm

PROFUNDIDAD (cm)	HORIZONTE (A-B-C)	CLASIFICACION-1990		CLASE TEXTURAL TOMAL (%)			TIPO. GUAJESG (µ)			TIPO TEXTURAL	DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)	DENSIDAD REAL (g/cm ³)	POROSIDAD (%)	C.C. (%)	PMP (%)	AA (%)	HUEVED DE CAMPO (%)	PERMEABI- LIDAD cm/h
		SILO	ARIZO	ARGILA 2-0.05 (mm)	LIMO 0.05- 0.002 (mm)	ARCILLA < 0.002 (mm)	Gr. 2 sin 7.5 cm	(j) 7.5 cm- 25 cm	(h) 25 cm									
0-18	Ap	10YR4/3	10YR3/2	11.3	41.9	46.8	< 3.0	< 1.0	0.0	RL	1.3	2.09	37.79	53.5	30.6	22.9	20.40	0.28
18-55	A	10YR5/3	10YR0/2	10.7	42.9	46.4	< 1.0	0.0	0.0	RL	1.4	2.24	37.50	69.5	35.0	34.5	32.50	0.05
55-85	AC _n	10YR5/3	10YR3/2	17.2	53.1	29.7	0.0	0.0	0.0	Mu1	1.5	1.89	20.63	65.0	33.0	32.0	45.14	0.05
85-140	IC _{bn}	10YR6/3	10YR3/2	34.2	52.6	13.2	0.0	0.0	0.0	HL	1.4	1.96	28.57	59.0	34.7	24.1	40.68	0.08
> 140	M. Pedregoso																	

OBSERVACIONES

En este perfil las relaciones C/N son: A_p=11.18; A=13.82; AC_n=12.06 y IC_{bn}=16.72

ANALISIS QUIMICO DEL EXTRACTO DE SATURACION

PROFUNDIDAD (cm)	HORIZONTE	CATIONES SOLUBLES (mg/l)				ANIONES SOLUBLES (mg/l)				PORCENTAJE DE SALES
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	
0-10	Ap	1.0	0.0	4.17	0.47	0.0	0.00	5.50	1.00	0.05
10-55	A	2.0	0.6	7.20	0.24	0.0	2.00	7.00	2.05	0.06
55-85	AC _n	2.8	1.6	15.02	0.17	0.0	4.40	12.60	2.34	0.11
85-140	IC _{bn}	2.0	0.4	16.46	0.12	0.0	4.00	13.00	1.10	0.11
> 140	M.Freático									

ANÁLISIS DEL SUELO POR MICROSCOPIA

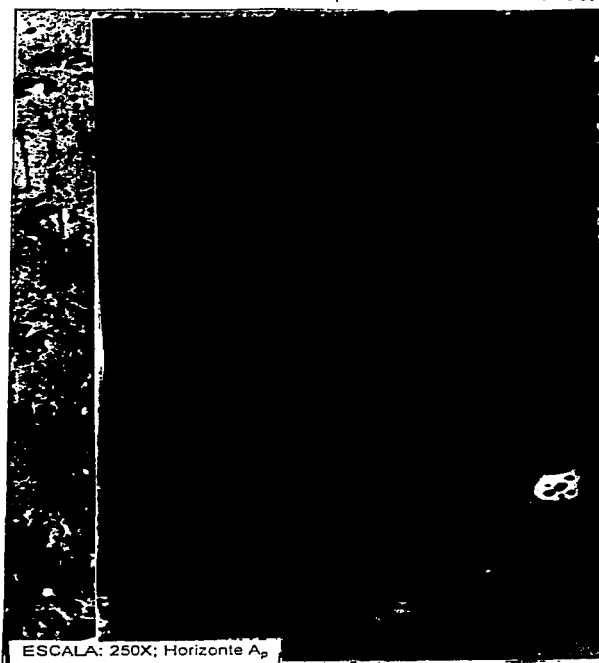


Fig. P7-1 Compactación de las capas del suelo. En esta fotomicrografía óptica se observa una sección del epipedón, moderadamente compactada y ligeramente cementada, por efecto de las sales. En estos casos, la porosidad total es baja y la permeabilidad muy lenta. Es probable que el uso excesivo de maquinaria agrícola esté formando un piso de compactación en esta capa.

III.C.6.8. Arcillas y Limos no Consolidados.

Estos depósitos son frecuentes en las zonas de origen fluvial, deltaico, lacustre y marino. Los niveles de fertilidad de los suelos formados generalmente son moderados a altos, especialmente cuando las arcillas presentes son derivadas de basalto. Su principal valor reside en el hecho de que su topografía plana facilita el uso de maquinaria agrícola, y permite el riego. El cultivo de arroz es común en estos suelos. Sin embargo, la presencia de mantos freáticos elevados, el exceso de retención de humedad, el mal drenaje interno, el encostramiento y la compactación son limitantes que dificultan su manejo.

En ocasiones, como es el caso de varios suelos aluviales arcillosos estudiados en la Llanura Costera de Nayarit, se presentan capas con propiedades vérticas que limitan aún más su uso. Taxonómicamente, estos suelos aluviales con propiedades vérticas no están bien definidos, por lo que su estudio resulta de gran interés para la pedología. Los perfiles P6 y P7 colectados en la llanura costera de Nayarit, son un ejemplo muy típico de estos suelos.

III.D RELIEVE

La distribución espacial de los Suelos Tipo está, estrechamente, relacionada con el relieve de todos sus niveles de escala. Es decir, está relacionada con el macro, meso y microrrelieve.

En este estudio se observó que las relaciones entre el relieve y la formación de los suelos en el trópico y subtropical son múltiples. **En primer lugar**, están los efectos directos del relieve sobre los factores formadores de suelos, así como sus efectos indirectos sobre otros factores como: el drenaje, permeabilidad y escorrentía que, también influyen en la pedogénesis. **En segundo término**, el arreglo espacial que da a los suelos el relieve es en varios niveles de escala, que oscilan del sub-continental, al de una simple pendiente, y en **tercer lugar**, la enorme variabilidad que muestra el relieve en su estructura geomorfológica, propicia una gran diversidad de suelos.

Por otra parte, el relieve también tiene efectos indirectos sobre el clima y la hidrología. La altitud tiene una relación importante con la temperatura. Por cada 1000 m de altitud corresponde un decremento en la temperatura de aproximadamente 6°C. Esto propicia, en los trópicos una zonación altitudinal de los suelos, que es particularmente importante en la distribución de la materia orgánica. El efecto orográfico frecuentemente causa un incremento en la distribución de la precipitación, lo que también origina una zonación altitudinal de los suelos.

Este efecto es particularmente obvio en la llanura costera del Pacífico, donde en cortas distancias la altitud varía de los 0.0-msnm a más de 2000 msnm. Otro efecto secundario del relieve sobre los suelos es la posición del manto freático. Esta relación relieve-manto freático, está estrechamente relacionada con la hidrología de la zona, de tal modo que esta trilogía de factores llega a ser considerada por algunos autores (Young, 1980) como un factor formador de suelos, independiente. (Factor relieve-manto freático-hidrología).

III.D.1 RELIEVE Y PAISAJE EN EL TROPICO MEXICANO

Con base en el Mapa Geomorfológico y de Relieve, elaborado por Lugo y colaboradores (1992), es posible agrupar una gran diversidad de geofomas de acuerdo al clima y al ambiente edafoclimático que se presenta en el área de estudio (Figura 8).

III.D.1a. LLANURA COSTERA DEL PACIFICO

III.D.1a.1 Cinturón Orogénico Sinaloense.

Está constituido por lomeríos y planicies bajas, formados en el Cuaternario. Estas estructuras geomorfológicas son marginales al sistema montañoso de la Sierra Madre Occidental. Los lomeríos están constituidos, principalmente por rocas intrusivas y metamórficas del Mesozoico.



MONTAÑAS Y ELEVACIONES MENORES ESENCIALMENTE DEL CUATERNARIO. ALTURAS RELATIVAS: A > 600 m B < 600 m.



46 Montañas y elevaciones menores esencialmente cuaternarias.



47 Elevaciones por las que se forma el Ojo de agua Yelendo.



48 Elevaciones que están fuertemente afectadas por la actividad de las fallas activas y afectadas por movimientos recientes posteriores.



49 Elevaciones que son más cercanas en estructura monocinal.



50 Elevaciones que constituyen estructuras mesoclinales en el Ojo de agua Yelendo.

VALLES Y FORMACIONES ESPECIALES CUATERNARIAS



51 Valles y depresiones mesoclinales.



52 Valles y depresiones mesoclinales en estructura monocinal o pesada.



53 Elevaciones que son cercanas en estructura monocinal.



54 Elevaciones que son cercanas en estructura mesoclinales.

ALFARAZES. EDADES ESENCIALMENTE CUATERNARIA SE PRODUCEN MOVIMIENTOS DE BLOQUES POSTERIORES A LAS AGUJERACIONES VOLCANICAS



55 Estructuras que son bloques de tierra que se movieron o se hundieron.



56 PLAZAS BAJAS FORMADAS EN EL CUATERNARIO MARCALES A SISTEMAS MONTAÑOSOS - SIERRAS MADRE. ESTRUCTURAS DE PLATAFORMA - PENINSULA DE YUCATAN Y PARTE DE LA COSTA DEL GOLFO DE MEXICO.



56 Llanuras y Lagunas



57 Marais por lo común en las zonas bajas del interior.



58 Deltas



59 Fiumes



60 Profundidades



51 Paises con tierras marinas pleistocenas no diferenciadas.



52 Escas



53 Escas marinas



54 Paises al escas

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

III.D.1A.2. Cuenca de Nayarit.

Muestra una forma de relieve, predominantemente, deltaica.

III.D.1b. LLANURA COSTERA DEL GOLFO DE MEXICO

III.D.1b.1. Miogeoclinal del Golfo de México.

Esta provincia está constituida principalmente por lomeríos de rocas sedimentarias Cenozoicas, en estructura monoclinal. Estos lomeríos están disecados por planicies bajas aluviales del Cuaternario. La zona costera está constituida por playas y barras.

III.D.1b.2 Macizo Igneo de Palma Sola.

Formado, principalmente, por elevaciones menores, esencialmente, del Plioceno-Cuaternario (elevación < 600 m). Se distinguen dos tipos principales de elevaciones, las primeras están constituidas por acumulaciones de ignimbrita del Oligoceno-Neógeno, en tanto que las segundas por bloques que muestran una cubierta volcánica del Oligoceno. En esta provincia, son frecuentes, además, las estructuras volcánicas constituidas por rocas paleogénicas a Cuaternarias.

III.D.1c. EJE NEOVOLCANICO

III.D.1c.1. Faja Volcánica Transmexicana.

Esta provincia está constituida por campos volcánicos Cuaternarios de lava y conos. Existen, además, algunos piedemonte volcánico-acumulativo constituidos por tefra y lavas.

III.D.1d. PENINSULA DE YUCATAN

III.D.1d.1. Plataforma de Yucatán.

Tres grandes unidades de relieve, caracterizan a la Península: (a) relieve de lomeríos con desarrollo cársico; (b) lomeríos de rocas sedimentarias cenozoicas en estructura monoclinal y (c) planicie sin disección. En la parte SO y E de la Península se localizan algunas geofomas onduladas con desarrollo cársico.

III.D.1.e. SIERRA MADRE DEL SUR

III.D.1e.1. Batolito de Jalisco.

La parte cerril, está constituida por elevaciones < 600 m, formadas por ignimbritas del Oligoceno-Neogeno, que sobreyacen a bloques de rocas intrusivas y metamórficas del Mesozoico. La zona costera muestra lomeríos de rocas intrusivas y metamórficas del Mesozoico, asociados con aparatos volcánicos Paleogénicos a Cuaternarios. Hacia el Estado de Colima existen superficies de piedemonte de origen volcánico-acumulativo.

III.D.1e.2. Complejo Orogénico Guerrero-Colima.

Predominan las montañas y elevaciones menores a 600 m. Estas elevaciones están constituidas, tanto por rocas sedimentarias mesozoicas plegadas, como por bloques de rocas intrusivas y metamórficas, esencialmente mesozoicas. La zona costera, está constituida por pequeños lomeríos de litología intrusiva y metamórfica, de edad Mesozoica, los cuales con frecuencia están disectados por pequeños valles fluviales del Cuaternario.

III.D.1e.3 Chatina.

Está constituida principalmente por elevaciones en bloque, de edad Plioceno-Cuaternario. La litología dominante, está representada por rocas ígneas intrusivas.

III.D.1f. LLANURA COSTERA DEL GOLFO SUR

III.D.1f.1. Cuenca Deltaica de Veracruz.

Geomorfológicamente, se presenta como una planicie baja, constituida por una gran llanura fluvial y deltaica, de edad Cuaternaria.

III.D.1f.2. Macizo Volcánico de los Tuxtlas.

Se presenta como un campo de volcanes monogenéticos del Cuaternario, asociado a piedemontes volcánico-acumulativos.

III.D.1f.3. Cuenca Deltaica de Tabasco.

Se presenta como una llanura fluvial de edad Cuaternaria.

III.D.1g. SIERRA DE CHIAPAS

III.D.1g.1. Cinturón Chiapaneco.

La zona cerril está constituida por elevaciones < 600 m, constituidas por rocas sedimentarias marinas del Cretácico, presentándose algunas altiplanicies, estructurales, constituidas en rocas sedimentarias mesozoicas o paleogénicas. Hacia la zona costera, predominan los lomeríos constituidos por rocas intrusivas metamórficas del Mesozoico.

III.D.1h. CORDILLERA CENTROAMERICANA

III.D.1h.1. Batolito de Chiapas.

Constituido por elevaciones del Plioceno-Cuaternario, cuyas alturas, relativas no exceden los 600 m.

III.D.1h.2. Macizo Igneo del Soconusco.

Está constituido por elevaciones con alturas relativas < 600 m, formadas durante el Plioceno-Cuaternario. Próximo a estas elevaciones se localizan piedemontes acumulativos proluviales y acumulativos de erosión, modelados por disección fluvial

III.D.1h.3. Cuenca de Tehuantepec.

Está conformada, por planicies bajas, aluviales, proluviales y marinas, de edad Cuaternaria.

III.D.2. EVOLUCION DE LAS PENDIENTES EN EL TROPICO Y SUBTROPICO

En las áreas tropicales y subtropicales de México, el relieve ha sido, principalmente, disectado por la acción fluvial. La erosión fluvial es el proceso principal que inicia las etapas de disección.

Durante las primeras etapas, los valles en forma de V son constituidos. Su profundidad depende del ángulo de reposo de los materiales subyacentes. En el caso de las geoformas que están bien protegidas por su vegetación (bosque húmedo) la remoción de materiales y cambio en las pendientes se debe, casi únicamente, a la acción de socavación fluvial. En las áreas de llanuras fluviales, el relieve puede cambiar por efecto de las variaciones en el cauce del río (meandros).

No todas las formas de relieve en el trópico se deben a procesos de erosión. Muchas geoformas resultan de factores estructurales, como son la resistencia de las rocas al intemperismo y los movimientos tectónicos. En otras ocasiones las geoformas son resultado de procesos de agradación, como es la depositación de los sedimentos por un río. Existen otros mecanismos como la pedimentación que, actualmente ocurren en zonas con ambientes xéricos, pero que estuvieron presentes en las áreas tropicales y subtropicales de México, durante los períodos secos que se presentaron en el Pleistoceno y que modificaron el relieve inicial.

III.D.3 CATENAS DE SUELOS Y TOPOSECUENCIAS

La diversidad de suelos en una catena, generalmente, es el resultado de diferencias termodinámicas que se presentan en el medio, de las etapas de intemperismo y de los materiales parentales que caracterizan al Trópico y Subtropical Mexicano.

III.D.3.1 Gradientes Texturales.

Las toposecuencias texturales comúnmente ocurren en valles o llanuras fluviales que han sido retrabajadas, uniformemente, por la acción de un río. Un ejemplo de esto, está representado en la llanura fluvial del Río Grande de Santiago, Nayarit. (figura 8). En esta zona, el impacto de la lluvia rompe los agregados presentes en el epipedón, separando

las partículas arcillosas de los granos de arena gruesa. La escorrentia, transporta, pendiente abajo; estas partículas, depositándolas en la proximidad de los esteros (Figura 8). El decremento de arcilla en los suelos, o en los horizontes generalmente coincide con cambios de color que oscilan de rojo a amarillo en los suelos arenosos. Este cambio se debe a que la materia orgánica presente en los epipedones, contribuye a la solubilización de los óxidos de hierro durante la destrucción de agregados por efecto de la lluvia. La mayor parte del hierro soluble se pierde por drenaje.

III.D.3.2. Catenas Cromáticas.

Son comunes, en superficies antiguas disectadas como el Batolito de Chiapas, donde es frecuente observar la secuencia de suelos rojos-suelos amarillos, en función de altitud.

Este cambio en color, generalmente, corresponde con cambios en la relación del contenido hematita: goetita, así como con cambios en la textura, como se menciona anteriormente. De acuerdo con Tsuzuki (1980) las explicaciones más válidas para explicar esos cambios de color, se resumen en dos teorías:

Teoría 1. "Los medios de formación de arcillas asociados con condiciones de drenaje pobres, como son las partes inferiores de pendientes concavas, generan una disolución, preferencial, de hematita en una mezcla hematita-goetita". Esta hipótesis sostiene que existen bajas concentraciones de Fe en la solución del suelo cuando el drenaje es lento. El efecto de disolución favorece la cristalización de la goetita (amarillo) más que la precipitación de la ferrihidrita.

Teoría 2. "Involucra la reducción o quelación de los hidróxidos de hierro en presencia de materia orgánica, a nivel del epipedón, y la subsecuente transportación del epipedón, ya decolorado, como un coluvión de color amarillo". En estos casos, la toposecuencia también está asociada con una diferenciación textural, que da por resultado un epipedón arenoso, de color amarillo que subyace a un suelo de textura fina, de color rojo.

Por las observaciones realizadas en campo, es indudable que estos dos mecanismos no se excluyen mutuamente, ya que existe una fuerte posibilidad de que ambos actúen simultáneamente para constituir una catena crómatica.

III.D.3.3. Catenas de Intemperismo.

Estas catenas se desarrollan cuando los valles al ser cortados, por efecto de la erosión fluvial, muestran una secuencia, heterogénea, de capas alteradas que subyacen antiguas superficies de erosión. Las diferencias en la duración de intemperismo y del espesor de cada capa, constituyen diferentes regolitas, las que generalmente, originan toposecuencias muy complejas. Esta complejidad radica principalmente en tres factores: (1) variabilidad alta de materiales parentales; (2) diferencia en la longitud e intensidad de los ciclos erosivos en cada capa y (3) presencia de cambios climáticos en distintas épocas, que dificultan el estudio de los fenómenos de intemperismo en estas catenas.

III.E. HIDROLOGIA Y DRENAJE

En los suelos sujetos a inundaciones frecuentes o permanentes, (Llanura Costera del Pacífico, Golfo de México y Península de Yucatán) la hidrología es dominante sobre los otros factores formadores del suelo. Así, los perfiles pobremente drenados presentan propiedades comunes, independientes del clima y del material parental.

Los suelos de Gley de los trópicos, son similares en apariencia a los de zonas templadas. El principal proceso de la gleización, es la reducción de los compuestos de hierro a la forma ferrosa, así como su parcial re-oxidación y precipitación. Estos fenómenos aunque no dependen del clima, se ha observado que se presentan más frecuente y fácilmente en climas cálidos.

Tanto en climas templados como tropicales y subtropicales, los suelos de Gley presentan horizontes moteados, siendo la matriz de color oscuro en los arcillosos y grisácea en los limosos y arenosos (Figura 9). La principal diferencia radica en que los suelos de Gley localizados en zonas templadas, nunca muestran una etapa de sequía completa, y el hierro precipitado en forma férrica se conserva como moteado. En los trópicos y subtropicos que muestran una estación seca, los suelos de Gley muestran una tendencia fuerte para desarrollar el moteado de hierro en concreciones. En los trópicos más secos, la salinización, ocurre en adición con la gleización.

Los suelos sujetos a inundaciones frecuentes, que presentan síntomas de gleización en los horizontes superiores (0-50 cm de profundidad) son clasificados como Gleysoles, independientemente de que muestren otros caracteres diagnósticos. Los suelos que muestran moteado en los horizontes profundos, no se clasifican como Gleysoles, aunque se reconoce la propiedad gléyica, pseudo gléyica o estanogléyica.

Un caso especial, lo representan los suelos que están sujetos a inundación con el propósito de cultivar arroz. Estos suelos permanecen inundados durante varios meses al año (fase antrácuica) condición que es suficiente para causar alteraciones profundas en las tipogénesis del suelo. Antiguamente a estos suelos se les denominaba "Suelo Padi" o Suelo de Arrozal". Actualmente, estos suelos están incluidos dentro de los Fluvisoles que muestran propiedades antrácuicas y fase inundable. El Perfil 12a es un ejemplo de estos suelos.

PERFIL DE SUELO 12: CERRITOS MIGAJON ARENOSO
LOCALIZACION: CERRITOS, NAYARIT.

Ap_n 0-30 cm.

Horizonte de textura moderadamente gruesa, lentamente permeable, de color pardo en seco y en húmedo. La estructura constituida por peds* de forma subangular, finos y de tamaño medio, débilmente desarrollados; consistencia dura y firme debida a la compactación, ligeramente adhesivos y no plásticos. Los peds muestran poros muy finos y finos, en cantidad escasa*, casi discontinuos, debido a que una película muy delgada de limos, ocluye los poros. Se presenta un esqueleto constituido por gravas finas, redondeadas y escasas, levemente hidrolizadas, en el cual es frecuente la presencia de vidrio volcánico riolítico. Este horizonte muestra, además, evidencias de hidromorfismo (moteado ocre) El pH es moderadamente alcalino. Las raíces de grosor medio, se presentan en forma moderada. La separación es clara y plana. Muestra fase sódica y fase ligeramente salina.

C_n 30-60 cm.

Horizonte de textura moderadamente gruesa, pobre en arcillas, con una permeabilidad moderadamente lenta De color pardo oscuro en seco y en húmedo. La estructura subangular, media, débilmente desarrollada, de consistencia dura, friable, moderadamente compactada y cementada, ligeramente adhesivo, no plástico. Los peds presentan poros finos y esponjosos en cantidad moderada, con distribución caótica y poco continuos, debido a que están parcialmente ocluidos por películas muy finas de limo. El esqueleto esta constituido por gravas finas redondeadas, asociadas con vidrio volcánico parcialmente alterado, lo que indica la posibilidad de que parte de los cementantes presentes sean proto-opalinos**. El pH es fuertemente alcalino. Muestra raíces escasas de grosor medio. Separación no definida por la presencia de agua freática. Presenta propiedades y fase sódicas, así como fase ligeramente salina.

> 60 cm:

Manto freático, posiblemente permanente*.**

OBSERVACIONES

* Ped: Agregado natural de partículas de suelo que representa la unidad de estructura.

** Debido a su carácter anfótero, el óxido de silicio amorfo, en condiciones de pH alcalino como el que muestra el suelo, llega a presentar cargas negativas que le dan una C.I.C.T. entre 11 a 34 meq/100 g de suelo (Van Wambeke, 1992).

ANALISIS DEL SUELO POR MICROSCOPIA

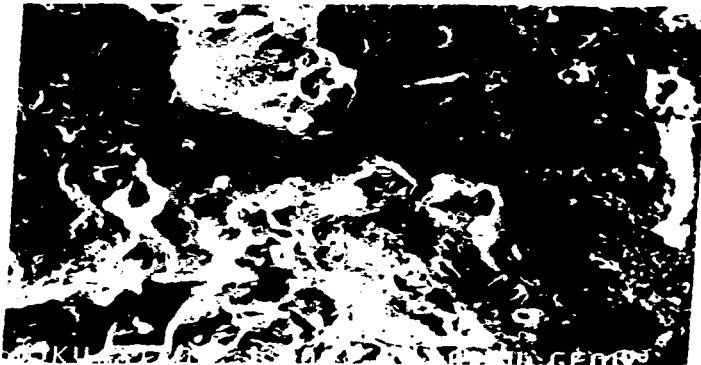


Fig. P12-1 La microfotografía obtenida a través del microscopio electrónico, muestra la presencia de amorfos derivados de la alteración de vidrio volcánico. Estos amorfos están constituidos por óxido de silicio, el cual, además de actuar como un cementante entre las partículas propicia, debido a su carácter anfótero, y a las condiciones alcalinas que prevalecen en el suelo, la presencia de cargas negativas que incrementan la C.I.C.T. (carácter pseudo ándico).

Este fenómeno puede, en varios casos explicar porqué algunas capas pobres en arcillas cristalinas y materia orgánica, presentan una C.I.C.T. media o alta. Sin embargo, al irse cristalizando los amorfos en el suelo pierden su actividad. La secuencia propuesta es la siguiente:

VIDRIO VOLCANICO + intemperismo → Sílice + Aluminio amorfos →

ópalo → cristalización

Por otra parte, ambas capas muestran propiedades sódicas y son ligeramente salinas. la propiedad sódica es un concepto recientemente establecido por FAO-UNESCO (1988) para denominar aquellas capas que muestran una saturación con $Mg^{++} + Na_+$ intercambiables, próxima al 50%, o superior.

*** La presencia de un manto freático, probablemente permanente, sugiere fuertemente que la salinidad y solicidad que muestran las capas, son debidas a su presencia, dinámica y naturaleza química.

CLASIFICACION TAXONOMICA:

Este perfil clasifica, según las modificaciones taxonómicas propuestas en este estudio, como un Fluvisol sódico, con propiedades gléyicas, seudo-ándicas y sódicas. Presenta una fase ligeramente salina y una fase sódica. El tipo textural es Migajón arenoso.

Clave Taxonómica:

Fl_n (pg-psa-pn)
Fls+Fn-Ma

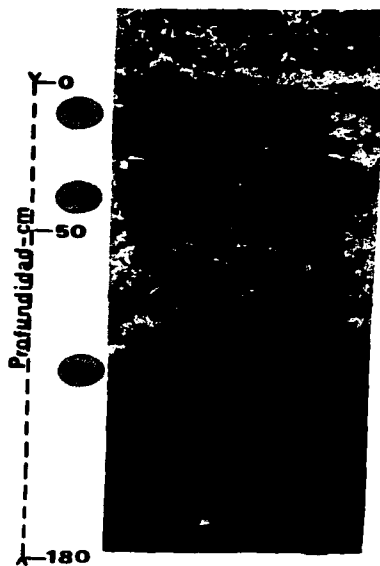


FIG. 8 SUELOS CON PROPIEDADES GLEYICAS.

La rehabilitación de algunos de estos suelos, que tienen niveles altos de salinidad y sodicidad, se logra a largo plazo y a un costo elevado. Además, en la mayoría de los casos no es justificable, desde el punto de vista de la relación beneficio-costos.

A = horizonte orgánico; Ag y Bg = horizontes de Gley; G = espesor de la capa de oxido-reducción.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
DEPARTAMENTO DE EDAFOLOGIA

ANALISIS QUIMICOS Y FISICOS DEL PERFIL 12

PROFUNDIDAD (cm)	HORIZONTE (A-B-C)	H.O. (%)	N.T. (%)	N-NO3 (ppm)	BASES INTERCAMBIABLES mg/100 g de suelo				REL: Ca ⁺⁺ Mg ⁺⁺	P ASIMILABLE (ppm)	SUMA DE BASES	C.I.C.T. (meq/100g)	SATURACION DE BASES (%)	C.E. mmhos/cm ³	pH DEL EXTRACTO	PSI (%)	pH EN EL SUELO			Mn ⁺⁺ (ppm)	
					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺									H ₂ O	NCL	pH DELTA		
					1:2	1:2	-1.5	10.33													
0-30	Ap _n	1.31	0.060	10.87	9.0	8.5	2.870	1.41	1.05	5.075	21.78	22.0	99.00	2.90	8.5	13.04	8.3	6.8	-1.5	10.33	
30-60	C	0.58	0.027	4.37	10.0	9.0	1.570	0.83	1.11	2.975	21.40	21.5	99.53	2.31	8.5	7.30	8.5	6.5	-2.0	7.20	
> 60	M.Fredico																				

ANALISIS FISICOS Y FISICO-QUIMICOS: FRACCION < 2 mm

PROFUNDIDAD (cm)	HORIZONTE (A-B-C)	COLOR MUNSELL-1990		CLASE TEXTURAL TOTALE (%)			FRAG. GROSOS (%)			TIPO TEXTURAL S.I.	DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)	DENSIDAD REAL (g/cm ³)	POROSIDAD (%)	C. DE CAMPO (%)	PUNTO M.P. (%)	AGUA A. (%)	HUMEDAD DE CAMPO (%)	PERMEABI- LIDAD cm/h
		SECO	HUMEDO	ARUNA 2-0.05 (mm)	LIMO 0.05- 0.002 (mm)	ARCILLA <0.002 (mm)	Gr. 2 mm 7.5 cm	Cj. 7.5 cm- 25 cm	RI. 25 cm									
		FAO-UNESCO																
0-30	Ap _n	10YR5/3	7.5YR4/2	53.2	30.9	15.9	5.0	0.0	0.0	Ma	1.3	2.44	46.72	35.0	14.9	20.1	27.5	0.20
30-60	C	10YR5/3	7.5YR4/2	55.0	34.2	10.8	7.0	1.0	0.0	Ma	1.2	2.25	46.66	38.0	18.3	19.7	35.2	1.29
> 60	M.Fredico																	

OBSERVACIONES

En este perfil las relaciones C/N son: Ap_n=12.66 y C=12.45

ANALISIS QUIMICO DEL EXTRACTO DE SATURACION

PROFUNDIDAD (cm)	HORIZONTE (A-B-C)	CATIONES SOLUBLES (meq/l)				ANIONES SOLUBLES (meq/l)				PORCENTAJE DE SALES
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	
0-30	A _p n	4.80	1.20	21.41	1.18	0.0	2.60	13.0	11.82	0.19
30-60	C	3.20	2.00	17.60	0.42	0.0	4.40	9.1	9.91	0.15
> 60	M. Freático									

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

D. DIAGNOSTICO Y DEFINICION DEL MEDIO AMBIENTE TROPICAL Y SUBTROPICAL DE MEXICO

- D.1.** Los criterios de localización geográfica por latitud y longitud, así como los criterios puramente climáticos como son: (1) la baja variación estacional en la temperatura y (2) la concentración de lluvias en verano, resultan, probablemente, adecuados para caracterizar a las zonas tropicales situadas entre el Ecuador y los 15°N ó 15°S, pero son insuficientes para delimitar el Trópico y Subtrópico Mexicano.
- D.2.** La geomorfología, el relieve, la altitud, los procesos de intemperismo y de alteración, el clima y edafoclima, sí como, en algunos casos, la biota son elementos diagnósticos fundamentales en estos ecosistemas. Por lo tanto, deben ser considerados necesarios para definir de modo espacial y geográfico a estas áreas.
- D.3.** La biota, en particular la vegetación, que prevalece o que prevaleció en estas zonas, es un factor que depende para su distribución, casi exclusivamente, del clima ambiental, del edafoclima, y de la actividad antrópica. Secundariamente, su distribución está regulada por la radiación solar, el fotoperíodo, y, en algunos casos, la litología.
- D.4.** Con excepción de los denominados "medios extremos" (Edafoeosistemas con limitantes físicas o químicas severas) la vegetación Tropical y Subtropical de México, no es un indicador, directo, de los límites geográficos que estas zonas ocupan. Así, en la actualidad, un mapa de vegetación de estas zonas, sólo representa un índice, puntual, de la dinámica del uso del suelo, y en el mejor de los casos, un croquis de lo que fue un climax Vegetación-Clima.
- D.5.** El criterio de considerar la presencia de las lluvias de verano como un factor diagnóstico de los Trópicos y Subtrópicos del Territorio Nacional, aunque es viable no resulta exacto. Se debe tomar en cuenta, además, la cantidad anual y distribución de la lluvia, su origen, su periodicidad estacional y su variabilidad anual y estacional.
- D.6.** Los factores bioclimáticos (Clima-vegetación) que se presentan, o sus vestigios, también, son elementos para su definición. Así se concluye que el área de estudio está constituida por tres Clases principales de climas: Af, Am y Aw. El clima Af y el más húmedo de Am, propician regímenes de humedad y temperatura del suelo que oscilan de Udico-perUdico-Acuico. y de Isotérmico a Isohipertérmico. Los climas menos húmedos de Am y Aw, siempre se encontraron relacionados con regímenes de humedad

Usticos o Usticos integrados a údicos, y con regímenes de temperatura isotérmicos a isohipertérmicos.

- D.7.- El edafoclima, antes que la temperatura ambiental, es el principal atributo común para todos los suelos estudiados en estas zonas; siendo, además, el más importante para separarlos taxonómicamente de los suelos de zonas templadas. Sin embargo, la temperatura ambiental es, posiblemente, el principal agente del medio que gobierna la cinética de los procesos químicos de alteración, la cual es otro factor muy importante para definir el concepto de Trópico y Subtrópico.**
- D.8. Las características edafoclimáticas, son también, un índice útil para separar los conceptos de Trópico y Subtrópico. Así los regímenes de humedad údicos o perhúricos representan al trópico, en tanto que los regímenes ústicos, o transicionales a xérico son típicos del Subtrópico. Es característico de estos regímenes de humedad que, en ambas zonas, los valores de precipitación- evapotranspiración siempre muestran excedentes de agua; suficientes para sostener cultivos cuya duración del periodo de crecimiento sea mayor de 120 días, y en el caso de régimen údico, mayor de 180 días.**
- D.9. La integración de todos los factores, antes mencionados, permite concluir que, aproximadamente, una quinta parte del Territorio Nacional, está ocupado por zonas Tropicales y Subtropicales. Asimismo, se concluye que de los 413,700 km² que ambas zonas comprenden, aproximadamente, 160,000 km² representan al Trópico, y 253,700 km² caracterizan al Subtrópico Mexicano.**

E. FACTORES AMBIENTALES

- E.1. El edafoclima es el único atributo común para todos los suelos de las zonas Tropicales y Subtropicales de México. Los principales factores externos que lo afectan son: (1) radiación solar; (2) aire y temperatura del aire, (3) altitud, (4) quema de vegetación y (5) cambio en el régimen hídrico.**
- E.2. El clima como un factor formador de suelos tropicales y subtropicales, posiblemente, ha sido sobreestimado. Los datos generados en esta tesis, indican que el edafoclima es el factor que directamente influye sobre la evolución y tipogénesis de estos suelos. En tanto que el clima ambiental, es el principal agente de intemperismo, que inicia su formación y que en muchos casos regula al edafoclima. Por lo tanto, ambos factores no deben ser considerados como independientes.**
- E.3. En función de las tres clases principales de Climas que predominan en el área de estudio es posible establecer la presencia de cuatro regiones climáticas**

asociadas con la vegetación. Cada región se caracteriza por presentar un edafoclima, procesos de alteración y procesos tipogénéticos particulares. Sin embargo, los límites naturales entre estas cuatro regiones, nunca son abruptos; ya que la intergradación entre los elementos que constituyen al edafocosistema, es el denominador común.

- E.4.** Con respecto al material parental de los suelos estudiados, se concluye que existen, al menos, tres variables, inherentes a su naturaleza, que determinan la velocidad de alteración y la morfogénesis del suelo. Estas variables son: (1) grado de consolidación; (2) tamaño de grano y (3) composición química y mineralógica.
- E.5.** No obstante la alta complejidad fisiográfica y geológica que muestra el Territorio Nacional, existen suficientes elementos que permiten ubicar las Regiones y Provincias que ocupan las zonas Tropicales y Subtropicales de México. Estas áreas comprenden ocho regiones, o partes de ellas, y están constituidas por 16 Provincias Geológicas que, con excepción del Batolito de Chiapas (Paleozoico) oscilan en su edad del Mesozoico al Cenozoico.
- E.6.** Existen ocho grupos de rocas o materiales muy comunes en la formación de los suelos tropicales y/o subtropicales. Estos materiales litológicos son en orden de importancia desde el punto de vista de la alteración: (1) rocas ígneas básicas e intermedias; (2) calizas; (3) rocas sedimentarias de grano fino; (4) rocas sedimentarias de grano grueso o medio; (5) arenas no consolidadas; (6) arcillas y limos no consolidados; (7) rocas cristalinas intermedias y (8) rocas cristalinas félsicas. Las cenizas volcánicas y otros piroclásticos se incluyen dentro del concepto de rocas ígneas.
- E.7.** La distribución espacial de los suelos tropicales y subtropicales está, estrechamente, relacionada con la altitud, exposición y relieve. Este último en todas sus escalas. La diversidad de suelos en una catena, generalmente, es el resultado de: diferencias termodinámicas que se presentan en el medio, de las etapas de intemperismo que muestra cada suelo, y de las características morfogenéticas del material parental o de la roca basal.
- E.8.** En el área estudiada, también existen tres modelos de catenas que se repiten frecuentemente: (1) toposecuencia textural; (2) catena cromática y (3) catena de intemperismo. El primer modelo siempre está relacionado con fenómenos de transporte-depositación, el segundo con fenómenos de drenaje y disolución preferencial del hierro; y el tercero con fenómenos de erosión geológica.
- E.9.** En los suelos sujetos a inundaciones frecuentes, o periódicas, la hidrología, y su consecuente hidromorfismo, son fenómenos dominantes sobre los otros factores formadores de suelos. La principal diferencia entre los suelos de zonas templadas y los suelos estudiados, sujetos a inundación, radica en el hecho de que los suelos de zonas templadas nunca muestran una etapa de

sequía completa, y el hierro precipitado en forma férrica, nunca forma concreciones, sino solamente se conserva como moteado.

III.F. ORGANISMOS Y BIOMASA

No hay duda que los suelos afectan a los organismos. La razón principal para el estudio de los suelos, y para la Ciencia del Suelo, ha sido la de considerar a este recurso como un soporte de la materia orgánica viva. **Su habilidad para sustentar la vida vegetal, es el principal atributo para definir, un suelo en Soil Taxonomy.** Pero los organismos afectan también al suelo, a través del fitogeociclaje y la faunedafofoperturbación. Jenny (1980) establece que el genotipo de un organismo se define antes que este se desarrolle en el suelo.

En el Trópico y Subtrópico Mexicano, la biodiversidad es muy rica; sin embargo, la producción de la biomasa puede ser muy variable; dependiendo de la unidad de suelo, del tipo de material parental, de la edad del suelo, del clima y edafoclima, de otros organismos, y del relieve.

Existen varias definiciones para biomasa, una de ellas establece que la biomasa puede ser representada por la siguiente fórmula:

$$B = (Nc \cdot V \cdot D) \text{ donde:}$$

B = Biomasa
 Nc = Número de Células
 V = Volumen
 D = Densidad

Otra definición como la de Brady (1990) indica que la biomasa es el total de masa (peso seco) de los organismos vivientes, incluyendo al hombre. La biomasa la constituyen los organismos del suelo. El hombre constituye, desde este punto de vista, parte de la fauna, y de modo similar a las otras especies, animales o vegetales, contribuye a la formación y acumulación de materiales orgánicos en los suelos (Antropización). La biomasa es generada por el crecimiento de los organismos.

Los organismos presentes en el área de estudio son representativos de los cinco Reinos propuestos por Margulis y Schwartz en 1981. Estos reinos están integrados por 89 Phyla, distribuidos de la siguiente manera: Reino Los Moneras; 16 Phyla; Reino los Protocistas: 27 Phyla; Reino Los Hongos: 5 Phyla; Reino Los Animales: 32 Phyla; y Reino Las Plantas: 9 Phyla.

Desde el punto de vista de los suelos, es probable establecer una relación clara entre suelo-organismo con, al menos, 29 Phyla, destacando los organismos del Reino los Moneras.

Con la finalidad de simplificar el desarrollo de este tema se propone el siguiente esquema para ejemplificar a los organismos que interrelacionan con el suelo:

1. Microorganismos unicelulares procariontes (Mup) que incluye : (a) bacterias fermentadoras (BF); (b) reductoras del azufre (Brs); (c) metanogénicas (Bm); (d) bacterias como "algas azules" o cianofíceas (Bc); (f) bacterias aeróbicas fijadoras de nitrógeno (Bn);

(g) aeroendosporas (Ba); (h) pseudomonas (Bps); (i) bacterias quimioautótrofas (Bq); (j) actinobacterias (Actinomicetes) (Ac) y (k) mixobacterias (Bmx).

2. Microorganismos uni o multicelulares eucariontes (Mme). en esta categoría se incluyen: (a) algas nucleadas (An); (b) mixomicetes (mx); (c) laberintulomicetes (Lmx); (d) protozoos (Pz). Destacan los Phyla: Acrasiomicetes, Actinobacterias e Hifocitridiomycetes.

3. Hongos microscópicos y macroscópicos (Hm). Este reino comprende a los eucariontes que forman esporas y carecen de undulipodios. Resultan importantes desde el punto de vista edafológico los siguientes Phyla: (a) Ascomycetes (Ha); (b) Basidiomicetes (Hb) y (c) Micoficófitos (Hmf) (Líquenes).

4. Plantas. Este reino está constituido por 9 Phyla, cuyos organismos representativos son multicelulares, eucariontes y de reproducción sexual. Actualmente los Phyla más relacionados con la dinámica del suelo son: Briofitos (PB) Musgo); Filicinófitos (PF) (helechos) Coniferófitos (PC) (coníferas) y Angiospermatófitos (PS) (Vegetales con flores y semillas).

Tradicionalmente, este reino ha sido dividido en dos conceptos: Macroflora y Microflora. Dentro de la macroflora se incluyen a las verdaderas plantas, sin embargo; dentro del concepto de microflora se agrupan, indistintamente, a organismos de diferentes reinos donde se incluyen a Los Moneras, Protoctistas y Hongos. Con esta base el concepto de microflora tiende a ser cada vez menos utilizado por su heterogeneidad conceptual.

5. Animales (A). Comprenden 32 Phyla, son organismos multicelulares, heterótrofos y diploides, que se desarrollan por anisogamia. Para su estudio, con relación al suelo, han sido divididos de la siguiente manera:

A. Microfauna: incluye organismos cuyo tamaño es menor a 0.1 mm. en este concepto se incluyen, indistintamente, algunos protozoarios y larvas de organismos multicelulares. Por ejemplo: nemátodos.

B. Mesofauna: en este concepto queda integrada la fauna cuyas dimensiones oscilan entre 0.1 mm a 2 mm. Ocasionalmente el límite superior puede variar (> 2mm). Varias especies de nemátodos, larvas de moluscos anélidos, tardígrados, onicóforos y artrópodos están incluidos en esta categoría. Dentro de los artrópodos destacan los órdenes de los Isópteros, Colémbolos, Hemípteros, Himenópteros y Coleópteros.

C. Macrofauna. El Término se utiliza para agrupar organismos cuyo tamaño oscila de > 2 mm hasta, aproximadamente, 20 cm. Se incluyen, principalmente, a varias especies de Anemátodos, anélidos, artrópodos y cordados, pequeños.

D. Megafauna. Representado, principalmente, por animales vertebrados.

III.F.1. LOS ORGANISMOS COMO UN FACTOR FORMADOR DE SUELOS

Existe una gran cantidad de organismos que contribuyen a la formación del suelo, ya

sea a través de adiciones, pérdidas, transferencias, e incluso, transformaciones de los minerales y de la materia orgánica. En este trabajo, sólo se dispone información para algunos de ellos.

1. Microorganismos unicelulares procariontes:

A. Bacterias. Representan la forma más simple de vida en los suelos. Son unicelulares y, en general, muestran un tamaño de $5\mu\text{m}$. Carecen de membrana nuclear y su nucleoplasma, por consecuencia, no está separado del citoplasma (Procarionte). La mayoría de las bacterias estudiadas en varios suelos del trópico, son heterótrofas u organotróficas. Estas son bacterias que obtienen su carbón celular a partir de un sustrato orgánico. Por otra parte, las bacterias autotróficas o litotróficas utilizan la materia inorgánica, como NH_4^+ , Fe^{2+} , SO_4^{2-} y/o CO_2 como fuente de energía.

Las bacterias intervienen en muchos, si no es que en todos, los procesos de transformación orgánica que son importantes para la fertilidad de los suelos y el crecimiento de las plantas superiores.

Ellas son responsables de un gran número de reacciones enzimáticas entre las que se incluyen: la fijación del nitrógeno y la nitrificación. Numéricamente, ellas son los organismos vivientes más abundantes en los suelos.

Con base a sus hábitos de vida, se clasifican como saprófitos, parásitos, patógenos o simbióticos. la mayoría de ellos se presentan, principalmente en la zona radical. Un ejemplo de ello se muestra en la tabla 7, donde se indica el número de microorganismos presentes en un Luvisol vértico, localizado en la zona de Sta. Catarina, Edo. de Morelos.

TABLA 7 NUMERO DE MICROORGANISMOS PRESENTES EN UN LUVISOL VERTICO.

HORIZONTE	BACTERIAS ¹ AEROBICAS	BACTERIAS ¹ ANAEROBICAS	HONGOS ³	ACTINO- MYCETES ¹	ALGAS ²
10^3 g/g de suelo					
A	6300	1500	190	2300	40
B	10	4	4	1	--
C	1	1	--	--	--
Cx	--	1	--	--	--

¹ Reino Los Moneras; ² Reino Protocistas y ³ Reino Hongos.

Perfil 605.C

Localización $18^{\circ}45'$ - $99^{\circ}00'$. Analizó S. Palacios M.

Como puede observarse, la población de microorganismos decae rápidamente con la profundidad del suelo. En el subsuelo (C) sólo existen contenidos mínimos de bacterias. La mayoría de ellos se presentan, principalmente en la superficie del suelo.

B. Actinomicetos. Los actinomicetos estaban, hasta 1981, definidos como "plantas inferiores" con propiedades intergradadas entre bacterias y hongos. Como los hongos, los actinomicetos tienen células que pueden desarrollar hifas, pero su micelio, filamentoso, se rompe en esporas que recuerdan a las células de bacterias.

Se ha observado en algunos suelos del Trópico Mexicano, que los actinomicetos son más abundantes en los suelos con régimen údico, bien drenados; que muestran pH entre 6.3 y 7.2 (Cambisoles, Fluvisoles, Luvisoles) pero llegan a estar ausentes en suelos con pH menor a 5.5 (Acrisoles, Nitosoles, Ferralsoles) o pobremente drenados (Gleysoles).

La mayoría de los actinomicetos son importantes en la descomposición de la materia orgánica del suelo, por lo que con frecuencia se les encuentra formando parte de la biota en las pilas de composta. Se sabe que la mayoría de los actinomicetos producen antibióticos que afectan la microflora y microfauna del suelo. Desafortunadamente, no existen para el área datos al respecto.

2. Microorganismos uni o multicelulares eucariontes.

A. Protozoarios. Dentro de los protozoarios, normalmente, se incluyen a las amibas, ciliados y flagelados. Existe la opinión de que la población de los protozoarios, a menudo, no es suficiente para influir en el reciclaje de la materia orgánica (Van Wambeke, 1991).

B. Algas. Se les observa en el medio acuático y en el terrestre, sobre rocas, suelos, troncos cortezas y hojas. Destacan, desde del punto de vista edáfico y agrícola, las algas verdes y azul-verdosa (Cianobacterias). Las algas azul-verdosas, generalmente, crecen en zonas pantanosas y en suelos inundados para el cultivo de arroz (Paddy soils). Ellas son capaces de fijar el nitrógeno atmosférico. En varios lugares del trópico, especialmente en la zona del Pacífico y Sureste de México, en muchos campos de cultivo de arroz, existe la costumbre de fertilizar a los suelos inundados, adicionando el género *Azolla*. Este helecho, establece una asociación simbiótica, en ocasiones denominada "fototrófica" que permite enriquecer a los suelos con Nitrógeno. Con el propósito de encontrar mejores condiciones para el cultivo de esta asociación, considerada como el biofertilizante más importante para el cultivo del arroz, Palacios, (1985) demostró que se puede incrementar la biomasa de *Azolla*, agregando al suelo inundado (Vertisol) superfosfato triple. Observándose que bajo estas condiciones se obtiene un nivel de fijación de N muy alto. En la tabla 8, se resumen algunos datos al respecto.

TABLA 8 REDUCCION DE ACETILENO Y FIJACION DE N₂ POR A. FILICULOIDES.

CONDICIONES	ETILENO PRODUCIDO (mmoles/mg de peso seco/min)	FIJACION DE N ₂
Medio de cultivo:		
pH 5	0.060	0.020
pH 6	0.063	0.021
pH 7	0.056	0.018
pH 8	0.051	0.017
en suelo empobrecido inundado	0.080	0.026

FUENTE: Palacios-Mayorga (1985)

3. Hongos

Micoficófitos. Son asociaciones simbióticas de hongos y algas, que de acuerdo con Webster (1975), pertenecen al grupo de los Lecanorales. El hongo y la alga forman un **Thallus** llamado líquen. Se cree que los hongos proveen de minerales al alga, en tanto que ésta proporciona carbohidratos al hongo. Si se trata de una alga azul-verdosa, le proporciona, además, compuestos nitrogenados. Los líquenes pueden crecer sobre la superficie de las rocas, o en suelos infértiles. Se consideran como plantas pioneras que contribuyen a la formación del suelo. (Tabla 9). Su intervalo de crecimiento no es limitado por ninguna condición climática.

TABLA 9 CUANTIFICACION DE SUELO FORMADO *IN SITU* POR EFECTO DE LOS LIQUENES

PERFIL	ROCA BASAL	ESPESOR DEL SUELO (cm)	PESO DEL SUELO (dm ³)	CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA	TEXTURA CLASE
P.1 Texcal	Basalto	1.1-0.2	115 g	9.5 %	Migajón Arcilloso
P.2 Acapulco	Granito	0.7-0.3	135 g	3.9 %	Migajón Arenoso
P.3 Taxco	Caliza	2.8-0.5	220 g	12.5 %	Mig. Arenoso limoso
P.4 Chichón	Ceniza	0.5-0.2	47 g	2.2 %	Migajón Limoso
P.5 Santiago	Pómez	0.3-1.0	525 g	10.5 %	Franco
P.6 Tuxtla	Riolita	0.3-1.0	33 g	1.5 %	Arena Migajosa

FUENTE: Gama-Castro, y Quíñonez, (1983)

Como puede observarse en esta tabla, el espesor del suelo formado depende de la naturaleza de la roca, particularmente de su porosidad, tamaño de grano y contenido de SiO₂. La textura que muestran los suelos, es heredada de la roca. En el caso de las muestras P4 y P5, se conoce la edad de la roca basal, la cual es de 10 años y 500 años, respectivamente.

Es indudable que la presencia de líquenes sobre estas rocas, ha contribuido a la formación de suelo *in situ*. Sin embargo, la observación al microscopio de las fracciones de limo y arena fina y muy fina, que se realizó en estos seis perfiles, denota la existencia de partículas de origen eólico que fueron retenidas por los líquenes. Consecuentemente, estos suelos tienen un origen mixto: residual-eólico.

B. Hongos. También son formas de vida elemental, en los suelos. Sus células muestran un núcleo y, en contraste con las bacterias son organismos eucarióticos. Sus células pueden unirse para formar filamentos llamados hifas, que en conjunto constituyen micelios, los cuales actúan como agregantes físico-químicos del suelo.

Junto con las bacterias, los hongos actúan sobre la descomposición de los residuos orgánicos del suelo. Tres tipos de micorrizas son reconocidos: (a) ecto-; (b) ectoendo; y (c) endomicorriza.

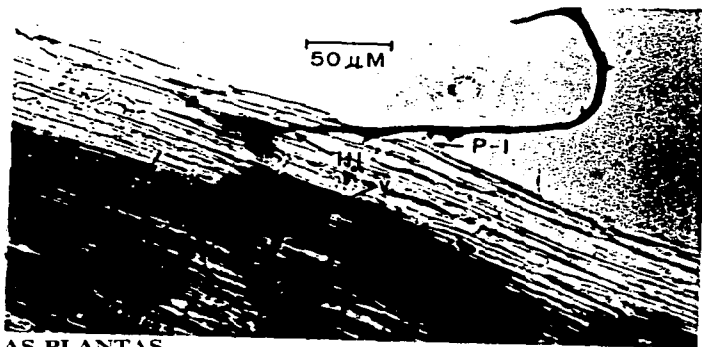
En los cultivos del Trópico Mexicano, las endomicorrizas viven en simbiosis con las plantas, y es el grupo más numeroso y más distribuido. Es especialmente abundante en los cultivos de cacao, café, hule, cítricos y mango.

El principal efecto positivo sobre las plantas es que incrementa la superficie de absorción de las raíces, y las protege contra el ataque de algunas especies patógenas.

Palacios, *et al* (1990) observaron que en algunas raíces de soya, cultivada en un Luvisol crómico, localizado en el Estado de Morelos, el área superficial activa de las raíces se incrementó en 10 veces, debido a la presencia del micelio (Figura 10). Experimentalmente, Palacios, (1990) comprobaron que la presencia de la micorriza, es especialmente ventajosa en suelos infértiles. Así los resultados obtenidos por Palacios, *et al* (1994) en varios Leptosoles rendzínicos, muy distrificados, que se localizan en la Sierra Madre del Sur, mostraron que a través de la inoculación se obtuvo el rendimiento más grande en soya (*Glycine max*) del Estado de Morelos, equivalente a 3,200 kg/ha.

Por otra parte, experimentos recientes realizados por Palacios, (1987) prueban que algunas especies de hongos son capaces de extraer P en suelos pobres en este elemento a partir de fuentes minerales poco solubles. Así, en un experimento realizado en 1987, en el que se utilizaron dos variedades de cebolla (*Allium cepa L.*) inoculadas con tres especies de hongos de los géneros *Glomus* y *Gigaspora*, demostró un incremento de hasta 1420% en la absorción del fósforo detectado en el follaje, así como un aumento en el redimiento del bulbo de hasta más del 200%.

FIGURA 10. COLONIZACION DE UNA RAIZ POR UN HONGO ENDOMICORRIZICO.



4. REINO LAS PLANTAS

III. F.1.2. La Vegetación como un Factor Edafogénico

En el Trópico y Subtrópico Mexicano, los organismos de naturaleza vegetal son más numerosos y, desde varios puntos de vista, más importantes que las formas animales. Esto es cierto sobre todo en lo que respecta a los estadios finales de la descomposición de la materia orgánica, la síntesis del humus y la producción de compuestos sencillos, así como para la nutrición directa de las plantas superiores. Como fuente de materia orgánica, Brady (1985) considera que las raíces de las plantas superiores son de extrema importancia, ya que alimentan una cantidad de tejido ordinario mucho mayor que todos los demás organismos juntos.

En efecto, la vida del suelo puede, según Buckman (1985) clasificarse en dos grupos distintos, y en muchos aspectos, opuestos: (1) los organismos que proveen los residuos orgánicos y (2) microorganismos que descomponen.

Por ejemplo: una buena cosecha de tabaco en la llanura costera de Nayarit, produce unos 2000 kg de materia seca, por hectárea, en sus partes aéreas. Las raíces dejan en el suelo cantidades superiores a un tercio de este peso, cuando la cosecha es recogida. De hecho, el mantenimiento de una reserva satisfactoria de materia orgánica en estos suelos de cultivo, es posible sólo gracias a los residuos de las raíces.

Además, las raíces de las plantas superiores no sólo actúan como fuentes de materia orgánica para la nutrición de los microorganismos del suelo, sino que además ejercen su dinámica en el equilibrio de la solución del suelo por la absorción de nutrimentos solubles, constituyendo el camino directo de su asimilación. Los ácidos orgánicos que se forman en la superficie de la raíz, y por ello resultan disolventes efectivos. Además, la excreción de compuestos de fácil descomposición, como los aminoácidos, estimulan la microflora en una cantidad extraordinaria, no alcanzada fuera de la zona radical (Tabla 7).

La vegetación, dentro del ecosistema, es una variable dependiente e independiente. El establecimiento y desarrollo de la vegetación, depende de los factores ambientales y edáficos (Variable dependiente). Después de su formación, y al llegar a un estado de equilibrio con los factores ambientales, la vegetación suministra residuos vegetales que al descomponerse son incorporados al material mineral del suelo. (Variable independiente)

Para describir el ecosistema, Fassbender (1987) considera que es necesario referirse a la formación vegetal como un factor estático, y al estudio del ciclo de los minerales y materiales orgánicos, como un factor dinámico. **Los aspectos más importantes del ciclo de retorno de residuos vegetales son:** (a) la cantidad de los residuos vegetales agregados a cada unidad de suelos, en un cierto período; (b) la composición biogeoquímica de los residuos; (c) los procesos de descomposición y humificación de los residuos, y (d) la liberación de CO₂ y elementos químicos.

La velocidad de descomposición de los residuos y la formación de humus, dependen de la actividad de los animales y microorganismos saprófagos del suelo. En México, los estudios al respecto son aún muy escasos, sin embargo la intensidad del ciclo general de materia orgánica, se puede expresar por medio del índice de transformación, determinado por Jenny (1949). Para la obtención del índice se aplica la fórmula siguiente:

$$C = \frac{R}{R + H} \cdot 100 \quad \text{donde:}$$

- C es el coeficiente porcentual de descomposición de los residuos vegetales.
 R es la producción anual de residuos vegetales por unidad de superficie.
 H es la cantidad de humus en la capa de mantillo por unidad de superficie.

En algunas regiones tropicales y subtropicales de Venezuela, Puerto Rico y Colombia, se encontró que la producción de residuos vegetales, varió entre 5 y 8 t/ha⁻¹. Para el estudio de las tasas de descomposición de las hojas o de las ramas, éstas se colocaron en cajas con tamiz arriba y abajo. Al cabo de 18 meses la descomposición fue total en las hojas, formando un mantillo de tipo mull. En el caso de las raíces y troncos, la descomposición requiere de más de 12 años.

III.F.2. TIPOS DE VEGETACION ACTUALMENTE PRESENTES EN EL AREA DE ESTUDIO

Lo primero que se observa al tratar de ordenar y correlacionar los tipos de vegetación presentes en las zonas tropicales y subtropicales de México, son las grandes discrepancias en cuanto a la circunscripción particular de muchos de ellos, y en cuanto a la empleada. **De hecho, el estado de la clasificación de la vegetación tropical y subtropical de México, es anárquica.**

De acuerdo con Rzedowski (1986), este desorden debe atribuirse a las siguientes causas:

1. Falta de acuerdo y/o posturas individualistas de muchos investigadores.
2. Dificultad intrínseca que ofrece la vegetación para dejarse encuadrar en unidades.
3. Grado de complejidad y superficie que ocupan las zonas tropicales y subtropicales y
4. Dinámica de la alteración de la vegetación en México.

Con el fin de atenuar esta problemática, la vegetación presente en el área de estudio se dividió con base en las cuatro regiones climáticas, anteriormente discutidas:

1. Bosques Pluviales: bajo condiciones de clima Af y Am, incluye los siguientes tipos de vegetación propuestos por Rzedowski: (a) Selva alta perennifolia; (b) Selva mediana o baja perennifolia; (c) Palmares altos y (d) Popales. En este estudio se incluyen además a los Acahualtes altos.

2. Bosques Pluviales Semidecíduos: Tipo climático Am. Se incluyen: (a) Selva alta o mediana subperennifolia; (b) Selva alta o mediana subcaducifolia; (c) Palmares; (d) Sabana; (e) Manglar

3. Bosques Semidecíduos: Tipo climático Aw. Se presentan los siguientes tipos: (a) Selva baja caducifolia; (c) Selva baja espinosa perennifolia. Se incluyen a los Palmares de Sabal.

4. Bosques Decíduos y Semidecíduos. Tipo climático Aw que muestra una estación seca mayor de 5 meses. En esta región climática, los tipos de vegetación dominante son: (a) Selva baja caducifolia; (b) Selva baja perennifolia y (c) Selva baja espinosa perennifolia

III.F.3. DIAGNOSIS Y DISTRIBUCION DE LA VEGETACION

III.F.3.1 Bosques Pluviales.

Es casi equivalente al concepto de **Bosque tropical perennifolio** de Rzedowsky, quedando incluido tanto en los conceptos de "**Tropical rain forest**" como el "**Tropical evergreen forest**" de Leopold (1950). También ha sido denominado como "**Selva alta perennifolia**" y "**Selva alta o mediana subperennifolia**" de Miranda y Hernández X.

Con base en la información compilada, se estima que este bosque ocupaba, hasta hace un siglo, una amplia y casi continua extensión en el este y sureste del país, localizándose sobre una superficie del 11% del total del Territorio Nacional. Actualmente, las imágenes de satélite muestran un decremento hasta del 80 por ciento. Este bosque se distribuía desde la región de Tamazunchale a Ozulama, a lo largo del Estado de Veracruz y en algunas regiones limítrofes de Hidalgo, Puebla y Oaxaca, hasta el norte y noreste de Chiapas y varias porciones de Tabasco, asimismo, la mayor parte de Quintana Roo y Campeche. La presencia de Bosque tropical perennifolio en partes de la Península de Yucatán, constituye un hecho excepcional que aún no ha sido explicado, especialmente en aquellas áreas donde prevalece un clima Aw.

El Bosque tropical perennifolio aunque, actualmente, muy reducido en su superficie, aún presenta en México, un gran número de comunidades diferentes, quizá una de las más extendidas está en la vertiente del Golfo de México, es la que Sarukhán denomina (1968) "*Selva Terminalia amazonia*" o "sombreretal". Este bosque fue inicialmente descrito en Chiapas por Miranda (1952), y su área de distribución se extendía desde la región de Córdoba, hasta la Selva Lacandona, en los límites con Guatemala. La composición de este bosque varía en las diferentes zonas de su área de distribución y así, por ejemplo en la Región de Córdoba y en la parte baja de la Cuenca del Papaloapan, además de *Terminalia* existe también, *Vochysia hondurensis*, *Andira galeottiana* y *Sweetia panamensis*, las cuales además de prevalecer, con frecuencia son dominantes.

En la región del Istmo de Tehuantepec a *Terminalia* y *Vochysia* se les unen *Dialium guianense* y *Calophyllum brasiliense*. En el norte de Chiapas, es donde esta comunidad está desarrollada, y es donde se asocia el mayor número de especies, siendo las principales para el estrato arboreo superior: *Guatteria anomala*, *Talauma mexicana*, *Aspidosperma megalocarpon*, *Brosimum*, *Brosimum alicastrum*, *Pouteria campechiana*, *Licania platypus*, *Svietenia macrophylla*, *Manilkara zapota*, *Pithecellobium leucocalyx*, *Poulsenia arnata*, *Alchornea latifolia*, *Dendropanax arboreus*, *Sterculia mexicana* y *Ficus spp.* Hacia las planicies del suroeste de Campeche se citan como importantes además de las anteriores: *Erblichia xylocarpa*, *Nectandra rubifolia*, *Pera barbellata* y *Tabebuia guayacan*.

De la "Selva lacandona" del este de Chiapas, Miranda (1961) refiere la existencia de extensos bosques con dominancia de *Dialium*, de 40 a 60 metros de alto. Actualmente, el 70% de esta selva ha sido destruido, en el lapso de 1875-1990.

Otra comunidad vegetal muy extendida en México, dentro del Bosque Pluvial, es la dominada por *Brosimum alicastrum*, llamada "ojital", "mojual" o "ramonal". *Brosimum alicastrum*, es un árbol de amplia tolerancia ecológica, que le permite desarrollarse, aún en climas Aw. Esta especie, formaba bosques de amplia extensión que se extendían desde el sureste de San Luis Potosí a lo largo de la Vertiente del Golfo hasta Tabasco, Chiapas y Yucatán. De igual modo que el bosque de *Terminalia amazonia*, los bosques de *Brosimum*, cada día ocupan menores extensiones. En el norte de Veracruz, *Brosimum*, es a menudo preponderante o se asocia con *Dialium guianense*, *Bursera simaruba*, *Vatairea lundellii*, *Manilkara zapota* y *Zanthoxylum*.

De la Península de Yucatán, Miranda en 1958 describe un "ramonal" en el que destacaban los siguientes árboles: *Brosimum alicastrum*, *Protium copal*, *Talisia olivaeformis*, *Manilkara zapota*, *Chlorophora tinctoria*, *Exothea diphylla*, *Dendropanax arboreus*, *Sabal morrisiana*, *Sideroxylon meyeri* y *Trichilia minutiflora*. Hasta hace algunos años, el bosque tropical perennifolio más característico de la Península de Yucatán, era el dominado por *Manilkara zapota*. Esta comunidad ("zapotal") cubría una buena parte de Campeche y de Quintana Roo. De acuerdo con este autor existían muchas variantes florísticas y ecológicas del zapotal, como por ejemplo: (a) *Manilkara zapota-Brosimum alicastrum*; (b) *Manilkara zapota-Talisia olivaeformis*; (c) *Manilkara zapota-Bucida buceras-Svietenia macrophylla*; (d) *Manilkara zapota-Metopium brownei* y (e) *Manilkara zapota-Caesalpinia guameri*.

Ocasionalmente, sucedía que el Bosque tropical perennifolio no estaba dominado por

Manilkara, como es el caso de los "ramonales" y de los bosques de *Bucida buceras* y *Metopium brownnei* que ocupaban amplias áreas al sur de Champotón, Campeche.

En general, la sucesión de las comunidades vegetales en el Bosque pluvial, fue extraordinariamente compleja, particularmente a nivel de las fases arbustivas y arbóreas que eran las que predominaban, pues los estadios en que prevalecía la vegetación herbácea eran de duración muy breve, y casi se restringían a la ocupación por parte de malezas arvenses y ruderales. Faustino Miranda (1959) identifica 25 agrupaciones de vegetación solamente para la Península de Yucatán.

III.F.3.2. Otros Tipos de Vegetación Asociada al Bosque Pluvial

III.F.3.2.1. Popal. Esta asociación se haya constituida por heliofilos comúnmente herbáceos, de 1 a 3 m de altura, magnifolios, de color verde claro. El término "popal" podría derivar del idioma zoque "popoay" que significa "hoja blanca", nombre frecuentemente utilizado para designar a *Calathea lutea*, una de las plantas de esta asociación. El popal se encuentra distribuido al sur de Veracruz, norte de Chiapas y sureste de Campeche, pero es en el Estado de Tabasco donde se desarrolla mejor.

El popal habita en pantanos de poca profundidad (Suelos con fase inundable y régimen acuico), de tal manera que las plantas que lo forman, aunque enraizadas en el fondo, tienen hojas que sobresalen de la superficie del agua. Las especies dominantes en el popal son: *Calathea insignis*, *Calathea lutea*, *Heliconia latispatha* y *Heliconia sp.* La especie *Thalia geniculata* puede asociarse con las anteriores o formar un estrato puro. En la Península de Yucatán sólo se encuentra en sus límites meridionales. Esto es debido, en gran parte, a la fisiografía de la Península y al clima, ya que es probable que plantas de hojas tan grandes como *Calathea* y *Heliconia* no puedan vivir en climas ústicos como son los de la parte central y norte de la Península.

III.F.3.2.2. Palmar. Existen en México tanto en la vertiente del Pacífico, como en la del Golfo y el Caribe. En 1985, esta vegetación ocupaba menos del 1%, y su número ha decrecido considerablemente en estos últimos años. La imagen de satélite LANSAT, 1992, muestra que las áreas de palmar, actualmente, sólo representan un 0.3% de la superficie del Territorio Nacional.

Este tipo de vegetación se concentra al sur del paralelo 23°N, a altitudes generalmente menores de 500 m, aunque existen algunos grupos, aislados, que pueden encontrarse a más de 2000 m. Su presencia en la actualidad, sólo esta ligada a las actividades humanas; substituyendo al Bosque pluvial y al Bosque pluvial semideciduo.

Convencionalmente, Rzedowski (1985) usando el criterio fisonómico, ha dividido los palmares en dos tipos: (a) con hojas en forma de abanico y (b) los que presentan hojas pinadas.

Entre los primeros destacan los de *Sabal mexicana*. En el lado Atlántico su área de distribución se extiende, interrumpidamente, desde Tamaulipas hasta Chiapas. En general, estos palmares son comunidades cuya existencia está determinada por la antropización. Hace

30 años, estos palmares ocupaban grandes extensiones en el sur de Tamaulipas, sureste de San Luis Potosí y norte de Veracruz. Debido a la introducción, creciente, de la **practicultura especialmente al mantenimiento de pastizales artificiales, estas áreas se han reducido drásticamente.** De acuerdo con Sarukhán (1968) en el centro de Veracruz, existían algunas zonas en que el palmar de *Sabal mexicana* representaba una asociación primaria. Las fotografías aéreas de 1990, sólo muestran relictos muy alterados de este Palmar.

Pérez y Sarukhán (1970), describen de la región de Pichucalco al norte de Chiapas un palmar de *Sabal yucatanica* de 25 m de alto, en el que intervienen, además, en el estrato superior *Dendropanax arboreus*, *Guarea sp.*, *Zanthoxylum procerum*, *Scheelea liebmannii* y *Dialium guianense*. Este palmar, según las fotografías aéreas se ha conservado en gran parte, sin embargo; muestra efectos de degradación por el fuego, probablemente como consecuencia, secundaria, de las manifestaciones volcánicas del Chichonal, durante marzo de 1982.

En el sur de Quintana Roo existían, según Miranda (1958) palmares de *Sabal morrisiana* de 15 a 25 m de alto, en suelos inundables con regímenes perúdicó-ácico. Otro tipo de palmar de mucha extensión e importancia es el de *Brahea dulcis*, calificado como planta indicadora de suelos calcáricos y calcimagnésicos. En el centro de Chiapas existen, en forma de enclaves, palmares de *Brahea prominens* en altitudes entre 1250 y 1350 m, intercalados con encinares y bosque tropical caducifolio. Miranda (1963) menciona la existencia de extensas asociaciones dominadas por *B. calcarea* al sureste de Jalapa. Actualmente, las imágenes sólo muestran áreas de palmar muy restringidas y dispersas.

Los palmares de *Paurotis wrightii* de la Península de Yucatán, descritos por Miranda (1958) alcanzaron una distribución notable, hasta los Estados de Tabasco y sureste de Veracruz. Actualmente sólo se les encuentra aislados en algunas sabanas formando islotes de palmar.

Entre los palmares de hoja pinnada, los de *Orbignya cohume* son los más impresionantes. Rzedowski y McVaugh (1966) reportan bosques de *Orbignya* en Nayarit, Jalisco y Colima. En Nayarit, se observaron, algunos bosques de esta especie, en zonas de lomeríos suaves, sobre Acrisoles y Luvisoles en fases gravosas, siempre asociadas con rocas básicas y climas údicos. Esta especie se presenta, comúnmente, formando grupos con *Ficus padifolia*, *Brosimum alicastrum*, *Enterolobium* y *Bursera*. (Figura 11).

Las especies de *Scheelea* son morfológicamente semejantes a *Orbignya*, y las asociaciones que forman son muy parecidas, sin embargo; por lo común no alcanzan una densidad comparable. Los palmares de *Scheelea liebmannii*, llegaron a ser muy característicos en la Planicie Costera del Golfo, desde el norte de Veracruz hasta el noroeste de Campeche, centro de Chiapas, y algunas áreas adyacentes a Oaxaca. Actualmente, se trata de comunidades secundarias y aisladas, originadas por el desmonte y los incendios, sin embargo, de acuerdo con Sarukhán (1968) aún persiste parte de la vegetación primaria en la Cuenca Baja del Papaloapan.

En fotografías aéreas recientes (1990) se observa a esta especie, desarrollándose en la sabana, asociada con *Andropogon glomeratus*, en otras ocasiones constituyendo

FIG. 11 DISTRIBUCION DE LOS GRUPOS DE SUELOS EN LA PLANICIE COSTERA



SIMBOLOGÍA

A. SUELOS NO CLIMÁTICOS:

- GRUPO I - GI
- GRUPO II - GII

B. SUELOS CUYA GÉNESIS ESTA CONDICIONADA POR EL MATERIAL PARENTAL:

- GRUPO III

C. SUELOS CON DESARROLLO INICIAL:

- GRUPO III.1

D. SUELOS CON ACUMULACIÓN DE BASES Y SALES:

- GRUPO III.2

E. SUELOS CON ACUMULACIÓN DE ARCILLA:

- GRUPO III.3

F. SUELOS TROPICALES:

- GRUPO III.4

G. SUELOS DE ORIGEN ORGÁNICO

- GRUPO III.5

H. SUELOS DE ORIGEN ANTRÓPICO:

- GRUPO III.6

OTRAS UNIDADES:

- AF = ARENOSOL
- GL = GLEYSOL
- LE = LEPTOSOL
- FE = REGOSOL
- MR = SOLONETZ
- C.A. = CUERPO DE AGUA
- = ZONAS URBANAS



R. SAN PEDRO
(4,5,3) 15/04/90

III.2 III.3 III.4

parte de estratos densos, en relictos de Selva Alta Perennifolia, asociada con *Sweetia panamensis*. La altura, estimada en las fotografías aéreas, de estos palmares es de 15 a 20 m. (Figura 11a).

Miranda y Hernández X (1963) citan palmares de *Roystonea*, en la zona litoral del extremo noreste de la Península de Yucatán. Esta especie constituye un componente normal de algunos Bosques tropicales perennifolios, en contraste con *Pseudophoenix sargentii*, propia de las regiones costeras del nor-noreste, la cual es un palmar bajo. **Otro palmar, fácil de identificar en las fotos aéreas, y que es indicador de suelos salinos es el de *Thrinax parviflora* (Figura 11a).**

Desde luego, según advierte Rzedowski (1985) existen falsos palmares. Así algunas plantas pertenecientes a las familias *Liliaceae*, *Cyatheaceae* y *Cycadaceae*, entre otras, reciben el nombre de "palma".

III.F.3.3 Bosques Pluviales Semidecíduos y Bosques Semidecíduos

Incluyen los tipos climáticos Am y Aw, este último con períodos de sequía menores a 5 meses.

En estos bosques, se agrupa una serie de comunidades con características intermedias en su fisonomía, y en sus requerimientos climáticos entre el Bosque Tropical Pluvial (perennifolio) y el Bosque Deciduo (caducifolio). Este bosque se caracteriza porque durante la estación seca, cuando menos la mitad de los árboles deja caer sus hojas, pero hay muchos componentes siempre verdes.

Estos tipos de bosques han recibido muchas denominaciones: (a) "Bosque mesófilo de barranca"; (b) "Selva alta subdecidua"; (c) "Selva alta o mediana subdecidua"; (d) "Selva alta o mediana subcaducifolia" y (e) "Forêt tropical meyerne semi-caducifoliée".

La distribución de este tipo de vegetación es muy difícil de separar en las imágenes de satélite y en las fotografías aéreas, debido a las siguientes razones: (a) forma mosaicos complejos con el Bosque tropical caducifolio, con el palmar, con la sabana y con otros tipos de vegetación; (b) no presenta, con excepción de la altitud, ningún patrón de distribución espacial, fisiográfico o edáfico y (c) muestra múltiples patrones espectrales que varían según la temporada del año.

Hasta 1980, se estimaba que esos tipos de bosque ocupaban en México el 4% de la superficie total. Según valoraciones realizadas por la NASA, en 1992, estos bosques, difícilmente ocupan el 2% en la actualidad. (Figura 12).

Ambos tipos de bosques prosperan (o prosperaban) en México, de acuerdo con Rzedowski (1986), en altitudes entre 0 y 1300 m, aunque en algunos sitios de Guerrero y Oaxaca, ascienden a mayor altitud. Son termófilos por excelencia. La media anual siempre es mayor de 20°C, y la precipitación oscila de 1200 a 1800 mm en el Bosque pluvial semidecíduo, y de 900 a 1200 mm en el Bosque semidecíduo, siendo hasta de 800 mm en varias localidades: Colima, Jalisco y Tamaulipas. Parece ser que la existencia de estos

bosques, más que depender del monto total de lluvia, dependen de su distribución durante el año, pues típicamente se presenta una temporada de sequía de 2 meses (ústico) hasta 6 meses (ústico). Sin embargo, la humedad atmosférica, por lo general, se mantiene elevada.

Estos bosques, no han sido tan afectados como el Bosque pluvial, debido a que el clima no es tan favorable para la agricultura como el de este último, y a que muchas de las especies vegetales muestran poca demanda comercial. Algunos árboles que se explotan son; *Enterolobium cyclocarpum*, *Cedrela mexicana*; *Roseodendron donnell smithii*; *Dalbergia granadillo*; *Astronium graveolens*; *Gymnaea courbaril*; *Platymiscium dimorphandrum*.

La ganadería, en general, no era hasta hace 15 años una actividad muy extensiva en estos bosques, sin embargo, como puede observarse en la figura 11, la imagen de satélite muestra muchas áreas desmontadas para la introducción de pastizales y frutales. En las áreas empleadas para la agricultura, el cultivo más frecuente es el maíz, pero en la zona de Nayarit, esta costumbre se ha cambiado por la plantación de frutales, principalmente, papayo, plátano y mango. En ocasiones café y tabaco, donde se introducen árboles de sombra (*Erythrina*, *Glycericidia*, *Inga*, *Leucaena*). En las zonas aluviales, principalmente de la Llanura Costera del Pacífico, estos bosques se han sustituido, totalmente, por cultivos de frijol, arroz, caña de azúcar, ajonjolí y cítricos, en su mayoría de riego (Figura 11).

Bajo condiciones naturales, libres de la antropización, estos bosques se presentan en México como una comunidad densa y cerrada, que durante la época de lluvias muestran una fisonomía muy parecida a la del Bosque pluvial. Su altura, oscila, entre 15 a 40 m, aunque puede haber eminencias aisladas de *Enterolobium cyclocarpum* y *Ficus*. Las plantas espinosas, así como las palmeras no son abundantes en las comunidades climax, aunque son frecuentes en las comunidades alteradas. Con frecuencia *Orbignya cohune* forma parte de estos bosques, especialmente de los que se localizan en las cercanías del litoral de Nayarit, Jalisco, Michoacán y Oaxaca.

En las fotografías aéreas, este bosque, cuando no está muy alterado muestra característicamente dos estratos. El arbóreo inferior, rara vez rebasa los 15 m de altura, y su densidad de cobertura, generalmente, es mayor del 50%, y dada la penumbra existente al nivel del suelo, durante la mayor parte del año, las plantas herbáceas son muy escasas. **A medida que el ecosistema se perturba, el número de herbáceas se incrementa.** Las trepadoras leñosas, especialmente las especies de la familia *Bignoniaceae*, son abundantes y variadas en estos bosques, en tanto que las *bromeliaceas* y *orquidaceas* (epífitas) son, significativamente, menos abundantes que en los Bosques pluviales, siendo muy escasas la briofitas y pteridofitas.

Rzedowski (1986) considera que las comunidades vegetales que en México se agrupan dentro de estos bosques, llevan comúnmente varias especies que comparten entre sí la dominancia, aunque éstas rara vez pasan de cinco.

Gentry (1946) describió bajo el nombre de "apomal" un bosque de más de 20 m de altura, localizado en el centro de Sinaloa, donde *Brosimum alicastrum* era el árbol casi exclusivo del estrato superior, bajo cuya sombra se desarrollan diversas plantas de afinidades mesófilas. Destacan las especies de *Ficus spp*, *Prunus cortapico* y *Bursera arborea*.

FIGURA 11a ALTERACION DE LA VEGETACION PRIMARIA



- Palmares muy alterados del género *Thrinax parviflora*.
- Suelos con gley, también denominados de "arroz" o "Padi".
- Plantaciones de frutales sobre Suelos Ferruginosos.
- Relictos de Selva alta Perennifolia.



El mapa NOVI representa la cantidad y vigor de la actividad fotosintética de la vegetación. Este índice está estrechamente relacionado con el tipo de vegetación y las condiciones climáticas. Los colores café marrón a verde oscuro representan la gradación de densidad/desarrollo de la vegetación. Los índices son los siguientes: (1) verde oscuro = 0.60; (2) verde claro = 0.43-0.48; (3) verde muy claro = 0.25 - 0.30; amarillo = 0.19-0.24 y (5) café marrón = 0.7-0.18.

En la región litoral de Jalisco, los bosques de *Brosimum alicastrum* eran predominantes hasta hace 20 años. *Celtis monoica* era un acompañante casi ubicuo de *Brosimum*. Otras especies, componentes frecuentes de estos bosques eran: *Astronium graveolens*, *Bursera arborea*; *Enterolobium cyclocarpum*; *Ficus spp.*; *Hura polyandra*, *Licania cervantesii*; *Roseodendron donnell-smithii*, *Swietenia humilis*; y *Tabebuia palmeri*. En áreas que presentan altitudes menores a 300 m, se encontraban además, las especies de *Orbignya cohune*, *Cordia elaeagnoides* e *Hymenaea courbaril*. En tanto que en la costa de Colima; *Brunelia cartilaginea* predominaba sobre *Brosimum*.

En la costa de Michoacán, Duellman (1965), describe un Bosque tropical semidecídúo de 25 a 30 m de alto, compuesto de muchos elementos arbóreos, entre los que destacan: *Ficus mexicana*, *F. padifolia*, *Brosimum alicastrum*; *Licania arborea*, *Sideroxylon capiri*, *Trichillia hirta*, *Bursera simaruba* y *Enterolobium cyclocarpum*.

En la Cuenca del Balsas, Miranda (1947) denominó a este tipo de comunidad vegetal como "Bosque mesófilo de las barrancas" o "capomal" pues la especie que dominaba era *Brosimum alicastrum*. Sarukhán (1968) da a conocer algunos componentes del Bosque semidecídúo de la vertiente meridional de la Sierra Madre del Sur, en Guerrero y Oaxaca, indicando que además de *Brosimum alicastrum* predominaban *Brunelia persimilis*, *Godmania aesculifolia*, *Manilkara zapota*, *Calycophyllum candidissimum* y *Pterocarpus acapulcensis*, faltando casi por completo el estrato herbáceo. Gracias al trabajo de Miranda (1952) se conoce bastante bien la distribución geográfica de este bosque en Chiapas, donde el género *Licania arborea* es dominante. Una comunidad, que aún perdura, sobre las calizas kársticas de la Depresión Central de Chiapas es el bosque de *Bumelia persimilis*. En este bosque abundan las palmas, aráceas, así como cactáceas, orquídeas y bromeliáceas epífitas.

En la Península de Yucatán el árbol más común de este tipo de bosques es *Vitex gaumeri*, denominado en lengua maya "ya'axnik". En Quintana Roo, se desarrolla una asociación de *Vitex* y *Brosimum alicastrum*, teniendo como codominantes a *Bursera simaruba*, *Caesalpinia gaumeri*; *Lonchocarpus longistylus* y *Lysiloma bahamensis*. La imagen de Satélite LANDSAT-TM, muestra como este bosque ha sido prácticamente destruido por la tala y los incendios provocados para fines agrícolas (Figura 13). En la Península de Yucatán, según Miranda (1958) los bosques secundarios, originados por la destrucción de este tipo, están dominados por *Cecropia peltata*, *Bursera simaruba* y *Guettarda combsii*. Menos frecuentes son los bosques espinosos de *Acacia gaumeri* y *Mimosa hemiendyta*.

Sousa (1968), refiere para la vegetación de los Tuxtlas a *Enterolobium cyclocarpum*, *Bursera simaruba* y *Sabal mexicana*, mencionando la presencia de un "palmar dis climax" de *Sabal mexicana*, *Scheelea liebmanni* y *Acrocomia mexicana*.

De las Sierras de las Cocinas y de San José de las Rusias, Tamaulipas, Puig (1974) describe un Bosque tropical semidecídúo de 20 a 25 m de alto, en altitudes inferiores a 400 m, y una precipitación entre 800 y 1200 mm. Las especies dominantes según Puig, son: *Bursera simaruba*, *Ficus sp.*, *Celtis monoica*, *Nectandra sp.* y *Robinsonella mirandae*. Es interesante citar que durante este estudio realizado por Puig, se pudo constatar, personalmente, que en ningún caso, la vegetación estaba, directamente, relacionada con

el suelo para su distribución geográfica. Esta, evidentemente, estaba regulada por el clima ambiental, y el edafoclima, y de modo secundario por la litología.

III.F.3.4. Otros Tipos de Vegetación Asociada con los Bosques Semidecuidos

Como puede observarse en la imagen TM (1992) la vegetación de Bosques pluviales semidecuidos y Bosques semidecuidos, se asocia, con frecuencia, con vegetación marino-litoral, principalmente con manglar y vegetación flotante. A continuación se reseñan algunas características de esta vegetación:

III.F.3.4.1 Manglar. Se encuentra distribuido en los litorales, principalmente en las orillas de las lagunas costeras, bahías y desembocadura de ríos, donde hay influencia del agua de mar. Se estima que típicamente para su desarrollo, el manglar necesita de un suelo profundo de textura fina y de agua salina tranquila o estancada. Sin embargo, en algunos estudios de suelos relacionados con esta tesis, y realizados en la zona de manglares, próxima a la isla de Mexcaltitán, Nayarit, se encontró que tanto las formas arbustivas como arborescentes del género *Rhizophora*, se desarrollan tanto en suelos de textura fina como media, e incluso en suelos de textura moderadamente gruesa (Migajón limo arenoso o Migajón arenoso fino) pero no se establece en sitios pedregosos, arenosos gruesos o de sedimentos compactados. Tampoco se desarrolla en las áreas sometidas al oleaje fuerte.

Según Rzedowski (1986) en México son cuatro las especies de plantas más características del manglar: *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*; *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erecta*. Todas se presentan tanto del lado del Atlántico como del Pacífico y, a menudo, se hallan en la misma localidad. *Rhizophora* aún es el componente más común y típico de los cuatro. Sin embargo, en algunos sitios del estero del Río San Pedro, Nayarit, su número y densidad han decrecido, considerablemente, debido a la tala. Esta madera se utiliza, comúnmente, para construir "secaderas" de tabaco, o como "respaldo" para el cultivo de jitomate. En la imagen satélite TM-1990, se aprecian, algunos relictos de manglar situados a 10 km² distantes del litoral. Este manglar, originalmente, delimitaba la línea de costa (Figura 11).

Ocasionalmente, *Laguncularia* puede acompañar a *Rhizophora*, aunque por lo general se desarrolla en sitios de agua poco profunda. *Avicennia*, en cambio, prospera formando matorrales que se sitúan en suelos que se inundan periódicamente. (Fase inundable). *Conocarpus* ocupa los lugares aún menos afectados por la sumersión en agua salada, aunque, ocasionalmente, forma agrupaciones sobre suelos permanentemente inundados, que muestran contenidos bajos de cloruros (Figura 11).

Aparentemente, la distribución del manglar en México está regida, principalmente, por la temperatura, pues sólo prospera en zonas hiper isotérmicas. En la costa del Pacífico, los manglares se extienden, discontinuamente, desde Chiapas a Baja California. En la vertiente atlántica, el manglar de *Avicennia* se extiende aunque muy alterado, desde el sur de Texas hasta el sur de Tamaulipas ($\pm 23^\circ\text{N}$). En la costa noreste de la Península de Yucatán (Miranda, 1958) este tipo de vegetación ocupa considerables extensiones, al igual que cerca de la desembocadura del Río Bravo y alrededor de la laguna de Términos. Sin embargo, las extensiones más amplias del manglar se localizan en la llanura costera de Nayarit, conocida como Marismas Nacionales (Figura 11).

FIGURA 13 INDICE DE DETERIORO DE LA VEGETACION

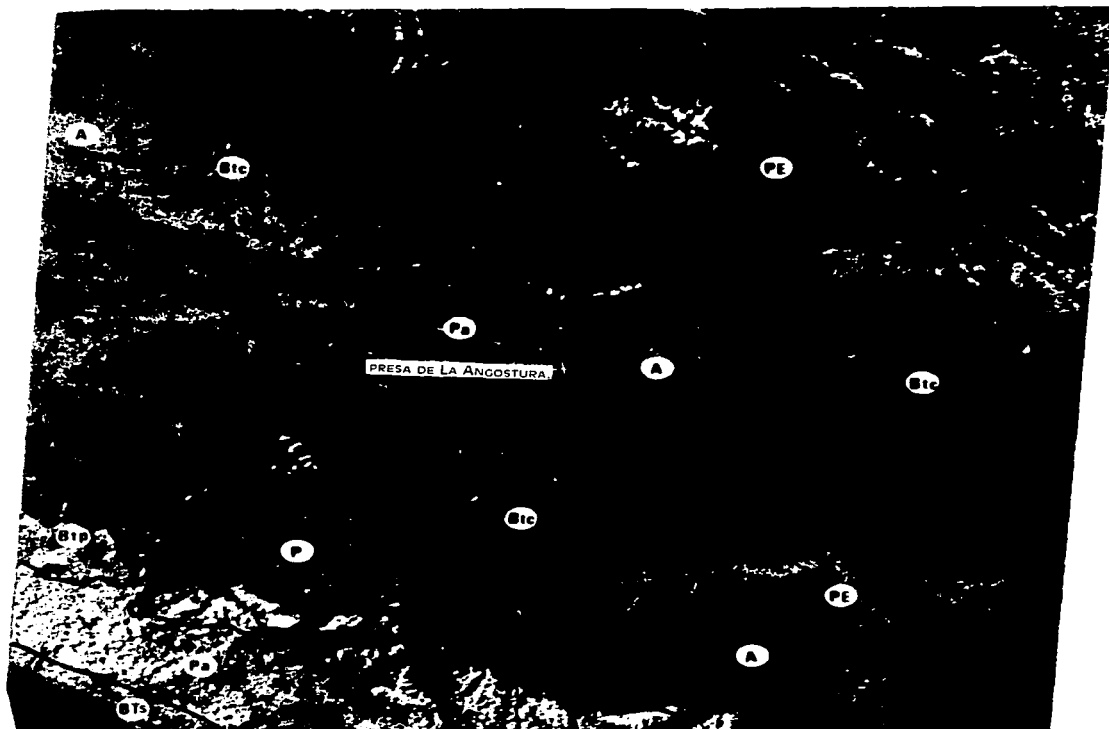


IMAGEN LANDSAT TM DE CHIAPAS.

La imagen Landsat TM, muestra el deterioro de la vegetación producido por la agricultura (A) y por la introducción de pastizales (Pa) para uso pecuario. Esta alteración es, particularmente evidente en la Depresión Central de Chiapas. Por otra parte, los bosques de pino (P); pino - encino (PE), así como la vegetación tropical perennifolia (BTp), subcaducifolia (BTs) y caducifolia (BTc) también muestran una degradación, significativa por efecto de la tala, agricultura itinerante y el sobrepastoreo.

III.F.3.5. Bosque Tropical Deciduo

En este concepto se incluyen los bosques propios de regiones de climas cálidos, que muestran un período de sequía bien definido durante el año, un régimen ústico, en ocasiones ústico-ústico, y que está dominado por especies arbóreas que pierden sus hojas durante el estiaje, el cual oscila de 5 a 7 meses.

Existe una gran serie de sinónimos que corresponden a este tipo de vegetación los más comunes son: (a) Bosque monzónico; (b) Deciduos seasonal forest; (c) Selva veranera decidua; (d) Dry deciduos forest; (e) Forêt dense seche y (f) Bosque deciduo semiárido. Miranda y Hernández X. (1963) optaron por llamarlo "Selva baja caducifolia", en tanto que Rzedowski (1966) utilizó el término "Bosque Tropical deciduo" y Puig (1974) el de "Forêt tropicale basse caducifoliee".

Dentro del conjunto de los tipos de vegetación, Rzedowski (1986) siguiendo el gradiente de mayor a menor humedad, describe a este tipo de vegetación como un intergrado entre los Bosques pluviales semideciduos y el Bosque espinoso.

Esta formación vegetal es característica de la vertiente del Pacífico de México, donde cubría grandes extensiones, ahora interrumpidas, desde el sur de Sonora hasta Chiapas y continuaba a Centroamérica. La imagen LANDSAT-TM. (Figura 14), muestra algunos relictos de esta vegetación, no existiendo ningún indicio de ella en la planicie costera.

En el Estado de Nayarit, aún se conservan algunas áreas, aguas arriba de la Presa Aguamilpa. En el Istmo de Tehuantepec, este bosque aunque muy alterado por la agricultura y la praticultura, aún traspasa el parteaguas y ocupa una porción, significativa, de la Depresión Central de Chiapas. En la vertiente atlántica, existían tres manchones, ahora casi imposibles de identificar en fotografías aéreas. El primero se encontraba en el sur de Tamaulipas, sureste de San Luis Potosí, extremo norte de Veracruz y extremo noreste de Querétaro, el segundo, y posiblemente el más conservado en la actualidad, se localiza entre Nautla, Alvarado, Jalapa y Tierra Blanca, y el tercero, casi inexistente, ocupando la parte central del Estado de Yucatán, y una fracción muy pequeña de Campeche.

Según Rzedowski, este tipo de bosque, llegó a ocupar $\pm 8\%$ de la superficie del País. Las imágenes obtenidas por el satélite francés SPOT, indican que actualmente esta superficie se ha reducido en un 50 a 60%.

Al igual que en el caso de los tipos de vegetación anteriormente descritos, el factor ecológico que, casi, define la distribución espacial de este bosque es la temperatura y en especial la mínima extrema, que en general no es menor de 0°C . En cuanto a la humedad, su importancia radica en su distribución, evidentemente, estacional bien definida: período lluvioso y período seco, el cual normalmente se acentúa entre diciembre y mayo. El monto de la precipitación media anual varía de 800 a 1200 mm. Los valores cercanos al límite inferior, según observaciones actuales, estarían entre 550 y 600 mm. De acuerdo con Köppen, el clima más común que corresponde a esta formación vegetal es Aw y, en ocasiones, Cw.

Rzedowski (1986) consideraba que este tipo de vegetación era selectiva de suelos someros, con pendientes. Esto, actualmente, se duda si se considera que las áreas más destruidas, inicialmente, por la antropización son aquellas que ofrecen un potencial de uso económico (Ejemplo: áreas planas y suelos profundos) y, secundariamente, las limitadas a suelos someros y pendientes. **En otras palabras, Rzedowski (1986) sólo observó una etapa inicial de la antropización de este bosque, y no un climax suelo-vegetación.** El mencionado autor atribuye, en 1978, estas discrepancias a "un contenido diferente en elementos nutritivos del suelo".

Desde el punto de vista demográfico, el crecimiento poblacional de los últimos 30 años ha sometido al cultivo a la mayoría de los suelos del País, independientemente de su aptitud. Este es el caso de Yucatán, donde actualmente abunda la vegetación secundaria. En Yucatán, se cultivaba ampliamente el henequén, sobre los suelos menos aptos agrícolamente (Leptosoles calcáreos), que inicialmente estaban protegidos por un Bosque tropical caducifolio. Ejemplos de uso agrícola de estos suelos (Leptosoles, Leptosoles rendzínicos, Rendzinas, Regosoles calcáricos) se tienen, principalmente en Morelos, Guerrero y Oaxaca, además de Yucatán.

Por otra parte, la característica más sobresaliente de esta formación vegetal, la constituye la pérdida de sus hojas durante un período de 5 a 7 meses, en ocasiones 8 meses. La pérdida de las hojas afecta la gran mayoría de los componentes de la comunidad, aunque la caída del follaje no es simultánea. **Esta comunidad, también se distingue por que sus especies nunca poseen hojas y flores al mismo tiempo.** Es común que sólo haya un estrato arbóreo, aunque puede haber dos. Las eminencias son muy aisladas para considerarlas como formadoras. Las trepadoras y las epífitas son escasas, destacando algunas bromeliáceas del género *Tillandsia*, así como algunos líquenes crustáceos. Ocasionalmente, se presentan algunas cactáceas columnares y arbustos con hojas concentradas en rosetas. Este último tipo de vegetación, es indicativo de regímenes de humedad ústico-xéricos.

Las briofitas, al igual que los helechos y demás pteridofitas son escasas. Entre los musgos puede citarse los géneros *Barbula*, *Cryphaea* y *Didymodon*.

El género *Bursera* está representado por muchas especies, principalmente en la vertiente del Pacífico, entre Sinaloa y Oaxaca. Su importancia alcanza apogeo a altitudes medias (500-1500 m), principalmente en la Cuenca del Balsas, donde *Bursera*, a menudo, es dominante absoluta. **Probablemente, aún a la fecha, esta sea el área de mayor concentración de este género.**

En los declives occidentales de la Sierra Madre de Sonora, Durango y Sinaloa, este bosque caducifolio; se encuentra confinado a las porciones inferiores de los macizos montañosos (300-1200 m) o, con frecuencia restringido a la zona de los cañones.

En Nayarit, Jalisco y Colima el bosque caducifolio ocupa grandes extensiones de suelos ubicados entre 0 y 1600 de altitud. En la región de cañones profundos excavados por el Río Grande Santiago y afluentes, penetra en forma de angostas fajas. De modo similar se presenta en las cuencas de los ríos Armería y Coahuayana en el Estado de Colima. Como se mencionó, anteriormente, el Bosque deciduo o caducifolio, se ha desarrollado,

FIGURA 14 INDICE DE DETERIORO AMBIENTAL



SUPERFICIE OCUPADA POR DIFERENTES TIPOS DE VEGETACIÓN (*)

Fuente:		Tipo de vegetación						
Tipo de vegetación / Versión	Bosque tropical perennifolio (has)	Bosque tropical subcaducifolio (has)	Bosque tropical caducifolio (has)	Bosque espeso (has)	Matorral seco (has)	Bosque de coníferas y encino (has)	Bosque mesófilo (has)	Vegetación acuática (has)
Redonés, J. (en preparación)	18 837 790	6 058 249	27 130 601	11 133 455	85 571 313	31 170 881	1 446 033	1 826 414
García, H. C., Pérez G., Ríos S., Fernández, C. y Magaña A. (1990)	7 451 200	3 550 000	25 078 650	4 870 400*	58 571 638	33 697 234	371 504	2 280 452
Flores, G., López J., Sánchez, X., Ruiz, F. y Tawal, F. (1971)	7 862 794	16 646 731	29 045 559		Matorral desértico	36 511 569	1 623 808	1 124 800
				70 579 546				1 224 600*

VALORES DE ACTIVIDAD FOTOSINTETICA

- A. 0.55 - > 0.60 NDVI
- B. 0.43 - < 0.55 NDVI
- C. 0.25 - < 0.43 NDVI
- D. 0.13 - < 0.25 NDVI
- E. < 0.07 - < 0.13 NDVI

intensamente, en la Cuenca del Balsas, pero también ocupaba grandes superficies de Michoacán y Oaxaca. En los cañones de clima relativamente seco que forman el río Tehuantepec, la vegetación tiene como dominantes a las especies de *Bursera*, destacando *B. morelensis*, *B. excelsa*, *B. heteresthes*, *Ceiba parvifolia*, *Cercidium praecox* y cactáceas columnares. En esta área, *Amphipterygium adstringens* y *Lonchocarpus spp.* llegan a formar bosques puros, asociados a suelos con drenaje deficiente (Vertisoles y suelos vérticos).

Miranda, en 1952 describe un bosque decíduo en la costa de Chiapas, el cual estaba asociado con muchas plantas espinosas. Cita como especie frecuente a *Prosopis juliflora*. Otro tipo de bosque frecuente en esa región es el de *Alvaradoa amorphoides* el cual es relativamente rico en plantas trepadoras. También son comunes los bosques de *Bucida macrostachya*, *Guaiacum sanctum*, *Albergra funera* y *Caesalpinia velutina*, aunque estos bosques, actualmente, están severamente perturbados por las actividades agrícolas y ganaderas, y en algunas partes septentrionales de la Península de Yucatán han desaparecido, siendo, en la mayoría de los casos, sustituidos por bosques y matorrales espinosos.

En las fotografías aéreas e imágenes LANDSAT 3, (Figura 13) se observan áreas relictas de este bosque, principalmente, en la franja costera de yucatán; aunque con aspecto más xerófilo, pues además de las especies de *Bursera simaruba*, *Caesalpinia vesicaria*, *Ceiba aesculifolia* y *Piscidia piscipula* se observan cactáceas candelabriformes entreveradas. En zonas limítrofes con Quintana Roo, este bosque se asocia con la palmera *Pseudophoenix sp.*

Asociada con la zona de matorrales xerófilos, en los cañones de la cuenca del Río Moctezuma, se encuentran pequeñas formaciones de *Bursera morelensis* que prosperan sobre suelos calcáreos (Leptosoles calcáreos y Leptosoles rendzínicos) localizados en laderas abruptas con exposición sur-sureste, regímenes ústico-xérico, y altitudes de 20 a 800 m.

Puig (1970) describe en la Sierra de Tamaulipas, dos variantes del Bosque decíduo. Una dominada por *Bursera simaruba* y *Lysiloma divaricata*, y otra por *Phoebe tampicensis* y *Pithecellobium flexicaule*, ambas, según las imágenes de satélite (1993) están a punto de desaparecer.

III.F.3.6. Sucesiones Secundarias del Bosque Decíduo

Miranda (1942) indica para la zona de Izúcar de Matamoros, Puebla, que: a la destrucción del bosque de *Bursera* le sigue el establecimiento de matorrales espinosos, con dominancia de *Acacia cochliacantha*. Este matorral evoluciona hacia el bosque de *Ipomoea wolcottiana* ("cazahuatera") que puede transformarse en la comunidad climax.

Si el disturbio persiste, y las plantas leñosas son eliminadas, se establecen comunidades herbáceas, en su mayoría de la Familia Compositae. Bajo condiciones práticolas, esta comunidad se transforma en un "zacatal pobre", con muchas gramíneas anuales, en las que destacan las especies de *Aristida*, *Hackelochloa*, *Muhlenbergia*, *Bouteloua*, *Heteropogon*, *Eragrostis*, y *Pentarrhaphis*.

En la tabla 10, se indican algunos datos fisicoquímicos de como este tipo de sucesión vegetal afecta a los suelos. Los perfiles se localizan en el área de las Estacas, Morelos, y todos ellos corresponden con suelos rendzínicos.

TABLA 10 SUCESIONES VEGETALES Y PROPIEDADES EDAFICAS

RECOLECTO: J. E. GAMA (1992) LOCALIZACION: 18°35' - 99°19'								SUELO
SUEL Perfil	Profundidad (cm)	Pendiente %	Edafo- clima	Vegetación	Color en húmedo	Materia Orgánica	Estructura	Eroda- bilidad
P1M	0-45	7-10	Ustico	<u>Bursera</u>	10YR2/1	15.5 %	Granular	K=0.22
P2M	0-39	9-12	Ustico	<u>Acacia</u>	10YR3/3	3.7 %	Bloque	K=0.38
P3M	0-35	10-12	Ustico Nérico	<u>Acacia</u> <u>Ipomoea</u>	10YR4/5	2.3 %	Bloque	K=0.45
P4M	0-42	10-12	Ustico Nérico	<u>Ipomoea</u>	10YR3/2	3.0 %	Bloque	K=0.35
P5M	0-33	5-9	Nérico	<u>Aristida</u>	10YR6/4	1.5 %	Masiva	K=0.47

Como puede observarse en la tabla 10, destacan los siguientes puntos:

1. **Los regimenes de humedad edáfica decrecen a medida que el porcentaje de cobertura vegetal arbórea disminuye.** Es probable que los regimenes de temperatura se incrementen ocasionando una mayor evapotranspiración (Ustico-Xérico).
2. **El color del suelo se aclara, con excepción del caso de *Ipomoea* que constituía una comunidad climax.** Esto se debe, principalmente, a la disminución de los porcentajes de materia orgánica presentes.
3. **La disminución de la materia orgánica, debida a un menor aporte de materiales orgánicos (hojarasca, raíces, tallos, etc.) propicia cambios en la geometría estructural de los pedio (Degradación física) la cual se incrementa por las actividades pratícolas, ya que el ganado en lo suelos con pastizal (*Aristida*) tiende a compactarlo por efecto de carga confinada.**
4. **La pérdida de materia orgánica, la degradación de la estructura y la compactación, propician mayor erosionabilidad, menor percolación de agua y mayor escurrimiento.** Con excepción de los suelos que aún presentan vegetación de *Bursera*, la erodabilidad del suelo se considera riesgosa ($K = > 0.35$).

Desde luego, existen muchas áreas tropicales y subtropicales que por sucesión vegetal pueden mostrar fenómenos similares. Así Rzedowski y McVaugh, (1966) citan bosquesillos y matorrales abiertos de *Acacia farnesiana* y *A. pennatula* como vegetación secundaria, frecuente, que sucede al Bosque decídúo. Bajo el nombre de "matorral subtropical" los

mismos autores describen una serie, muy grande, de comunidades vegetales que, posiblemente, representan, en parte, fases sucesionales más o menos estables del Bosque deciduo.

Existe, a nivel nacional, un número grande de investigaciones sobre la sucesión secundaria de la vegetación. Algunos ejemplos interesantes son los de Lundell (1934), Miranda (1958), Sarukhán (1964) y Sousa (1964) entre otros. Estos estudios se realizaron en regiones de Bosque húmedo, y las conclusiones más importantes en cada caso, son:

- A. Asociación de malezas que incluyen gramíneas y diversos géneros de dicotiledoneas.
- B. Asociación "zarzosa", formada por vegetación densa y entrelazada con especies de *Hamelia*, *Indigofera*, *Cornutia* y *Cassia*, principalmente.
- C. Asociación con dominancia de *Cecropia*, característica de parcelas abandonadas.
- D. Bosque denso de *Trema*. También es característico de parcelas abandonadas.
- E. A continuación de la fase B, se desarrolla una asociación en la que prevalece *Guzuma*.
- F. Los "acahuales" más antiguos se caracterizan por especies de *Bursera*, *Spondias* y *Alvaradoa* entre otros géneros.
- G. El estadio próximo al climax es el bosque de *Swietenia* ("caobal") con algunos árboles de *Manilkara*.

Por su parte, Miranda (1958) confirma las observaciones de Lundell, pero no menciona la fase de *Swietenia*. El consideró la existencia de otros bosques secundarios en Quintana Roo como los de *Alvaradoa amorphoides*, *Lonchocarpus castilloi* y *Luehea speciosa*. Indicó, además, que la reversión al bosque climax se acelera en las zonas afectadas por la agricultura nómada, debido a que el desmonte no es completo y quedan muchos tocones vivos que, después de abandonada la parcela, retoñan acortando el tiempo necesario para la regeneración de la comunidad primaria. En cambio en los suelos cultivados por mucho tiempo, el bosque secundario, si se establece, no es tan alto, tarda más tiempo en regenerarse y es muy variado en especies. Destacan los géneros *Annona*, *Casearia*, *Castilla*, *Cordia*, *Croton*, *Leucaena*, *Pithecellobium*, *Spondias*, *Trema*, *Trichilia* y *Zanthoxylum*.

Sarukhán (1964) realizó en Tuxtpec, Oaxaca, un experimento de sucesión de la vegetación en una área desmontada. Entre sus conclusiones destacan las siguientes:

1. La composición florística de las etapas más jóvenes de la sucesión está influenciada por la época del año en que se denude el área, o se abandone el cultivo.

2. Después del establecimiento de las primeras especies, el desarrollo de la sucesión está influenciado por tocones, y otros elementos capaces de regeneración que se hayan dejado en el terreno al practicar el desmonte.
3. En las etapas jóvenes de la sucesión, dominan esencialmente representantes de tres familias de fanerógamas: *Leguminosae*, *Compositae* y *Gramineae*.

Posteriormente, Sousa (1964-1965) encontró que tal vegetación secundaria contiene especies indicadoras de las asociaciones climax de las cuales derivan.

Actualmente, los medios de explotación forestal, altamente mecanizados, pueden devastar, casi totalmente cualquier vestigio de vegetación en cientos de hectáreas/día. Este fenómeno tan negativo, no puede ser cuantificado en el campo, pero si puede ser evaluado mediante el uso de imágenes y fotografías aéreas. **Es absolutamente recomendable que se continúen con los estudios de sucesión secundaria. Sin embargo, actualmente, esto sólo será posible diseñando técnicas de monitoreo que permitan observaciones confiables en lapsos cortos, como es el caso de la teledetección.**

5. REINO LOS ANIMALES

III.F.4 FACTOR HOMBRE: DEFORESTACION EN LOS TROPICOS Y SUBTROPICOS Y ALTERACION ANTROPOGENICA DEL SUELO

En todo el mundo, las políticas gubernamentales que favorecen la explotación de recursos, en especial la tala y el aclareo excesivo de la vegetación para la construcción de ranchos y granjas, han sido fuertemente censuradas como un factor que acelera la destrucción de los bosques tropicales. Anualmente se pierden cientos de kilómetros cuadrados de bosque tropical.

Estas políticas, con frecuencia, se han basado, **equivocadamente**, en conceptos establecidos por ecólogos de gran prestigio como: Hutchinson (1976), Elton (1979), Margalef (1980) y Pimm (1986) entre otros, que han puesto de manifiesto que **"las comunidades más complejas tienden a poseer mayor estabilidad"**. Dado que los ecosistemas tropicales son más complejos y diversos que los templados, se esperaría que los primeros fueran más estables y, por lo tanto, menos vulnerables a la perturbación. Sin embargo, estudios más recientes como los de Sarukhán (1988), Gómez-Pompa (1980) y Vázquez-Yañez (1980), señalan que **la selva tropical húmeda es un recurso no renovable, que bajo uso extensivo e intensivo de la tierra, pierde su capacidad de regeneración**, pues "el acceso a la fuente de semillas de las especies de árboles primarios para regeneración se vuelve cada vez más difícil, a causa de la escasez de individuos de estas especies, y de sus características de dispersión".

En las áreas tropicales y subtropicales, que muestran una estación seca definida, el problema es distinto, y las plantas se comportan respecto a los problemas de regeneración, bajo explotación intensiva, de una manera muy similar a las de las áreas templadas. La razón, probable, es que estas plantas están adaptadas para grandes perturbaciones, ya que poseen características apropiadas para la supervivencia durante períodos de condiciones adversas, como el fuego y la sequía.

El trabajo de tesis realizado por Sarukhán (1968) ejemplifica, ampliamente, la dinámica de perturbación en la selva húmeda de México. Así, al derribar un árbol se crea una perturbación leve, de baja intensidad, baja frecuencia y área pequeña. Esta área puede ser cruzada, fácilmente, tanto por aves como por mamíferos que, fácilmente, pueden incorporar nuevas semillas por procesos de dispersión. En contraste, la conversión de una selva en pastizal extensivo, o en área agrícola, es una perturbación muy severa, de alta intensidad, de alta frecuencia, y de una área muy grande, que imposibilitan a las aves y pequeños mamíferos de zonas no perturbadas a dispersar semillas hacia la zona perturbada.

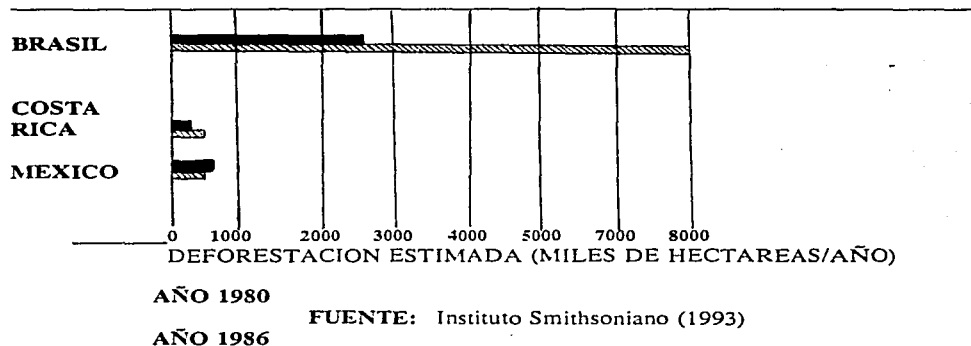
Las destrucción de las zonas tropicales del mundo es el problema ambiental más serio de las dos últimas décadas. En 1978, FAO estimó que algunos países, en los cuales se incluye México, utilizaron la técnica de la roza-tumba-quema para cultivar 300 millones de hectáreas. La agricultura itinerante en chamiceras, es responsable del 70% de la deforestación en África, del 50% en Asia y del 35% en América Latina.

Las imágenes de satélite y las fotografías aéreas obtenidas desde 1968 a la fecha,

muestran que más del 50% de los bosques de México han sido destruido en menos de treinta años. Desde luego, la vegetación de coníferas en las zonas templadas, así como el bosque tropical húmedo, han sido los más afectados. (Figura 15). Se estima, que una familia media de cinco personas, que habita en la zona tropical de México, puede destruir, roturar y plantar entre 0.7 y 1.5 ha de bosque/año.

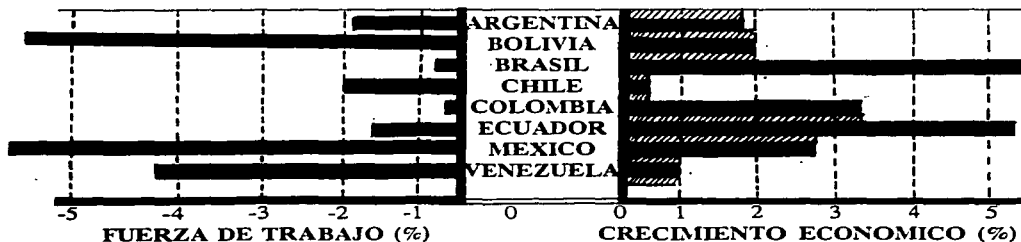
En la figura 15 se incluyen varias de las tasas de deforestación, en América Latina.

FIGURA 15 TASA DE DEFORESTACION



Es indudable, que los países industrializados, tanto europeos como estadounidenses han contribuido e incrementado los problemas de deforestación en los trópicos, especialmente en África y América Latina. Recientemente, Japón ha propiciado aún más este fenómeno. Así la deforestación no sólo es resultado de procesos culturales y educacionales deficientes, si no que, en buena parte, a menudo es resultado de políticas gubernamentales motivadas por presiones económicas. En la figura 16 se ilustra esta afirmación:

FIGURA 16 FUERZA DE TRABAJO VS CRECIMIENTO ECONOMICO (1965-1986)

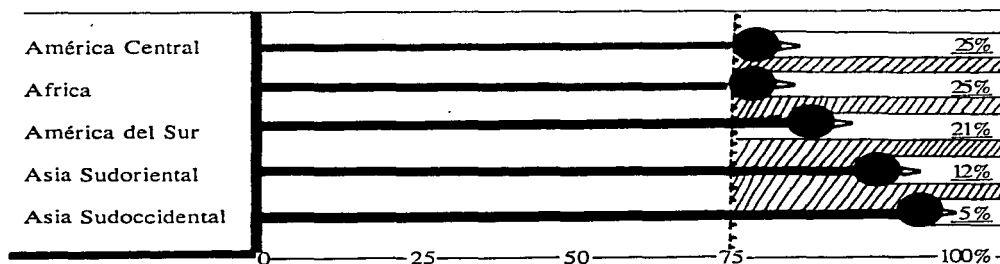


Como puede observarse, durante los años de 1965 a 1980 (Barra blanca) el crecimiento económico, generalmente sobrepasaba al crecimiento en la fuerza de trabajo, pero desde 1980 a 1986 (barras negras) la fuerza de trabajo creció más rápido que la mayoría de las economías, particularmente en los casos de Bolivia, Chile, México, Perú, Uruguay y Venezuela. Esto propició desempleo y redujo los ingresos al gobierno. Consecuentemente, la explotación y venta de materias primas se incrementó, del mismo modo que las concesiones para su obtención. Esto propició una nueva y rápida degradación de los recursos, especialmente de los que se obtienen en los trópicos. Actualmente la rápida expansión de áreas tropicales sujetas a la explotación de sus recursos maderables, así como los ineficientes procesos industriales para obtenerlos y procesarlos, hacen que se consuman, casi incesantemente, más de 35 millones de metros cúbicos de madera. (Instituto Smithsoniano, 1992).

La deforestación a estos niveles actuales, no sólo ha incrementado la erosión, desertificación y degradación biológica de los trópicos y subtropicos, sino que, además, representa un riesgo extremo sobre las condiciones climatológicas del mundo. Se estima que de seguir esta destrucción de los trópicos, el 7% de todas las especies vegetales que habitan en estas zonas, se extinguirá antes de que termine este siglo.

Por otra parte, la deforestación de los trópicos es la causa principal de la erosión de los suelos. El suelo es el recurso natural más valioso de un país, sin embargo, en la actualidad la erosión amenaza a unos 3200 millones de hectáreas de tierras en todo el mundo, poniendo en peligro el alimento de 700 millones de individuos. En la tabla 17 se muestran las consecuencias de la erosión incontrolada en la producción agrícola para el año 2000.

FIGURA 17 EROSION INCONTROLADA Y DISMINUCION DE LA PRODUCCION AGRICOLA ESTIMADA PARA EL AÑO 2000



Con base en: Instituto Smithsoniano, 1992.

Como puede observarse, América Central, África y América del sur, muestran para el año 2000, decrementos, estadísticamente significativos, en la producción de alimentos. Esto aparentemente, resulta una limitante muy severa para el desarrollo de estos países,

especialmente si se considera la tasa de natalidad que presentan. **Sin embargo el control de la natalidad, no es en primera instancia la alternativa más viable de solución, ya que directamente no es el agente causal de la erosión.**

La conservación de los recursos, a través de incrementar la educación en la población, así como a través de establecer marcos legales y metodologías particulares y adecuadas, sobre el uso y manejo de los recursos, principalmente, suelo-agua-vegetación, son a priori requisitos indispensables. **Es decir: no existe solución si no existe respeto por los recursos. Es importante considerar que la deforestación siempre produce erosión, y que para que se forme 1 cm de suelo en los trópicos, es necesario que pasen de 100 a 400 años, y que se requieren de 3000 a 12000 años, para que el suelo sea suficiente, en su espesor, para constituir tierra fértil.** En general, la pérdida de 1.5 cm de suelo por hectárea, significa unas 190 toneladas de suelo.

III.F.5. FAUNOEDAFOPERTURBACION

La acción de los organismos animales sobre los suelos tropicales y subtropicales depende de: (1) material parental; (2) edad del suelo; (3) clima y edafoclima; (4) topografía y (5) de otros organismos.

El término edafoperturbación fue acuñado por Hole (1961) para referirse a los procesos por los que un suelo es físicamente mezclado. Este término puede ser combinado con otros, para dar una idea de como los suelos son físicamente manipulados. **Cuando todos los materiales del suelo son mezclados, la edafoperturbación origina un suelo homogéneo o isotrópico, con tendencia a limitar la formación de horizontes.**

La faunoedafoperturbación, es una mezcla del suelo por la fauna, especialmente por las lombrices, hormigas, termitas y roedores. Los estudios y efectos de la fauna han sido reportados por muchos autores como Hole (1961), Bort (1968), Thorp (1949), Nielsen (1964), Carrol (1969), Miranda (1995), Calderon (1995) y Villalobos (1995) entre otros.

Con la finalidad de conocer algunos efectos, físicos de los organismos sobre el suelo del Trópico Mexicano, personalmente, se estudiaron dos perfiles de suelos, denominados 10D y 10F.

El perfil 10D, que se muestra a continuación, fue realizado sobre un hormiguero abandonado, que se localiza en la región de Tihosuco en el Estado de Quintana Roo, en tanto que el perfil 10F, se elaboró a 20 m del primero. Ambos perfiles pertenecen a la Unidad de Acrisoles Férricos (Tabla 11).

TABLA 11 FAUNOEDAFOPERTURBACION EN EL TROPICO

PERFIL	PROFUNDIDAD	ARENA	LIMO	ARCILLA	ESTRUCTURA	MATERIA ORGANICA
No.	(cm)	(%)	(%)	(%)	0.33 Kpa	(%)
10 D PERFIL PERTUR- BADO	+ 30	60	30	10	Granular fina	8
	+ 15	70	25	5	Granular	5
	+ 2	95	5	0	Masiva	1
	0-27	15	25	60	B. Angular	2.5
	27-55	10	20	70	B. Angular	0.7
55-69	25	20	55	B. Angular	0.5	
10 D PERFIL TIPICO	0-29	23	22	55	B. Subangular	1.5
	29-57	20	22	58	B. Angular	0.8
	57-65	20	20	22	B. Angular	0.6

RECOLECTO: J. E. GAMA (1988) Localización: 88°00'-20°00'.

Como puede observarse, los primeros 30 cm que sobreyacen al suelo (P10D) están constituidos por fragmentos del tamaño de arena depositados, anteriormente, por las hormigas. La "línea de piedras" que se presenta a la profundidad + 2 cm, es resultado de una selección en el movimiento de partículas finas que, aparentemente, se llevó a efecto dentro de los primeros 55 cm de profundidad.

Los contenidos más altos de arcilla que muestra el perfil 10D, sólo son aparentes si se considera que los porcentajes iniciales de limo y arena (dentro de los primeros 55 cm) fueron disminuidos por la extracción realizada. Por otra parte, también resulta evidente, el cambio textural abrupto que muestra el horizonte 0-27 cm del perfil 10D, con respecto a las capas + 2 cm, + 15 cm y + 30 cm.

La estructura y los contenidos de M. O. también son atípicos, y son resultado, únicamente, de la actividad animal. Este tipo de faunoedafoperturbación, limita la evolución de los horizontes A, y destruye o retarda la evolución de una parte del horizonte Bt. Así Hole (1967) encuentra en un perfil de Senegal, canales de hormigas que se extienden hasta más de 160 cm, cuya densidad promedio era de 70 canales por m³, en el horizonte argílico.

La Antroedafoperturbación, es sólo una variante de la faunoedafoperturbación y se discute a continuación.

III.F.6. HOMBRE: CREADOR Y DESTRUCTOR DE SUELOS

El hombre (*Homo sapiens*) es un organismo al que cada vez se le da mayor importancia como factor formador y/o destructor del suelo. La población humana ha crecido rápidamente en los últimos 10000 años. Las herramientas y productos químicos que emplea para manipular al suelo, son cada vez más numerosos y potentes. En ocasiones, su influencia sobre los suelos, el agua y la vegetación es catastrófica, a nivel mundial. Ejemplos de ello, son el desastre nuclear de Chernobyl en 1984, o el agujero en la capa de ozono, reportado en la Antártida. Es tan importante, actualmente, el efecto del hombre sobre el

medio, que muchos autores, utilizan el término "Sicosfera" para denominar aquella parte de la corteza terrestre afectada por el hombre, principalmente, a través de sus decisiones y actividades.

III.F.6.1. Efectos Físicos

El hombre puede crear nuevos suelos y destruir los existentes. Los equipos mecánicos para remover grandes cantidades de suelo, como: bulldozer, escavadoras y subsoleadoras, entre otros, son fáciles de operar y hacen más fácil y extensivas esas actividades. Nuevos suelos son formados por actividades mineras, de ingeniería civil o por crecimiento urbano. **En cada caso, los materiales parentales creados por el hombre son diferentes, sin embargo, son susceptibles de ser clasificados en cuatro grupos:**

III.F.6.1.1. Grupo 1. Materiales úrbicos. Se consideran como materiales minerales del suelo, y están constituidos por objetos manufacturados. Estos artefactos, generalmente, muestran una densidad aparente mayor de 1.6 Mg m^{-3} (g/cm^3) e incluyen: clavos, vidrios, cenizas, varillas, concreto, asfalto, ladrillos, limas, madera aserrada, papel, acero, ladrillo y piedra molida.

Los materiales son muy variables en su forma, tamaño, distribución y propiedades químicas. Estos materiales se presentan a una profundidad que oscila de 25 a 100 cm y, en ocasiones, como sucede en la región próxima a Acapulco, Gro. llegan a constituir expresiones geomorfológicas similares a domos. Los suelos que se forman se denominan como Antroposoles úrbicos y son muy frecuentes en todo el Trópico y Subtrópico Mexicano. Soil Taxonomy 1993, reconoce el proceso de "entisolización" para la formación de estos suelos.

III.F.6.1.2. Grupo 2. Materiales gárbicos. Estos materiales están constituidos únicamente por basura orgánica derivada de la actividad humana. USDA-SCS (1993) los define como materiales altamente orgánicos que son capaces de producir cantidades significativas de metano bajo condiciones anaeróbicas. Los materiales gárbicos están constituidos por los desperdicios de alimentos y papel, aunque se pueden incluir otros como: desperdicios orgánicos industriales.

Los suelos constituidos siempre se presentan en áreas de rellenos sanitarios y, generalmente, muestran un horizonte de acumulación de desperdicios orgánicos de más de 50 cm de espesor, al que le sobreyace una capa de suelo mineral. **Sus tres características más diagnósticas son:** (1) la capa de suelo que sepulta a los materiales gárbicos puede colapsarse; (2) los productos químicos que se forman por descomposición, son altamente contaminantes para los mantos freáticos y (3) el gas metano puede generarse.

Los materiales gárbicos constituyen a los suelos denominados Antroposoles Gárbicos.

III.F.6.1.3. Grupo 3. Materiales espólicos. Son materiales, predominantemente, minerales que han sido removidos por equipo mecánico empleado en: la minería a cielo abierto, en la construcción de autopistas y en otras actividades de ingeniería civil. Los materiales espólicos pueden ser identificados por una combinación de características

geomorfológicas y morfológicas del perfil. Generalmente, las áreas próximas a estos suelos muestran calveros producidos por la maquinaria al remover el suelo y la vegetación. Estos calveros, siempre están próximos a áreas de relleno.

Los materiales espólicos constituyen a la Unidad de suelos Antroposol espólico.

III.F.6.1.4 Grupo 4. Materiales de dragado (scalpic). Se definen como materiales generalmente, de origen mineral que han sido extraídos a través del dragado de canales, zonas de inundación y esteros. Generalmente, se presentan como una discontinuidad litológica que sepulta superficies de suelos inundables.

Estos suelos a menudo, pueden ser identificados a través de registros históricos o de ingeniería. La densidad aparente de estos materiales es típicamente $< 1.6 \text{ Mg m}^{-3}$, y comúnmente $< 1.4 \text{ Mg m}^{-3}$. Grandes áreas de suelos formados a partir de estos materiales se presentan en las marismas y esteros de la planicie aluvial de Nayarit. (Figura 11).

Estos 4 grupos de materiales, constituyen suelos que taxonómicamente se incluyen dentro de los Udorthents, formando unidades de: Lithic Scalpic Udorthents; Scalpic Udorthents, Spolic Garbic Udorthents y Urbic Udorthents, aunque cada vez se acepta más la posibilidad de que estos grupos de materiales sean incluidos en el Orden Oxisol, a nivel de Subunidades.

Desde el punto de vista genético, la destrucción y formación de suelos por el hombre, a través de manipulación física de los materiales del suelo, se considera como un evento catastrófico que origina un nuevo tiempo cero en la edafogénesis.

III.F.6.2. Efectos Agro culturales.

Existen, además, otras edafoperturbaciones ocasionadas por el hombre, las cuales tienden a crear nuevos suelos antrópicos (Entisoles). Entre las principales se encuentran:

III.F.6.2.1. Labranza del suelo: Comúnmente acelera la erosión, propiciando grandes movimientos de detritos. Con frecuencia, la erosión de los horizontes mólicos de los Feozem, propicia la presencia de Alfisoles y de Inceptisoles *in situ*, en tanto que el material removido por la erosión, al depositarse origina la formación de Fluvisoles o de Mollisoles cumúlicos. Este fenómeno es muy común en la llanura costera del Pacífico.

III.F.6.2.2 Prácticas de riego. Las prácticas de irrigación, alteran el régimen de humedad del suelo, así como la hidrología. Un caso, frecuente, es el de las zonas aluviales que muestran mantos freáticos, los cuales al ser explotados, y abatidos, por la extracción de agua para riego, propician movimientos ascendentes de sales, y en ocasiones, la formación de suelos Solonchak a partir de Fluvisoles.

III.F.6.2.3 Prácticas de inundación. El cultivo de arroz, es una de las prácticas agrícolas que más modifica las características físicas de un suelo (Pady soil), FAO (1988) las considera como una fase, denominada ácuica.

F.6.3. Efectos Químicos: Encalado, Fertilización y Riego

La mayoría de los efectos químicos ocasionados por el hombre sobre el suelo, no son tan evidentes como los efectos físicos, pero ellos siempre están presentes. Muchos son deliberados, como el encalado y la fertilización con el fin de incrementar la producción agrícola.

Normalmente, las enmiendas que el hombre adiciona al suelo, tienen su efecto principal en el epipedón, pero a través de los años; el pH y la saturación de bases (S.B.) de todo el suelo y el subsuelo pueden cambiar. Esto, es la base que toma en cuenta Soil Taxonomy (1990) para diagnosticar que las diferencias taxonómicas entre un Ultisol y un Alfisol, dependen del contenido y saturación de bases que presentan a 125 cm y 180 cm de profundidad.

En varios casos, algunos Ultisoles, de textura gruesa, se han transformado a Alfisoles por efecto del encalado continuo del suelo (Alfisol Cultural). Un ejemplo de estos cambios se muestra en la tabla 12.

TABLA 12 EFECTOS DEL ENCALADO Y FERTILIZACION SOBRE UN FLUVISOL DISTRICO

Profundidad (cm)	Horizonte	Año 1970		Año 1979		Año 1985		Año 1993	
		pH	S. B.	pH	S. B.	pH	S. B.	pH	S. B.
0-20	Ap	5.3	30%	5.7	42%	6.7	65%	7.7	75%
20-47	C1	5.5	35%	5.9	47%	6.8	69%	7.8	80%
47-75	C2	5.5	30%	5.8	45%	6.3	59%	7.4	70%
75-130	C3	5.6	32%	5.7	40%	6.2	57%	7.0	62%
130-180	C4	5.5	30%	5.5	33%	5.6	42%	6.3	53%

FUENTE: DATOS DE INEGI Y DEPTO. DE EDAFOLOGÍA, UNAM.

OBSERVACIONES: El ejemplo muestra los cambios químicos ocurridos por el encalado y fertilización, en un Fluvisol, inicialmente dístico (1970-1979). Este suelo se localiza a 1 km al norte de Santiago Ixt. Nayarit, y se cultiva con tabaco (ciclo 0-I) y frijol (Ciclo P-V.)

Como puede observarse, el efecto de aplicación de 25 t/ha de caliza dolomítica a la superficie del suelo, en los años de 1970, 1979 y 1985, ha modificado significativamente, el pH en un lapso de 23 años (1970-1993). Estas modificaciones son especialmente obvias en los primeros 130 cm de profundidad.

Por otra parte, la aplicación, excesiva, de fertilizantes, el drenaje deficiente y el riego con aguas de baja calidad, ricas en bases y sodio, han incrementado, de modo muy evidente, la saturación de bases ($\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} + \text{Na}^{++} + \text{K}$) confiriéndole, además, una mayor conductividad eléctrica (0.37 mmhos/cm en 1970 - 2.15 mmhos/cm en 1993) y un mayor contenido de sodio intercambiable ($\text{PSI} = 6.75$).

Desde el punto de vista taxonómico, esta degradación "cultural" del suelo, implica cambios sustanciales que obligan a designar, en la actualidad, a este suelo como un Fluvisol eútrico, en fase sódica.

III.F.6.4. Materia Orgánica y Prácticas Agrícolas

Las prácticas agrícolas pueden incrementar o disminuir los niveles de materia orgánica humificada. En algunos casos, la aplicación continua de grandes cantidades de materia orgánica sobre horizontes Ocrícos, permite la formación de horizontes mólicos. Este fenómeno sólo ha sido reportado para los suelos de las zonas templadas de Europa.

En el Trópico y Subtrópico Mexicano, lo más común es el empobrecimiento, en ocasiones extremo, de la materia orgánica, del nitrógeno y del fósforo, como consecuencia directa de las actividades agrícolas. En la tabla 13 se comparan los contenidos de materia orgánica y nitrógeno y que fueron determinados para dos suelos agrícolas, en los años de 1970 y 1993. Estos suelos, se localizan en el Estado de Nayarit, en el Distrito de Riego del Río Santiago, a 3 km de la población del mismo nombre.

TABLA 13 EFECTO DEL USO AGRICOLA SOBRE LA MATERIA ORGANICA, NITROGENO Y FOSFORO

PERFIL	PROFUNDIDAD	COLOR (1500 kP)	M.O. (%)	N.T. (%)	AÑO
3.A.A. SANTIAGO	0-25 cm	10YR3/2	2.15	0.15	1970
		10YR6/3	0.95	0.05	1993
	25-52 cm	7.5YR4/6	1.12	0.09	1970
		7.5YR4/6	0.50	0.03	1993
5.A.B. CRUZ	0-28	10YR3/3	1.75	0.07	1970
		10YR6/2	0.60	0.03	1993
	28-55	7.5YR3/3	1.20	0.05	1970
		7.5YR4/6	0.40	0.01	1993

Ambos suelos, representados por los perfiles 3.A.A. Santiago y 5.A.B. Cruz, eran, en 1970 utilizados para cultivos de frijol, maíz y hortalizas, únicamente durante el temporal. En 1977, se les proporcionó infraestructura para riego, y como resultado de ello; se introdujo el cultivo de tabaco (Ciclo Otoño-Invierno) además de los cultivos tradicionales de temporal (Ciclo Primavera-Verano).

No obstante que los niveles de fertilización química se incrementaron, considerablemente, la adición de abonos orgánicos nunca se llevó a efecto. Consecuentemente, el incremento en su explotación agrícola, la falta de rotación de cultivos, y la ausencia de adiciones de material orgánico, abatieron sus reservas naturales de materia orgánica, nitrógeno y fósforo, lo que también generó la degradación de los epipedones (mólico-ócrico) y el cambio de color en el *solum*.

III.F.6.5. Sales y Metales Pesados

Desafortunadamente, no existen suficientes datos confiables para estimar esta

problemática en el Trópico y Subtrópico Mexicano. Sin embargo, es evidente que el crecimiento urbano así como el de las comunicaciones terrestres en estas zonas, son dos factores que afectan severamente a los suelos y a los mantos freáticos. Existen datos, basados en criterios visuales, que muestran como las plantas y los suelos son afectados a ambos lados de los caminos, carreteras y drenajes. Como puede observarse en la figura 11, la imagen muestra, claramente, un patrón de distribución de las sales (blanco) a lo largo de ambas márgenes de un dren. La zona afectada en cada margen excede los 50 m de ancho.

Es seguro, que lo mismo sucede con los metales pesados provenientes de los gases derivados de la combustión de motores de gasolina. En la tabla 14 se muestran algunos datos, reportados por Fanning (1989) para suelos de Guatemala.

TABLA 14 NIVEL DE CONTAMINANTES POR METALES PESADOS

METAL	SUELO NO CONTAMINADO (ppm)	SUELO CONTAMINADO (ppm)	FUENTE
Zn	50	135.000	Esmalte
Cu	20	500	Caldo Bordelés
Cd	0.5	43	Lodos tratados
Pb	10	125-700	Automóviles
Mo	2	40	Esmalte

Obviamente, se sabe que existen grandes áreas de México muy contaminadas en sus suelos, aguas y aire, basta citar: Poza Rica y Coatzacoalcos. Sin embargo, la falta de disponibilidad en la información, si es que existe, impide formular criterios más definidos sobre esta problemática.

Por otra parte, las estimaciones y valores críticos para diagnosticar contaminación por un determinado elemento, no existen para el trópico, ni para el subtrópico. Los valores que se presentan, normalmente, son para áreas de zonas templadas.

En el caso de Pozo Ixtoc, nunca se ha sabido el nivel real de afectación de suelos y de las aguas, como tampoco se conoce la dinámica de los metales pesados que se adicionaron a edafocosistema desde 1979. Este es sólo un ejemplo, del avance tan limitado que se tiene sobre este tópic.

III.F.6.6. Efectos Biológicos

Es indudable que la destrucción acelerada de los bosques tropicales y subtropicales de México, es un ejemplo de la actividad adversa del hombre sobre la naturaleza, especialmente sobre su **status biológico**. Esta destrucción está relacionada con los grandes contenidos de carbón en la atmósfera, que dan por resultado un incremento en los contenidos de dióxido de carbono.

Quizá; la edafotecnología necesita la misma atención que la que, actualmente, se le da a la biotecnología, ya que la edafotecnología es parte de ella. Para una adecuada edafotecnología en el País, es necesario considerar, a plazo inmediato, la génesis de los suelos como un factor de conocimiento totalmente necesario para planificar, y al hombre, como un factor formador o destructor de los suelos.

CONCLUSIONES

F. ORGANISMOS Y BIOMASA

- F.1.** Gran parte de la habilidad de un suelo para sustentar la vida vegetal, depende de la biomasa que contenga. El contenido de biomasa depende de: (1) tipo de material parental; (2) edad del suelo; (3) clima y edafoclima; (4) tipo morfo genético del suelo; (5) uso del suelo y (6) grado de antropización.
- F.2.** La mayor deficiencia de información sobre los suelos de México, en particular de las zonas Tropicales y Subtropicales del Territorio, se concentra sobre la dinámica de la microflora y microfauna del suelo.
- F.3.** Existe en el área estudiada, una gran cantidad de organismos microscópicos que contribuyen a la alteración del material parental, a la formación de un suelo, a la generación de su status nutricional. Pero en la mayoría de los casos sólo se dispone de una información reducida, y en ocasiones poco confiable, para dar una diagnosis sobre su dinámica e importancia como factores formadores de suelos.
- F.4.** Los organismos presentes en los suelos estudiados, pueden clasificarse en dos grupos: (1) los que proveen los residuos orgánicos y (2) los que generan la destrucción de estos residuos. Las raíces de las plantas son los principales representantes del primer grupo, mientras que los miriápodos, colémbolos, lombrices, bacterias, mohos y actinomicetos son los principales exponentes del segundo tipo de actividad.
- F.5.** Probablemente, la característica más importante que define a la vegetación como una variable, independiente, formadora de suelos; es su capacidad para suministrar residuos orgánicos, que al descomponerse son incorporados al material mineral del suelo. Las características más importantes del ciclo de residuos vegetales son: (1) cantidad agregada a cada unidad de suelo, en un cierto período; (2) composición bioquímica de los residuos; (3) procesos de humificación y/o descomposición; y (4) liberación de CO₂ y elementos químicos.
- F.6.** El alto grado de dificultad para ordenar y correlacionar los tipos de vegetación presentes en el Trópico y Subtrópico Mexicano se debe a las grandes discrepancias relativas a la circunscripción particular de muchos tipos de vegetación, así como a la diferente nomenclatura empleada para definirlos. De hecho, el estado de la clasificación de la vegetación tropical y subtropical es anárquica.
- F.7.** Esta anarquía puede atribuirse a cuatro causas fundamentales: (1) falta de acuerdo y/o posturas individualistas entre los investigadores; (2) dificultad intrínseca que ofrece la vegetación para dejarse encuadrar en unidades; (3)

grado de complejidad y superficie que ocupan las zonas tropicales y subtropicales y (4) dinámica de la alteración de la vegetación de México.

- F.8.** **La mejor forma de encuadrar la vegetación para su estudio, consistió en dividirla con base a las cuatro regiones climáticas propuestas en esta tesis.** Así se obtienen los siguientes parámetros: (1) Bosques Pluviales, bajo condiciones de clima Af, y el más húmedo de Am; (2) Bosques Pluviales Semidecíduos, tipo climático Am; (3) Bosques Semidecíduos: tipo climático Aw y (4) Bosques Decíduos y Semidecíduos, que muestran un clima Aw, con un período de sequía mayor de 5 meses.
- F.9.** **Existe un contraste muy fuerte entre lo que la literatura botánica señala para las zonas Tropicales de México y lo que se observa en las imágenes de satélite y/o fotografías aéreas recientes.** Consecuentemente, es urgente actualizar la información relativa a la vegetación de estas zonas, particularmente la relativa a los Bosques Pluviales, Bosques Pluviales Semidecíduos, Palmares y Manglares.
- F.10.** **Con excepción de los Bosques Pluviales Semidecíduos y Decíduos que forman mosaicos, muy complejos, con otros tipos de vegetación, en estos trópicos, resulta absolutamente factible actualizar la información sobre los demás estratos vegetales presentes, así como sobre el uso del suelo, a través del empleo de Sistemas de Información Geográfica.**
- F.11.** **La alteración de la vegetación primaria es casi total para toda el área de estudio.** La deforestación, generalmente, se lleva a cabo mediante la tala y los incendios provocados, y secundariamente a través del empleo de maquinaria pesada, para derribar árboles. La quema de vegetación, según se observó en imágenes de diferentes años, es la costumbre más común en toda la Península de Yucatán, particularmente en el Estado de Quintana Roo. En más del 70% de los casos de incendios provocados, estos tenían fines de uso prático.
- F.12.** **Aún existen varios sofismas con relación a los climax de vegetación.** El más común es el relacionado con el climax vegetación-suelo. **Este tipo de climax no existe en el Trópico y Subtrópico Mexicano, y particularmente resulta falso cuando se pretende relacionar la distribución espacial de las unidades de suelos, con las especies vegetales.**
- F.13.** **Únicamente, es posible determinar en estas áreas los climax vegetación-clima, y vegetación-medio extremo.** Ocasionalmente, es posible establecer algunas correlaciones entre la vegetación y algunas pocas propiedades del suelo, particularmente físicas. **Sin embargo, estas correlaciones carecen de una justificación lógica, ya que la vegetación y el suelo, sólo son dos partes del ecosistema.**
- F.14.** **Los factores ecológicos que casi definen la distribución espacial de las formaciones vegetales, en el área de estudio son, bajo condiciones**

normales, la temperatura, en especial la mínima extrema, y el período de humedad estacional en el suelo. Secundariamente, la vegetación obedece para su distribución, al monto total de lluvia.

- F.15.** Por otra parte, la vegetación, a su vez, regula y afecta el edafoclima. Así al disminuir el porcentaje de cobertura vegetal y, consecuentemente, las adiciones de materia orgánica, el régimen de humedad edáfica decrece, y el régimen de temperatura se incrementa debido, en parte, a cambios en el color del suelo, en la geometría estructural de los pedio, y en la mayor consolidación de los elementos texturales.
- F.16.** La sucesión de vegetación secundaria, es un fenómeno común en los trópicos, como una respuesta a procesos severos de antropización. Sin embargo; el orden y dominancia de las especies que constituyen a la vegetación secundaria, siempre están condicionados por eventos aleatorios, y no por un patrón sucesional de vegetación. Generalmente, la vegetación secundaria, en estos casos siempre contiene especies indicadoras de las asociaciones climax de las que deriva.
- F.17.** En todo el mundo, las políticas gubernamentales que favorecen la explotación de recursos a través de la tala y el aclareo excesivo, siempre serán censuradas como un factor, negativo, que acelera la destrucción de los edafocistemas tropicales y subtropicales.
- F.18.** El concepto ecológico de que las "comunidades más complejas tienden a poseer mayor estabilidad" es completamente erróneo para su aplicación al Trópico y Subtrópico Mexicano. Así los bosques y suelos de estas zonas, son recursos virtualmente no renovables, que bajo uso extensivo e intensivo, llegan a perder su capacidad de regeneración. Las imágenes de satélite muestran que, aproximadamente, la mitad de los bosques tropicales y subtropicales, han sido destruidos y/o degradados en las últimas tres décadas.
- F.19.** Normalmente, la acción de los organismos sobre los suelos tropicales y subtropicales está condicionada por los caracteres y procesos morfopedológicos. En el caso del hombre; su acción (entisolización) rebasa estas condiciones, y es capaz, de modo autónomo, de crear o destruir suelos. Actualmente, ya es posible identificar, al menos, cuatro unidades de suelos, netamente antrópicos, en las zonas tropicales, de México.

III.G. FACTOR TIEMPO

Muchos investigadores como Buol (1990), Hole (1990) y McCracken (1990), consideran al tiempo igual que al espacio. Esto es, como un continuo universal y, sin embargo, reconocen un "Tiempo cero" (T cero) para un suelo dado. El valor cero es el punto en el tiempo en que se completa un suceso catastrófico desde el punto de vista edafológico, lo cual inicia un nuevo ciclo de desarrollo de suelos. México, es un país rico en eventos catastróficos. Los eventos más comunes que han ocurrido en las zonas tropicales y subtropicales de México, y que cumplen con la definición de catastróficos son: (a) glaciaciones; (b) depósitos de lava; (c) depósitos de tefra; (d) estabilización de playas y dunas; (e) exposición de sedimentos previamente sumergidos; (f) destrucción y/o creación de geoformas por el hombre; (g) depositación de materiales parentales por el hombre y (h) estabilización de sedimentos aluviales y deltaicos.

Muchos de los pre-suelos formados al "Tiempo cero", son Entisoles por definición de Soil Taxonomy (1988). La relación entre suelo y tiempo se puede analizar con relación a los siguientes aspectos:

- A. **Etapa Relativa de Desarrollo del Suelo.** De acuerdo a su morfología y grado de desarrollo de los horizontes, un perfil de suelo puede ser clasificado como: Joven, Maduro o Senil.
- B. **Fechado Absoluto de los Horizontes y del Perfil del Suelo.** El fechado de los suelos se ha hecho mediante conteo de los anillos de los troncos de árboles, y por el método del C_{14} .
- C. **Índice de Formación de Suelos.** Trata de establecer en cuanto tiempo se puede formar, un cm de suelo, un horizonte o un perfil. La diferencia en el "Índice de Formación de Suelos" sobre roca sólida y en depósitos no consolidados es evidente, pero aún más si el índice se pretende medir bajo condiciones de trópico húmedo caluroso vs zona templada fría. En la Tabla 15, se muestran algunas estimaciones al respecto.
- D. **Experimentación Artificial.** Estos procesos son relativamente rápidos, pero la mayoría no dicen nada respecto de cuando y como pueden producirse en los suelos, en condiciones naturales.

TABLA 15 INDICE DE FORMACION DE SUELOS

PERFIL	CLIMA	EDAFOCLIMA	EDAD	PROFUNDIDAD	MEDIA	BIBLIOGRAFIA
1. Suelo azonal (cenizas)	Af	Udico años	45	35 cm	1.3 año/cm	Mohr, (1954)
2. Endurecimiento de arcilla tropical (Epipedón)	Af	Perúdic años	35	15 cm	2.3 año/cm	Aubert (1949)
3. Oxisol	Am	Ustico-Udico	75000 años	100 cm	750 año/cm	Aubert (1960)

CON BASE EN: Mohr (1954); Aubert (1949) y Aubert (1960).

Hasta ahora, no existen investigaciones en México que permitan establecer, con seguridad, la edad absoluta de los suelos estudiados, ni su índice de formación. Sin embargo; si es posible establecer su etapa de desarrollo relativo del perfil (DRP) y su grado de alteración, empleando para ello algunos índices como el de Bilzi y Cilkosz o algunas relaciones molares de elementos como las propuestas por Reiche y Parker, así como utilizando el método de Krasckof para un balance geoquímico.

Algunos análisis realizados por Quiñonez (1978) en suelos tropicales de la Península de Yucatán, mediante el método de C¹⁴, dieron los siguientes resultados:

TABLA 16 FECHADO ABSOLUTO DEL PERFIL DEL SUELO

UNIDAD DE SUELO	EDAFO-CLIMA	PROFUNDIDAD	ROCA BASAL	EDAD DEL SUELO
1. Fluvisol	Udico	< 180 cm	Depósito Cuaternario de origen marino	2700 años ± 200
2. Fluvisol	Ustico	120 cm	Depósito carbonatado-evaporítico (Cuaternario)	3800 años ± 300
3. Rendzina	Ustico	47 cm	Coral	1500 años ± 200
4. Vertisol	Ustico	90 cm	Depósito sedimentario continental (Cenozoico)	8500 años ± 300

Como puede observarse, la edad absoluta de la roca basal, no resulta congruente con la edad absoluta del suelo, esto se debe a que como se había mencionado, anteriormente, la sucesión de eventos catastróficos, durante la historia geológica del país, es muy frecuente e intensa. Estos eventos "constantemente" están formando y destruyendo a los suelos, por lo que estos, en su mayoría, presentan edades absolutas muy recientes, especialmente cuando se trata, como en este caso, de suelos aluviales y calcimagnésicos poco desarrollados. Sin embargo, es posible que en algunas provincias geológicas de México, existan suelos relictos de paleoambientes cuya edad rebase los 25000 años. Este es el caso, probable, de algunas unidades de Nitosoles y Acrisoles que muestran horizontes Kándicos, o el de algunos suelos ferrálicos que muestran gravas de plintita.

III.G.1. CRONOLOGIA, LITOLOGIA Y SUELOS DEL AREA DE ESTUDIO

Algunos autores como Papadakis (1980) consideran que "la edad de un suelo es la misma que la edad de la roca o material que lo formó". Este axioma, indudablemente, es muy discutible, sin embargo con el fin de enriquecer, en lo posible, el conocimiento sobre el factor tiempo en el Trópico y Subtrópico Mexicano, se reseña a continuación los principales Eratemas representados en estas zonas y su relación con la litología y suelos:

III.G.2. ROCAS SEDIMENTARIAS

Sin lugar a dudas, la juventud geológica del Territorio Nacional y su constitución geológica asociada a la evolución de las dos márgenes del Continente Americano, han dado preponderancia a la generación y conservación de las rocas sedimentarias, constituidas tanto en paleoambientes, continental, como mixto y marino.

III.G.2.1. Proterozoico Sedimentario. (1800-570 Ma).

No se encuentra representado en la zona de estudio.

III.G.2.2. Paleozoico Sedimentario. (570-250 Ma).

La distribución y naturaleza de las rocas sedimentarias del Paleozoico en México es escasa, variada y dispersa. Los afloramientos del Paleozoico Inferior sólo se presentan, dentro del área de estudio, en los Estados de Tamaulipas y Oaxaca, mientras que los del Paleozoico Superior están presentes en Veracruz, Puebla y Chiapas.

Desde el punto de vista edafológico, estos materiales han constituido Paleosuelos o se presentan como material parental de muchos Inceptisoles. Sin embargo, en algunas regiones como la de Chicomuselo, Estado de Chiapas, donde existe una área extensa de rocas marinas del Paleozoico Superior, DETENAL (1978) reporta la formación de Ultisoles (Acrisoles y Nitosoles). Existen, además, otras regiones dentro de área de estudio, que muestran rocas del Paleozoico como son: Metzontla, (Puebla), Nochistlán, (Oaxaca) y Huayacocotla, (Veracruz). Los suelos formados a partir de estas rocas son poligenéticos (eventos catastróficos) o han sido rejuvenecidos por aportes secundarios, principalmente aluviones y tefra, de edad Cenozoica (Solleiro, *et al.*, 1994).

III.G.2.3 Mesozoico Sedimentario (250-144 Ma).

Del grupo de rocas sedimentarias, las depositadas durante el Mesozoico, particularmente las de origen marino, son las que afloran en mayor extensión en el Territorio Mexicano. La Formación Todos los Santos, es una de las más comunes en el área de estudio, principalmente en la Provincia del Cinturón Chiapaneco. Existen muy escasos relictos de suelos (paleosuelos) formados a partir de estas rocas, aunque aún muestran que se formaron en un ambiente de alto intemperismo (propiedades óxicas).

III.G.2.4. Triásico Sedimentario.

No se detectó en el área de estudio.

III.G.2.5 Jurásico Sedimentario (208-144 Ma).

Existen algunos afloramientos próximos a la Presa Miguel Alemán, Sierra de Zongolica y Sierra Madre Oriental, en sus límites con la Planicie Costera. Se estima, como probabilidad, que la alteración de estas rocas originó asociaciones de suelos calcimagnésicos, argílicos y grupos ferrálicos. Sin embargo, los diferentes eventos endógenos y exógenos que se han presentado durante la historia geológica de estas áreas, sólo permiten observar perfiles decapitados, poligenéticos o rejuvenecidos, que impiden su identificación taxonómica adecuada, y el establecer relaciones genéticas con las rocas basales.

III.G.2.6 Cretácico Sedimentario (144-65 Ma).

Sin duda alguna, las unidades marinas de México más abundantes pertenecen al

Sistema Cretácico. Dentro del área de estudio, su máxima expresión se alcanzó en las Provincias Geológicas del Miogeoclinal del Golfo de México y del Cinturón Chiapaneco de Pliegues y Fallas.

En términos generales, el paquete de rocas cretácicas marinas tiene tres divisiones litológicas: (a) una inferior de carácter clástico; (b) una intermedia, carbonatada y (c) una superior también de origen clástico. Las secuencias marinas del Cretácico adquieren una gran variedad de nombres litoestratigráficos, particularmente en su división clástica inferior que, litológicamente, incluye conglomerados, areniscas, lutitas, calizas y evaporitas intercaladas.

Actualmente, es posible reconocer algunos suelos calcimagnésicos formados directamente de rocas cretácicas, así como algunos grupos de suelos fersialíticos que se desarrollaron en paleoclimas húmedos cálidos. La mayoría de estos suelos, muestra deformaciones en sus agregados estructurales, así como diferentes grados de litificación y diagénesis que, probablemente, ocurrieron en el lapso en que estos suelos estuvieron sepultados.

La cantidad de CaCO_3 activo, liberado por alteración del material calizo, varía mucho en función de la naturaleza, dureza y grado de pureza de cada roca. Esto propició la formación de una gama de suelos de tipo de las Rendzinas y suelos pardos. En el capítulo sobre suelos calcimórficos se discute, con mayor detalle, este aspecto.

III.G.2.7. Cenozoico Sedimentario (65-0 Ma).

Los fenómenos orogénicos iniciados en el Cretácico Tardío y terminados en el Eoceno Medio, dieron a México, en términos generales, su configuración actual aumentando en 100% más la extensión emergida de su Territorio. Por ello, durante todo el Cenozoico, las formaciones sedimentarias de origen continental abundan tanto como los depósitos marinos. En México, se distinguen 14 unidades sedimentarias para este Eratema: seis netamente marinas, cuatro mixtas y cuatro continentales.

III.G.2.7.1. Cenozoico sedimentario marino y mixto. Los depósitos cuaternarios de origen marino, son muy escasos en México, y comprenden aquellos depósitos costeros recientemente emergidos del mar. Es el caso de las terrazas marinas de la parte septentrional de la Península de Yucatán, generadas por cambios eustáticos del nivel del mar.

La parte más importante del Cenozoico marino de México es de edad Terciario, y se distribuye en: (1) Plataforma de Yucatán; (2) Miogeoclinal del Golfo de México y (3) Cinturón Chiapaneco de Pliegues y Fallas.

Estos depósitos marinos y mixtos, fueron acumulados, por lo general, en sistemas deltaicos y ambientes costeros de oscilación del mar, eustática. En la Plataforma de Yucatán, en cambio, la secuencia marina del Cenozoico es de tipo carbonatado-evaporítico, con contenido escaso de material terrígeno.

Los depósitos han servido de material parental para la formación de Suelos Aluviales, Inceptisoles, Vertisoles y Suelos hidromórficos, principalmente. En el caso de

la Península de Yucatán han dado origen a Fluvisoles, Solonchak, Vertisoles y Rendzinas. La fase sódica, es común en los suelos formados a partir de depósitos marinos.

III.G.2.7.2. Cenozoico sedimentario continental. En el área de estudio, es casi imposible encontrar formaciones continentales del Cenozoico que no contengan rocas volcánicas, ya sea escasa o abundantemente. Los depósitos sedimentarios continentales, están representados por el aluvión típico de los complejos deltaicos de los grandes ríos mexicanos, tanto del Océano Pacífico como del Golfo de México, así como por una variedad de Suelos Aluviales, Inceptisoles, Vertisoles, Gleysoles y Solonchak.

III.G.3. ROCAS VOLCANICAS Y VOLCANOSEDIMENTARIAS

Estos grupos de rocas son, tal vez, los más importantes del país por su extensión y riqueza mineral. Se conocen 21 unidades estratigráficas distribuidas en: cinco del Cuaternario, nueve del Terciario, seis del Mesozoico y una del Paleozoico. De ellas, nueve son volcanosedimentarias (tres continentales y seis marinas) y las 12 restantes son de origen volcánico y ambiente continental.

La totalidad de las unidades mencionadas debe su origen, desde el Paleozoico hasta el presente, a la convergencia de las placas oceánicas del pacífico contra la margen occidental del continente americano.

Recientemente, las investigaciones realizadas por Morán (1994) han aportado información relevante sobre la geocronología, de algunas rocas ígneas, principalmente plutónicas que se localizan próximas a la costa del Pacífico.

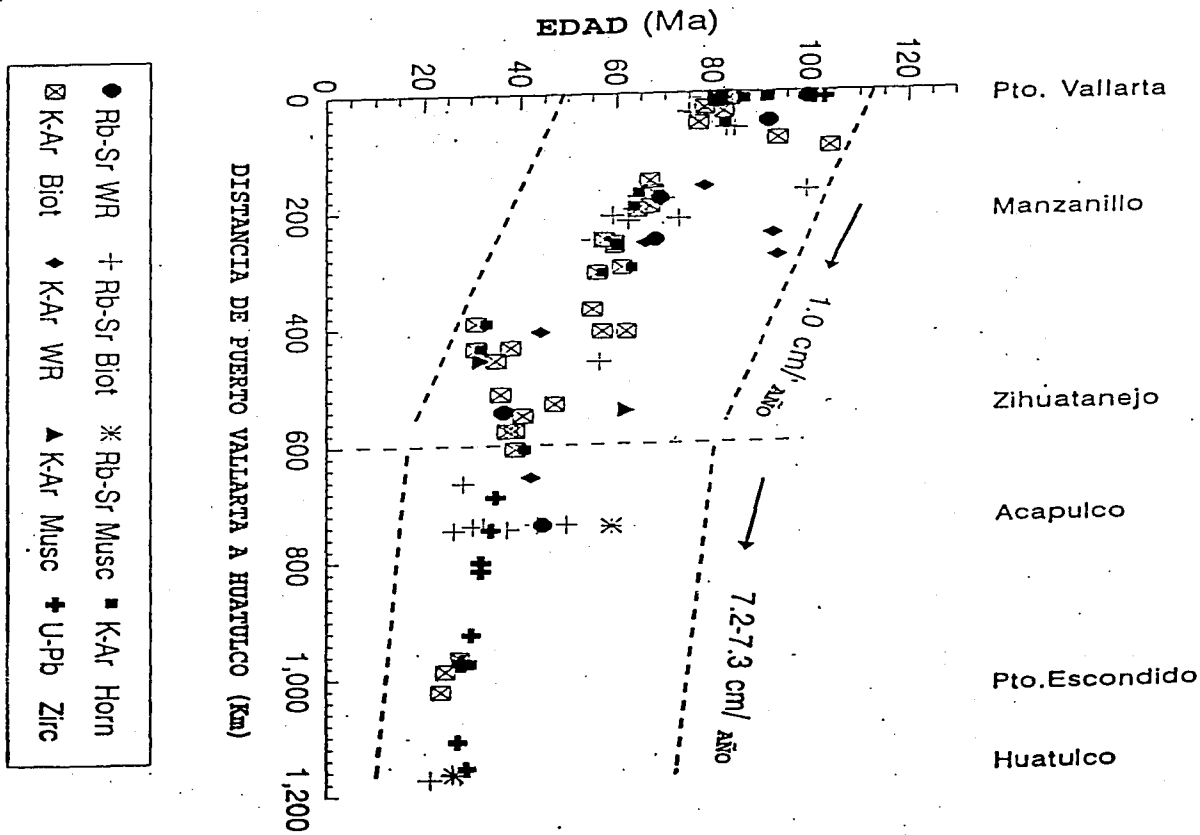
Los resultados geocronológicos obtenidos por Morán, *et al.*, (1994) se presentan en la figura 18, tabla 15. Los análisis en su mayoría fueron realizados por los autores, usando principalmente Rb-Sr y K-Ar para fechar las rocas. Varias edades fechadas por Rb-Sr, fueron confirmadas utilizando U-Pb circón.

Los 1200 km de longitud estudiados en la costa del Pacífico, muestran la presencia de dos eventos magmáticos. En los primeros 600 km comprendidos entre Puerto Vallarta y Zihuatanejo, en dirección NW-SE, las edades decrecen de 100 Ma a cerca de 40 Ma, indicando una relación de migración aparente de 1.0 cm/año. En contraste, en los subsiguientes 600 km que existen como distancia entre Zihuatanejo y Huatulco, existen evidencias magmáticas con edades de 36 Ma a 21 Ma. En la región de Acapulco existen rocas, según los análisis de Rb-Sr y U-Pb con edades de 60-26 Ma. (Figura 18, Tabla 17).

III.G.3.1. FANEROZOICO VOLCANOSEDIMENTARIO MARINO

Existen tres unidades representativas en el área de estudio. La primera unidad abarca al Jurásico Superior y comprende rocas, deformadas, localmente metamorfoseadas, expuestas, principalmente en los estados de Nayarit, Colima, Michoacán y Guerrero, donde se les ha asignado el nombre genérico de Complejo Tierra Caliente.

FIGURA 18 DETERMINACION CRONOLOGICA DE ROCAS



FUENTE: MORAN ZENTENO, (1994)

1
TABLA 17 MATERIAL LITOLÓGICO FECHADO POR Rb-Sr; K-Ar Y U-Pb

LOCALIDAD	EJEMPLO	ROCA	DISTANCIA A PTO.VALL.(Km)	EDAD in Ma	ERROR Ma+	MATERIAL FECHAD	METODO	MUESTRAS
P.VALLARTA	PV-11	Granodiorita	8	82.6	2	BIOTITA-WR	Rb-Sr	1
P.VALLARTA	1162	Granodiorita	9	90.9	2	HORNBLENDA	K-Ar	3
P.VALLARTA	7 ejemplos	Granitoide	10	99	4	WR 7pl.isochron	Rb-Sr	1
P.VALLARTA	MS 2A	Granito	10	78	2+	BIOTITA-WR	Rb-Sr	1
P.VALLARTA	1161	Tonalita	10	81.6	1.6	BIOTITA	K-Ar	2
P.VALLARTA	1159	Tonalita	10	80.5	1.6	BIOTITA	K-Ar	2
P.VALLARTA	1162	Tonalita	10	90.6	1.8	HORNBLENDA	K-Ar	2
P.VALLARTA	1160	Tonalita	10	81.8	1.6	HORNBLENDA	K-Ar	2
P.VALLARTA	MS 65	Granodiorita	11	82.6	2	BIOTITA-WR	Rb-Sr	1
P.VALLARTA	PV-II	Granodiorita	11	85.8	2	HORNBLENDA	K-Ar	1
P.VALLARTA	PV-II	Granodiorita	11	83.1	2	BIOTITA	K-Ar	1
P.VALLARTA	PV-II-1	Granodiorita	11	103	6.5	ZIRCON POPUL	U-Pb	1
P.VALLARTA	PV-II-2	Granodiorita	11	101	7.2	ZIRCON POPUL	U-Pb	1
P.VALLARTA	134	Tonalita	12	80.8	1.6	BIOTITA	K-Ar	2
P.VALLARTA	134	Tonalita	12	80.2	1.6	HORNBLENDA	K-Ar	2
P.VALLARTA	MS 3	Tonalita	14	79.1	2	BIOTITA-WR	Rb-Sr	1
P.VALLARTA	MS 4A	Granodiorita	23	77.6	2	BIOTITA-WR	Rb-Sr	1
P.VALLARTA	MS 16A	Quartzo-diorita	25	79.9	2	BIOTITA-WR	Rb-Sr	1
P.VALLARTA	4783	Diorita	25	78	6	BIOTITA	K-Ar	3
P.VALLARTA	MS 14	Qz. monzodiorita	27.5	77.7	2	BIOTITA-WR	Rb-Sr	1
P.VALLARTA	MS 58	Granodiorita	30	79	2	BIOTITA-WR	Rb-Sr	1
P.VALLARTA	MS 57	Granito	32	74.9	2	BIOTITA-WR	Rb-Sr	1
P.VALLARTA	MS 57	Granito	32	81.9	2	BIOTITA	K-Ar	1
P.VALLARTA	MS 8	Tonalita	35	76.1	2	BIOTITA-WR	Rb-Sr	1
P.VALLARTA	11 ejemplos	Granitoides	50	91	3	WR 11pl.isochron	Rb-Sr	1
P.VALLARTA	133	Tonalita	52	76.8	1.6	BIOTITA	K-Ar	2
P.VALLARTA	133	Tonalita	52	82.2	1.6	HORNBLENDA	K-Ar	2
P.VALLARTA	MS 65	Granodiorita	60	82.5	2	BIOTITA-WR	Rb-Sr	1
P.VALLARTA	MS 17	Granito	62	84.2	2	BIOTITA-WR	Rb-Sr	1
P.VALLARTA	4483	Granito	80	93	7	BIOTITA	K-Ar	3
TECOLOTLAN	5483	Granodiorita	95	104	8	BIOTITA	K-Ar	3
P.VALLARTA	124	Tonalita	150	66.9	14	BIOTITA	K-Ar	2
MELAUQUE	4283	Andesita	160	78	6	WR	K-Ar	3
CHIQUATLAN	4983	Granito	170	99	8	BIOTITA	K-Ar	3
P.VALLARTA	127	Diorita	170	67.7	1.4	BIOTITA	K-Ar	2
P.VALLARTA	127	Diorita	170	64.5	11.9	HORNBLENDA	K-Ar	2

MANZANILLO	MS 19	Granito	170	64.7	1.3	BIOTTA-WR	Rb-Sr	1
MANZANILLO	14 ejemplos	Granitoides	180	69	3	WR 14pt. isochron	Rb-Sr	1
MANZANILLO	MS 18A	Granodiorita	181	69.5	1.4	BIOTTA-WR	Rb-Sr	1
MANZANILLO	MS 66	Granodiorita	193	67.2	1.3	BIOTTA-WR	Rb-Sr	1
MANZANILLO	MS 66	Granodiorita	193	66.9	1.3	BIOTTA	K-Ar	1
MANZANILLO	MS 66	Granodiorita	193	63.5	1.3	HORNBLENDA	K-Ar	1
MANZANILLO	MS 67	Granodiorita	199	63.9	1.3	BIOTTA	Rb-Sr	1
MANZANILLO	MS 67	Granodiorita	199	64.3	1.3	BIOTTA	K-Ar	1
MANZANILLO	MS 22	Gabbro	208	59.1	1.2	BIOTTA-WR	Rb-Sr	1
MANZANILLO	3683	Granodiorita	215	73	6	BIOTTA	K-Ar	3
MANZANILLO	MS 29B	Qz. monzonita	218	62.3	1.2	BIOTTA-WR	Rb-Sr	1
TUXPAN	8	Dacita	243	92	2	WR	K-Ar	5
JILOTLAN	8 ejemplos	Granitoides	250	68	12	WR 8pt. isochron	Rb-Sr	1
JILOTLAN	MS 27	Qz. monzodiorita	250	55.2	1.1	BIOTTA-WR	Rb-Sr	1
JILOTLAN	1980	Granodiorita	250	57.5	5	BIOTTA	K-Ar	3
JILOTLAN	MS 69	Quartzo diorita	255	58.7	1.2	BIOTTA-WR	Rb-Sr	1
JILOTLAN	MS 69	Quartzo diorita	255	59.4	1.2	HORNBLENDA	K-Ar	1
JILOTLAN	MS 69	Quartzo diorita	255	59.4	1.2	BIOTTA	K-Ar	1
TECALITLAN	11	Riolita toba	256	66	1	WR	K-Ar	5
JILOTLAN	MS 70	Qz. monzodiorita	260	58.6	1.2	BIOTTA-WR	Rb-Sr	1
JILOTLAN	MS 70	Qz. monzodiorita	260	60.3	1.2	HORNBLENDA	K-Ar	1
JILOTLAN	MS 70	Qz. monzodiorita	260	59.5	1.2	BIOTTA	K-Ar	1
ENCINO	7	Diabasa	281	93	4	WR	K-Ar	5
AHUJULLO	7083	Granodiorita	290	60	5	BIOTTA	K-Ar	3
AQUILA	14	Granodiorita	298	61	1	BIOTTA	K-Ar	5
AQUILA	13	Granodiorita	298	63	1	HORNBLENDA	K-Ar	5
OSTULA	17	Granodiorita	306	57	1	HORNBLENDA	K-Ar	5
OSTULA	18	Granodiorita	306	56	1	BIOTTA	K-Ar	5
N.CALETA DE C.	3283	Tonalita	370	55	4	BIOTTA	K-Ar	3
LA VERDE	UA 77132	Quartzo diorita	393	33	1	HORNBLENDA	K-Ar	6
LA VERDE	UA 77130	Granodiorita	393	31	1	BIOTTA	K-Ar	6
ARTEAGA	678	Tonalita	407.8	44	3	WR-TONALITA	K-Ar	3
ARTEAGA	13377	Granodiorita	408	57	2	BIOTTA	K-Ar	3
TUMBISCATIO	1578	Granodiorita	409	62	1	BIOTTA	K-Ar	3
LA HUACANA	3 ejemplos	Granitoides	435	42	4	WR 3pt. isochron	K-Ar	1
SAN ISIDRO	UA 77136	Granodiorita	436	32	1	HORNBLENDA	K-Ar	6
SAN ISIDRO	UA 77137	Granodiorita	436	31	1	BIOTTA	K-Ar	6
INGUARAN	UA 77131	Granod. Breccia	456	35	1	HORNBLENDA	K-Ar	6
INGUARAN	UA 77131	Granod. Breccia	456	32	1	SERICITA	K-Ar	6
S. TELMO	MS 34	Granodiorita	460	56.3	1.1	BIOTTA-WR	Rb-Sr	1
SAN JERONIMO	28	Granodiorita	513	36	1	BIOTTA	K-Ar	5

LA GUACAMAYA	22	Granodiorita	531	47	1	BIOTITA	K-Ar	5
LAS SALINAS	UA 77130?	Monzonita	543	62	1	SERICITA	K-Ar	6
ZIHUATANEJO	3 ejemplos	Granitoides	543	36.5	5	WR 3pl. isochron	Rb-Sr	1
VALLECIOS	TX-138	Quartzo diorita	550	40.5	2.7	BIOTITA	K-Ar	7
PETATLAN	TX-151	Quartzo diorita	576	37.4	1.5	BIOTITA	K-Ar	7
PETATLAN	TX-153	Granodiorita	576	58.8	2.5	BIOTITA	K-Ar	7
P. ESCONDIDO	UAKA80103	Granito	608	38.9	0.9	BIOTITA	K-Ar	4
P. ESCONDIDO	UAKA80103	Granito	608	40.7	0.9	HORNBLENDA	K-Ar	4
TETELA	24	Basalto	656	.42	1	WR	K-Ar	6
ATOYAC	MS 47	Tonalita	665	28.3	0.6	BIOTITA-WR	Rb-Sr	1
ATOYAC	MU 17	Tonalita	690	35		ZIRCON (3)	U-Pb	12
ACAPULCO		Granito	739	44.5	7	WR	Rb-Sr	8
ACAPULCO	JG 7317	Granito	739	49.6	0.5	BIOTITA-WR	Rb-Sr	8
ACAPULCO	MS 50	Granito	739	43.4	1	BIOTITA-WR	Rb-Sr	1
XALTIANGUIS	JG 73?	Qz. monzonita	740	32.6	0.5	BIOTITA-WR	Rb-Sr	8
XALTIANGUIS	MS 48	Granodiorita	740	30.5	0.8	BIOTITA-WR	Rb-Sr	1
B. DE XOLAPA	107	Aplita	742	59	1	MUSCOVITA-WR	Rb-Sr	9
B. DE XOLAPA	106	Pegmatítico granito	743	59	1	MUSCOVITA-WR	Rb-Sr	9
EL OCOITTO	JG 7334	Qz. monzonita	747	37.3	2	BIOTITA-WR	Rb-Sr	8
T. COLORADA	MS 49	Granodiorita	747	26.3	0.5	BIOTITA-WR	Rb-Sr	1
T. COLORADA	MU 14	Granodiorita	747	34		ZIRCON (3)	U-Pb	12
SAN MARCOS	Mx 10	Granodiorita	803	32		ZIRCON (5)	U-Pb	12
CRUZ GRANDE	MU 11	Granodiorita	818	32		ZIRCON (1)	U-Pb	12
P. NACIONAL	Mu 20	Granodiorita	925	30		ZIRCON (1)	U-Pb	12
CHICOMITEPEC	G 17	Granito	967	27.7	1.1	BIOTITA	K-Ar	10
E. P. NACIONAL	MX 12	Tonalita	970	28		ZIRCON (4)	U-Pb	12
JAMILTEPEC	MS 35	Tonalita	975.7	29.9	1.1	HORNBLENDA	K-Ar	10
JAMILTEPEC	MS 42	Tonalita	979.5	27.7	1	HORNBLENDA	K-Ar	10
RIO VERDE	MS 28	Granodiorita	988.25	24.4	0.5	BIOTITA	K-Ar	10
RIO GRANDE	MS 34	Granito	1024	23.5	0.6	BIOTITA	K-Ar	10
NO. POCHIUTLA	MU 9	Granodiorita	1111	27		ZIRCON (4)	U-Pb	12
HUATULCO	MI 52	Granito	1157	29		ZIRCON (3)	U-Pb	12
HUATULCO	H 230	Granito	1165	26	0.5	BIOTITA-WR	Rb-Sr	11
HUATULCO	H 113	Granito	1167	25.8	0.5	BIOTITA-WR	Rb-Sr	11
HUATULCO	H 231	Granito	1167	26.2	0.52	MUSCOVITA-WR	Rb-Sr	11
HUATULCO	H 247	Granito	1168	27.6	0.54	BIOTITA-WR	Rb-Sr	11
XADANI	H 250	Granito	1174	21.2	0.42	BIOTITA-WR	Rb-Sr	11

La segunda unidad, también muestra efectos de metamorfismo, aunque éste tiende a ser local y limitado a las zonas de intenso cizalleo tectónico. Esta Unidad se localiza en la región istmica de Chiapas.

La tercera unidad, es la única formación volcanosedimentaria marina del Paleozoico. Fue estudiada y fechada recientemente por, Morán, *et al.*, (1994) en la región de Juchatengo, Estado de Oaxaca. Comprende, esencialmente, grauvacas, pizarras, brechas y rocas verdes como diques. Está cortada por rocas granítico-dioritas de edad isotópica K-Ar, del Pensilvánico-Triásico (252 Ma).

En ninguna de las tres formaciones se han detectado paleosuelos. Sin embargo, la mayoría de estas unidades cuando aflora, constituye, actualmente, Entisoles, algunos de ellos con horizontes A bien desarrollados.

III.G.3.2. Mesozoico Volcánico

La única unidad de origen netamente volcánico del Mesozoico, corresponde a una formación andesítica continental (Andesita Pueblo Viejo) que subyace a la Formación Todos Santos, del Jurásico Medio y Superior, en las regiones de Pueblo Viejo-Ciñtalapa y la Zacatera, estados de Chiapas y Oaxaca, aunque también se encuentra dispersa en el Batolito de Chiapas, con edades de 140 a 160 Ma.

Esta formación reposa, discordantemente, sobre las rocas graníticas del Pérmico-Triásico. Actualmente, no existen reportes sobre suelos o palosuelos, originados por el intemperismo de esta unidad.

III.G.3.3. Cenozoico Volcánico y Volcanosedimentario Continental

La estrechez continental relativa de México, su interacción convergente con las Placas del Pacífico, establecida durante el Cenozoico, los ángulos de subducción, y las velocidades variables de las placas mencionadas, ocasionaron que México modificara su estructura y composición litosférica, de manera compleja, durante el Cenozoico. Así surgieron: la Faja Volcánica Transmexicana, la Faja Ignimbrítica Mexicana y la Faja Volcánica de la Giganta. Esta complejidad volcánica, esta representada en el Territorio por 14 unidades estratigráficas: cinco de edad Cuaternaria (< 1.5 Ma) y nueve del Terciario, tres de las cuales son de carácter volcanosedimentario.

Estas secuencias, por la escasez o ausencia total de fósiles y estudios detallados, tienen edades, en general, determinadas con poca precisión.

III.G.3.3.1. Unidades volcanosedimentarias. De las tres unidades reconocidas en México, sólo una se presenta en el área de estudio (Formación Balsas). Todas son del Terciario, y la composición petrográfica de las rocas volcánicas abarca la Serie calcalcalina de basalto a riolita, mientras que sus componentes sedimentarios son, generalmente, arenisca y conglomerado con intervalos lacustres localmente abundantes.

En la secuencia estratigráfica de esta unidad se presentan algunos paleosuelos que

muestran horizontes B2t, totalmente decapitados, compactados y deformados por la diagénesis. En las áreas donde aflora la unidad, se constituyen Entisoles, Inceptisoles y grupos Líticos. Ocasionalmente, en las áreas con mayor alteración, se forman algunos Alfisoles.

III.G.3.3.2. Unidades volcánicas. Todas ellas son de origen continental, y comprenden algunas de las Unidades estratigráficas de México más ampliamente distribuidas, como son las ignimbritas de la Sierra Madre Occidental, y las secuencias Pliocénico-Cuaternarias de la Faja Volcánica Transmexicana.

Dentro del área de estudio, el centro basáltico-alcálico más importante se localiza en las Tuxtlas, estado de Veracruz. Otro centro volcánico del Cuaternario insular que tiene una composición bimodal basáltico-félsica es el de la Isla Socorro, en el Archipiélago de las Islas Revillagigedo, Edo. de Colima.

En la tabla 18 se muestran algunos análisis de suelos, efectuados por Blázquez y Aguilera (1958) en suelos fersialíticos y ferruginosos, localizados en la Isla Socorro.

TABLA 18 ANALISIS DE OXIDOS TOTALES Y SUS RELACIONES EN SUELOS

RELACIONES	PERFILES					
	1	2	3	4	5	6
Sílice: Aluminio	3.52	2.52	3.46	1.66	2.21	2.12
Sílice: Hierro	4.58	2.64	5.20	1.98	2.38	3.45
Sílice: Bases	0.58	0.35	0.63	0.07	0.20	0.30
Hierro: Aluminio	0.52	0.96	0.67	0.83	0.94	0.61
Sílice: Aluminio + Hierro	2.26	1.28	2.08	0.90	1.14	1.31
OXIDOS SESQUIOXIDOS	4.45	2.64	4.13	1.84	2.36	2.58

FUENTE: Aguilera, (1958).

Indiscutiblemente, la unidad predominantemente volcánica, más importante, dentro de la zona de estudio; es la porción oriental de la Faja Volcánica Transmexicana, en la región de los Tuxtlas. Los suelos formados son de edad Pleistocénica y Holocénica e incluyen una gran variedad de Ordenes: Entisoles, Inceptisoles, Andisoles, Alfisoles y, en menor proporción, Ultisoles.

Otro grupo de unidades volcánicas, relativamente jóvenes, son las unidades del Neógeno, aunque sólo se conoce su presencia, dentro el área de estudio, en las Islas Marías.

III.G.4. ROCAS INTRUSIVAS

Las rocas intrusivas en México son abundantes, y en su mayoría, tienen un carácter granítico. Respecto a las rocas máficas, sólo existen dos cuerpos pequeños, aún no denominados; en el sur del estado de Guerrero.

Las diez unidades intrusivas que se conocen en México, tienen la siguiente distribución cronológica: una en el Proterozoico (Sonora, 1450 ± 25 Ma); otra en el Paleozoico (560 Ma); cuatro en el Mesozoico (Batolito de Jalisco, Michoacán, Guerrero y Oaxaca, 240 Ma) y cuatro en el Terciario. Existen pequeños afloramientos de rocas graníticas del Triásico (240-210 Ma) en la región de Teziutlán, Puebla.

En general, los suelos presentan diferentes grados evolutivos en rocas del Terciario, y no se observa ningún desarrollo importante de suelo en las rocas más antiguas, con excepción de algunas regolitas. Estos suelos muestran evidencias de rejuvenecimientos frecuentes por depositación de tefra y/o coluviones. Predominan los Leptosoles y Regosoles, aunque en los granitos más alterados, se presentan algunos Luvisoles y Acrisoles, crómicos y férricos, de edad Pleistocénica.

III.G.5 ROCAS METAMORFICAS

A pesar de la juventud geológica de México, la energía geodinámica-tectónica, ha hecho que las rocas que se transforman por el calor, la presión, los esfuerzos y la actividad química de los fluidos en el interior de la tierra, surjan en el Territorio como extensas formaciones metamórficas, cuya edad comprende desde el Precámbrico hasta el Terciario.

Geocronológicamente, se distinguen 11 unidades: tres en el Proterozoico (2500 Ma); tres en el Paleozoico (570 Ma); cuatro en el Mesozoico (245 Ma) y una en el Cenozoico (65 Ma).

III.G.5.1. Proterozoico Metamórfico

Dentro del área de estudio, aflora únicamente en Oaxaca (Complejo Oaxaqueño) con una edad de 100 a poco más de 900 Ma. Sus rocas están en las facies metamórfica de granulita (Gneis granulítico). Los suelos formados a partir de estas rocas, son de edad reciente < 10 000 años, y se caracterizan por su escaso desarrollo y sus texturas gruesas. (Leptosoles, Regosoles y Cambisoles dísticos).

III.G.5.2. Paleozoico Metamórfico. Comprenden tres grupos:

III.G.5.2.1. Paleozoico inferior metamórfico. (Premisisípico <360 Ma). Tiene su único representante en el complejo Acatlán, el cual aflora, extensamente, en la Provincia Mixteca del Sur de México. Está constituido por seis unidades litoestratigráficas. Las principales rocas presentes son las eclogitas, las milonitas y las ofiolitas. Desafortunadamente no se conoce su secuencia genética de alteración a suelo.

III.G.5.2.2. Paleozoico superior. No se reporta para la zona de estudio.

III.G.5.2.3. Paleozoico metamórfico. ¿Premisisípico?. Se localiza en el estado de Chiapas, al sur de la Falla de Polochic, y se correlaciona con el grupo Chacús de Guatemala, así como en el Complejo Metamórfico Matías Romero, en el área del Istmo de Tehuantepec.

Litológicamente, fueron identificadas algunas macroalmohadillas basálticas en este

complejo. La columna estratigráfica muestra, en ocasiones, la presencia de algunos paleosuelos, al parecer con caracteres de suelos ferrálicos y ferruginosos, con una aparente capa de plintita. Sin embargo, no existen fechamientos isotópicos que prueben la edad absoluta de estos suelos y, consecuentemente, su correlación con estas rocas. Por otra parte, la falta de análisis de estos paleosuelos, así como su severa deformación por efecto de la diagénesis, impide el establecimiento de su posición taxonómica.

III.G.5.3. Mesozoico Metamórfico (Cretácico). La primera unidad agrupa a extensas áreas de rocas gnéicas y migmatíticas de la costa Pacífica del sur de México (complejo Xolapa) principalmente en los estados de Guerrero y Oaxaca, con intrusiones de plutones graníticos paleogénicos.

Actualmente, se observan sobre esta unidad, algunos suelos, relictos, formados en condiciones paleoclimáticas diferentes a las que predominan a la fecha. Estos paleosuelos, aunque truncados presentan todos los caracteres clásicos de los suelos ferralíticos: alteración casi total de los minerales primarios, excepto el cuarzo; minerales de arcilla caoliniticos de neofrmación, y ausencia de iluviación de arcilla; muy baja capacidad de intercambio catiónico (< 10 meq/100 g arcilla), aunque con muy bajos contenidos de gibbsita (Ferralitización moderada). Los suelos actuales, son de edad holocénica y comprenden a las Unidades de Leptosoles, Regosoles y algunos Cambisoles. Ocasionalmente, se presentan algunos Luvisoles de edad, presumiblemente, Pleistocénica.

III.G.5.3.2. Mesozoico metamórfico (Triásico). No se presenta en el área de estudio, sin embargo, existe un grupo de filitas, esquistos y rocas verdes que afloran en los estados de Oaxaca y Chiapas que, probablemente, pueden corresponder al Triásico (219 Ma). Las rocas que afloran, generalmente tienden a argilizarse en condiciones de clima Af y Am, constituyendo, suelos lúvicos. Bajo condiciones de climas menos húmedos, que muestran un período de sequía, llegan a formar suelos con propiedades vérticas.

III.G.5.4. Cenozoico Metamórfico (< 65 Ma).

Comprende a las rocas formadas por fenómenos tectonotérmicos de extensión cortical que se presentaron en gran escala en el Sistema Cordillerano, durante una Epoca del Terciario. En el área de estudio, no han sido identificadas rocas que caracterizan al Cenozoico Metamórfico.

OBSERVACIONES:

Es importante mencionar que los conceptos cronológicos y estratigráficos contenidos en este capítulo, fueron empleados con base en los resultados obtenidos por el Grupo de Investigadores para la elaboración de la Carta Geológica de la República Mexicana (1992).

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

G. FACTOR TIEMPO

- G.1.** El suelo, al igual que el tiempo y el espacio, no debería ser considerado como un continuo universal, ya que se reconoce para su formación un "Tiempo cero". El valor cero es el punto en el Tiempo, (discontinuidad) en el que se completa un suceso catastrófico, lo que inicia un ciclo de desarrollo del suelo.
- G.2.** Un suelo del trópico o subtropical que muestra evolución, y por causas externas es rejuvenecido, en realidad no inicia un nuevo "Tiempo cero", ya que sólo se inicia un fenómeno policíclico, que en la mayoría de los casos sólo afecta el status nutricional del suelo.
- G.3.** Todos los suelos formados al "Tiempo cero" son Entisoles por definición de Soil Taxonomy. Sin embargo, la mayoría de los Entisoles presentes en el área de estudio, muestran edades absolutas que los sitúan en el Holoceno, e incluso en el Pleistoceno.
- G.4.** Los valores obtenidos para cuantificar el desarrollo relativo de un suelo (DRP) son, actualmente, el medio más práctico, y confiable para estimar la edad evolutiva de un suelo. Sin embargo; en suelos altamente evolucionados como son los Ferralsoles, los valores de DRP, resultan falsos debido a que los perfiles muestran una "alta homogeneidad morfológica".
- G.5.** Los suelos con una alta evolución, sólo pueden ser evaluados, aproximadamente, en su edad evolutiva, por su complejo de alteración, o por la relación C.I.C.T. (pH 7.0): Arcilla%. Esta relación siempre oscila entre 0.0 y 0.50.
- G.6.** Debido a la sucesión de eventos catastróficos ocurridos durante la historia geológica de México, la edad cronológica de los suelos es reducida. La mayoría de los suelos son Holocénicos, y una minoría, son de edad Pleistocénica.
- G.7.** En general, las rocas sedimentarias, volcánicas y volcanosedimentarias del Cenozoico, particularmente del Plioceno, muestran evidencias de alteración pedológica, que en ocasiones, constituyó algunos paleosuelos. En eras anteriores al Cenozoico, la identificación de paleosuelos es muy rara, debido a los intensos fenómenos orogénicos que se presentaron en el Cretácico Tardío, y que terminaron en el Eoceno Medio.
- G.8.** Un suelo del Trópico o del Subtrópico Mexicano, siempre presenta una edad

absoluta que es la misma que tiene el material parental que lo originó, una edad cronológica que se refiere al tiempo que tardan los procesos de intemperismo y alteración en transformar la roca a suelo, y una edad evolutiva que se inicia en el "Tiempo cero".

- G.9.** Las edades absolutas y cronológicas de los suelos son invariables a la acción antrópica, sin embargo; la edad evolutiva de un suelo puede ser alterada por el hombre. Así, como ejemplo; la transformación de un Sulfaquent en Sulfaquept sólo requiere de algunos meses.
- F.10.** Los procesos de sulfidización y sulfuridización, que caracterizan a los Sulfaquepts cuyo régimen de humedad ha sido modificado por el hombre, llegan a constituir en pocas semanas un horizonte B sulfúrico. Teóricamente la formación de esmectitas puede propiciarse, rápidamente, a medida que estos suelos incrementan su pH y disminuyen su contenido de humedad.
- F.11.** Consecuentemente, la investigación sobre el factor tiempo debe incrementarse, no sólo para encontrar métodos, confiables, para estimar la edad absoluta, cronológica o evolutiva de un suelo, sino, también, la duración y secuencia de los procesos, naturales o inducidos, que estén involucrados en la pedogénesis.

III.H. INTEMPERISMO Y ALTERACION EN EL TROPICO Y SUBTROPICO MEXICANO.

INTRODUCCION

En este capítulo se sintetizan los principales procesos elementales de alteración, formación y tipogénicos que caracterizan la pedogénesis en los trópicos. Los ejemplos que ilustran este capítulo fueron, en su mayoría, obtenidos bajo las condiciones ambientales propias del Trópico Mexicano.

III.H.1. PROCESOS DE INTEMPERISMO Y ALTERACION

Con base en la Carta Geológica de la República Mexicana (1992) resulta posible postular que con excepción de algunos suelos ferralíticos que, presumiblemente, se han formado por la meteorización, *in situ*, de rocas del período Permiano que afloraron en el Terciario, la mayoría de los suelos del Trópico Mexicano se han generado, principalmente, por la alteración geoquímica y, secundariamente, bioquímica de rocas ígneas sedimentarias (marinas y continentales) y metamórficas, constituidas por los procesos endógenos y exógenos que se han presentado durante los últimos 245 millones de años (Períodos Triásico-Neógeno). Asimismo se considera que un gran número de suelos fersialíticos (Inceptisoles-Alfisolos) y ferruginosos (Alfisolos-Ultisoles), son el resultado del intemperismo de aluviones estabilizados y consolidados, depositados durante las épocas del Plioceno-Holoceno (5 millones de años). (Figura 5, Tabla 5a).

Los tres factores principales de la meteorización, desarrollo y evolución de estos materiales hasta constituirse en suelos, son los procesos físicos, químicos y biológicos.

Teóricamente, durante el proceso de intemperismo, el material pre-parental y los minerales primarios son disgregados y alterados, liberándose energía interna y formándose sustancias de menor energía, por ende más estables.

Estos procesos están condicionados en su intensidad y velocidad por varios agentes ambientales. Los más importantes en las zonas tropicales son:

III.H.1.1. El Agua.

Es el elemento fundamental de la alteración del material pre-parental y, una vez constituido, del material parental. Gaucher (1971) considera que el agua actúa por sí misma y por los cuerpos que contiene en solución, ejerciendo acciones de naturaleza distinta: (a) acción disolvente; (b) acción hidratante; (c) acción hidrolizante y (d) acción catalizante. Su acción se desarrolla en tres tipos de medios: (1) bajo la influencia de la atmósfera; (2) bajo la influencia, predominante, del agua freática y (3) en los medios alternativamente aireados y/o anegados temporalmente (propiedad ácuca).

III.H.1.2. EL Oxígeno.

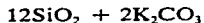
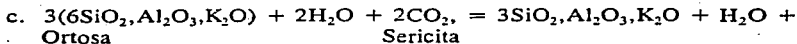
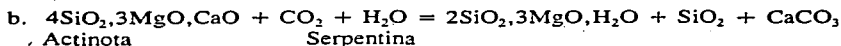
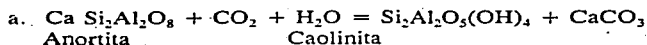
Propicia los procesos de disgregación por oxidación que generalmente acompañan a los fenómenos de hidrólisis, generando la liberación de óxidos minerales. En condiciones reductoras, es el potencial óxido-reductor el que rige, lo mismo en el suelo que a nivel de roca madre, el sentido de las reacciones de oxidación y reducción: $\text{Fe (III)} + e = \text{Fe (II)}$.

III.H.1.3. El Anhídrido Carbónico.

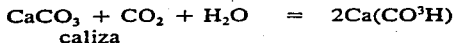
La acción del CO_2 puede sintetizarse del modo siguiente: (1) refuerza la acción del agua; (2) propicia la alteración de silicatos y (3) participa en la solubilización de los carbonatos. Pedro (1964), ha comprobado los siguientes hechos con relación a la acción del CO_2 :

1. Propicia una mayor liberación de la sílice y de las bases alcalino-térreas y alcalinas, frenando la migración de estas últimas, ya que sus hidróxidos son más solubles que sus carbonatos.
2. Genera una liberación importante del hierro, con señalada tendencia a permanecer en estado ferroso.
3. Participa en la migración (muy débil) de la alúmina.
4. Cataliza la degradación de la ortosa y la anortita, e interviene en su hidrólisis al término de la cual se forma sericita (mica potásica hidratada);

FORMULAS:



5. Es uno de los principales agentes de meteorización de las rocas cálcareas:



III.H.1.4. La Vegetación y la Materia Orgánica.

Se considera que el primer estadio de alteración química de la roca es esencialmente biológica. Sin embargo, como se discute en párrafos posteriores, la acción de la materia orgánica y de la vegetación es limitada en el trópico con relación a las zonas templadas y frías, donde la humificación orienta no solo los procesos de alteración, sino que influye determinantemente en su tipogénesis (podzolización).

III.H.1.5. Acción de los Electrolitos.

En la mayoría de los Sulfaquents y en algunos Fluvents, del trópico se observa fácilmente que los cloruros y los sulfatos aceleran la descomposición de los materiales parentales. Estos procesos, generalmente, se efectúan bajo condiciones fluctuantes de Eh y pH, en condiciones alternantes de óxido-reducción. Como en el caso anterior, posteriormente se analizarán varios ejemplos específicos para el Trópico Mexicano.

III.H.1.6. Temperatura.

La temperatura, principalmente sus cambios, generan la disgregación física de las rocas y materiales parentales (termoclastia) y catalizan los fenómenos de alteración química. Su elevación aumenta primero la velocidad de las reacciones, intensificando la degradación química de las rocas, y en segundo término, modificando la velocidad de eliminación de los productos de descomposición.

Pedro (1964), ha demostrado experimentalmente que temperaturas medias anuales mayores de 20°C favorecen la individualización del hierro en forma de hidrato férrico, y causan una ferruginización de los suelos. En el trópico y en el ecuador, la temperatura del suelo es generalmente superior a la temperatura atmosférica.

III.H.1.7. Otras Condiciones del Medio.

Gaucher (1971) considera que un aumento de la acidez propicia una degradación más rápida de la roca. Los productos de alteración se extraen más de prisa, especialmente los sesquióxidos. En medios muy ácidos (Suelos o materiales tiónicos con horizonte sulfúrico) la eliminación del aluminio y del hierro ocupan un lugar preponderante.

III.H.2. FASES DE INTEMPERISMO Y ALTERACION

En el Trópico y Subtrópico Mexicano, normalmente, se presentan tres fases de intemperismo que se caracterizan por: (a) tener un grado creciente de alteración de los minerales primarios; (b) una pérdida creciente de sílice combinada y, por último; (c) un predominio cada vez mayor de los procesos de neoformación de arcillas a expensas de los elementos previamente solubilizados.

Estas fases son, según Duchaufour:

III.H.2.1. Fersialitización.

Se caracteriza por el predominio de arcillas 2:1, en su mayoría heredadas, fuerte individualización de óxidos de hierro, complejo absorbente con frecuencia saturado, debido al ascenso biológico o físico-químico del calcio, y presencia de un horizonte Bt, resultado del lavado de arcillas finas.

III.H.2.2. Ferruginización.

Se muestra una alteración más intensa, algunos minerales como la ortosa y muscovita pueden subsistir, desilificación más acusada, arcillas transformadas 2:1 minoritarias, en comparación con las arcillas neoformadas 1:1. Generalmente, no se forma gibsita libre, según los casos, los óxidos de hierro pueden ser rubificados o no, el grado de saturación de bases varía mucho. Según la humedad del clima y la duración del período seco; los procesos de lavado son todavía activos (Bt₂) aunque menos acusados que en los suelos fersialíticos.

III.H.2.3. Ferralitización.

Alteración total de los minerales primarios, excepto el cuarzo, arcillas de neoformación, constituidas únicamente por caolinita, presencia, frecuente, de gibsita, atenuación del lavado de arcillas que se hacen resistentes a la dispersión por el agua. No existe un verdadero horizonte Bt₂; no obstante, puede aparecer un empobrecimiento de arcillas en la superficie.

En este trabajo, cada una de las fases fue dividida, con base en Tuncer y Lohnes (1977), en 6 etapas, con el fin de simplificar la tipogénesis de los suelos estudiados. Estas etapas comprenden la transformación, por intemperismo, de la roca parental hasta la formación de rocas secundarias o pedogénicas (Plintitas, Petroplintitas y Corazas).

III.H.3. DINAMICA DEL INTEMPERISMO FISICO Y DE LA ALTERACION QUIMICA

Los procesos físicos por ejemplo: esfuerzos mecánicos propiciados por la erosión, deformaciones por diferencias térmicas (termoclastia), presiones por la cristalización de sales y el efecto físico y mecánico de los organismos (bioclastia) entre otros, disgregan la roca aumentando la superficie específica susceptible al ataque químico y biológico. Este fenómeno propicia, además la formación de sistemas de fracturas profundas en la roca, lo que favorece un incremento de permeabilidad del material a la percolación de fluidos químicamente activos.

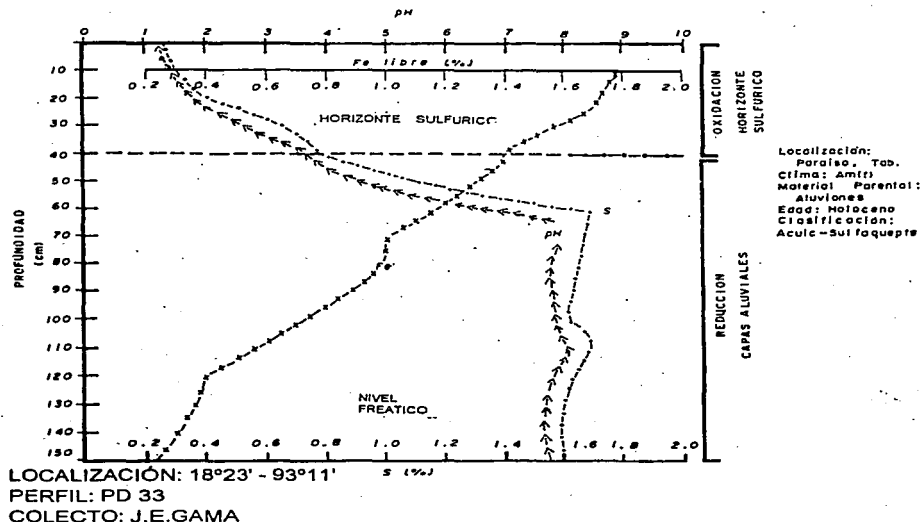
Los procesos químicos, principalmente, la hidrólisis, el intercambio de iones, la oxidación y el aumento del contenido de CO₂ de las soluciones circulantes, alteran los minerales originales a minerales arcillosos más estables y, en algunos casos, predeterminan su tipo de

génesis. Así, Pedro (1964) demostró que el CO_2 favorece la alitización (Suelos gibsíticos-Alisoles) pero frena la ferruginización.

El interperismo biológico, incluye tanto procesos físicos (acción mecánica de las raíces) como químicos. Las bacterias pueden actuar como catalizadores en ciertas reacciones, por ejemplo: bacterias como *Desulfovibrio desulfuricans* o *Thiobacillus thiooxidans*, ambas muy comunes en medios anaeróbicos saturados con agua, como es el caso de los Gleysoles y Fluvisoles Tiónicos (Sulfaquents-Fluvaquents) de los Estados de Tabasco y Veracruz.

Estos organismos propician al oxidar la materia orgánica, una reducción biológica de los sulfatos contenidos en el manto freático a sulfitos que tienden a acumularse en el suelo y en las capas (Sulfidización). Si estos suelos son drenados, los sulfitos se oxidan y forman ácido sulfúrico, el cual reacciona con los minerales primarios del suelo, alterándolos y propiciando la formación de sulfatos de hierro, aluminio y jarosita (Sulfurización) que caracterizan a un horizonte sulfúrico (Sulfaquent-Sulfaquents). Este proceso se realiza rápidamente, por lo general, en un lapso de pocos meses. En la figura 19 se ilustran las diferencias en la distribución, promedio de azufre, hierro y pH en cinco unidades de Sulfaquents, representativos de la región de Paraíso, Edo. de Tabasco.

FIGURA 19. SULFURIZACION BIOLÓGICA EN SUELOS HIDROMÓRFICOS



En esta figura se observa la pérdida de azufre por lavado, y la acumulación de hierro libre por la acidificación del pH en los primeros 40 cm de profundidad. Propiedades, todas ellas, típicas de la formación de un horizonte sulfúrico en etapa de postsulfurización, evidenciada por: (a) pH menores o iguales a 4; (b) oxidación completa de los sulfuros; (c) pérdidas de azufre; (d) presencia de jarosita; y (e) cromas de 5YR en la matrix-S debidos a los óxidos de hierro.

Evidentemente, existen múltiples ejemplos que ilustran el intemperismo biológico en los trópicos, como son los trabajos clásicos de Jackson y Keller (1970) sobre la alteración de basaltos bajo una cubierta de líquenes, o las investigaciones realizadas por Gaucher (1965), Segalen (1969); Lynch y Buol (1985), entre otros, sobre la alteración de rocas por efecto enzimático de los microorganismos.

III.H.4. FACTORES ECOLOGICOS DE INTEMPERISMO Y DE ALTERACION

Duchaufour (1989), considera posible dividirlos en dos clases:

- A. **Factores bioclimáticos:** constituidos por el clima, edafoclima y la vegetación. En este estudio se incluye a el hombre.
- B. **Factores de estación:** en los cuales se consideran, principalmente, la roca, la topografía y el drenaje.

Ambos factores siempre actúan asociados a través del tiempo, si bien en proporciones muy variables, que dependen de sus propias características.

III.H.4.1. Factores Bioclimáticos.

III.H.4.1.1. Vegetación. Boul (1981) reconoce cuatro funciones fundamentales de la vegetación en los procesos edafogenéticos: (a) captación de energía y sustancias químicas mediante la fotosíntesis; (b) adición de nutrimentos al suelo, mediante la descomposición de los residuos; (c) intercambio de cationes; y (d) formación de complejos orgánicos y minerales.

La biomasa animal en un ecosistema natural es por lo común de menos del 1% de la biomasa vegetal de la que procede la producción primaria. Quington (1962) da cifras representativas de la producción primaria neta en múltiplos de 10^3 kg ha, que van de 40 en los bosques tropicales a 14 en un bosque de abetos, 9 para un maizal, 3 para pastos de zona templada y 1 para una pradera alpina.

III.H.4.2. La Vegetación como un Factor Independiente de Alteración en el Trópico.

Diferentes investigadores de suelos tropicales como Aubert (1959) Segalén (1965);

Gaucher (1971) y Duchaufour (1980), entre otros, consideran que la influencia de la **vegetación tropical**, sobre la alteración, tipogénesis y distribución de los suelos del trópico es reducida. La alteración geoquímica que caracteriza a los climas cálidos, húmedos y subhúmedos es fundamentalmente una hidrólisis neutra o poco ácida, poco o nada influenciada por la materia orgánica, opuesta por lo tanto, a la alteración bioquímica de los climas templados, donde la vegetación es relevante en la génesis de los suelos. De modo particular, Duchaufour (1989) considera que la transformación de la materia orgánica en el trópico es un proceso de descomposición escalonado, tanto de origen mecánico (zoogeno) como enzimático, con fases macro y micromoleculares, intermedias de la materia orgánica, hacia la formación de H_2O y CO_2 .

Paralelamente, se da la polimerización de compuestos de bajo peso molecular hacia ácidos húmicos, especialmente hacia el tipo moder. En general, se considera que los horizontes de alteración (Bw-Cw) de los suelos tropicales, se sitúan fuera de la influencia de los compuestos ácidos que emanan de la biodegradación de los restos vegetales contenidos en el epipedón de estos suelos.

Por otra parte, con excepción de los Ferrisoles humíferos, donde la humificación (humus moder) provoca una degradación biológica de las arcillas, con formación de gibsita secundaria (Podzolización tropical) la humificación en los otros suelos es débil y la cantidad de materia orgánica biodegradada es reducida, representando los ácidos fulvicos, poco polimerizados, la fracción dominante, su mineralización es rápida. Al respecto, León (1984) considera que los suelos tropicales de México, no contienen más del 1.8% de humus contra el 10%, promedio, de las regiones de bosques templados. En estas últimas regiones, el humus debe superar la lentitud con que el nitrógeno orgánico se torna asimilable por las plantas superiores y en las cuales sólo se pierden de 70 a 80 kg/ha anualmente. En los suelos tropicales las pérdidas ascienden de 200 a 300 kilogramos, favorecidas por la elevación de temperatura, así por cada grado arriba de 26°C se pierden de 40 a 50 kg/ha más, anualmente.

III.H.4.3. La Vegetación como un Factor, Dependiente del Intemperismo y de la Alteración en el Trópico.

Tradicionalmente, la mayoría de los estudios ecológicos consideran que el suelo es producto del clima y de la vegetación, y que el mapa de los principales suelos del mundo, se convierte en un mapa heterogéneo de climas y vegetaciones. Esta hipótesis establecida por Odum (1972) resulta, parcialmente, cierta para aquellas regiones del mundo, con clima templado que muestran una gran estabilidad en los procesos endógenos y exógenos, donde los climax climáticos de vegetación y edafológicos están perfectamente estratificados, formando "pisos" ecológicos. En los países del trópico americano, particularmente, en México esta hipótesis no es aplicable debido, principalmente a tres factores:

- A. Juventud y heterogenidad fisiográfica en el paisaje tropical.
- B. Presencia de eventos catastróficos que reiteradamente han modificado el paisaje y

C. Desmesurada presión demográfica sobre el recurso vegetación.

Históricamente, los primeros estudios realizados en el Trópico Mexicano, por Aguilera (1955-1959), Ortiz (1955); Hernández (1959); Gómez Pompa y Sarukhán (1964), Segalen y Quiñones (1964), Sousa (1964) y Cuanalo y Aguilera (1971) entre otros, tenían como uno de sus objetivos evaluar la influencia de la vegetación en la génesis y distribución de los suelos en el trópico. Los resultados obtenidos indicaban, claramente, que cambios de poca magnitud en el clima, propiciaban cambios en la composición florística, independientemente, de la unidad de suelos presentes. Concluyendo, que los datos morfológicos del perfil, así como los relativos al contenido de elementos en el suelo, no eran suficientes para hacer inferencias sobre la causalidad de las relaciones suelo-vegetación.

De las Salas (1975) reporta en sus investigaciones sobre la asociación clima-suelo-vegetación, realizada en los Campos Cerrados del Brasil y los Llanos Orientales de Colombia, una estrecha relación entre estos factores, postulando que esta correlación dependía básicamente de las siguientes propiedades del suelo: pH, Ca^{++} , Mg^{++} y K^+ intercambiables, además de los contenidos de P, Zn, Cu y Mn. Cuando los porcentajes de estos elementos aumentaban, en el suelo, aumentaba la densidad y la altura de la vegetación leñosa. Sin embargo existen, para los mismos sitios, otras teorías que también pretenden explicar estas asociaciones edafoclimáticas con la vegetación.

Las más importantes son: (a) variaciones en la disponibilidad del agua; (b) climax de fuego; (c) efecto de hidromorfismo periódico; (d) escleromorfismo oligotrópico; (e) escleromorfismo por toxicidad de aluminio; y (f) influencias edafo-antrópicas.

De estas teorías, las tres últimas son las más aceptadas entre botánicos, ecólogos, fisiólogos y edafólogos. Como puede observarse, ninguna de las teorías emitidas, acredita a la vegetación como un factor determinante de estas asociaciones, y menos aún como un factor tipogénico, fundamental, de los suelos presentes en estas regiones.

Posteriormente, en un estudio edafológico realizado por Villegas, Gama y Guajardo (1980) sobre la génesis, tipogénesis y vegetación de 14 series de suelos, presentes en la región de Playa Vicente, Veracruz (Figura 20, Tabla 19) se obtuvieron los resultados siguientes:

1. La vegetación original, aunque muy perturbada, estaba constituida por las siguientes asociaciones primarias; (a) selva alta perennifolia de *Terminalia amazonia*; (b) selva alta sub-perennifolia; (c) selva riparia (galería) y (d) "sabana". (Tabla 19a).
2. Estas formaciones vegetales se distribuían de modo indistinto con relación a las unidades genéticas y taxonómicas de suelos, sin mostrar ninguna relación con el grado de alteración que presentaban, pero conservaban un orden de distribución con relación a algunas propiedades físicas de los suelos: Textura, drenaje, porosidad, profundidad y retención de humedad y permeabilidad.

Así, por ejemplo, la vegetación de selva alta perennifolia, se desarrollaba sobre cinco Ordenes de suelos genéticamente muy diferentes entre sí: Ferralsoles, Mollisoles, Inceptisoles, Alfisoles y Ultisoles, cuyas características comunes eran: (a) profundidad efectiva mayor que 200 cm; (b) textura media, (c) porosos y (d) bien drenados (Tabla 19). La selva alta subperennifolia se presentaba sobre una gama de suelos (Figura 20) cuyas únicas características edáficas comunes eran, una textura fina y una gran capacidad de retención de humedad, de modo similar, la vegetación de selva riparia y de "sabana" se presentaron indistintamente, al parecer las únicas condiciones requeridas eran la geoforma en el caso de la selva riparia (Ríos-arroyos) y un exceso de humedad edáfica y mal drenaje del suelo, en el caso de la "sabana" (Tabla 19, 19a y Figura 20).

TABLA 19. RELACION SUELOS-VEGETACION

VEGETACION PROPIEDADES	SELVA PERENNIFOLIA	SELVA CADUCIFOLIA	SELVA CADUCIFOLIA	VEGETACION SABANOIDE	SELVA RIPARIA
GEOFORMA	Lomeríos	Valles y Depresiones	Llanura a Lomeríos	Llanura	Cause
PROFUNDIDAD	150-600 cm	50-200 cm	15-200 cm	200 cm	200 cm
TEXTURA	Franco-Migajón Limo-Arenoso Migajón Limo Arcilloso	Mig. Arcilloso Arcilla Migajosa Arcilla	Mig. Arcilloso Franco Mig. Arenoso	Migajón arenoso- Arena Migajosa- Arena	Migajón Limoso Migajón Arenoso Franco
POROSIDAD	Poroso a muy poroso	Poroso fino a mod. poroso	Poroso	Poroso a muy poroso	Poroso
RETENCION DE HUMEDAD	Alta a muy alta	Muy alta a Excesiva	Alta a muy alta	Baja a Moderada	Moderada
DRENAJE INTERNO	Eficiente a mod. Lento	Deficiente a muy lento	Lento a moderado	rápido a moderado	Moderada

* Los valores presentados son promedios, cada uno, de 10 estimaciones realizadas.

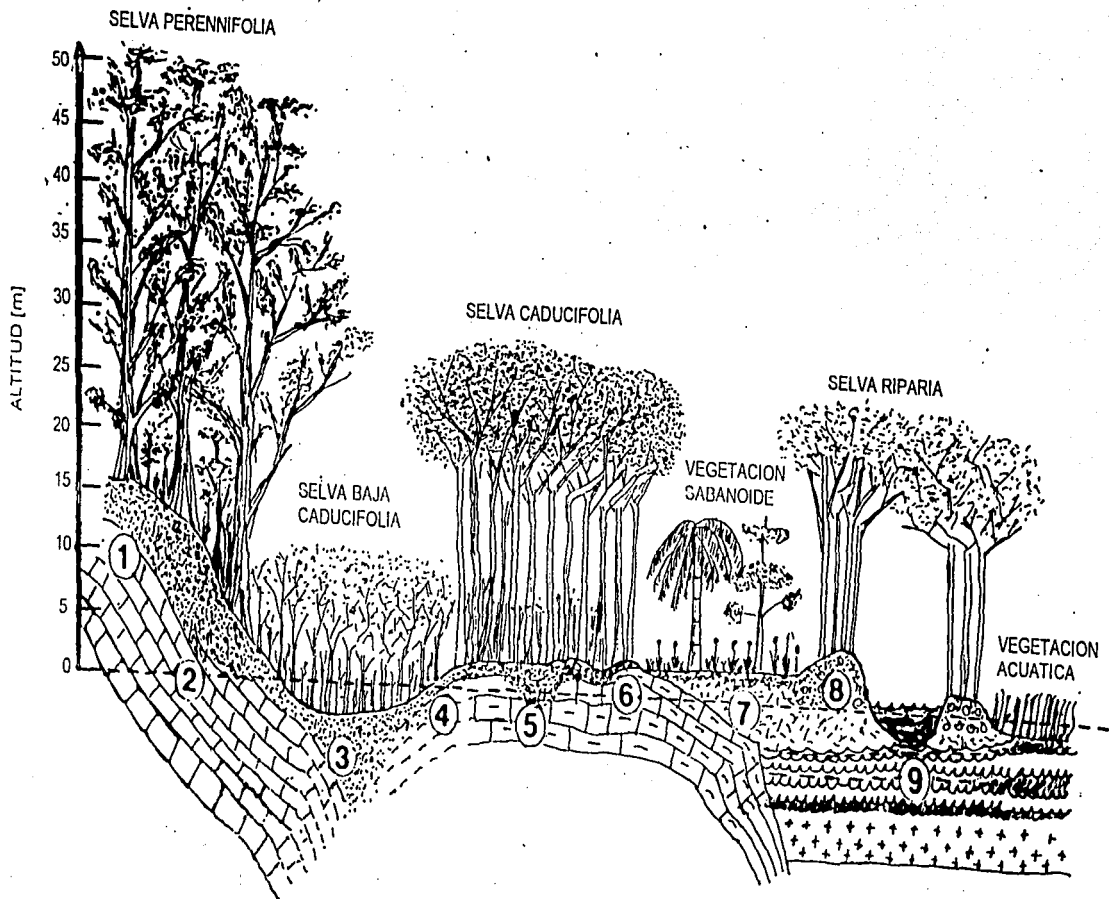
LOCALIZACION: 17°40' - 95°37' Y 18°00' - 96°00'

COLECTO: J. E. GAMA

Los resultados, en este particular, permitieron concluir la siguiente:

La génesis y tipogénesis de los suelos estudiados es de carácter fundamentalmente geoquímico, condicionadas por la edad y naturaleza del material parental (Figura 20), el clima y edafoclima, el relieve y el drenaje y, secundariamente, por efecto de la bioclastia y biociclaje, atribuibles a la vegetación y a la biota presentes, en la cual se incluye al hombre.

FIGURA 20. RELACION SUELOS - VEGETACION



1. FERRALSOL INTERGRADADO

2. SUELOS FERRUGINOSOS ROJOS

3. VERTISOL CALCARICO

4. RENDZINA

5. CAMBISOL CROMICO

6. LEPTOSOL

7. ARENOSOLREGOSOL

8. SUELO ALUVIAL

9. SUELO HIDROMORFICO

TABLA 19.3 VEGETACION Y SERIES DE SUELOS EN PLAYA VICENTE, VERACRUZ

FORMACION VEGETAL	GENEROS Y ESPECIES DOMINANTES	FAMILIA	NOMBRE VULGAR	DISTRIBUCION (SERIES DE SUELOS)	POSICION TAXONOMICA	DIAGNOSTICOS COMUNES A LAS SERIES
A. SELVA ALTA PERENNIFOLIA	1. <i>Terminalia amsonia</i> 2. <i>Brosimum alicastrum</i> 3. <i>Cela pentandra</i> 4. <i>Sweetia panamensis</i> 5. <i>Cedrela odorata</i> 6. <i>Vochysia hondurensis</i> 7. <i>Robinsonella mirandea</i> 8. <i>Spondias mombin</i> 9. <i>Cordia alliodora</i> 10. <i>Busera simaruba</i> 11. <i>Dioscoria composita</i>	<i>Combretaceae</i> <i>Moraceae</i> <i>Bombacaceae</i> <i>Palmae</i> <i>Meliaceae</i> <i>Voquiaceae</i> <i>Malvaceae</i> <i>Anacardiaceae</i> <i>Boraginaceae</i> <i>Burseraceae</i> <i>Dioscoreaceae</i>	Sombrerete Ojoche Pochota Guayacán Cedro Lagunillo Majahua Jobo Suchicagua Palo mulato Cabeza de N.	S3: Suelos negros S5: Bayita S7: Huertas S9: Ladrillo rojo S11: Forestal S12: Oxícos	Mollisol (Rendzina) Alfisol (Luvisol) Inceptisol (Cambisol) Ultisol (Acrisol) Inceptisol (Cambisol) Oxisol (Ferralsol)	- Profundidad efectiva: > 200 cm - Textura: Migajón medio - Drenaje: Eficiente - Porosidad: > 50% - Retención de humedad: Alta - Permeabilidad: Moderada a alta
	Malezas 1. <i>Piscidia piscipula</i> 2. <i>Andropogon bicornis</i>	<i>Leguminosae</i> <i>Gramineae</i>	Habí Zacate agrio			
B. SELVA SUB CADUCIFOLIA Y CADUCIFOLIA	1. <i>Brosimum alicastrum</i> 2. <i>Cela pentandra</i> 3. <i>Trophis racemosa</i> 4. <i>Lonchocarpus hondurensis</i> 5. <i>Schizolabium parahybum</i> 6. <i>Busera simaruba</i> 7. <i>Glicicidia sepium</i> 8. <i>Sickingia rhadoctada</i>	<i>Noraceae</i> <i>Bombacaceae</i> <i>Moraceae</i> <i>Leguminosae</i> <i>Leguminosae</i> <i>Burseraceae</i> <i>Leguminosae</i> <i>Rubiaceae</i>	Ojoche Pochota Confitura marinero Piocho Palo mulato Cocuite Nazareno	S3: Suelos negros S4: La Laja S5: Conchas S8: Barrales S11: Forestales S14: Tierra baja	Mollisol (Rendzina) Entisol (Regosol) Inceptisol (Cambisol) Alfisol (Luvisol) Inceptisol (Cambisol) Vertisol	- Profundidad efectiva: ± 80 cm - Textura: Fina - Drenaje: Moderado - Porosidad: > 50% - Retención de humedad: Muy alta - Permeabilidad: moderada
1. <i>Ipomoea trichocarpa</i> 2. <i>Asclepias curassavica</i>	<i>Convolvulaceae</i> <i>Asclepiadaceae</i>	Amole Hierba sapo				
B. SELVA RIPARIA (GALERIA)	1. <i>Salix Chilensis</i> 2. <i>Inga spp.</i> 3. <i>Lonchocarpus sericeus</i> 4. <i>Andira galeottiana</i> 5. <i>Salvia spp.</i>	<i>Salicaceae</i> <i>Leguminosae</i> <i>Leguminosae</i> <i>Leguminosae</i> <i>Labiatae</i>	Sauce Aguatopo Marinero Macayo Martina	S1: Arroyo S13: Gravoso	Entisol (Fluvisol) Entisol (Regosol)	- Propiedad efectiva: ± 100 cm - Textura: Gruesa - Drenaje: muy drenado
D. SABANA	1. <i>Scheelea liebmanni</i> 2. <i>Sabal mexicana</i> 3. <i>Acacia cornigera</i> 4. <i>Acrocomia mexicana</i>	<i>Palmae</i> <i>Palmae</i> <i>Leguminosae</i> <i>Palmae</i>	Coyol real sabal Comesuelo Coquito	S2: Bajío	Inceptisol (Cambisol)	- Profundidad efectiva: > 150 - Textura: Fina - Drenaje: Moderado a impedido
1. <i>Paspalum conjugatum</i> 2. <i>Anoxopus sp.</i> 3. <i>Sporobolus indicus</i> 4. <i>Panicum maxlmun</i> 5. <i>Paspalum paniculatum</i> 6. <i>Etchornia crassipes</i> 7. <i>Cyperus Tenerrimus</i>	<i>Gramineae</i> <i>Gramineae</i> <i>Gramineae</i> <i>Gramineae</i> <i>Gramineae</i> <i>Pontederiaceae</i> <i>Cyperaceae</i>	Gramal Zacate grama Zacate Guinea Camalote Camalote Tule	S8: Barrales S14: Tierra Baja	Alfisol (Luvisol) Vertisol	- Retención a humedad: Alta - Permeabilidad: Lenta	

En síntesis, la influencia de la biota está ligada con la del clima, que influye grandemente en el carácter de la flora y fauna del suelo. En las zonas de transición tropical-templada-fría es en donde la naturaleza de la comunidad vegetal tiene una fuerte influencia en el carácter del suelo. Un ejemplo extraordinario de la influencia de la vegetación en la tipogénesis de un suelo, es el descrito por Buol (1981) en Nueva Zelanda, en donde el pino Kauri (*Agathis australis*) produce una hojarasca muy ácida, que hace que la formación de Podzol proceda con mayor rapidez cerca del árbol (Podzol de canasta). Un fenómeno similar se desarrolla en algunos Acrisoles y Luvisoles del sureste de Asia en donde un horizonte E albico siempre está asociado con una especie de casuarina (*Gymnostoma novile*).

En Australia, se estima que hay 365 especies de *Eucalyptus* y cada una de ellas parece tener un hábitat y un suelo especial. Sin embargo, a este particular, Richards (1939) considera que es artificial discutir los tipos de vegetación con relación al suelo, debido a que ambos sólo son en realidad dos componentes de un ecosistema. Esto es especialmente necesario recordarlo al tratar con ecosistemas tropicales, que representan algunos de los sistemas biológicos más complejos del mundo.

III.H.4.4. Clima como un Factor de Alteración

En la Tabla 20 se ilustran, grosso modo, las correlaciones observadas: clima-alteración-suelo, que caracterizan la edafogénesis de las zonas Tropicales y Subtropicales en México.

En tanto que en la figura 21, se muestran tres ejemplos del complejo de alteración en suelos, que caracterizan las zonas bioclimáticas tropicales de México.

Como puede observarse en la tabla 20, las tres zonas bioclimáticas, incluidas en este estudio, comprenden, fundamentalmente, el Grupo de Climas A de Köppen. Cada zona se caracteriza, básicamente, por un régimen de temperatura; humedad y evapotranspiración diferentes. La influencia de estos factores sobre el intemperismo de las rocas y de otros materiales, está determinado a través del índice de Weinert (1974). Con base en el análisis y cálculo de los datos climatológicos recabados en 50 estaciones meteorológicas, incluidas en la zona de estudio se obtuvieron los siguientes resultados:

(a) Los valores del índice de Weinert (N) mayores o iguales a 5, siempre marcan una transición clara de las condiciones sub-húmedo cálidas en que el intemperismo químico predomina, con las condiciones áridas y semiáridas en el que el intemperismo físico es un fenómeno importante; (b) los valores de N, comprendidos de 2 a < 5, resultaron característicos de suelos, fersialíticos, donde la fracción microcristalina (< 2 μ) se ha constituido por una transformación moderada, o por herencia. La neoformación es limitada, o moderada, la bisialitización predomina; (c) los valores que oscilan de N=0.75 a N=<2, son diagnósticos para suelos ferruginosos donde la neoformación de arcilla y la monosialitización son dominantes, en tanto que (d) los valores de N= < 0.75 identifican a las unidades de suelos ferralíticos, donde los procesos de alitización, caolinización, kandificación y laterización son comunes.

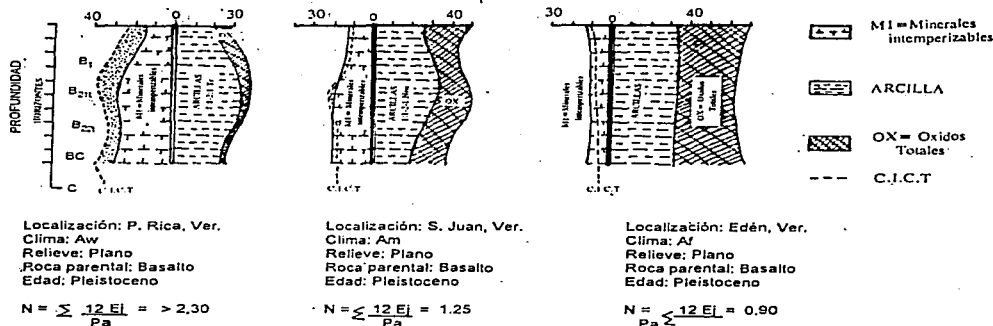
TABLA 20. ZONAS BIOCLIMATICAS, ALTERACION Y TRANSFORMACION.

ZONAS BIOCLIMATICAS	REGIMEN EDAFOCLIMATICO	TIPO DE ALTERACION	SUELO	FORMACION DE ARCILLA TRANSFORMACION DE NEOFORMACION	
SUBTROPICAL: Aw-Awo-Awi y Aw2. A (C) (A) C-Cw* - BS* *Bw-Bsh*	USTICO UDICO N = $\frac{12E}{I}$ = 2-5 Pa	ANDOSOLIZACION ACIDOLISIS PARDIFICACION ARGILIZACION RUBEFACCION SIALITIZACION	ANDISOLES INCEPTISOLES ALFISOLES (Suelos ferralíticos)	HERENCIA TRANSFORMACION MODERADA	MEDIA: Bisialitización
TROPICAL: Caliente-húmedo con lluvias en verano: Am	UDICO USTICO PERUDICO N = $\frac{12E}{I}$ = 2-07 Pa	HIDROLISIS TOTAL LAVADO ARGILIZACION RUBEFACCION	MEDIO DRENADO: ALFISOLES ULTISOLES (Suelos ferruginosos)	HERENCIA Y TRANSFORMACION LIMITADAS	BASTANTE FUERTE: Monosialitización
	USTICO UDICO N = $\frac{12E}{I}$ = 2-07 Pa	HIDROLISIS TOTAL VERSITOLIZACION AUTOINVERSION	MEDIO CONFINADO: VERTICO	HERENCIA Y TRANSFORMACION LIMITADAS	FUERTE: bisialitización
TROPICAL: Caliente-húmedo con lluvias todo el año: Af	UDICO PERUDICO N = $\frac{12E}{I}$ = 0.75 Pa	HIDROLISIS TOTAL LAVADO ARGILIZACION LATOSOLIZACION LATERIZACION	ANDISOLES ALFISOLES ULTISOLES ONISOLES (Suelos ferralíticos)	HERENCIA Y TRANSFORMACION NULAS	FUERTE: Monosialitización sialitización caulinización

* Con base en Rzedowski (1972). Bajo estas condiciones de clima se establece, principalmente, el material semidesértico. Sánchez (1981) considera que estos tipos climáticos, cubren el 7% de los Trópicos.

Los análisis químicos y mineralógicos realizados en el complejo de alteración de estos suelos, validan los resultados obtenidos, a través del índice de Weinert (1974). Como se observa en la figura 21, las unidades de suelos que caracterizan a cada zona bioclimática, no obstante que se originan en factores de estación similares, muestran un complejo de alteración diferente en cada una. Grosso modo, se observa una disminución, directamente proporcional, de los valores S/T, C.I.C.T y porcentaje de minerales intemperizables con respecto a la disminución del valor del índice N, así como un incremento, inversamente proporcional, del porcentaje de arcillas 1:1, óxidos y materia orgánica no degradada.

FIGURA 21. ALTERACION CLIMATICA Y COMPLEJO DE ALTERACION



En los tres casos, el complejo de alteración está formado por arcillas, sesquióxidos y minerales alterables en la fracción de 20 a 200 μ . Los minerales intemperizables siempre se presentan en porcentajes menores a 15, en todos los suelos ferralíticos que fueron analizados. Las arcillas transformadas o heredadas, que son dominantes en los suelos de clima templado, tienden a ser minoritarias en beneficio de las arcillas de neoformación, en particular la caolinita en los climas más húmedos. La neoformación, todavía en una proporción media en las regiones subtropicales (Suelos fersialíticos), llega a ser el proceso predominante en clima tropical de tipo Am (Suelos ferruginosos) y casi exclusivo en clima Af. (Suelos Ferralíticos). (Tabla 20).

Por otra parte, el incremento de óxidos de aluminio y de hierro, que se observa en la Figura 21, se debe a dos causas: (1) grado de alteración más elevado y (2) los óxidos de hierro y de aluminio liberados, especialmente, en los suelos ferruginosos y ferralíticos se conservan íntegramente o casi íntegramente en el perfil.

Al respecto, Lelong, 1972, señala que en clima templado, la hidrólisis ácida lleva consigo una pérdida, no despreciable, de iones Fe^{+++} y sobre todo de Al^{+++} , en las aguas de drenaje pedológico.

El color rojo que caracteriza a los suelos estudiados, según Schwertmann (1974), se debe a que los procesos de cristalización de los óxidos de Fe libres, no están frenados por la presencia de materia orgánica. En el horizonte B de estos suelos los procesos de cristalización de los óxidos de hierro tienden a generalizarse, dando lugar a la formación de goethita (ocre) como de hematita (rojo). La goethita resulta de la cristalización progresiva que se produce en un medio, casi, constantemente húmedo (Udico-Acuico), mientras que la hematita se forma por cristalización rápida, en un medio sometido a fases de desecación moderada a intensa (Rubificación).

III.H.4.5. El Hombre como un Factor de Alteración.

Los efectos del hombre sobre los suelos de los ecosistemas tropicales han sido revisados por muchos investigadores: Rehm (1975); De la Salas y Foelster (1976); Sánchez (1981); Boul (1984); Okigbo y Lai (1979); Laudelout (1960); Nye (1964) y Brinkman (1981). Las principales conclusiones obtenidas por estos investigadores se pueden resumir de la siguiente manera:

1. **La agricultura migratoria es todavía la práctica predominante de uso del suelo en los trópicos, especialmente, en los trópicos húmedos de América.** Cubre aproximadamente el 30% de los suelos explotables del mundo, y es el medio de subsistencia de más de 250 millones de personas; de las cuales 200 millones practican la agricultura en las zonas de laderas.
2. Las consecuencias de la tumba de la selva tropical, la quema y la posterior utilización del suelo para cultivos en las áreas tropicales, particularmente en México, genera:

a. Rápida descomposición de la materia orgánica por actividad de los microorganismos; (b) pérdida muy rápida de materia orgánica, inmediatamente después de la quema; (c) pérdida considerable de nutrimentos o bioelementos; principalmente azufre y nitrógeno; (d) lavado extenso de nutrimentos en todo el perfil del suelo; (e) pérdida por lixiviación de nutrimentos temporalmente disponibles; (f) reducción drástica de la disponibilidad de ciertos elementos debido a su retención (fósforo); (g) pérdida de nutrimentos por supresión de la biomasa existente antes de la quema; (h) crecimiento excesivo de malezas y (i) erosión y degradación del suelo. Estos efectos se observan de un modo particularmente evidente en los suelos de la península de Yucatán (Gama et al., 1990).

Todos estos cambios, directamente afectan la tipogénesis de los suelos tropicales, e indirectamente su formación. Los principales cambios tipogénéticos observados y reportados

FIGURA 22 DEGRADACION BIOLOGICA DE LOS SUELOS



- AREA DEGRADADA BIOLOGICAMENTE
- SELVA CADUCIFOLIA ALTERADA
- SELVA CADUCIFOLIA LIGERAMENTE ALTERADA
- 4 ZONA URBANA

en los suelos del trópico americano, casi siempre, están relacionados con las siguientes características del suelo:

- A. Estructura:** La destrucción de la materia orgánica, así como la remoción de los óxidos de hierro libre, afectan la estabilidad estructural del suelo en los 10 cm iniciales de profundidad, después de una quema, propiciand cambios en la aireación, infiltración y densidad aparente. En el caso de los Ultisoles y Alfisoles se presentan serios peligros de erosión y compactación.
- B. Retención e infiltración de agua:** Sánchez (1981) en un Oxisol de Brasil, observó una marcada disminución de la tasa de infiltración, de 82 a 12 cm por hora, cuando se taló el bosque original y la tierra se cultivó durante 15 años.
- C. Densidad aparente:** Quiñones y Allende (1974) en estudios de suelos volcánicos del trópico mexicano, reportan incrementos significativos en la densidad de varios Andosoles del Tacaná, que fueron sometidos a cultivo. Los valores originales, bajo condiciones de bosque, variaron de 0.66g/cm³ hasta 1.1g/cm³ en un lapso de tres años.
- D. Drenaje y uso consuntivo del agua:** La degradación de la estructura propicia una pérdida de porosidad y una degradación física del suelo. Estos factores afectan la velocidad del drenaje interno. La destrucción de la vegetación arborea acentúa esta deficiencia debido a que la cantidad de agua de lluvia que penetra al suelo cultivado es, considerablemente, mayor que cuando el suelo estaba protegido por la selva. Cuanalo y Aguilera (1970) reportan la formación de horizontes de Gley y pseudogley por estas causas, en los suelos de Tuxtepec, Oax.

En otros casos el incremento en el drenaje pedológico, vertical o lateral, propicia mayor lavado de arcillas y bases, y un incremento relativo de aluminio y de hierro. Foelster (1987) encontró en varios calveros de la Amazonas venezolano, cantidades exageradas del ion aluminio, después de haber tumbado y quemado el bosque dentro del sistema de agricultura migratoria. Gama, *et al.*, (1990) reportan en el área de Tepetzingo, Mor., la presencia de suelos biológicamente degradados por efecto de la tala y el mal uso de herbicidas. Desde 1989 no se establece en estos suelos ningún tipo de vegetación, ya sea natural o inducida. (Figura 22).

E. Materia orgánica y nitrógeno orgánico del suelo: Aparentemente, la quema de vegetación volatiliza la mayor parte del carbono, del azufre y del nitrógeno presentes provocando, además, una pérdida muy rápida de materia orgánica. Sin embargo, algunos suelos, como Andosoles y Oxisoles, son poco susceptibles a degradarse por este concepto, como se afirmaba hasta hace algunos años. De las Salas (1987) ha observado, en Costa Rica, que estos suelos recobran sus elementos y su equilibrio, durante las fases de sucesión de la vegetación. Este autor afirma que cuando existe una cubierta de cultivos permanentes, se sucede una pérdida mínima de nutrimentos fuera del sistema. Esta afirmación parece no considerar el riesgo que por efecto de la pendiente puede propiciarse lavado, ya sea superficial o interno.

Por otra parte, se ha observado en algunas rocas calcáreas de la península de Yucatán que la quema de vegetación, propicia su termoclastia y disolución por el efecto del calor y de una mayor concentración ambiental del anhídrido carbónico, respectivamente. El efecto de ambos agentes fue tratado, con detalle, en los primeros párrafos de este capítulo relativo a los procesos de intemperismo y alteración.

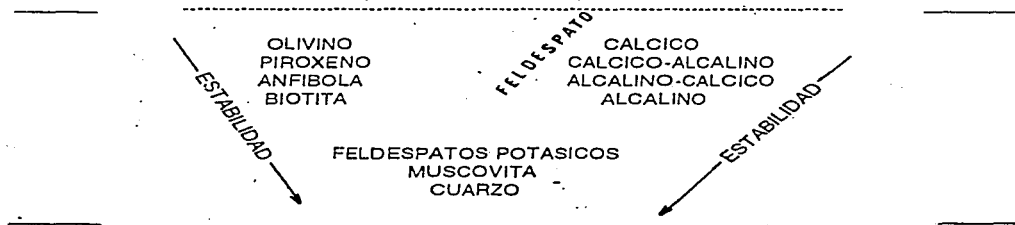
III.H.4.6. Factores de Estación.

Así como el clima es el factor fundamental del intemperismo y de la edafogénesis en zonas cálidas húmedas, la velocidad de evolución depende, principalmente de tres factores de estación: roca parental, topografía y drenaje del suelo. El factor tiempo desempeña, en este caso, un papel mucho más importante que en clima templado. (Duhaufour, 1984).

III.H.4.7. Roca Parental

Bajo condiciones de clima cálido húmedo y subhúmedo, los procesos químicos tienden a ser predominantes en el intemperismo de las rocas, sin embargo, las rocas no son igualmente susceptibles a disgregarse por el intemperismo. La figura 23 muestra las propiedades de los minerales a la meteorización.

FIGURA 23. ORDEN DE INTEMPERISMO DE LOS MINERALES



FUENTE: Birkeland (1974), p. 136.

La rama izquierda del diagrama, está formada por minerales ferromagnesianos, y la rama derecha por feldespatos de plagioclasa. La lista es idéntica con el diagrama de series de reacción

derivado del orden en que los minerales cristalizan en un magma frío. Esto significa que los primeros minerales formados se constituyeron antes que ellos alcanzaran un equilibrio de temperatura y presión con el medio ambiente, son inestables y rápidamente meteorizables. Contrariamente, los últimos minerales en cristalizar, se formaron cuando las condiciones no eran muy diferentes a las del medio y, consecuentemente, muestran estabilidad alta y lento intemperismo.

Con frecuencia, pequeñas variaciones en la composición mineralógica de la roca parental, o cambios en la intensidad o carácter de un factor ambiental, genera importantes diferencias en los suelos. Así, Gama (1979) observó y describió como los suelos residuales de origen granítico, localizados en la zona costera de Chiapas, variaban en color de gris a rojo, dependiendo de la cantidad de limonita y hematita presentes, mientras que el contenido de arcilla variaba de 2% a 30%, dependiendo de la cantidad relativa de cuarzo, micas y feldespatos (Tabla 21). Allende y Quiñones (1974) reportan una litosecuencia de suelos en Yucatán, originada por pequeñas variaciones en el contenido de arcillas heredadas en una formación de rocas calizas.

Recientemente, Flores (1992) investiga la alteración de materiales fósiles, de origen periglaciario asociados con piroclásticos recientes, bajo condiciones de clima subtropical (Suelos policíclicos).

A nivel mundial, también existen muchos ejemplos interesantes: Ruddock (1967) encuentra que en Ghana, las rocas graníticas forman, por intemperismo, perfiles de suelos arenosos, profundos, ricos en cristales de feldespatos y que el intemperismo "de roca granítica" reportado por Ruxton (1957) en suelos de Hong Kong, no ocurre. Ruddock atribuye la diferencia a la ausencia de un patrón de diaclasas regulares en el granito de Ghana, pero la diferencia también puede deberse a diferencias mineralógicas, climáticas, topográfica y de edad.

TABLA 21 LITOSECUENCIA EN SUELOS DERIVADOS DE GRANITO

PROPIEDADES FISICAS											
Muestra de Suelo		Color Munsell (0.33 bar)	TIPO DE TAMAÑO Y DIAMETRO DE PARTICULAS (mm)								
			Arena				Limo				Arcilla
			Muy Gruesa (2-1)	Gruesa (1-0.5)	Media (0.5-0.25)	Fina (0.25-0.1)	Muy Fina (0.1-0.05)	Medio (0.05-0.02)	Fino (0.02-0.002)	<0.002	
M1	Cw	7.5YR4/3	52.0	12.1	7.3	4.5	2.1	8.3	6.7	7.8	
M2	(B)	7.5YR3/3	43.8	10.0	6.2	6.3	2.5	10.9	8.3	12.0	
M3	Bw	7.5YR5/2	32.5	2.0	--	7.3	5.7	16.2	13.8	22.5	
M4	Cr	10YR6/2	68.0	15.6	5.0	7.5	2.9	4.0	3.0	2.0	
M5	Bt	5YR3/2	16.0	4.4	7.0	12.1	8.5	9.2	12.8	30.0	

LOCALIZACION: 15°30' - 92°43'
 COLECTO: J.E. GAMA (1979).

PROPIEDADES QUIMICAS Y MINERALOGICAS DE LOS SUELOS Y ROCA PARENTAL

Muestra de Suelo	CONTENIDO DE OXIDOS DE Fe EN EL SUELO (% por volumen)		COMPOSICION MINERALOGICA DE LA ROCA PARENTAL (% por volumen)					
	Forma Amorfa	Limonita Hemarita Goethita	Feldespatos Alcalinos	Cuarzo	Plagioclasa Sódica	Muscovita	Biotita	Minerales Accesorios
M1	2	6	56	25	10	6	2	1
M2	4	9	53	25	7	6	8	1
M3	6	10	55	18	9	7	10	1
M4	1	5	60	29	7	3	1	-
M5	9	11	48	15	13	9	12	2

* Dentro de los minerales accesorios fueron identificados: epidota, circón, titanita y óxidos de hierro.

LOCALIZACION: 15°30' - 92°43'

COLECTO: J. E. GAMA.

Como se observa en la tabla 21 las diferentes facies mineralógicas del granito (estudiado) no sólo propician cambios morfológicos, cromáticos o granulométricos en los horizontes del suelo, sino que además, generan diferentes grados de intemperismo, horizontalización y tipogénesis representadas en este caso, por la secuencia: Entisol (M4)-Inceptisol (M1-M2-M3) y Alfisol (M5). La muestra M4 presenta un grado de intemperización física moderada, caracterizado por un sistema de fracturas, abundantes, en el horizonte CR y por la presencia de una estructura de roca parcialmente destruida. La alteración química es ligera y se localiza a lo largo de las fisuras y grietas. En las muestras M1, M2 y M3, se observa un incremento gradual del intemperismo físico, hasta constituir un horizonte de alteración (Bw) donde dominan los fragmentos angulares y la estructura de la roca está escasamente preservada.

En estas etapas, la biotita ha sido, en gran parte, alterada a clorita, una alta proporción de feldespatos está cambiando a caolinita, aunque todavía existen cantidades significativas de microclina y muscovita no alteradas. Existe una pérdida considerable de sílice y de los cationes básicos, incrementándose los contenidos relativos de aluminio y óxidos de hierro. Parte de los elementos solubles y geles amorfos presentes, evolucionan hacia formas criptocristalinas y luego francamente cristalinas.

La presencia de un medio ácido, con drenaje favorece la formación de caolinitas. Durante

óxidos de Fe y Al. En esta etapa se conservan residuos de microclina y muscovita, existiendo una pérdida, casi total, de cationes básicos y de un 30 a 40% de sílice, que en conjunto representan alrededor del 45% de pérdida de volumen de la roca original.

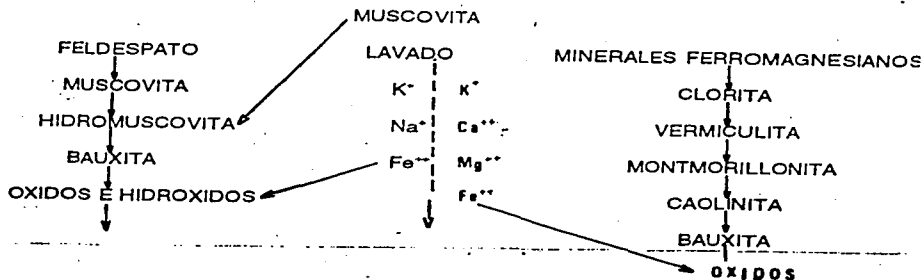
Harrixon (1973) ha demostrado que durante la descomposición del granito no se forma gibbsita; en vez de esto, se efectua una descomposición bastante directa a caolinita, como en el caso analizado.

III.H.4.8. Relieve y Drenaje

Para que un perfil, profundo, de suelo se desarrolle, la velocidad en que el intemperismo avance dentro de la roca parental, debe exceder la velocidad de remoción por erosión de los productos de intemperismo. La topografía y el drenaje interno, controlan la velocidad de intemperismo porque, parcialmente, determinan los contenidos de agua pedológicamente aprovechable, y la velocidad con que esta se mueve a través de la zona de intemperismo.

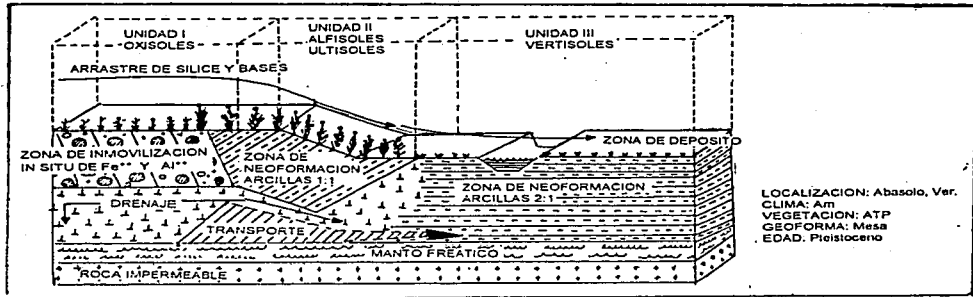
Ambos factores, también, controlan la edad efectiva (evolutiva) del perfil a través de controlar la velocidad de erosión del material intemperizado de la superficie. Fitzpatrick y Le Roux (1977) estudiaron perfiles de suelos desarrollados a partir de rocas ígneas básicas, localizadas en áreas onduladas. Ellos encontraron que la profundidad del intemperismo se incrementa pendiente abajo. En 1978, Van der Merwe, propuso una secuencia de intemperismo para explicar la formación de minerales arcillosos en el trópico (Figura 24). Dos años después el mismo autor demostró que la secuencia propuesta era muy relativa, ya que las diferentes condiciones de drenaje o cambios en el clima pueden alterarla. De hecho este autor observó que los suelos rojos caolíníficos, desarrollados en áreas bien drenadas sobre gabbros, podían constituir suelos negros arcillosos en condiciones de drenaje deficiente.

FIGURA 24 SECUENCIA DE INTEMPERISMO PROPUESTA POR VAN DER MERWE



La figura 25, ilustra un ejemplo, a nivel nacional, sobre la acción del drenaje pedológico y la pendiente, en la naturaleza y grado de intemperismo, distribución y mineralogía de suelos derivados de rocas ígneas básicas, en la región de la Mesa de Abasolo, Veracruz.

FIGURA 25 TOPOSECUENCIA COMO FACTOR TIPOGENETICO



Esta área está constituida, geomorfológicamente, por tres unidades terrestres:

UNIDAD 1

La unidad geomorfológica I, se caracteriza por presentar, una pendiente ligera (1-3%) buen escurrimiento y drenaje eficiente. Estas condiciones favorecen una velocidad de erosión lenta, que propicia la formación de suelos profundos y una alta lixiviación, por drenaje, de Si^{+4} , Ca^{++} , Mg^{++} , Na^{+} y K^{+} , los cuales son transportados por drenaje lateral, a las zonas bajas. El complejo de alteración en estos suelos está constituido por óxidos de hierro y aluminio, caolinita y por pequeñas cantidades (<10% por volumen) de vermiculita, formada por la alteración de cloritas trioctohédricas.

Bajo estas condiciones de estación, parte del $Si(OH)_4$ restante, se combina con Al^{3+} , quizá como $Al(H_2O)_6^{3+}$, para formar una fase cristalina, inicialmente constituida por haloisitas y proto-haloisitas. Estas pueden recrystalizar por transformación simple (Simonson, 1978) a formas de caolinita. La gibsita, $Al(OH)_3$, se puede producir cuando los niveles de lixiviación de $Si(OH)_4$ son extremos.

Transformaciones similares, pueden estar involucradas en la formación de los óxidos de hierro libre en los suelos de esta Unidad:

**MINERALES
SILICATADOS
RICOS EN Fe**



**MINERALES DE OXIDO
DE HIERRO LIBRE**

Una vez formados los óxidos de hierro, pueden disolverse nuevamente en condiciones de Eh bajo. Los iones de Fe (II) se movilizan en la solución del suelo, para acumularse en capas más profundas, las condiciones de Eh más altos propician que el Fe (II) precipite a Fe (III), propiciando la formación de un horizonte de acumulación de Fe por auto-organización del suelo.

En algunos Ferralsoles y Ultisoles presentes en el área, que muestran un nivel freático fluctuante, próximo a la superficie, hay segregación de hierro con translocación de este elemento, el cual al acumularse llega a constituir plintitas.

UNIDAD II

La unidad II está constituida por una asociación de Alfisoles y Ultisoles, localizados en las superficies más jóvenes. Los Ultisoles se encuentran en las áreas más estables con pendientes de 4 a 7%, en tanto que los Alfisoles se localizan en laderas más pendientes. (6-10%). La primera unidad edáfica, muestra una serie de minerales estables al medio ambiente, en el que predominan la caolinita, asociada con cantidades pequeñas de gibsita y arcillas de intergradación de clorita y vermiculita, con algo de cuarzo y micas en la fracción limo.

Los contenidos de óxidos son altos, pero menores que los determinados en los Ferralsoles. En los Alfisoles se presenta una secuencia clorita-vermiculita-caolinita, la cual, gradualmente, va incrementando sus contenidos en arcillas montmorilloníticas al ir decreciendo la pendiente y la velocidad de drenaje. La formación de las cloritas pedogénicas en estos suelos, puede deberse a la alteración de las micas o de las esmectitas heredadas de la roca parental. Esta transformación es muy común en los suelos que han sido sujetos a un intemperismo ácido (pH próximo a 5) por considerables períodos de tiempo.

UNIDAD III

Esta unidad está caracterizada por un relieve plano, con drenaje impedido, donde el lavado de álcalis y tierras alcalinas es pobre y las condiciones de reducción son predominantes, el intemperismo no propicia la etapa de caolinita, y la montmorillonita es la arcilla dominante. Buol (1981) considera que para la síntesis de las montmorillonitas, se requiere una concentración iónica elevada de silicio y magnesio. La haploidización por perturbación arcillosa (argilo pedoperturbación), la silicatación, la formación de esmectitas y la acumulación de bases son fenómenos que preceden la formación de los Vertisoles presentes en esta unidad, y sólo se presentan, localmente, en pendientes planas o casi planas (0-4%) con drenaje impedido y manto freático elevado. La presencia de algunos Gleysoles

vérticos, se interpreta como una etapa de intergrado a Vertisoles.

En síntesis, las variaciones locales en la topografía han influido en el drenaje, en el contenido de humedad relativa, en la posición y configuración del manto freático, controlando la profundidad de penetración de la mayoría de los procesos de intemperismo químico. El relieve en esta área de Abasolo, Veracruz, controla el desarrollo y tipogénesis de los suelos, bajo condiciones zonales de drenaje eficiente a pobre. En condiciones de buen drenaje, la topografía controla la extensión de lavado, un mecanismo esencial del intemperismo de las rocas.

III.H.4.9. Factor Tiempo

Para todos los suelos minerales su desarrollo comienza con una etapa de Entisol (Fanning, 1990). Ciertos materiales parentales, sufren cambios rápidamente; por ejemplo: un horizonte sulfúrico (Figura 19) puede formarse en pocos meses cuando los materiales sulfídicos son, abruptamente, expuestos a condiciones oxidantes. Así un Sulfaquent, puede constituirse en un Sulfaquept en poco tiempo. Donde el material parental no es azufroso, un horizonte Cámbico puede formarse, y un Orthent se transforma en Ochrept en pocos años. Un horizonte argílico, normalmente, requiere para su formación de varios cientos de años, así los suelos que muestran un horizonte B2t, (Alfisolos-Ultisoles) requieren de tiempo considerable para formarse. El horizonte óxico requiere mucho más tiempo que el horizonte argílico. Desafortunadamente la edad absoluta de la mayoría de los suelos es desconocida.

Como se mencionó anteriormente, se denomina Tiempo cero, al tiempo en el que el desarrollo de un suelo comienza, después de que algún evento catastrófico ha destruido al suelo preexistente, y se presenta una nueva superficie, potencialmente meteorizable.

En el Trópico Mexicano, los principales eventos catastróficos registrados son:

- 1. Periglaciación.** El Tiempo cero, puede ser el tiempo en que los glaciares se retiran, dejando una nueva superficie, expuesta, para ser invadida por las plantas. (Sarukhán, 1964, Flores, et al., 1992).
- 2. Corrientes de lava.** Un nuevo suelo empieza a formarse en la lava fresca.
- 3. Depósitos de ceniza volcánica.** Ejemplo: Volcán Chichonal.
- 4. Estabilización de las dunas de arena.** Ejemplo: Alvarado, Veracruz.
- 5. Exposición de sedimentos, inicialmente sumergidos.** Ejemplo: Punta arenas, Guerrero. (Malpica, 1991).
- 6. Depositación de material parental de suelo, por el hombre.** Actualmente, el evento más dinámico y, posiblemente, el más generalizado en el país.

7. **Estabilización de las superficies aluviales:** Llanura costera de Nayarit. (Ortiz, 1984).

III.H.5. CRONOSECUENCIAS DE ALTERACION EN EL TROPICO Y SUBTROPICO MEXICANO

Existen, en México, numerosos ejemplos de cronosecuencias, sin embargo, la mayoría de ellas carecen de datos confiables sobre la edad y fases del fenómeno. El ejemplo que se presenta a continuación reúne esos requisitos, por lo que se consideró el más adecuado (Tabla 22).

TABLA 22. — CRONOSECUENCIAS DE ALTERACION

Perfil: DETENAL 0-33

Serie: Hidroácidos-MD

Localización: Paraíso, Tabasco (18°23' - 93°11')

Material parental: Depósitos antrópicos, ricos en materiales sulfídicos (DAS)

Vegetación: ninguna

Pendiente: 1%

Edad: 5 años (1977-1982) Junio 16 de 1977.

Descrito por: Gama-Castro, J. E. y Allende-Lastra, R.

Clasificación: Sulfaquept (USDA, 1990)

Horizonte	Profundidad	Descripción
Bw1	0-7 cm	Horizonte de textura migajón arcillo limoso, de color pardo oliva (2.5Y4/4), con moteado sobre los pedio (7.5YR5/6 y 5YR5/3); estructura fina, subangular y angular; friable; contacto abrupto y plano. pH de 3.5.
Bw2	7-35 cm	Horizonte de textura migajón arcillo limoso, de color gris muy oscuro (5YR3/1), que muestra películas continuas, de jarosita de color verde olivo (5Y5/3) sobre los pedio, y moteado de color pardo obscuro (7.5YR4/6) en poros y superficies de los pedio. Estructura prismática media y gruesa que rompe a bloques angulares finos. Se presentan grietas entre los prismas, ligeramente adhesivo y plástico; límite gradual. pH de 3.1.
BC	35-57 cm	Horizonte de textura migajón arcillo limoso, de color negro (10YR1/1), con películas de jarosita (5Y5/3) y moteado gris

		oscuro (5Y3/1) y pardo brillante (7.5YR5/5) en los poros y facetas; estructura prismática gruesa y media. pH de 4.2. Límite abrupto.
Cg1	57-69 cm	Horizonte de textura migajón arcillo limoso, de color negro (N ₂), moteado gris muy oscuro (5Y3/1) y pardo brillante (7.5YR4/6), sin estructura, adhesivo y plástico, pH 7.3. Límite plano.
Cg2	69-100 cm	Horizonte de textura migajón arcillo limoso, de color negro (N ₂) moteado escaso, de color gris muy oscuro (5Y3/1), sin estructura; adhesivo y plástico. pH de 7.5

Génesis y Dinámica del Perfil

Todos los materiales depositados, por el hombre, en este sitio, fueron extraídos al dragar algunos canales que comunican con la laguna de Paraíso. **Potencialmente, son materiales ricos en sulfatos ácidos, con altos contenidos de agua y elevados valores-n (Tabla 23).** Estos materiales muestran densidades aparentes muy bajas debido a los contenidos de agua. Su contracción es irreversible cuando se secan (materiales muy colapsables). Estos materiales, antes de su depósito en superficie, muestran pH neutros o ligeramente alcalinos, y en contacto con HCl, desprenden gas sulfhídrico, indicando así, la presencia de sulfuros, la mayoría de los cuales se presentan como piritita (FeS₂). Estos materiales son altamente anaeróbicos.

Cuando estos materiales se exponen al aire y a la desecación, su color negro cambia, irreversiblemente, a gris muy oscuro y pierden su capacidad de generar gas sulfhídrico cuando se les expone al HCl. Cuando están completamente secos, una estructura prismática se constituye (estructura de desecación) y aparece agrietamiento (grietas de tensión). Parte del material superficial cae en las grietas (autoinversión) de modo similar a como ocurre en los Vertisoles.

Un horizonte sulfúrico se forma en los horizontes que sobreyacen al manto freático debido al proceso de sulfurización. La formación de este horizonte se realiza en pocas semanas (5 a 15 semanas). Las sales, predominantemente los sulfatos ferrosos, se forman por la oxidación de los sulfuros de hierro presentes, junto con algunas cantidades de halita, presente en el agua que, inicialmente, saturaba a estos materiales cuando fueron depositados. Durante los períodos de sequía anual, la sal se acumula en la superficie, al llegar las lluvias se disuelven las sales y pueden, temporalmente, elevar el pH. Bajo esas condiciones el hierro ferroso, disuelto, es oxidado e hidrolizado formando óxidos de hierro y jarosita, $K Fe_3(SO_4)_2 (OH)_6$, propiciando una acidificación, y la disminución del pH (USDA, 1990-1994).

El potasio necesario para formar la jarosita, se libera de las micas y feldespatos potásicos por ataque ácido. El hierro que constituye los óxidos y la jarosita es Fe (III) el cual

aparentemente solo es estable en la fase estructural del suelo conocida como "Modelo de Moteado I". Esta fase se caracteriza por sus condiciones aeróbicas y por sus valores de Eh, suficientes para que el Fe (III) sea estable. Las reacciones posibles para oxidar Fe (II) a Fe (III) y formar jarosita y óxidos de Fe en la superficie de pedio ricos en azufre son:

FORMULAS:

1. $\text{Fe(II)} + \text{H}^+ + \text{SO}_4^- + \text{O}_2 \rightarrow \text{Fe(III)} + \text{SO}_4^- + \text{H}_2\text{O}$
2. $\text{Fe(III)} + \text{SO}_4^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6 + \text{H}_2\text{SO}_4$
3. $\text{HFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Fe}(\text{OH})_3$

La jarosita tiende a cubrir los óxidos de hierro a medida que el pH disminuye. El ataque ácido sobre los minerales silicatados, también involucra al aluminio. Esto da como resultado la presencia de cantidades significativas de Al extractable en KCl presente en el horizonte sulfúrico de estos suelos (horizontes Bw de la Tabla 23). Se considera que la presencia de Al, en porcentajes tóxicos (Tabla 23) es la causa principal de que no exista vegetación. Además los niveles altos de Al y Fe activos, pueden retener los fosfatos presentes, causando serias deficiencias de P.

Otros aspectos diagnósticos en el desarrollo de estos suelos, se refieren a la eluviación y lavado de azufre y metales pesados del horizonte sulfúrico, los cuales normalmente se acumulan en el horizonte Bc, particularmente, en el límite con el nivel freático (Tabla 23). Aparentemente los metales pesados, están presentes en los materiales frescos en forma de sulfuros metálicos o, quizá, son co-precipitados con los sulfuros de hierro. Después de la oxidación, los sulfuros metálicos son formados y eluviados. Esta eluviación es, aparentemente, incrementada por las sales en la solución del suelo, que desplazan los cationes de los sitios de intercambio de las arcillas y de la materia orgánica.

Como puede observarse en la tabla 23, los menores niveles de metales pesados y azufre no se presentan en el horizonte más superficial esto, probablemente, se debe al efecto de evapotranspiración. No obstante existe un continuo movimiento ascendente y descendente de las sales; evidenciado en este caso por los valores de conductividad eléctrica. Como se observa, el valor más bajo de C. E. en el perfil fue para Bw1, incrementándose con la profundidad.

TABLA 23 PROPIEDADES FISICAS, QUIMICAS Y CONTENIDO EN METALES PESADOS EN UN SULFAQUENT DE CINCO AÑOS DE EDAD.

PROPIEDADES FISICAS

Horizonte	Profundidad (cm)	Porcentaje por peso y tamaño			Densidad Mg M ³	Retención de humedad 0.33 bar g kg ⁻¹	Valor n
		Arena 2-0.05 mm	Limo 0.05-0.002	Arcilla <0.002			
Bw1	0-7	15	46	39	0.70	710	1.10
Bw2	7-35	7	40	53	0.70	850	1.33
BC	35-37	4	50	46	0.72	990	1.60
Cg1	57-69	20	47	33	0.90	1.100	1.30
Cg2	60-110	3	52	45	0.80	1.100	1.65

PROPIEDADES QUIMICAS

Horizonte	Profundidad (cm)	pH 1:1	C.E. dSm ⁻¹	Azufre Total g/kg ⁻¹	Carbono Orgánico g/Kg ⁻¹	Acidez Intercambiable	Aluminio Extractable en KCl
						cmol (p+) kg ⁻¹	
Bw1	0-7	3.5	12.5	8.9	33.3	31.2	9.7
Bw2	7-35	3.1	10.3	5.9	39.3	30.0	7.9
BC	35-57	4.2	14.6	6.7	31.6	32.1	6.5
Cg1	57-69	7.3	19.7	11.0	40.1	7.7	0.4
Cg2	69-110	7.5	25.3	12.1	35.0	5.3	0.2

CONTENIDO EN METALES

Horizonte	Profundidad (cm)	Zn	Cd	Cu	Ni	Mn	Cr	Pb
		mg kg ⁻¹						
Bw1	0-7	2.80	1.1	290	50	316	490	200
Bw2	7-35	2.00	0.1	260	43	300	475	240
BC	35-57	3.10	0.3	320	52	333	482	243
Cg1	57-69	5.80	3.5	550	69	606	450	218
Cg2	69-110	5.60	3.3	460	59	570	455	220

ANALIZO: LABORATORIO DE EDAFOLOGIA, DETENAL.

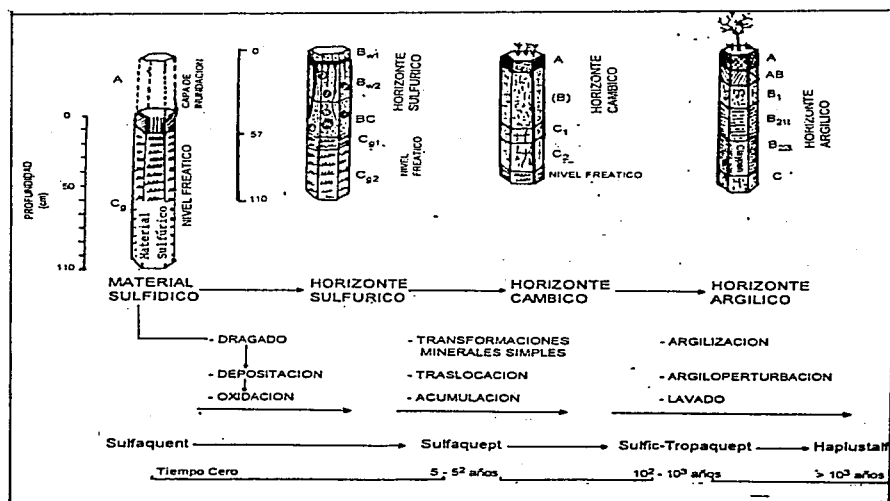
El movimiento del zinc, cadmio, cobre, níquel y manganeso, en y fuera del

horizonte, sulfúrico es muy evidente a diferencia del cromo y plomo. Esto se debe fundamentalmente, a la escasa edad del perfil. Al respecto, los trabajos de Snow (1983), realizados en Sulfaquepts, más antiguos (25 años) con un manto freático más profundo, pH menos ácido, y que presentan crecimiento de vegetación, muestran que los movimientos de Cr y Pb son similares a los de los demás metales pesados, sin que las plantas que crecen en estos suelos, presenten concentraciones superiores de metales pesados, con respecto a plantas de la misma especie que se desarrollan en otras unidades edáficas.

En síntesis, el desarrollo de un suelo, derivado de materiales de dragado, ricos en azufre, es muy rápido (5 años) en condiciones de trópico húmedo-calido. Para que el desarrollo ocurra, también, es importante que el nivel freático permanezca bajo la superficie la mayor parte del año. La presencia de grietas y la ausencia de compactación en las primeras etapas, propician cambios químicos y físicos-químicos (Eh-pH) fundamentales para la tipogénesis de estos suelos.

Como se menciona anteriormente, la evolución de un Gleysol tiónico o de un Fluvisol tiónico (Entisoles) a un Cambisol (Inceptisol) mediante la óxido-reducción de materiales sulfídicos y su rápida evolución a un horizonte B sulfúrico, sólo requiere de un lapso muy corto, normalmente, de algunas semanas. Teóricamente la formación de esmectitas e incluso de claypan pueden propiciarse a medida que estos suelos incrementan su pH ó disminuyen su contenido de humedad (deseccación). En la figura 26, se idealiza una cronosecuencia, con base en lo anteriormente discutido.

FIGURA 26. CRONOSECUENCIAS EVOLUTIVAS DE SUELOS GENERADOS POR EL PROCESO DE SULFURIZACION.

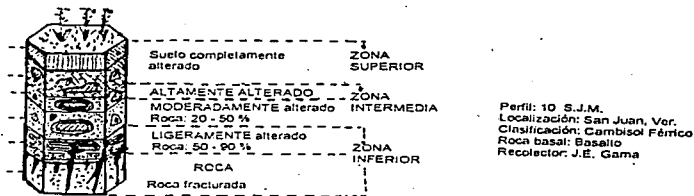


III.H.6. FASES Y ETAPAS DE LA DINAMICA DEL INTEMPERISMO Y DE LA ALTERACION EN EL TROPICO.

A causa de que el intemperismo procede de la superficie, su intensidad generalmente se reduce con el incremento de profundidad. Vargas y Pichler (1957), Ruxton y Berry (1957) y Litle (1969) consideran que un perfil típico de un suelo residual, que se ha desarrollado en el trópico, está constituido por tres zonas de alteración: (1) superior, (2) intermedia y (3) inferior.

La figura 27, ilustra esta hipótesis.

FIGURA 27. ZONAS DE INTEMPERISMO EN EL PERFIL



Como puede observarse, la zona superior generalmente está constituida por horizontes altamente meteorizados y lavados, ($Si: R_2O_3 = 1.15$) a menudo re trabajada por animales excavadores e insectos, o por cultivo, e interceptada por canales de raíces.

Esta zona se caracteriza, principalmente, por sus procesos de adición y transporte. (Simonson, 1959).

La zona intermedia también está muy alterada ($Si: R_2O_3 = 1.40$) pero conserva alguna apariencia de la estructura de la roca original, y contiene gravas con corteza de intemperismo muy marcada (espesor de la corteza de 3 a 5 mm). Esta zona también contiene materiales edafogénicos como nódulos de manganeso y sales de hierro, ambos le confieren una apariencia moteada.

La zona inferior está constituida por materiales desintegrados físicamente, parcial o ligeramente alterados, a menudo con estructura masiva o en grandes bloques de roca suave. Esta zona está fracturada y, gradualmente, pasa a roca basal.

En síntesis, la graduación de la intensidad de intemperismo y alteración, en función de la profundidad, corresponde con la graduación de las propiedades de estos suelos. Así un esfuerzo mecánico se incrementa con la profundidad, mientras que la proporción de poros y la compresibilidad decrecen. La permeabilidad puede incrementarse o decrecer con la profundidad, dependiendo de los minerales presentes en el perfil y del grado de lavado al cual el suelo ha estado sujeto ($D_{\text{anual}} = P\text{-ETP-100}$). Las partículas finas altamente intemperizadas que se encuentran en la parte superior del perfil, con frecuencia, son trasladadas por efecto de lavado y acumuladas en las partes profundas del perfil, consecuentemente los contenidos de arcilla se incrementan con la profundidad.

Bajo estas circunstancias es común que se forme un horizonte que impida la percolación (Claypan) y propicie la aparición de un drenaje lateral. Este fenómeno es común en la región de San Juan Evangelista, Ver. a una profundidad de 1 m a 2 m debajo de la superficie.

De acuerdo con Tuncer y Lohnes (1977) cualquier suelo tropical, residual, muestra esta serie de eventos, aunque ellos consideran que se realizan en 6 etapas que comprenden desde "Tiempo cero" hasta la formación de una roca secundaria de origen pedogenético (Roca parental-Plintita).

Estas consideraciones pueden ser simplificadas a través de un ejemplo específico como es el caso de algunos Ferralsoles formados por la alteración de basaltos andesíticos localizados en la Mesa de Eden, Edo. de Veracruz:

La formación, litológicamente, está constituida de una acumulación masiva de lavas de basalto andesíticos y piroclastos que forman aglomerados y tobas. Su edad se estima en 40 000 años \pm 3 500.

La figura 28, muestra un perfil típico de esta formación en el que se han idealizado las diferentes etapas de intemperismo señaladas por Tuncer y Lohnes (1977), así como la compleja distribución de los minerales arcillosos: caolinita, cuarzo, clorita y muscovita que caracterizan este perfil.

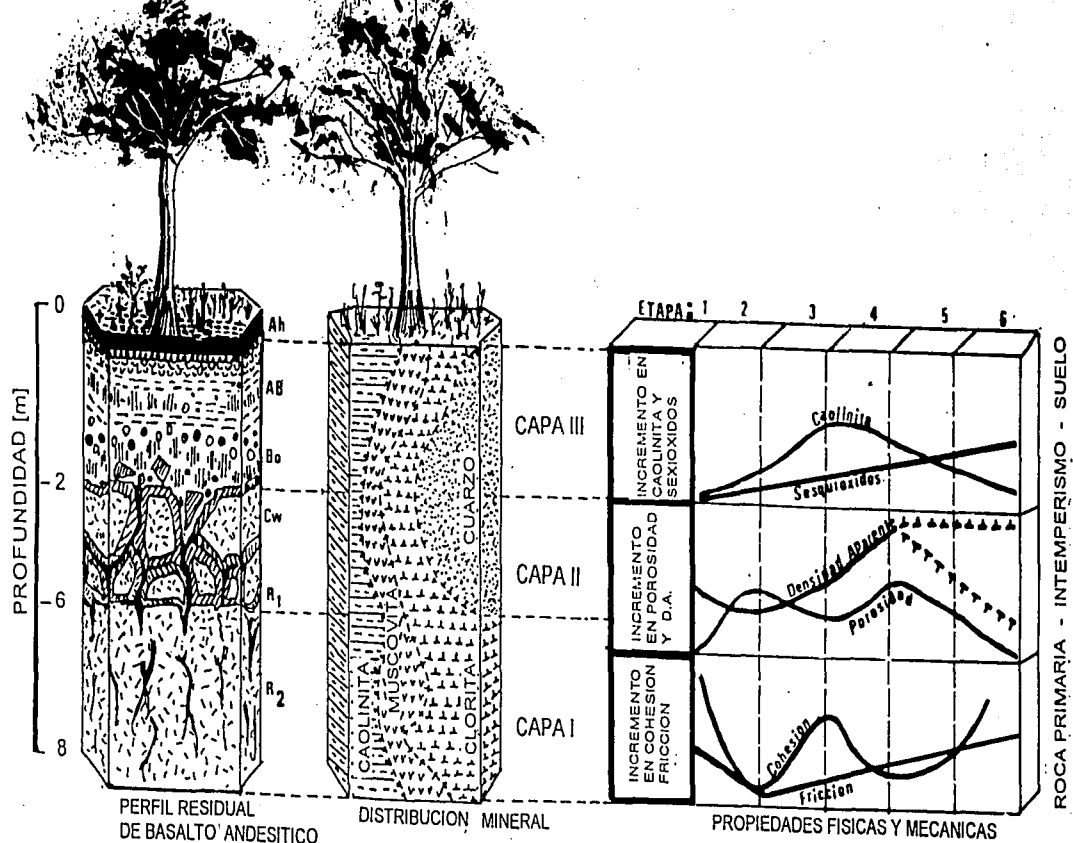
Como puede observarse en la figura 28, se ha esquematizado la génesis de estos suelos en 6 etapas de intemperismo y alteración. Cada etapa fue caracterizada, teóricamente, de la siguiente forma:







III.H.6.1. Etapa 0.

Corresponde con el Tiempo cero en que fueron depositadas y estratificadas, en diferentes lapsos, 3 capas de lava. La capa más profunda es evidentemente la más antigua (Capa I) todas estas capas mostraban baja porosidad y alta cohesión en esta etapa.

III.H.6.2. Etapa 1-2.

Inicialmente, la meteorización física propiciada por la hidratación de los materiales,



-  ROCA INTEMPERIZADA
-  REGOLITA
-  ARCILLA 1:1
-  ACUMULACIONES DE Fe Y Al
-  HOJARASCA
-  ACRIETAMIENTO

la bioclastía y la termoclastía, entre otros factores, propician la disgregación de las capas. La intensidad de la descamación, fisuración radial y fracturamiento, son inversamente proporcionales con la profundidad. Durante esta etapa se incrementan las superficies de alteración y se inicia la **etapa 2, caracterizada por una meteorización química cuyos agentes son: el agua, los ácidos orgánicos e inorgánicos, el incremento de temperatura y de oxígeno, en las capas, propiciadas por el fracturamiento.** La pérdida de cationes, sílice, y la acumulación de sesquióxidos es notoria. Al final de estas etapas se obtiene un símil, primitivo, del modelo de alteración propuesto por Little (1969) (Figura 27).

III.H.6.3. Etapa 3-4.

La pérdida de sílice y bases se incrementa, de modo diferencial, en cada capa a través del proceso de soluvación. Se incrementa, además, el contenido de arcillas lo que causa un incremento en cohesión, decrece la porosidad y permeabilidad, la gravedad específica se incrementa debido al incremento en sesquióxidos ($\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3$) y se inicia, plenamente, la **etapa 4.** Esta etapa 4 se caracteriza por las transformaciones, muy intensas, del complejo mineral en la capa superior, constituyendo un complejo de alteración rico en geles de Si, Al y Fe, haloisita, caolinita, hematita, goethita y óxidos de titanio, disminuyendo el contenido de feldespatos, micas y cuarzo por alteración.

El material amorfo de la saprolita más meteorizada (Capa II, prof. 4-6.5 m) según Besoain (1985), tiene las propiedades de un alofano haloisítico. Se acepta en la etapa inicial de meteorización de las micas, la pérdida de K^+ y la introducción de otros iones como Mg^{++} o Al^{+++} que determinan la formación de diversos filosilicatos, particularmente clorita. En las saprolitas menos meteorizadas (Capa I, prof. 6.5-10 m) la fracción arcilla está constituida por amorfos alofánicos y sesquióxidos, con un valor de CIC-delta, alto. **Pedro, (1967) considera que el alofano sesquióxico formado en la etapa 3, se transforma en alofano haloisítico, y haloisita-caolinita en las etapas de meteorización finales (4-5).**

III.H.6.4. Etapa 5.

Debido a la alternancia estacional de lavado, los constituyentes solubles, óxidos y materiales finos del suelo, se concentran a una profundidad comprendida entre los 6 y 7 m de la superficie. Concreciones del tamaño de gravas son formadas, la cementación provoca un decremento en el porcentaje de porosidad y de permeabilidad, lo que genera, subsecuentemente, la formación de una capa freática. En este estadio los fenómenos de hidromorfismo en esta capa propician cambios muy evidentes de Eh y de pH que afectan directamente al hierro y al manganeso.

III.H.6.5. Etapa 6.

Se caracteriza por condiciones intensas de hidromorfismo: el Fe (II) puede por oxidación pasar a Fe (III), precipitarse y acumularse por auto-ordenamiento, constituyendo un horizonte rico en hierro y caolinita que al evolucionar, puede formar una plintita.

En general estos suelos retienen, no obstante el grado de intemperismo alcanzado, muchas de las características físicas de las 3 capas parentales (Capa I, II, III). Así varias estructuras planas de flujo, amigdalíticas, y relictos de juntas de superficie, fueron claramente identificados en el perfil, especialmente cuando se depositan en ellas materiales arcillosos. Los movimientos de expansión-contracción de estas arcillas, propician la formación de facetas las cuales, por su brillantez, hacen más evidente la presencia de estas estructuras.

Por otra parte la distribución de los minerales en el perfil estudiado, también es una evidencia de la presencia, inicial, (Tiempo cero) de tres capas de basalto. Teóricamente es factible suponer que en el caso de haber sido solamente una la roca parental, la clorita y muscovita estarían concentradas próximas a la base del perfil, y el caolín se incrementaría, en cantidad, más próximo a la superficie (Figura 28). Este planteamiento no ocurre, lo que también comprueba la existencia de al menos tres capas diferentes en edad, porcentaje de minerales, y textura. Estas diferencias son suficientes como para propiciar una alteración diferencial con distintos grados de intensidad, según la profundidad de la capa.

La completa falta de cuarzo en la capa I es inexplicable, a menos que se acepte a este mineral como una facies particular de las primeras dos capas. La falta de evidencias paleoambientales en el perfil, como son: huellas de raíces, edafotúbulos, rizoconcreciones y halos de oxidación, entre otras, limitan la posibilidad de considerar a este suelo como poligenético.

En la Tabla 24, se establece un balance geoquímico de las bases alcalinas y alcalinotérreas de acuerdo con Krauskopf (1974), entre la roca subyacente y las tres capas alteradas a suelos. Los resultados se expresan en porcentaje tomando al Al_2O_3 como el elemento estable:

TABLA 24 ANALISIS DE UN BASALTO ANDESITICO Y DE LOS MATERIALES INTEMPERIZADOS DERIVADOS DE EL

	Sin alterar	Capa I	0%	Capa II	0%	Capa III	0%
Al_2O_3	100.0	100.0	0	100.0	0	100.0	0
SiO_2	360.5	190.0	47.30	110.3	69.40	90.1	75.00
CaO	50.0	15.0	70.00	12.1	75.80	3.0	94.00
MgO	42.3	11.3	73.29	7.6	82.04	1.0	97.64
K_2O	15.9	5.2	67.30	1.5	90.57	0.3	98.12
Na_2O	19.7	3.7	81.22	0.8	95.94	0.1	99.49
H_2O	33.3	42.7		47.6		50.2	

LOCALIZACION: 18°03' 95°15'. COLECTO: J. E. GAMA.

Como puede observarse en la Tabla 24, la alteración ha propiciado una pérdida considerable de sílice y un incremento relativo de aluminio, debido esto, a que la pérdida es "nula" con respecto a los otros constituyentes. Las pérdidas se registran, esencialmente,

sobre las bases (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ y Na^+) las cuales han sido, casi totalmente, lixiviadas en la capa superior (III). Los minerales máficos como la augita y otros piroxenos, porcentualmente ricos en CaO y MgO han desaparecido, lo mismo ocurre con los ferromagnésicos como el olivino y la hornblenda. Las relaciones $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ de 1.20, 1.00 y 0.87 para las capas I, II, III, respectivamente, indican procesos de laterización en el perfil y una clara e incipiente alitización en la capa III.

Finalmente, en la tabla 25 se ejemplifican algunos índices de intemperismo en diferentes rocas y minerales que se alteran a suelos, en condiciones tropicales, subtropicales y templadas. El tiempo requerido varía según la roca o mineral que se trate.

TABLA 25. INDICES DE INTEMPERISMO

VIDA PROMEDIO DE MINERALES Y ROCAS PARENTALES EN CONDICIONES TROPICALES SUBTROPICALES Y TEMPLADAS				
Roca (1 mm)	Clima	Edafoclima	Tiempo	Observaciones
ROCA ACIDA	Tropical semi-árido Tropical húmedo Templado húmedo Frío-húmedo	Xérico-ústico Udico-hipertérmico Udico-térmico Udico-mesico	65 a 200 años 20 a 70 años 40 a 250 años 35 años	Se refiere al tiempo requerido para alterar, totalmente un milímetro de roca fresca.
ROCA METAMORFICA	Subtropical húmedo	Ustico-térmico	33 años	Tardy (1969) reporta una vida promedio para un metro de roca granítica de 40,000 a 80,000, en zonas templadas.
ROCA BASICA	Templado húmedo Tropical húmedo	Udico-térmico Udico-hipertérmico	68 años 20 a 70 años	
ROCA ULTRBASICA A	Tropical húmedo	Udico-térmico	21 a 35 años	

MINERAL	CLIMA	TIEMPO	
Cuarzo	Ustico-Udico	34 millones	Se refiere al tiempo requerido para alterar, totalmente un milímetro de cristal.
Muscovita	Ustico-Udico	2.7 millones	
Forsterita	Ustico-Udico	600 000 años	
Feldespato-K	Ustico-Udico	500 000 años	
Albita	Ustico-Udico	80 000 años	
Enstatita	Ustico-Udico	8 800 años	
Diópsido	Ustico-Udico	6 800 años	
Nefelina	Ustico-Udico	211 años	
Anortita	Ustico-Udico	112 años	

FUENTE: Soil Survey Division: USDA, SCS, 1990.

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

H. ALTERACION

- H.1.** Con base en los resultados obtenidos en esta tesis, y apoyado en la historia ecológica del Trópico y Subtrópico Mexicano es posible concluir, aunque de modo aproximado, que: los factores ambientales más dinámicos del intemperismo físico y de la alteración química y geoquímica en estas zonas, son en orden de importancia: (1) clima y edafoclima; (2) material parental; (3) hombre y su acción tecnogénica; (4) relieve; (5) altitud; (6) exposición; (7) drenaje y (8) biota. Todos ellos en función del factor tiempo.
- H.2.** Se sabe que estos factores actúan simultáneamente, y que el efecto de cada uno depende de los otros. Sin embargo, como se observó en varios de los suelos estudiados, es posible concluir que en estas zonas, un factor puede tener resultados diferentes, incluso opuestos, según su combinación con los otros factores.
- H.3.** De la conclusión anterior se deriva la siguiente: Existe la probabilidad de que la formación de un suelo en su etapa inicial (Tiempo Cero) requiera de la conjunción de varios factores ambientales; pero su evolución y tipogénesis, bajo las condiciones del trópico y subtrópico, pueden estar definidas por la combinación, natural o inducida, de un número reducido de estos factores.
- H.4.** Las características del complejo de alteración en la mayoría de los suelos estudiados, muestran que los procesos transformadores, más importantes, y comunes que actúan sobre los materiales pre-parentales hasta constituirse en suelos son, en orden de importancia: químicos; geoquímicos, físicos y biológicos.
- H.5.** Estos procesos están condicionados en su intensidad, y velocidad de dinámica, por los siguientes agentes ambientales: agua, régimen de humedad, temperatura, oxígeno, anhídrido carbónico y electrolitos presentes, entre otros. Sin embargo, se puede concluir que la creciente entisolización de los suelos de estas áreas, por efecto antrópico, es capaz de acelerar, retardar o suprimir la acción de estos agentes ambientales.
- H.6.** En el caso del área de estudio, la acción de la materia orgánica depende de su estabilización climática. Esta estabilización, según los índices de mineralización obtenidos, es lenta y reducida, particularmente en suelos con regímenes údicos, per-húdcicos o ácuicos, o en aquellos suelos donde el índice de lavado y lixiviación son altos.
- H.7.** Así, mientras la mineralización de la materia orgánica sea rápida, y los

índices de lavado y lixiviación altos, su acción será reducida. En el caso de los suelos estudiados, también es limitante el hecho de que la mayoría de los horizontes de alteración (Bw-Cw) que presentan, principalmente, los suelos más desarrollados, se sitúan físicamente fuera de la influencia de los compuestos ácidos que emanan de la biodegradación de los restos vegetales acumulados en el epipedón.

- H.8.** Consecuentemente, la mayoría de los suelos estudiados, se han formado, principalmente, a partir de la alteración geoquímica (Hidrólisis-oxidación) y secundariamente bioquímica, que actúan sobre rocas, en su mayoría de edad mesozoica-cenozoica, así como sobre los depósitos de materiales consolidados y estabilizados de edad Plioceno-Holoceno.
- H.9.** Los Ferralsoles, así como la mayoría de los Acrisoles y Luvisoles, estudiados, que muestran plintita son, en casi su totalidad, el producto de una alteración total de materiales o rocas retrabajadas, algunas muy antiguas (Permiano) que afloran por fenómenos orogénicos, ocurridos a finales del Cretácico Medio. La presencia y distribución de estos suelos es rara y atípica, respectivamente, para el Trópico húmedo, y muy rara para el Subtrópico. Su mayor frecuencia de localización en México, está entre los paralelos 16° y 17° N.
- H.10.** En el trópico cálido-húmedo de México, los procesos de ferruginización y, ocasionalmente, de ferralitización, acompañados de un incremento en la monosialitización y neoformación de arcillas 1:1 son diagnósticos. Sin embargo, existe una excepción; ya que en los medios que muestran un drenaje confinado, la bisialitización y la formación de arcillas 2:1, por herencia y transformación, son características.
- H.11.** En los medios subtropicales que muestran sequía estacional prolongada, predomina la fersialitización y la ferruginización, aunque esta última menos acentuada. La rubificación, el lavado y la argilización son fenómenos comunes y, con frecuencia, en las zonas climáticas Aw que muestran un período de sequía mayor de 5 meses, y en un régimen de humedad ústico, se propicia un empardecimiento de los epipedones.
- H.12.** En climas tropicales de tipo ecuatorial (Af) con edafoclima údico perhúdico-isohipertérmico, las fases de laterización y alitización con formación de bauxitas se presentan de modo frecuente. En México ésta última fase nunca ha sido reportada.

H.0. FACTORES BIOCLIMATICOS Y ALTERACION

- H.1.1.** En el Trópico y Subtrópico Mexicano el clima ambiental, bajo condiciones normales, es el principal orientador del intemperismo y alteración de los

materiales iniciales. El edafoclima, la naturaleza del material parental, el drenaje, la pendiente y, con frecuencia la geoforma son responsables de su tipogénesis. El hombre es el principal modificador de estos procesos.

- H.1.2. Grosso modo, el Trópico Mexicano está constituido por cuatro zonas bioclimáticas denominadas:** (1) zona tropical cálido húmeda, con lluvias durante más de 9 meses; (2) zona tropical cálido húmeda con lluvias durante, al menos, 6 meses; (3) subtropical con un período de sequía bien definido; (4) zona subtropical con dos períodos de sequía, uno de los cuales generalmente es mayor a 5 meses.
- H.1.3. En estas zonas, el grupo climático A es predominante.** Sin embargo; las inclusiones de climas más secos propiciadas por fenómenos fisiográficos, de aridez edáfica, o por alteraciones antropogénicas, generan mesoclimas de los grupos (A)C, C, en incluso B.
- H.1.4. El grupo climático Af se caracteriza, desde el punto de vista edáfico, por el predominio de una alteración de tipo ferruginosa y, en ocasiones ferralítica, aunque acompañada, en la mayoría de los casos, de procesos de argilización.** Los suelos desarrollados muestran regímenes térmicos isohipertérmicos y regímenes de humedad ácuicos, per-húdicos y údicos. El índice de Weinert, generalmente, es menor a 0.75.
- H.1.5. Los climas Am y el más húmedo de Aw, se caracterizan, normalmente, por propiciar una fase de alteración ferruginosa, menos acentuada, y por la ausencia de ferralitización. En medios con drenaje confinado, la vertisolización es el proceso dominante. En estos medios, los edafoclimas ústico y údico son frecuentes. El índice de Weinert oscila de 0.75 a 2.0.**
- H.1.6. En climas Awo, Aw1, Aw2, la fersialitización, el empardecimiento, la carbonatación, la salinización y, en ocasiones, la rubificación son procesos comunes. El régimen de humedad ústico es dominante, y los valores de Weinert entre 2 a 5 son diagnósticos.**
- H.1.7. Las regiones con climas (A)C, C y, principalmente, B; generalmente, presentan valores de Weinert, próximos o mayores de 5.0, y un edafoclima térmico o isotérmico, acompañado de un régimen de humedad ústico, en ocasiones transicional a xérico. Esto implica una intergradación, clara, de las condiciones sub-húmedo cálidas en las que el intemperismo químico, aún, predomina, sobre las condiciones templadas y/o semiáridas en las que el intemperismo físico o biológico son fenómenos más evidentes.**
- H.1.8. En todos los casos, la mejor forma de medir el efecto del clima y del edafoclima en los suelos, es a través de determinar el complejo de alteración en sus perfiles. A medida que la alteración se incrementa por efecto de la agresividad climática, decrece el porcentaje de minerales intemperizables, se observa una pérdida creciente de sílice combinada, y un predominio de los procesos de neoformación de arcillas 1:1.**

- H.1.9.** El análisis y estudio del complejo de alteración de varios suelos del Trópico y Subtrópico Mexicano, con edad y condiciones de estación similares, pero con climas y edafoclimas diferentes en cada uno, **demostró que la bisialitización y la génesis de arcillas por herencia o transformación simple, son dominantes en las áreas subtropicales o transicionales al clima templado. La monosialitización y la neoformación de arcillas 1:1 se incrementan, gradualmente, hacia los climas tropicales cálido húmedos.**
- H.1.10.** La acción del clima sobre la distribución de la vegetación en el Trópico y Subtrópico, aún es posible inferirla, no obstante las condiciones de alteración severa que ésta presenta. Sin embargo, la importancia de la vegetación como un factor independiente que actúa sobre la alteración, distribución y tipogénesis de los suelos, en estas zonas, resulta casi imposible definirla.
- H.1.11.** Existen otras variables, poco estudiadas, que potencialmente pueden propiciar una distribución y asociación de la vegetación, independientemente del clima. Estas variables son: (1) climax de fuego; (2) hidromorfismo periódico; (3) escleromorfismo oligotrófico; (4) escleromorfismo por toxicidad de aluminio, hierro y manganeso y (5) alteración edafoantrópica.
- H.1.12.** También existen otros factores que impiden el establecimiento de un climax vegetación-suelo, los principales son: (1) juventud y heterogenidad, significativa, en el paisaje tropical y subtropical; (2) presencia de eventos catastróficos que reiteradamente modifican el paisaje y (3) demesurada presión demográfica sobre la vegetación, y sobre el suelo, que genera su degradación.
- H.1.13.** Como se mencionó en el párrafo F.3, se sabe que la biota y microbiota del suelo son de particular importancia en los procesos de alteración y tipogénesis, así como en la descomposición de la materia orgánica, y de sus relaciones tróficas. Sin embargo son tan escasos y puntuales los trabajos de investigación realizados en México sobre estos tópicos que, aún, no es posible establecer conclusiones válidas sobre su importancia y dinámica.
- H.1.14.** Finalmente, dentro de los factores bioclimáticos se acepta la inclusión del hombre. El hombre como factor de intemperismo, actúa de modo independiente, modificando el equilibrio energético y la acción dinámica de los otros elementos ambientales, incluyendo al tiempo. Su acción es particularmente evidente en el Trópico Mexicano, siendo capaz, por sí mismo, no sólo de propiciar intemperismo, alteración, cambios tipogenéticos y degradación, sino que, además, es el único factor con el potencial para constituir un suelo en poco tiempo, sin la participación de los otros factores formadores.

H.2. FACTORES DE ESTACION

- H.2.1.** El clima, y los organismos se consideran, factores de intemperismo y de alteración. Sin embargo, la tipogénesis y evolución finales de un suelo tropical o subtropical, a través del tiempo, son principalmente dependientes de los factores: edafoclima, roca parental, topografía y drenaje.
- H.2.2.** Bajo condiciones tropicales y subtropicales, los procesos químicos, geoquímicos y, con frecuencia, diagenéticos tienden a ser predominantes en la alteración de las rocas y materiales pre-parentales, así como en el material parental. Sin embargo, pequeños cambios en la naturaleza química de los materiales, o en su composición mineralógica, área específica, textura, estructura, porosidad o conductividad hidráulica, generan cambios en la velocidad e intensidad de alteración, además de litosecuencias de unidades taxonómicas muy diferentes entre sí.
- H.2.3.** En estas litosecuencias de suelos, se observa en su complejo de alteración, que la cantidad y tipo de minerales primarios presentes, están definidas según el orden en que estos minerales cristalizaron en un magma frío. Así los minerales primarios que se formaron antes de alcanzar un equilibrio de temperatura y presión con el medio ambiente son inestables, rápidamente meteorizables escasos en el complejo de alteración. Contrariamente, los últimos minerales en cristalizar, se formaron cuando las condiciones de la matriz no eran muy diferentes a las del medio ambiente y, consecuentemente, estos minerales muestran estabilidad alta, lento intemperismo, y son abundantes.
- H.2.4.** Del análisis realizado en varias unidades de suelos tropicales y subtropicales con condiciones ambientales similares en cada caso, se concluye que los suelos más desarrollados no son, necesariamente, los más antiguos, sino que existe la probabilidad de que estos suelos fueran, inicialmente, los más ricos en minerales inestables, principalmente ferromagnesianos. Así, las diferencias evolutivas observadas en varios suelos derivados de un mismo granito que se localiza en la costa de Chiapas, son el resultado de las cantidades, relativas, de cuarzo, micas y feldespatos, que se presentan en cada facies.
- H.2.5.** En estos granitos, así como en otras rocas o materiales presentes en el área de estudio, la alteración, además de ser selectiva es predictiva, ya que en el caso de los granitos, generalmente, se origina una litosecuencia de tipo Entisol-Inceptisol-Alfisol, que en conjunto representa las etapas viables de alteración. En estas etapas, la biotita gradualmente se ha alterado a clorita y una proporción alta de feldespatos está cambiando a caolinita. En la última etapa de esta secuencia: Alfisol-Ultisol, se espera una pérdida, casi total, de cationes básicos, y de un 30 a 40% de sílice, que en conjunto, según el análisis

por balance geoquímico, pueden representar alrededor del 45% de pérdida de volumen de la roca original.

H.2.6. En otros suelos, las diferencias en la velocidad y tipo de alteración de una roca o de un material dependen, principalmente, de sus propiedades físicas y geomecánicas como son: (1) relación espacios: sólidos; (2) densidad real y aparente; (3) permeabilidad al agua y al aire; (4) porcentaje de pérdida de volumen; (5) conductividad térmica y (6) índice de pérdida de masa, entre otros. En granitos que se localizan en la costa del Pacífico, estas propiedades, junto con el patrón de diaclasas que muestran son factores que determinan su intemperismo.

H.2.7. La relación, velocidad de alteración: erosión: velocidad de remoción, determina en los suelos estudiados; su profundidad efectiva. Bajo condiciones naturales, estos suelos, con excepción de los Leptosoles (Clase I) se caracterizan por una velocidad de alteración, siempre, mayor que la velocidad de remoción.

H.2.8. La topografía y el drenaje interno, son otros factores que también controlan la velocidad y tipo de alteración porque, de modo significativo, determinan los contenidos de agua pedológicamente activa, y la velocidad con que esta se mueve a través de las zonas de intemperismo del suelo. Consecuentemente, ambos factores también controlan la edad evolutiva del perfil, a través de controlar la velocidad de erosión del material intemperizado en la superficie.

H.2.9. En México, la Ciencia Maya del Suelo se basa, en gran parte, en el concepto de edafocistema, estableciendo su clasificación de suelos con base en los conceptos de biosecuencias, litosecuencias, toposecuencias, catenas cromáticas y catenas de alteración. Estos criterios resultan en la actualidad completamente válidos, ya que los suelos de la Península de Yucatán muestran patrones de distribución espacial, generados por las características del medio, y por el índice de intemperismo que prevalece.

H.2.10 Las asociaciones, más comunes, de suelos que dependen de la edad evolutiva del suelo, y de las características del medio que predominan en la Península son: (1) Gleysol-Vertisol-Cambisol vértico. Frecuente en la áreas de inundación estacional; (2) Luvisol-Acrisol-Nitosol-Ferralsol, típica de geoformas casi planas y estables; (3) Para-rendzina; Rendzina; Vertisol calcárico, Cambisol vértico y Luvisol crómico o calcárico, en ocasiones asociado con Leptosoles, resulta común en áreas moderadamente onduladas a planas con régimen ústico-údic y (4) Gleysol-Fluvisol-Grupos salinos, Regosol-Arenosol-Cambisol, para los suelos de la llanura costera, y zonas de marismas.

H.2.11. No obstante que actualmente existen en México las imágenes e información cartográfica, suficientes, para distinguir y ordenar un gran número de

secuencias y asociaciones genéticas (intergradaciones) de suelos, presentes en el trópico y subtropical, aún no es posible establecer, con seguridad, una secuencia de intemperismo para explicar la génesis y distribución de los minerales arcillosos en los diferentes edafosistemas. Cambios pequeños en el clima, edafoclima, o relieve, por ejemplo; pueden alterar esta secuencia mineralógica. Así la asociación Acrisol-Vertisol, o Ferralsol-Acrisol-Vertisol, son ejemplos muy complejos de explicar sobre la gran variabilidad en la secuencia de intemperismo y formación de minerales secundarios en estas zonas.

III.I **DEGRADACION DE LOS EDAFOECOSISTEMAS EN EL TROPICO Y SUBTROPICO MEXICANO**

INTRODUCCION

Uno de los obstáculos más serios que el País afronta en nuestros días es el de la degradación de sus edafoecosistemas tropicales y subtropicales. El deterioro de estos edafoecosistemas, sostenedores de la vida en los trópicos representa un altísimo costo para el desenvolvimiento de la sociedad, especialmente porque amaga sus bases fundamentales: la continua pérdida de recursos naturales y los graves efectos sobre la producción de alimentos.

Las causas se han querido encontrar en el incremento significativo de la población de estas zonas, así como en la utilización de tecnologías inadecuadas, que se caracterizan por su escasa ponderación que su aplicación proyecta sobre el medio natural. Algunos otros lo explican como un fenómeno generado por el progreso. Sin embargo, la imagen que se pretende sostener no es del todo realista, es mas bien contradictoria, ya que la degradación no es una característica inherente al progreso, sino por lo contrario, está muy lejos de ello.

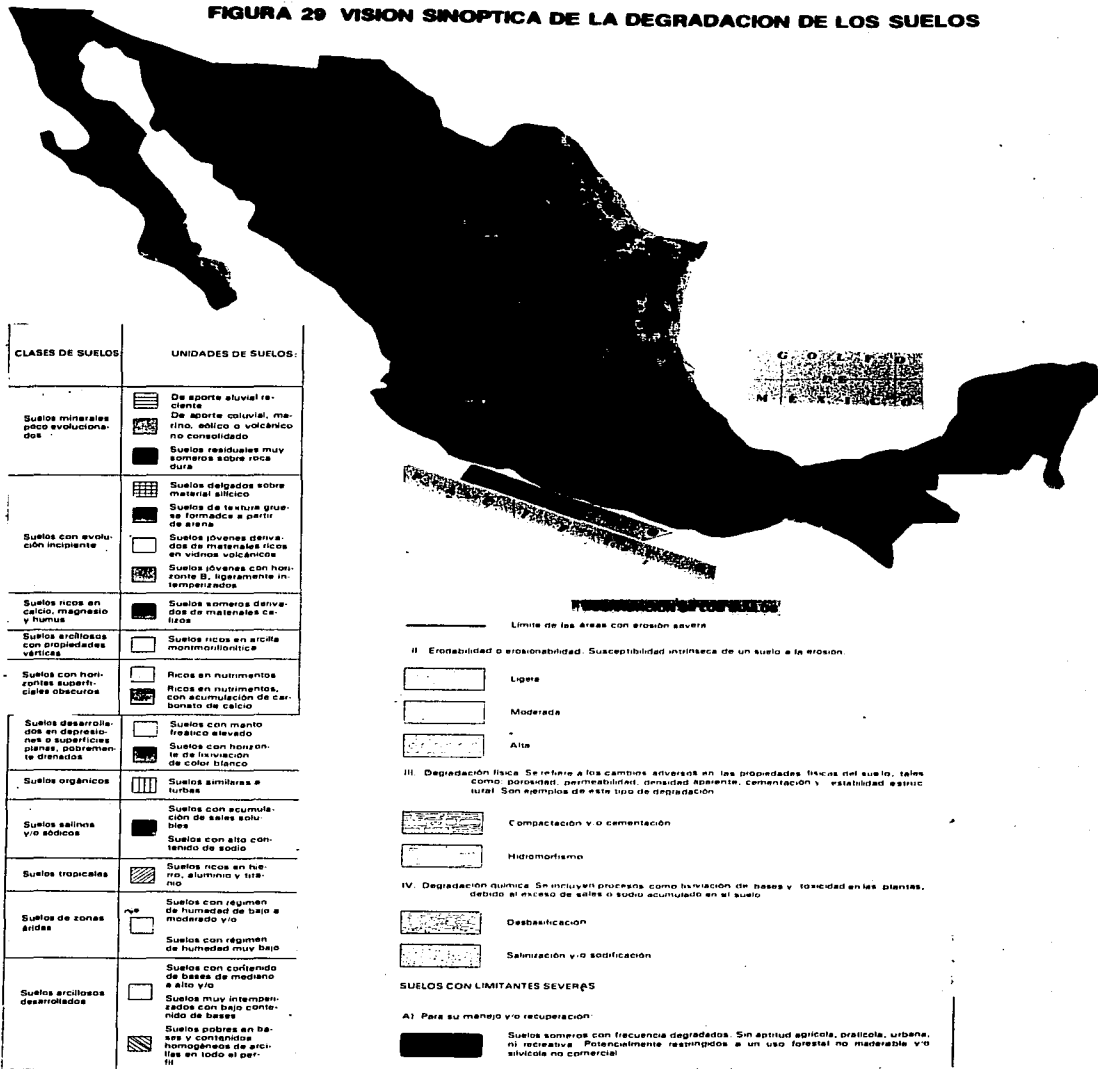
En este capítulo de la tesis, se presenta una visión sinóptica de la degradación de los suelos del Trópico y Subtropico del Territorio Nacional. Esta síntesis se basa en aproximadamente, 3500 verificaciones de campo, en su mayoría realizadas por DETENAL (1970-1980), así como en la interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitares, que, posteriormente fueron utilizadas para generar un mapa temático denominado "Visión sinóptica de la degradación de los suelos" (Figura 29).

III.1.1. ORIGEN DE LA DEGRADACION

El origen y dinámica de la degradación de los suelos tropicales y subtropicales del país, es muy complejo. Sin embargo, algunas de las principales causas de este fenómeno pueden ser resumidas en los siguientes párrafos:

1. **La Ciencia del Suelo se desarrolló primero en la zona templada, particularmente en Rusia, Europa y Estados Unidos.**
2. **Las investigaciones de los científicos del suelo sobre los Trópicos, en el Siglo XIX, dieron por resultado un panorama equivocado de la "uniformidad" de los suelos tropicales.**
3. **El fuerte sesgo genético de los primeros pedólogos tropicales dio por resultado varios conceptos errados, dando a entender que los suelos tropicales son: uniformes, altamente meteorizables, muy fértiles, aunque expuestos a transformarse en laterita cuando se les desmonta.**
4. **El prejuicio genético de estos pedólogos que condujo al concepto simplista de "zonalidad". Este concepto considera únicamente: (a) un clima cálido y húmedo; (b) vegetación exuberante; (c) material parental antiguo y (d) paisajes muy antiguos. Desafortunadamente estos conceptos persistieron hasta 1960.**
5. **El uso indiferenciado de por lo menos seis principales sistemas de Clasificación de Suelos de los Trópicos, que además de impedir una correlación significativa y la extrapolación de datos de una parte a otra, con frecuencia eran contradictorios entre si.**
6. **Posteriormente, (1960) los postulados dogmáticos, emitidos por algunos ecólogos, sobre la alta complejidad del Trópico y, consecuentemente, su "alta resistencia y gran capacidad de regeneración".**
7. **La ausencia de técnicas y de paquetes tecnológicos propios para las condiciones del Trópico y Subtrópico Mexicano.**
8. **La falta de investigación, a nivel básico y/o aplicado y la adopción de técnicas y paquetes tecnológicos que desde el punto de vista ecológico, cultural y económico, no son justificables de utilizar en las zonas Tropicales y Subtropicales de México.**
9. **La creciente y desordenada antropización y tecnogénesis, que en los últimos 30 años ha propiciado la entisolización de miles de hectáreas de suelos, y**
10. **Fenómenos socio culturales. Entre ellos se incluyen: (1) educación deficiente; (2) conflictos sociales; (3) falta de apoyo gubernamental y (4) falta de créditos.**

FIGURA 29 VISION SINOPTICA DE LA DEGRADACION DE LOS SUELOS



CLASES DE SUELOS	UNIDADES DE SUELOS:
Suelos minerales poco evolucionados	De aporte aluvial reciente
	De aporte coluvial, marino, eólico o volcánico no consolidado
	Suelos residuales muy someros sobre roca dura
Suelos con evolución incipiente	Suelos delgados sobre material silíceo
	Suelos de textura gruesa formados a partir de arena
	Suelos jóvenes derivados de materiales ricos en vidrios volcánicos
Suelos ricos en calcio, magnesio y humus	Suelos someros derivados de materiales férricos
Suelos arcillosos con propiedades vérticas	Suelos ricos en arcilla monomorfoclástica
Suelos con horizontes sustanciales oscuros	Ricos en nutrientes
Suelos desarrollados en depósitos o superficies planas, pobremente drenados	Ricos en nutrientes, con acumulación de carbonato de calcio
	Suelos con manto freático elevado
Suelos orgánicos	Suelos con horizontes de oxidación de color blanco
Suelos salinos y/o ácidos	Suelos similares a turbas
	Suelos con acumulación de sales solubles
Suelos tropicales	Suelos con alto contenido de sodio
Suelos de zonas áridas	Suelos ricos en hierro, aluminio y titanio
	Suelos con régimen de humedad de bajo a moderado y/o
Suelos arcillosos desarrollados	Suelos con régimen de humedad muy bajo
	Suelos con cortado de bases de mediano a alto y/o
	Suelos muy intermedios con bajo contenido de bases
	Suelos pobres en bases y contenidos homogéneos de arcillas en todo el perfil

II. Erosionabilidad o erosionabilidad: Susceptibilidad intrínseca de un suelo a la erosión.

III. Degradación física: Se refiere a los cambios adversos en las propiedades físicas del suelo, tales como porosidad, permeabilidad, densidad aparente, cementación y estabilidad estructural. Son ejemplos de este tipo de degradación:

IV. Degradación química: Se incluyen procesos como lixiviación de bases y toxicidad en las plantas, debido al exceso de sales o sodio acumulado en el suelo.

SUELOS CON LIMITANTES SEVEROS

A) Para su manejo y/o recuperación:

B) Suelos someros con frecuencia degradados: Sin aptitud agrícola, pastizala, urbana, ni recreativa. Potencialmente recuperados a un uso forestal no mediarable y/o silvícola no comercial.

La pérdida de calidad de los recursos por estas causas, particularmente como una consecuencia de las actividades mal orientadas del hombre, es un hecho comprobable a simple vista, ya sea porque se advierte a la distancia, o se experimenta personalmente. **Desafortunadamente, es posible que aún en el hipotético caso de que se lograra controlar la degradación en estas zonas, siempre existirá la presión de las actividades económicas que, probablemente, continuarían con su funcionamiento depredador.**

III.1.2. TIPOS DE DEGRADACION

En esta tesis fueron determinados y cuantificados, mediante el empleo de observaciones directas y de la teledetección los siguientes fenómenos de degradación en los suelos del trópico y subtropico. Su representación cartográfica se muestra en la figura 29.

III.1.2.1. Erosión Hídrica

Este fenómeno afecta de modo severo a los ecosistemas del trópico (50 a 200 t/h/año) por la pérdida de suelo que provoca, la cual se presenta en más de 200 000 km². (Figura 29). Como puede observarse, este fenómeno se presenta con mayor frecuencia en la vertiente de Pacífico, particularmente en el Complejo Orogénico Guerrero-Colima; Mixteca y Chatina, donde se muestra en un porcentaje del 35 con respecto al total.

Las Unidades de suelos más afectadas y, normalmente, las más erodables fueron en orden de importancia: (1) Cambisoles vérticos y, crómicos, (2) Regosoles eútricos y dísticos; (3) Vertisoles; (4) Luvisoles plínticos y vérticos; Planosoles y Andosoles vítricos.

Estadísticamente, las causas principales de la erodabilidad en estos suelos son, en orden de frecuencia: (1) contenidos deficientes de materia orgánica; (2) contenidos elevados de limo; (3) estructura deficiente; (4) baja permeabilidad y (5) textura y baja estabilidad estructural.

El estudio indica, estadísticamente, que las causas iniciales de la erosión son: (1) tala y quema de vegetación (75%); (2) prácticas agrícolas inadecuadas (15%); (3) sobrepastoreo (5%); (4) urbanización y/o industrialización (4%) y (5) otras causas (1%).

III.1.2.2. Exceso de Sales: Salinización y/o Sodificación

Como puede observarse en la figura 29 el exceso de acumulación de sales se presenta, principalmente, en la zonas litorales o con relieve negativo y, secundariamente, en las zonas agrícolas que disponen de riego y/o drenaje.

Este fenómeno ocupa áreas significativas de la Plataforma de Yucatán; Cuenca Deltaica de Tabasco y en la parte sur del Miogeoclinal del Golfo de México, todas ellas en la Vertiente del Golfo.

En la Vertiente del Pacífico, esta problemática es evidente en la Cuenca de Nayarit, litoral del Complejo Orogénico Guerrero-Colima y en Chatina. La superficie total afectada se estima en, aproximadamente, en más de 500 000 ha, de las cuales 256 000 ha corresponden con distritos de riego.

III.I.2.3. Origen de las Sales

El origen de estas sales tiene las siguientes causas:

1. **Aridez climática, debido a la distribución de la lluvia, y elevada evapotranspiración** que influyen en el balance hídrico, especialmente en aquellos suelos donde no hay una lixiviación efectiva (Suelos vérticos, suelos consolidados, suelos compactados) y la sal se concentra por el movimiento ascendente de la solución del suelo. (Índice P/PET <0.75). Este tipo de degradación es frecuente en la parte norte del Miogeoclinal del Golfo.
2. **Presencia de depósitos geológicos ricos en sales.** Este factor se presenta frecuentemente en varios suelos ubicados en la Región del Istmo de Tehuantepec. Normalmente se considera como un fenómeno natural.
3. **Existencia de suelos salinos y/o sódicos preexistentes que muestran vecindad geográfica o ecológica con otros suelos libres de sales.** En este caso, cuando la relación P/PET <0.75, el riesgo es muy grande para todos los suelos adyacentes, particularmente para los suelos que se localizan en depresiones (Gleysoles) o para aquellos que muestran mal drenaje interno (Vertisoles y Suelos vérticos). Este fenómeno se presenta frecuentemente en los suelos próximos a esteros o marismas. Fue observado con mucha frecuencia en las llanuras costeras de Nayarit, Colima, Guerrero y Oaxaca.
4. **Presencia de mantos freáticos salinos y/o sódicos, o presencia de cuñas de agua marina.** Este parece ser uno de los principales factores naturales que propicia la sodificación y/o salinización de los suelos. Sin embargo, los datos referentes a la profundidad, cantidad y calidad de las aguas subterráneas son escasos, y por ello no se pueden usar a pequeña escala. En estos casos fue preciso considerar la presencia o ausencia de sales en las formaciones geológicas de las cuencas hidrográficas.

Es evidente que el contenido de sales y sodio en el agua freática, se incrementa o disminuye, cíclicamente, durante el año interviniendo para ello: (a) temperatura; (b) precipitación; (c) evaporación; aunado a los riegos en láminas excesivas; ya que si se aplican al suelo aguas salobres, aumenta la salinidad y sodicidad en el manto freático debido a la lixiviación de sales.

En las zonas litorales y gran parte de las llanuras costeras, tanto de la vertiente del Pacífico como del Golfo, se observó la presencia de flujo subterráneo de agua de mar que por su continuo movimiento (Pleamar-Bajamar) contaminan las aguas freáticas de las zonas aledañas a la costa.

En la tabla 26 se muestran algunos valores obtenidos para 16 pozos ubicados en la Cuenca de Nayarit. Estos valores son promedio de 10 años de observaciones, efectuadas cada 30 días. Estas observaciones representan el lapso agrícola que se establece durante 3 ciclos: Primavera; Primavera-Verano y Otoño-Invierno.

TABLA 26 CONTENIDOS DE SALES, SODIO Y CLORUROS EN LOS MANTOS FREATICOS.

Pozo	Ciclo Primavera			Ciclo Primavera-Verano			Ciclo Otoño-Invierno		
	*Sa	*Sn	*Cl	*Sa	*Sn	*Cl	*Sa	*Sn	*Cl
1.	250.0	5.3	<5	750.0	7.5	5.0	550.0	6.0	5.0
2.	290.0	7.0	4.0	380.0	6.2	3.9	475.0	5.0	4.1
3.	525.0	3.3	4.7	290.0	5.5	4.9	650.0	7.0	4.3
4.				520.0	4.7	4.3	525.0	7.2	4.5
5.	980.0	4.9	5.0	<250.0	5.6	>1.0	1850.0	7.0	3.3
6.	390.0	5.7	4.8	1520.0	7.2	4.9	650.0	6.9	4.9
7.	620.0	7.9	4.5	560.0	8.5	4.9			
8.	1600.0	12.5	4.2	1750.0	7.3	4.7	1900.0	7.9	4.8
9.	1800.0	7.2	4.8	1900.0	7.9	4.9	1870.0	7.5	4.7
10.	>2250.0	20.5	>5.0	>2250.0	22.5	>5.0	>2250.0	24.7	>5.0
11.	>2250.0	22.3	>5.0	>2250.0	24.7	>5.0	>2250.0	23.5	>5.0
12.	>2250.0	25.0	>5.0	>2250.0	23.0	>5.0	>2250.0	24.1	>5.0
13.	>2250.0	18.0	>5.0	>2250.0	16.3	>5.0	>2250.0	24.3	>5.0
14.	315.7	6.7	4.3	450.0	4.7	4.7	270.0	8.2	4.3
15.	390.0	5.9	4.1	440.0	4.9	4.9	295.0	7.0	4.3
16.	410.3	6.3	3.9	510.0	4.3	4.3	375.0	7.5	4.5

*Sa = Salinización (Micromhos/cm); *Sn = Sodificación (RAS); *Cl = Cloruros (Meq/l).
ANALIZO: DEPTO. DE EDAFOLOGIA, UNAM (1994).

Como puede observarse, 9 pozos (56.25%) durante el ciclo de Primavera mostraron baja sodicidad y salinidad media, y están condicionados con respecto al contenido de cloro. 4 pozos (25%) tienen contenidos muy altos de sales y de sodio, y no son recomendables por cloro. 2 pozos, tiene alta salinidad y media sodicidad. El pozo 4 no fue analizado en este período.

Ciclo Primavera-Verano. 2 pozos (12.5%) presentaron baja salinidad y baja sodicidad, uno de ellos condicionado por cloro. 7 pozos (43.75%) tienen salinidad media y sodio bajo y están condicionados por cloro. 3 pozos (18.75%) con salinidad alta, sodicidad baja y condicionados por cloro. 1 pozo (6.25%) con salinidad muy alta y sodicidad alta. 3 pozos (18.25%) con salinidad y sodicidad muy altas, no recomendables por cloro.

Ciclo Otoño-Invierno. Durante este ciclo, 8 pozos mostraron salinidad moderada y baja sodicidad, aunque todos fueron condicionados por sus contenidos en cloro, 3 pozos presentaron salinidad alta, baja sodicidad y fueron condicionados en su uso por la presencia de cloro. 4 pozos más, durante este ciclo, fueron vetados debido a los altos contenidos en sales, sodio y cloro.

5. Factores Humanos. El hombre acrecienta los riesgos de salinización y de sodificación, cuando aplica a los suelos, incluso a los del Trópico húmedo, una cantidad excesiva de agua de riego sin un drenaje adecuado. Especialmente si el riego es con agua de mala calidad; y existe una mala nivelación del terreno que se va a regar.

En la tabla 26a se dan algunos datos obtenidos en el laboratorio, sobre la calidad de las aguas que se utilizan tanto para riego como para consumo humano, en la llanura costera de Nayarit, sobre la región aluvial del Río Grande de Santiago.

TABLA 26a. CALIDADES DE AGUA

No.	LOCALIDADES	pH	C. P. mg/litros	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺ mg/lit	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ⁺⁺	HCO ₃ ⁺⁺ mg/lit	Cl	NO ₃ ⁺⁺ ppm	NO ₂ ⁺⁺ ppm	NO ₃ ⁺⁺ ppm
1	CHIBITON: JAGÜEY PARCELA ESCOLAR	7.25	170	1.20	2.40	0.313	0.215	0.00	2.10	1.09	0.001	5.00	3.840
2	POZO VALLE ZARAGOZA	7.90	1100	4.00	3.40	3.148	0.172	0.00	5.60	4.00	0.001	36.00	0.600
3	POZO LA PIESA I	7.76	630	4.00	3.60	0.069	0.064	0.00	6.00	1.00	0.001	15.00	0.672
4	POZO AGUA BUENA COL. GPE. SINTIMPAC	7.98	1300	1.30	1.30	5.913	0.128	0.00	5.80	0.40	0.000	0.24	2.000
5	NORIA POZO PARA RIEGO POZO DE BARBA. MPIO. SANTIAGO	7.86	270	2.50	1.40	0.409	0.064	0.00	3.20	0.60	0.002	0.28	1.050
6	POZO AGUA POTABLE: POZO DE VILLA. MPIO. SANTIAGO, NAY.	8.12	350	2.40	2.70	1.417	0.108	0.00	5.70	1.10	0.020	7.00	2.000
7	POZO EL LIMBO. LINDO LADRIELIS Y XINGORA MPIO. SAN ILIAS	7.55	4900	5.60	9.30	20.000	0.364	0.00	1.00	49.00	0.002	2.30	1.152
8	POZO PUERTA DE MANGO	8.40	910	1.60	3.60	3.174	0.151	0.00	9.30	2.40	0.003	1.50	2.016
9	POZO 3 AMAPA, MPIO SANTIAGO, ILAVE: AGUA	8.42	640	0.80	0.40	3.522	0.059	0.00	8.20	1.00	0.001	0.00	6.720
10	POZO 2 COL. SAN MIGUEL BARANJO SINTIMPAC	8.30	910	1.00	1.20	3.870	0.178	0.00	6.40	4.90	0.001	2.00	4.032
11	CANAL DE RIEGO "CAJIMU"	7.82	200	1.40	1.20	0.515	0.070	0.00	1.80	0.80	0.010	2.80	1.056
12	AGUA DE "LA ALBUCA" DE VILLA. NAY. MPIO. SANTIAGO	7.55	390	1.20	2.20	1.157	0.115	0.00	3.80	0.80	0.005	2.80	4.560
13	POZO LERMA	8.00	670	1.40	3.60	1.640	0.164	0.00	3.00	3.40	0.001	0.00	0.200

III.I.2.4 Degradación Química

Esta categoría se reserva para procesos tales como la lixiviación de bases, y la formación de toxicidades diferentes de las debidas al exceso de sodio.

III.I.2.4.1. Lixiviación de bases

Como puede observarse en la figura 29 la mayor concentración de suelos lixiviados se localiza entre los meridianos 97° y 90°E y los paralelos 15° y 18°N. Se estima una área total de aproximadamente, 75 000 km².

Este fenómeno se presenta en los Climas Af y Am, principalmente, y es muy frecuente en los suelos con buen drenaje y baja capacidad de cambio de cationes, lo que facilita la pérdida de bases por lixiviación. (Suelos Fersialíticos, Ferruginosos y Caoliniticos). Esta pérdida de bases hace que los suelos se vuelvan de reacción más ácida lo que con frecuencia origina toxicidad por aluminio (Tabla 27).

TABLA 27

LIXIVIACION DE BASES EN ALFISOLES Y ULTISOLES

Unidad de Suelos	C.I.C.T meq/100g	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ⁺³	Saturación de Bases	pH 1:25
		meq/100g de suelo total						
1. Luvisol crómico	18.3	10.3	2.5	0.9	1.1	0.35	80.87	7.2
2. Acrisol férrico	14.0	4.5	1.2	0.1	0.5	0.75	45.00	5.3
3. Nitosol	10.2	2.9	0.3	-	0.3	0.97	34.31	4.2
4. Ferrasol	8.5	0.7	0.3	-	0.2	1.2	14.11	3.7

Los suelos que se presentan en esta tabla se localizan, aproximadamente, en las coordenadas 95°10' y 16°30'. Colectó: J. E. Gama (1990).

Como puede observarse, con excepción de la Unidad de Luvisoles crómicos, se trata de suelos altamente lixiviados. Los porcentajes de saturación de bases influyen fuerte y directamente sobre el pH de los suelos. En todos los casos, los contenidos de calcio y de aluminio son antagonicos, ya que a medida que el calcio disminuye el contenido de aluminio se incrementa, es decir existe una relación inversa entre estos cationes.

En estos ejemplos, la saturación de bases sólo se estimó tomando en cuenta al calcio, magnesio, sodio y potasio. Sin embargo, debido a las múltiples dificultades para estimar correctamente la capacidad de cambio de un suelo que tiene cargas permanentes y variables (Andisol-Oxisol) Fassbender (1987) ha propuesto que esta propiedad se determine sumando los miliequivalentes de los diferentes cationes de cambio a los del aluminio el hidrógeno presentes; a esta suma se le llamaría la capacidad de cambio efectivo.

Este enfoque de determinación de capacidad de cambio, que es independiente del pH, resulta en valores comprobados, útiles para estimar esta propiedad en suelos del trópico.

III.I.2.5 Factores que propician la Degradación Química

III.I.2.5.1. Clima. Es un buen índice para evaluar la degradación química. Este índice se basa en la sumatoria de la precipitación anual menos la evapotranspiración potencial anual:

$$P - PET - R \text{ -----}(1)$$

donde R es la reserva de humedad del suelo

En la tabla 28 se dan algunos valores obtenidos para 10 estaciones metereológicas:

TABLA 28 CLIMA COMO FACTOR DE DEGRADACION QUIMICA

Estación	Precipitación	Evapotranspiración Anual (mm)	Valor de °C ¹	Clasificación del Clima como Factor de Lixiviación
1. Dzitas, Yuc.	1219.6	750.0	469.6/100	MODERADO
2. Xocnacech, Yuc.	1207.0	715.0	492.0/100	MODERADO
3. Tuxpango, Ver.	2358.0	740.0	1618.0/100	ALTO
4. Xochiapan, Ver.	2264.0	780.0	1484.0/100	ALTO
5. Teapa, Tab.	3900.4	1250.0	2650.4/100	MUY ALTO
6. Samaria, Tab.	1843.3	1100.0	743.3/100	MODERADO
7. Jumatán, Nay.	1517.3	950.0	567.3/100	MODERADO
8. Cuautla, Mor.	977.0	850.0	127.0/100	BAJO
9. Chiripa, Chis.	3927.0	1270.0	2657.0/100	MUY ALTO
10. Pixoyal, Camp.	1302.0	990.0	312.0/100	MODERADO

III.I.2.5.2. Suelo. Los Edafocistemas Tropicales y Subtropicales de México son particularmente propensos a la degradación química cuando poseen una fracción arcilla predominantemente caolínica y/o cuando presentan horizontes kándicos o drenaje interno lateral u oblicuo. Como son los casos de Ultisoles, Oxisoles y algunos Alfisoles e Inceptisoles.

En los suelos arenosos muy permeables (Arenosoles, Fluvisoles y Regosoles, entre otros) así como en los suelos muy pobres en materia orgánica (Grupos Dísticos) se tiende a la acidificación, pues su capacidad de cambio de cationes, generalmente, es baja.

En el caso especial de los suelos de manglar: **Regosol tiónico; Fluvisol tiónico, Cambisol tiónico y Gleysol tiónico**, no obstante que la acidificación de suelos es ocasionada por la oxidación del azufre, subsiguiente a la desecación, (Perfil 0-33) que da origen a la formación de ácido sulfúrico, se considera a este fenómeno como un problema de toxicidad y no de desbasificación.

III.I.2.5.3. Topografía. En los declives pronunciados (> 12%) la escorrentía aumenta, en tanto que el drenaje interno y la lixiviación disminuyen correspondientemente. Las formas topográficas llanas (0-2%) aumentan el riesgo de lixiviación y el de acidificación. Consecuentemente, en las cuencas deltaicas y llanuras costeras es donde más frecuentemente se presentan los suelos lixiviados ácidos. Sin embargo existen algunas excepciones como es en el caso de algunos suelos arcillosos compactados que se localizan en pendientes fuertes, en los cuales frecuentemente se forman drenajes laterales u oblicuos que generan pérdidas de bases en el perfil del suelo. En la tabla 29 se da un ejemplo de este fenómeno.

TABLA 29 RIESGOS DE LIXIVIACION Y ACIDIFICACION POR EFECTO DE LA PENDIENTE

PERFIL	LOCALI- ZACION GEOGRA- FICA	PEN- DIEN- TE	HORIZONTE A				HORIZONTE CON DRENAJE LATERAL				CAPA COMPACTADA							
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺				
			Mgq/100 g de Suelo															
Profun- didad (cm) 0-35	Sta Catarina, Morelos	Longi- tud: 300 m	10.5	2.7	1.1	0.9												
35-50	18°45' 99°00'	Gra- diente 70					3.1	0.7	0.5	0.7								
50												25.3	5.7	2.8	1.9			

COLECTO: S. Palacios-Mayorga (1989).

En este caso se trata de un Luvisol crómico que muestra un perfil A₁-A₂-B₁. Este suelo fue deforestado y, posteriormente, sometido a uso agrícola con cultivos anuales durante 20 años. Gradualmente el horizonte B₁ se fue consolidando y compactando (Degradación física) hasta constituir un densipan muy impermeable (Densidad aparente = 1.5 g/cm³). Por efecto de la pendiente, el agua de lluvia que penetra al suelo se desliza sobre el densipan (Drenaje lateral y oblicuo) originando como puede observarse en la tabla 29 una pérdida muy severa de cationes en el horizonte A₂ (35-50 cm), además de una pérdida de los elementos finos (arcillas) traslocados del horizonte A.

Este fenómeno conduce a un gradual empobrecimiento de bases y arcillas del epipedón que generará la acidificación y distrificación de este suelo y, en algunos casos la formación de un horizonte E álbico.

III.I.2.5.4. Factores humanos. FAO-PNUMA (1980) Considera que: la vegetación forestal sirve de reservorio de bases, y las bases almacenadas en la vegetación están protegidas de las pérdidas por lixiviación.

Se sabe que mediante la absorción que efectúan las raíces en los horizontes profundos del suelo, la vegetación natural es también capaz de recuperar al menos parte de las bases lixiviadas descendientemente. Bajo una cubierta vegetal natural que muestre un porcentaje de cobertura entre 80 a 100, las pérdidas de bases en el perfil del suelo son pequeñas, en tanto que en las áreas con coberturas menores a 50% estas son muy significativas. En la tabla 30 se muestran los porcentajes anuales de disminución de la saturación de bases en 8 suelos de la Península de Yucatán, que presentan diferentes porcentajes de cobertura vegetal. Estas estimaciones fueron hechas con base en FAO-PNUMA (1980).

TABLA 30. COBERTURA VEGETAL Y PORCENTAJES DE LIXIVIACION

Perfil	Unidad Taxonómica	Formación vegetal	Porcentaje de cobertura vegetal	Disminución del porcentaje de S.B. (Anual)	Valoración FAO-PNUMA 1980
1	Luvisol	Bosque Semicaducifolio	95	1.7	Muy ligera
2	Luvisol	Bosque Caducifolio	85	2.3	Ligera
3	Luvisol	Bosque húmedo perenne	100	0.7	Ninguna
4	Luvisol	Bosque Caducifolio	70	2.9	Alta
5	Luvisol	Bosque Caducifolio	60	4.0	Alta
6	Luvisol	Pastizal	90	2.0	Ligera
7	Luvisol	Pradera	80	2.5	Moderada
8	Luvisol	Bosque Pastizal	55	5.1	Muy alta

LOCALIZACION: 20°00' - 88°30' a 20°30' - 89°00'.

Como puede observarse, el porcentaje de cobertura vegetal, independientemente de que se trate de un bosque o de un pastizal, es uno de los factores fundamentales que determina la disminución, anual, del porcentaje de saturación de bases en los suelos. Cuando el hombre aclara y quema la vegetación, el proceso de lixiviación se puede acelerar considerablemente, puesto que las bases contenidas en las cenizas pueden ser arrastradas por el agua, y el efecto retentivo de los nutrimentos por el sistema radical se interrumpe.

El hombre, de hecho, contribuye en el Trópico y Subtrópico Mexicano a generar la lixiviación y a la acidificación del suelo mediante el empleo excesivo e indiscriminado de agroquímicos que muestran una elevada acidez equivalente, como son los que contienen amonio, especialmente en los suelos de textura ligeras con baja capacidad de amortiguación. Algunos cultivos como la caña de azúcar, son capaces de originar también acidificación del suelo si en la recolección se retiran del sistema cantidades relativamente grandes de bases. Comúnmente, el riego excesivo, principalmente en las zonas subtropicales puede causar asimismo lixiviación y conducir a la acidificación del suelo.

III.1.2.6. Toxicidades.

Como se mencionó anteriormente, la entisolización de los suelos por causas antrópicas y tecnogénicas, se caracteriza por la presencia de desechos o residuos urbanos, industriales, radioactivos o petrolíferos que derivan fenómenos de toxicidad.

En México, los ejemplos ocurren sobre todo en el entorno de las ciudades y áreas industriales. Coatzacoalcos, Minatitlán y Poza Rica, Veracruz, son casos típicos de esta problemática. Los factores ambientales clima, topografía y suelo tienen poca influencia directa para regular estos acontecimientos. Es decir, la toxicidad por contaminación puede presentarse en cualquier edafocosistema.

Existen algunas toxicidades, de carácter natural, que pueden relacionarse con los suelos derivados de determinados materiales parentales ultrabásicos, los cuales como se mencionó anteriormente son escasos en el Territorio Nacional. Sin embargo, existen varios reportes de toxicidad ocasionados por metales pesados asociados a las serpentinas. Estos reportes se presentan, principalmente, para el Batolito de Jalisco: el Complejo Orogénico Guerrero-Colima y el Batolito de Chiapas.

En estas regiones las toxicidades generalmente sólo afectan a pequeñas áreas, pero pueden ser localmente muy importantes, puesto que la degradación que originan puede ser rápida y de larga duración.

En el caso especial de los suelos de los manglares (Cuenca de Nayarit, Miogeoclinal del Golfo de México, Cuenca Deltaica de Veracruz, Cuenca Deltaica de Tabasco y Cuenca de Tehuantepec) el drenaje y la aireación del suelo pueden dar lugar a la oxidación del azufre (Grupos tiónicos) y a la formación del ácido sulfúrico (Perfil 0-33). Todas las toxicidades debidas a la acción humana pueden ser localmente importantes, pero son difíciles de evaluar y de representar-cartográficamente a una escala mayor que local.

III.1.2.7. Degradación Física

Este concepto se refiere a los cambios adversos en las propiedades físicas del suelo, como son: porosidad, permeabilidad, densidad aparente y/o de volumen y estabilidad estructural.

La degradación física del suelo se produce como consecuencia de muchos procesos relacionados entre sí como son: el apelmazamiento, encostramiento, reducción de la permeabilidad, compactación, falta de aireación, degradación de la estructura y limitaciones a las raíces. Estos procesos están relacionados con la reducción de la porosidad del suelo.

III.1.2.8. Factores Ambientales que generan Degradación Física.

Hasta el momento sólo es posible evaluar, paramétricamente los siguientes factores:

III.1.2.8.1. Clima. De modo similar a la evaluación de la erosión hídrica, se utiliza el índice de agresividad climática (C) porque el apelmazamiento y el encostramiento son función de la frecuencia, intensidad y energía cinética de la lluvia. La compactación y el deterioro estructural son función de la plasticidad del suelo durante el período en que éste está saturado y, por consiguiente, una y otro están también fuertemente influidos por la cantidad de lluvia. El anegamiento, el riego y las inundaciones son asimismo factores que inducen a la degradación física.

La ecuación empleada en esta tesis para determinar la agresividad climática es la siguiente:

$$C^1 = f \quad (pi/P) \text{-----}(2)$$

donde:

C^1 = Agresividad climática, pi = precipitación promedio mensual, P = precipitación promedio anual.

III.1.2.8.2. Suelo. En los análisis realizados a los suelos, se observó que la falta de materia orgánica (< 1%) y un porcentaje elevado de limo y de arena muy fina (> 45%) son los factores que más contribuyen al apelmazamiento, consolidación y compactación. En este

TABLA 31

EVALUACION DEL RIESGO A LA DEGRADACION DE LOS SUELOS

GRUPO DE SUELOS	EROSION HIDRICA t/ha/año	*DEGRADACION FISICA g/cm ³	**DEGRADACION QUIMICA S.B %	***SALINIZACION mmhos/cm/año	****SODIFICACION PS1/año
I					
P4	12.86 MA	3.0 A	1.25 N	1.08 L	2.5 A
P5	25.73 MA	6.0 MYA	1.25 N	1.08 L	2.5 A
P9	25.73 MA	3.9 A	1.25 N	2.16 M	3.1 MYA
P12	25.73 MA	6.0 MYA	1.25 N	2.16 M	3.2 MYA
P15	25.73 MA	6.0 MYA	1.25 N	1.08 M	2.5 A
P17	25.73 MA	3.9 A	1.25 N	2.88 M	3.1 MYA
P17A	25.73 MA	6.0 MYA	1.25 N	1.08 L	2.5 A
P18	25.73 MA	6.0 MYA	1.25 N	2.88 M	3.3 MYA
P20	25.73 MA	6.0 MYA	1.25 N	2.95 M-A	3.3 MYA
P22	12.86 MA	3.0 A	1.25 N	1.08 L	2.5 A
P23	25.73 MA	6.0 MYA	1.25 N	1.58 L	3.1 MYA
II					
P6	25.73 MA	6.0 MYA	1.25 N	1.44 L	3.0 MYA
P7	4.28 M	0.6 L	1.25 N	3.88 A	4.5 MYA
P8	4.28 M	0.6 L	1.25 N	2.16 M	3.7 MYA
P10	4.28 M	1.0 L	1.25 N	2.08 M	3.7 MYA
P11	25.73 MA	6.0 MYA	1.25 N	1.87 L	2.5 A
P14	8.57 M	2.0 M	1.25 N	1.08 L	3.7 MYA
P16	8.57 M	2.0 M	1.25 N	1.62 L	3.7 MYA
P21	2.14 M	0.5 L	1.25 N	2.80 M	4.5 MYA
P24	8.57 M	2.0 M	1.25 N	1.87 L	2.5 A
P25	25.73 MA	6.0 MYA	1.25 N	1.44 L	2.5 A
III					
P26	20.01 MA	1.3 L	1.25 N	1.62 L	4.5 MYA
III.1					
P1	25.01 MA	1.6 M	1.33 M	1.0 N	1.0 L
P2	25.01 MA	1.6 M	1.30 M	1.0 N	1.0 L
P13	25.01 MA	2.5 M	1.25 N	1.9 L	4.6 MYA
III.2					
P37D	22.0 MA	3.0 A	1.25 N	5.0 MYA	5.0 MYA
III.3					
P3	5.0 M	0.3 N	3.5 A	2.0 L	1.0 L
P19	5.0 M	0.3 N	2.5 A	2.0 L	1.0 L
III.4					
P11D	3.0 M	1.5 L	2.7 A	1.0 N	1.0 L
III.5					
P42D	27.0 A	ND	ND	ND	ND
III.6					
	ND	ND	ND	ND	ND

* Se refiere al aumento en la densidad aparente, estimado para las capas que muestran una D.A. entre 1.25 a 1.40 g/cm³

** Disminución de la saturación de bases/año

*** Aumento en la conductividad eléctrica/año

**** Aumento del PS1/año

MYA = MUJ ALTA

A = ALTA

MA = MODERADAMENTE ALTA

M = MODERADA

L = LIGERA

N = NULA

ND = NO SE DETERMINO

En estas regiones las toxicidades generalmente sólo afectan a pequeñas áreas, pero pueden ser localmente muy importantes, puesto que la degradación que originan puede ser rápida y de larga duración.

En el caso especial de los suelos de los manglares (Cuenca de Nayarit, Miogeoclinal del Golfo de México, Cuenca Deltaica de Veracruz, Cuenta Deltaica de Tabasco y Cuenca de Tehuantepec) el drenaje y la aireación del suelo pueden dar lugar a la oxidación del azufre (Grupos tiónicos) y a la formación del ácido sulfúrico (Perfil 0-33). Todas las toxicidades debidas a la acción humana pueden ser localmente importantes, pero son difíciles de evaluar y de representar-cartográficamente a una escala mayor que local.

III.I.2.7. Degradación Física

Este concepto se refiere a los cambios adversos en las propiedades físicas del suelo, como son: porosidad, permeabilidad, densidad aparente y/o de volumen y estabilidad estructural.

La degradación física del suelo se produce como consecuencia de muchos procesos relacionados entre sí como son: el apelmazamiento, encostramiento, reducción de la permeabilidad, compactación, falta de aireación, degradación de la estructura y limitaciones a las raíces. Estos procesos están relacionados con la reducción de la porosidad del suelo.

III.I.2.8. Factores Ambientales que generan Degradación Física.

Hasta el momento sólo es posible evaluar, paramétricamente los siguientes factores:

III.I.2.8.1. Clima. De modo similar a la evaluación de la erosión hídrica, se utiliza el índice de agresividad climática (C) porque el apelmazamiento y el encostramiento son función de la frecuencia, intensidad y energía cinética de la lluvia. La compactación y el deterioro estructural son función de la plasticidad del suelo durante el período en que éste está saturado y, por consiguiente, una y otro están también fuertemente influidos por la cantidad de lluvia. El anegamiento, el riego y las inundaciones son asimismo factores que inducen a la degradación física.

La ecuación empleada en esta tesis para determinar la agresividad climática es la siguiente:

$$C^1 = f \quad (\text{pi}/P) \text{-----}(2)$$

donde:

C^1 = Agresividad climática, pi = precipitación promedio mensual, P = precipitación promedio anual.

III.I.2.8.2. Suelo. En los análisis realizados a los suelos, se observó que la falta de materia orgánica (< 1%) y un porcentaje elevado de limo y de arena muy fina (> 45%) son los factores que más contribuyen al apelmazamiento, consolidación y compactación. En este

caso la relación Limo : Arcilla fue un índice muy diagnóstico para evaluar el riesgo. En cuanto al encostramiento, se empleó el siguiente índice:

$$\frac{1.5 Z_f + 0.75 Z_c}{C + 10 MO} \text{-----}(3)$$

donde: Z_f = % de limo fino (2.20μ); Z_c = % de limo grueso ($20-50 \mu$); C = % de arcilla y MO = % de materia orgánica.

En los suelos estudiados, este índice varió entre 0.2 para los suelos que no forman costras y > 2 para los que están sujetos a una intensa formación de las mismas. En general, los suelos con arcillas muy dispersivas. principalmente los suelos sódicos. son muy propensos a la degradación física.

III.I.2.8.3. Topografía. Las formas topográficas llanas, igual que en el caso de la degradación química, son un factor importante de degradación física, porque facilitan el aumento de la infiltración.

Factores humanos. Los cultivos que cubren un porcentaje pequeño de la superficie del terreno ($< 50\%$ de cobertura) y algunos tipos de cultivo que hacen uso de maquinaria pesada aumentan el riesgo de degradación física, porque facilitan el aumento de la compactación. El riego en suelos vulnerables y el enlodamiento de los arrozales son también factores que hacen mayores los riesgos de degradación física.

Los perfiles 4 (INIFAP) y 9 (AMAPA FRANCO) localizados en la llanura costera de Nayarit son un ejemplo del proceso de degradación física.

III.I.2.9. Degradación Física de los Suelos del Trópico y Subtrópico Mexicano.

Este fenómeno es muy común en todos los suelos aluviales jóvenes, ricos en limo y arena fina y muy fina, pero deficientes en materia orgánica ($< 1\%$); arcilla ($< 18\%$) y calcio. El riesgo se incrementa, considerablemente, si el suelo tiene un uso agrícola intensivo y altamente mecanizado.

A continuación se presentan algunos ejemplos de evaluación de la erosión hídrica, salinización; sodificación, degradación química y degradación física, en 27 perfiles de suelos localizados en la Cuenca de Nayarit (Tabla 31).

El Grupo I de suelos, representado por los perfiles P4; P5; P9; P12; P15; P17; P17A; P18; P20; P22 y P23, corresponde con las Unidades de Suelos: Fluvisol eútrico y Fluvisol sódico, de tipo textural grueso, rico en materiales piroclásticos de edad reciente (< 500 años). El Grupo II lo constituyen suelos aluviales con propiedades vérticas, ricos en montmorillonita, y está representado por los perfiles: P6; P7; P8; P10; P11; P14; P16; P21; P24; y P25, en general se trata de Fluvisoles eútricos son propiedades vérticas.

El Grupo III está representado por la Unidad de Vertisoles (P26). El Grupo III.1 se constituye por la Unidad de Cambisoles crómicos y los perfiles P1, P2 y P3 son las Unidades

EVALUACION DEL RIESGO A LA DEGRADACION DE LOS SUELOS

GRUPO DE SUELOS	EROSION HIDRICA t/ha/año	* DEGRADACION FISICA g/cm ³	** DEGRADACION QUIMICA S.B %	*** SALINIZACION mmhos/cm/año	**** SODIFICACION PSI/año
I					
P4	12.86 MA	3.0 A	1.25 N	1.08 L	2.5 A
P5	25.73 MA	6.0 MYA	1.25 N	1.08 L	2.5 A
P9	25.73 MA	3.9 A	1.25 N	2.16 M	3.1 MYA
P12	25.73 MA	6.0 MYA	1.25 N	2.16 M	3.2 MYA
P15	25.73 MA	6.0 MYA	1.25 N	1.08 M	2.5 A
P17	25.73 MA	3.9 A	1.25 N	2.88 M	3.1 MYA
P17A	25.73 MA	6.0 MYA	1.25 N	1.08 L	2.5 A
P18	25.73 MA	6.0 MYA	1.25 N	2.88 M	3.3 MYA
P20	25.73 MA	6.0 MYA	1.25 N	2.95 M-A	3.3 MYA
P22	12.86 MA	3.0 A	1.25 N	1.08 L	2.5 A
P23	25.73 MA	6.0 MYA	1.25 N	1.58 L	3.1 MYA
II					
P6	25.73 MA	6.0 MYA	1.25 N	1.44 L	3.0 MYA
P7	4.28 M	0.6 L	1.25 N	3.88 A	4.5 MYA
P8	4.28 M	0.6 L	1.25 N	2.16 M	3.7 MYA
P10	4.28 M	1.0 L	1.25 N	2.08 M	3.7 MYA
P11	25.73 MA	6.0 MYA	1.25 N	1.87 L	2.5 A
P14	8.57 M	2.0 M	1.25 N	1.08 L	3.7 MYA
P16	8.57 M	2.0 M	1.25 N	1.62 L	3.7 MYA
P21	2.14 M	0.5 L	1.25 N	2.88 M	4.5 MYA
P24	8.57 M	2.0 M	1.25 N	1.87 L	2.5 A
P25	25.73 MA	6.0 MYA	1.25 N	1.44 L	2.5 A
III					
P26	20.01 MA	1.3 L	1.25 N	1.62 L	4.5 MYA
III.1					
P1	25.01 MA	1.6 M	1.33 M	1.0 N	1.0 L
P2	25.01 MA	1.6 M	1.30 M	1.0 N	1.0 L
P13	25.01 MA	2.5 M	1.25 N	1.9 L	4.6 MYA
III.2					
P37D	22.0 MA	3.0 A	1.25 N	5.0 MYA	5.0 MYA
III.3					
P3	5.0 M	0.3 N	3.5 A	2.0 L	1.0 L
P19	5.0 M	0.3 N	2.5 A	2.0 L	1.0 L
III.4					
P11D	3.0 M	1.5 L	2.7 A	1.0 N	1.0 L
III.5					
P42D	27.0 A	ND	ND	ND	ND
III.6					
	ND	ND	ND	ND	ND

* Se refiere al aumento en la densidad aparente, estimado para las capas que muestran una D.A. entre 1.25 a 1.40 g/cm³.

** Disminución de la saturación de bases/año

*** Aumento en la conductividad eléctrica/año

**** Aumento del PSI/año

MYA = MUY ALTA
A = ALTA
MA = MODERADAMENTE ALTA
M = MODERADA
L = LIGERA
N = NULA
ND = NO SE DETERMINO

tipo. El Grupo III.2 corresponde con Solonchak (P37D).

Por otra parte, los Grupos III.3; III.4; III.5; y III.6 están representados, respectivamente, por las siguientes Unidades: Luvisoles (P3-P19; Acrisoles (P110) e Histosoles (P420).

Como puede observarse en la tabla 31 el mayor riesgo a la degradación física se presenta en los suelos aluviales de los Grupos I y II. Este riesgo oscila de alto a muy alto en el Grupo I, y de ligero a muy alto en el Grupo II. Los valores de riesgo de aumento en la densidad aparente oscilan, respectivamente, de 3 a 6 g/cm³ o de 0.6 a 6g/cm³ anualmente para las capas que muestran densidades de 1.25 a 1.40 g/cm³. En el caso de los Grupos III, II.1, II.3 y II.4, los valores de este riesgo fluctúan de nulos a moderados, siendo siempre altos en el Grupo III.2, donde la estructura está muy degradada por efecto del sodio.

Este fenómeno ha sido originado tanto por causas naturales como inducidas. En el primer caso, la consolidación y compactación de las partículas, propiciadas por cambios en el contenido de agua del suelo, sólo son temporales. En tanto que, en el segundo, la compactación es inducida por peso confinado, y esta es perdurable. Esta tiende a ser más estable, especialmente en aquellas capas de textura fina que muestran valores $n > 0.7$.

En ambos casos, natural o inducida, la consolidación y compactación de las capas incrementa la densidad aparente y genera la formación de un densipan. Esta capa (densipan) aunke en la mayoría de los casos no limita significativamente la penetrabilidad de las raíces, disminuye la porosidad, permeabilidad, percolación e intercambio de gases en el perfil, lo que propicia, entre otras cosas: (a) mala distribución de la humedad en el suelo; (b) encharcamiento; (c) formación de capas de agua "colgada"; (d) hidromorfismo y (e) anaerobiosis. Estos factores a su vez, propician riesgos a la degradación biológica y toxicidad, debido a las condiciones concomitantes de reducción oxidación que se presentan durante el año.

Los métodos mecánicos para aumentar el espacio radical, como la aradura del subsuelo, cuando el densipan es somero, deben ser muy cuidadosamente seleccionados antes de emplearlos, ya que existe el riesgo de una mayor disminución del espacio poroso por la compactación mecánica de los terrones. Esto ocurre, frecuentemente, en los suelos que muestran propiedades vérticas cuando son arados en condiciones desfavorables de humedad. (Grupos II y III).

La incorporación de materia orgánica en el suelo y una densidad de siembra adecuada son dos prácticas muy eficaces para atenuar las restricciones, laterales y verticales, que limitan el crecimiento de las raíces.

III.1.2.10. Degradación Biológica

En el Trópico y Subtrópico Mexicano, el resultado mediato de la tala y quema de bosques tropicales y subtropicales es la degradación biológica, en tanto que el resultado inmediato es la pérdida de materia orgánica, en diferentes porcentajes, cuyas

consecuencias principales son la degradación física, la pérdida de nutrimentos, el aumento de la escorrentía y la erosión, lo que colateralmente puede causar problemas de contaminación debidos al transporte y depositación de sedimentos ricos en agroquímicos.

La pérdida de materia orgánica también se incrementa por la erosión, pero en este caso no se considera estrictamente como degradación biológica, es decir, en la degradación biológica sólo se tiene en cuenta la mineralización de la materia orgánica sin erosión.

FAO-PNUMA, (1980) establece una distinción entre materia orgánica no resistente, que básicamente es la constituida por residuos orgánicos recientes, y materia orgánica resistente, que en este caso, está representada por el humus.

III.I.2.11. Factores que generan Degradación Biológica en el Trópico y Subtrópico Mexicano.

III.I.2.11.1. Clima. La descomposición de la materia orgánica es función directa de la actividad de la microfauna y de la microflora, las cuales a su vez lo son de la temperatura y de la humedad del suelo. En los suelos estudiados, los regímenes Isohipertérmicos-údicos, son los que presentaron mayor índice de actividad biológica.

Para medir esta degradación, se ha adoptado el índice de Koepef (1953) modificado por FAO-PNUMA. Este índice establece una descomposición de 2.9 entre 10° y 20°C:

$$K_2 = \frac{1}{12} e^{0.1065 t} \times \frac{P}{PET} \quad (P < PET \text{ -----}(4))$$

donde: si $P > PET$, $\frac{P}{PET} = 1$ y si $t < 0$, $t = 0$

donde: t = Temperatura media del aire durante el mes
 P = Precipitación
 PET = Evapotranspiración potencial
 K_2 = Velocidad de descomposición del humus en porcentaje anual

La constante K_2 resulta muy similar al coeficiente de mineralización del humus en condiciones tropicales (Henin, 1945) según el cual la relación de cambio del contenido de humus del suelo es:

$$\frac{dB}{dt} = K_1 m - K_2 B \text{ -----}(5)$$

donde: K_1 = Coeficiente de humificación
 K_2 = Coeficiente de mineralización
 m = Adición anual de materia orgánica de fácil descomposición.
 B = Contenido de humus del suelo en equilibrio

El Contenido de humus en equilibrio es:

$$B = m \frac{K1}{K2} \text{-----}(6)$$

III.1.2.11.2 Suelo. La velocidad de descomposición varía según la textura del suelo, la naturaleza de la materia orgánica, el pH, el % de carbonato de calcio, y el contenido de agua a capacidad de campo. Desde luego influye notablemente el edafoclima. En la tabla 32 se presentan algunos valores promedio obtenidos para 8 Unidades de suelos tropicales y subtropicales que presentan como factor común una cubierta vegetal de selva baja subcaducifolia, con una cobertura < 50% y un relieve casi plano (1-2%)

TABLA 32 DEGRADACION BIOLOGICA EN SUELOS TROPICALES DE MEXICO

PERFILES DE SUELOS. QUINTANA ROO								
PROPIEDADES DEL SUELO	P1 LUVISOL CROMICO	P2 RENDZINA	P3 GLEYSOL VERTICO	P4 FLUVISOL TIONICO	P5 SOLONCHAK ORTICO	P6 VERTISOL EUTRICO	P7 ACRISOL FERRICO	P8 FERRALSOL HAPLICO
1. Temperatura	I.H.T.	N.D.	I.H.T.	I.H.T.	I.H.T.	I.H.T.	I.H.T.	I.H.T.
2. Humedad	UDICO	USTICO	ACUICO	ACUICO	USTICO	USTICO	UDICO	UDICO
3. N. O.	3.5	4.7	7.3	4.2	2.7	2.4	1.5	1.2
4. pH	5.5	7.6	7.5	3.7	8.3	7.7	5.2	4.9
5. CaCO ₃	0.25%	32.0%	5.2%	0.1 %	15.0 %	12.0 %	Tz	Tz
6. C/N	6.3	11.5	15.5	18.7	14.7	11.5	19.5	23.5
DEGRADACION BIOLOGICA (%)	5.0/año ALTA	0.9 % LIGERA	0.7 % LIGERA	0.3 % MUY LIGERA	0.5 LIGERA	0.6 % LIGERA	9.0 % MUY ALTA	10 % MUY ALTA

I.H.T = Régimen de temperatura Iso-Hipertérmico

N. D. = No determinado

Tz = Trazas

Como puede observarse, los suelos con altos contenidos de CaCO₃, como son las Rendzinas, Solonchak, Vertisoles y Gleysoles vérticos, retienen la pérdida de materia orgánica, según lo estableció Remy y Marin-Lafliche (1974) en la siguiente ecuación:

$$K2 = \frac{1200}{(A + 200) (C + 200)} \text{-----}(7)$$

Donde:

A = arcilla %

C = CaCO₃, %

Por otra parte, las características hidromórficas que muestra el Gleysol vértico, también son factores a considerar, ya que estas características se forman bajo condiciones de aireación, lo cual rebaja considerablemente la velocidad de descomposición del humus.

También se observa que los pH comprendidos entre 5.5 y 7.7, por ellos mismos tienen poco efecto en la degradación biológica, pero en los suelos sulfúricos (Fluvisol Tiónico) o salinos (Solonchak) propician una baja velocidad de descomposición biológica, debido a que ambos medios son extremos y limitantes para el desarrollo de microorganismos.

Los suelos muy ácidos, pobres en CaCO_3 y con relaciones C/N muy altas, son en este caso los suelos con mayor índice de degradación biológica, no obstante que sus texturas son finas.

Se observó que en los suelos con mayor degradación biológica ocurrían, invariablemente, los siguientes fenómenos:

1. El color del epipedón se vuelve más claro.
2. La estabilidad estructural disminuye.
3. La agregación es más débil y la consolidación y el encostramiento se incrementan.
4. La actividad animal decrece.
5. Se incrementa la escorrentía e hidromorfía en los horizontes superiores.
6. Disminuye el porcentaje de agua disponible en el suelo
7. Se genera limitación en la radicación por incremento de la densidad aparente y
8. Disminuye, gradualmente la respuesta de los cultivos a los fertilizantes

Cuando la degradación biológica es muy intensa, se propician fenómenos de degradación mecánica como es, comúnmente, la formación de capas rígidas.

III.I.2.11.3. Topografía. Las características de la geoforma, su orientación, relieve y longitud del relieve, influyen en el edafoclima y en el clima ambiental, principalmente en la temperatura y humedad del suelo. Sin embargo, el gradiente del declive tiene poca influencia en la degradación biológica (Tabla 32). La altitud se tiene en cuenta por el índice climático, en razón de su efecto sobre la temperatura.

III.I.2.11.4. Factores humanos. Los residuos de cada cultivo se descomponen a velocidades peculiares según la razón C/N, pero la vegetación natural y los cultivos influyen también en la temperatura de la superficie del terreno, al cubrirlo de sombra, lo cual disminuye la velocidad de descomposición. En general, el equilibrio entre la adición de materia orgánica, de residuos orgánicos y de otras procedencias, con respecto a las pérdidas por la mineralización del humus, son la base para cuantificar la degradación biológica.

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

1. DEGRADACION DE LOS EDAFOECOSISTEMAS

- 1.1. El deterioro inducido, de los edafocistemas Tropicales y Subtropicales de México, representa un altísimo costo para el desenvolvimiento de la sociedad, especialmente porque amaga sus bases fundamentales: pérdida continua de recursos, y efectos graves sobre la producción de alimentos.
- 1.2. Las causas de esta degradación se atribuyen, comúnmente, a fenómenos de sobrepoblación, utilización de tecnologías inadecuadas y, en algunos casos, simplemente como un fenómeno generado por el progreso. **Sin embargo, esta última imagen no es realista, si no más bien contradictoria, ya que la degradación no es una característica inherente al progreso, sino por lo contrario, está muy lejos de ello.**
- 1.3. Con base en la historia social, cultural y científica relativa al área de estudio, es posible concluir que el origen de la degradación de los edafocistemas presentes, así como el acelerado deterioro de sus recursos, son resultado de un grupo numeroso de variables complejas, previas a los fenómenos locales de sobrepoblación y tecnificación. Las principales variables causales son: (1) extrapolación de conocimientos científicos y técnicos erróneos; (2) prejuicios edafogenéticos y conceptos simplistas de "zonalidad"; (3) uso indiferenciado de nomenclaturas y clasificaciones en los suelos; (4) postulados dogmáticos sobre la "alta resistencia y regeneración de los suelos"; (5) ausencia de técnicas y paquetes tecnológicos propios; (6) falta de investigación básica y aplicada; (7) creciente y caótica antropización y tecnogénesis y (8) fenómenos socio culturales en los que se incluyen: (a) educación deficiente; (b) conflictos sociales; (c) falta de apoyo gubernamental y (d) falta de créditos.
- 1.4. **Se concluye la presencia de seis fenómenos que actúan degradando a los ecosistemas analizados.** Estos fenómenos son en orden de importancia dada la superficie, aproximada, que ocupa cada uno: (1) erosión hídrica; (2) degradación física y química, (4) contaminación y toxicidad; (5) salinización y/o sodificación, y (6) degradación biológica. Este último fenómeno tiende a incrementarse cada año, aunque esta apreciación es sólo cualitativa, ya que se carece de métodos cuantitativos, confiables, para estimar este fenómeno.
- 1.5. **En el área estudiada los suelos más erodables, en la mayoría de los casos, son aquellos pobres en materia orgánica, mal estructurados, poco permeables, pero ricos en limos y arenas muy finas.** La destrucción de la cubierta vegetal es, generalmente, la causa inicial de erosión.
- 1.6. **La degradación física, representada por un aumento en la densidad**

aparente, pérdida de porosidad y/o consolidación-compactación en los horizontes son los factores más evidentes, y comunes en los suelos estudiados. Este fenómeno se presenta tanto por causas naturales como inducidas. Es común en los suelos ricos en limos y pobres en materia orgánica, particularmente, en las áreas con climas Aw que muestran un período de lluvias, torrenciales, y un período de sequía definido. **En este caso, la degradación física es una variable que depende, principalmente, de la frecuencia, intensidad, energía cinética de la lluvia, cobertura vegetal y cobertura de hojarasca.** El anegamiento, las inundaciones, el exceso de riego, y el uso continuo de maquinaria agrícola pesada, también son factores que inducen este fenómeno.

- 1.7. La degradación química es un fenómeno, particular que se propicia en los suelos que muestran índices altos de drenaje pedológico, lixiviación, y exceso de lluvia. Sin embargo, el porcentaje de cobertura vegetal y la densidad de la rizosfera son factores que limitan la disminución anual del porcentaje de saturación de bases en los suelos, en ocasiones, llegan a impedir la, especialmente cuando la cobertura vegetal es mayor de 85%.
- 1.8. La toxicidad como un fenómeno natural en los suelos estudiados es poco frecuente, limitándose a aquellos suelos muy lixiviados y acidificados, con pH menor a 5. Sin embargo la toxicidad por causas inducidas (contaminación) es muy frecuente y se presenta en cualquier edafoeosistema. Todas las toxicidades debidas a la acción humana pueden ser localmente importantes, pero debido a la carencia de una metodología, adecuada para el trópico, son difíciles de evaluar y de representar cartográficamente a una escala mayor que 1:5000.
- 1.9. El exceso de acumulación de sales, en el área de estudio se presenta, principalmente, en las zonas litorales o con relieve negativo y, secundariamente, en las zonas agrícolas que disponen de riego y/o drenaje. En el primer caso, la presencia de mantos freáticos salinos y/ sódicos, las intrusiones de cuñas de agua marina, así como la presencia de depósitos geológicos ricos en sales, son los principales factores causales de este fenómeno. En el caso de las zonas agrícolas, la acumulación de sales en los suelos, se debe con frecuencia a las fluctuaciones estacionales de los mantos freáticos salinos, pero el riego con agua de mala calidad, la falta de drenaje, y la presencia de suelos salinos sódicos preexistentes, que muestran vecindad ecológica o geográfica con las zonas agrícolas, también son generadores de este tipo de degradación.
- 1.10. El resultado, mediato, de la tala y quema de los bosques que, aún, persisten en el área de estudio es la degradación biológica. El resultado inmediato de esta degradación, es la pérdida de materia orgánica y el abatimiento de la biota. Sus consecuencias colaterales son la degradación física, la pérdida de nutrimentos, el aumento de escorrentía y la erosión. Se incluye, además, con alta probabilidad, la contaminación debida al transporte y depositación de algunos sedimentos ricos en agroquímicos.

III.J.0 UBICACION TAXONOMICA DE LOS SUELOS TROPICALES Y SUBTROPICALES DE MEXICO

Axiomáticamente, un suelo no puede ser definido taxonómicamente, con exactitud, como han pretendido algunas Clasificaciones, a través de situarlo como una entidad independiente del medio en que se ha formado (Gama, 1985). Esto se debe a que los suelos son, a su vez, medios complejos, intergradados y en equilibrio metaestable con todos los demás factores ambientales. Para clasificarlo de modo natural resulta, teóricamente, necesario adoptar la fórmula de Schröder (1971), así como los conceptos de Gerassimov (1974) basados, respectivamente, en la Trilogía: "medio → procesos → caracteres", y en el principio del "proceso elemental edafológico".

Sin embargo, esta Clasificación ideal aún es irrealizable para los suelos Tropicales y Subtropicales de México. La razón principal es la insuficiente investigación básica que se tiene sobre ellos, lo que origina un desconocimiento, total o parcial, de algunos procesos de evolución ecológica que forman suelos en el trópico.

Consecuentemente, la Clasificación de Suelos propuesta en esta tesis, sólo representa una primera aproximación validada, ya que se basa tanto en los avances científicos, actuales, como en la experiencia de campo y laboratorio, de varios investigadores, algunos de ellos pioneros en la Ciencia del Suelo en México. Desde luego para formular y estructurar esta Clasificación, también fueron empleados criterios y conocimientos universales, contenidos en los esquemas de las Clasificaciones: Americana, Francesa y en el sistema FAO-UNESCO. Los niveles establecidos son primarios, ya que sólo comprenden la Clase; SubClase; Grupo y SubGrupo, así como a las propiedades y fases diagnósticas de los suelos. Sin embargo, el objetivo mediato consiste en que la Clasificación propuesta pueda servir como un punto de partida que genere nuevas investigaciones de campo, así como de técnicas de laboratorio que permitan el establecimiento de una Clasificación Edafoecológica adecuada al Trópico y Subtrópico Mexicano.

ESQUEMA TAXONOMICO

La clasificación de suelos, propuesta, está integrada de la siguiente forma:

CLASE	I.	SUELOS MINERALES POCO EVOLUCIONADOS
SUBCLASE	I.1.	SUELOS MINERALES ALOCTONOS NO CLIMATICOS
GRUPO	I.1.1.	Suelos de Aporte Aluvial (Saa). (Solokov, 1980 y Sadio, 1989).
SUBGRUPOS:	9.	
GRUPO	I.1.2.	Suelos de Aporte Coluvial (Sac)
SUBGRUPOS:	4.	
GRUPO	I.1.3.	Suelos de Aporte Eólico (Sae)
SUBGRUPOS:	3.	

GRUPO I.1.4.
SUBGRUPOS: 3.
GRUPO I.1.5.
SUBGRUPOS: 5.

Suelos de Aporte Volcánico (Sav)

Suelos de Aporte Marino (Sam). (Loyer, 1991).

SUBCLASE 1.2.
GRUPO I.2.1.
SUBGRUPOS: 7.
GRUPO I.2.2.
SUBGRUPOS: 9

SUELOS MINERALES AUTIGENOS NO CLIMATICOS.
 Leptosuelos (LS)

Suelos Regolíticos Residuales (Srr)

SUBCLASE 1.3.
GRUPO 1.3.1.
SUBGRUPOS: 7.

SUELOS DE ORIGEN ANTROPICO Y/O TECNOGENICO
 Antroposuelos (AT). (Bronger, 1989).

CLASE II.

SUELOS ARCILLOSOS SIALITICOS NEUTRO-ALCALINOS: SUELOS CALCIMAGNESICOS.

SUBCLASE II.1.
GRUPO II.1.1.
SUBGRUPOS: 3.
GRUPO II.1.2.
SUBGRUPOS: 4
GRUPO II.1.3.
SUBGRUPOS: 3.

SUELOS SIALITICOS CARBONATADOS
 Rendzinas Negras Típicas (Rnt)

Rendzinas Pardas (Rnp)

Rendzinas Rojas Ferrocarbonatadas (Rnf). (Yao, 1982).

SUBCLASE II.2.

SUELOS SIALITICOS DESCARBONATADOS EMPARDECIDOS

GRUPO II.2.1.
GRUPO II.2.2.
GRUPO II.2.3.
GRUPO II.2.4.

Suelos Sialíticos Empardecidos Calcáricos (Ssec)
 Suelos Sialíticos Empardecidos Cálcidos (Ssek)
 Suelos Sialíticos Empardecidos Acidificados (Ssea)
 Suelos Sialíticos Empardecidos vérticos (Ssev)

SUBCLASE II.3.

SUELOS MONTMORILLONITICOS: VERTISOLES (SmaI)

GRUPO II.3.1.
SUBGRUPOS: 6.
GRUPO II.3.2.
SUBGRUPOS: 2.
GRUPO II.3.3.
SUBGRUPOS: 3.
GRUPO II.3.4.
GRUPO II.3.5.
SUBGRUPOS: 3.
GRUPO II.3.6.

Vertisoles Típicos (Vrt). (Seghal, 1987).

Vertisoles Cáblicos (VrC)

Vertisoles Cálcido (Vrk)

Vertisoles Ferruginosos Lixiviados (Vrfl)

Vertisoles Argilizados (Vra)

Vertisoles con Gley (Vrg)

SUBCLASE II.4.**SUELOS VERTICOS**

GRUPO II.4.1.

SUBGRUPOS: 3.

GRUPO II.4.2.

GRUPO II.4.3.

SUBGRUPOS: 3.

Suelos con Propiedades Vérticas (Spv). (Van der Broek, 1989).

Suelos Vérticos con Grado de Alteración Elevado (Sva)
Suelos Vérticos Degradados por Acidificación o Hidromorfía
(Suph). (Srinivas, 1976).**CLASE III.****SUELOS CON PROPIEDADES ANDICAS
DIAGNOSTICAS: ANDISOLES.****SUBCLASE III.1.****ANDISOLES VITRICOS CON DRP LIMITADO**

GRUPO III.1.1.

SUBGRUPOS: 3.

GRUPO III.1.2.

SUBGRUPOS: 4.

Andisoles Víttricos con Régimen Ustico. (Simonson, 1979) - Avu

Andisoles Víttricos con Régimen Udico - - - - -AvU

SUBCLASE III.2.**ANDISOLES USTICOS CON DRP MODERADO**

GRUPO III.2.1.

SUBGRUPOS: 9.

Andisoles Usticos Típicos. (Leamy, 1980) - - - - -Aut

SUBCLASE III.3.**ANDISOLES UDICOS CON DRP MODERADO A ALTO**

GRUPO III.3.1.

SUBGRUPOS: 6.

GRUPO III.3.2.

SUBGRUPOS: 12.

Andisoles Udicos con Retención de Humedad muy alta. (Tate,
1980) - - - - -AUh

Andisoles Udicos Típicos. (Flach, 1980) - - - - - AUt

CLASE IV.**SUELOS FERSIALITICOS Y FERRUGINOSOS ROJOS,
AMARILLOS Y PARDOS: SUELOS RICOS EN
SESQUIOXIDOS.****SUBCLASE IV.1.****SUELOS TROPICALES RICOS EN SESQUIOXIDOS, CON
HORIZONTE B CAMBICO (STB).**

GRUPO IV.1.1.

SUBGRUPOS: 3.

GRUPO IV.1.2.

SUBGRUPOS: 6.

GRUPO IV.1.3.

SUBGRUPOS: 4

Suelos STB con Régimen Acuico. (Lali, 1980) - - - - - (STBQ)

Suelos STB con Régimen Udico o Ustico Eutróficos. (Van
Wambeke, 1981) - - - - - (STBVe)

Suelos STB con Régimen Perúdico-Udico, Distróficos - (STBPd)

SUBCLASE IV.2.**SUELOS TROPICALES ARGILICOS, RICOS EN SESQUIOXIDOS Y ARCILLAS DE BAJA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO (STA).****SUPER GRUPO:****GRUPO** IV.2.1.**SUBGRUPOS:** 4**GRUPO** IV.2.2.**SUBGRUPOS:** 3**GRUPO** IV.2.3.**SUBGRUPOS:** 6**GRUPO** IV.2.4.**SUBGRUPOS:** 7**EUTROFICOS TROPICALES (e)**

Suelos STA Eutróficos con Régimen Acuico ----- (STAqe)

Suelos STA Eutróficos con Régimen Acuico que muestran Plintita. (Isbell, 1980) ----- (STAqy)

Suelos STA Eutróficos con Régimen Udico (Lal, 1980)-(STAud)

Suelos STA Eutróficos con Régimen Ustico. (Bowden, 1980); y Fox, 1980 ----- (STAus)

SUPER GRUPO:**GRUPO** IV.2.5.**SUBGRUPOS:** 5**GRUPO** IV.2.6.**SUBGRUPOS:** 3**GRUPO** IV.2.7.**SUBGRUPOS:** 5**SUELOS DISTROFICOS TROPICALES**

Suelos STA Distróficos con Régimen Acuico ----- (STAqd)

Suelos STA Distróficos con Régimen Udico ----- (STAud)

Suelos STA Distróficos con Régimen Ustico. (Buol, 1980, Juo, 1980, Parfitt, 1980; y Eswaran, 1980) ----- (STAut)

CLASE V.**FERRALSOLES****SUBCLASE V.1.****GRUPO** V.1.1.**SUBGRUPOS:** 4**GRUPO** V.1.2.**SUBCLASE V.2.****GRUPO** V.2.1.**SUBGRUPOS:** 2**GRUPO** V.2.2.**SUBGRUPOS:** 4**GRUPOS** V.2.3.**SUBGRUPOS:** 5**FERRALSOLES MODALES (FEM)**

Suelos FEM háplicos. (Paramanathan, 1980; Herbillon, 1980) ----- (FEMh)

Suelos FEM ródicos (Sombroek, 1982) ----- (FEMr)

FERRALSOLES GERICOS (FEG)

Suelos FEG gipsíticos ----- (FEGg)

Suelos FEG alíticos ----- (FEGa)

Suelos FEG caoliniticos (Goh, 1980, Stoud, J., 1980; y El-Swaify, 1980) ----- (FEGc)

SUBCLASE	V.3.	FERRALSOLES INTERGRADADOS (FED)	
GRUPOS	V.3.1.		
	V.3.1.A.	Suelos FEI húmicos -----	(FEIh)
	V.3.1.B.	Suelos FEI eútricos -----	(FE1e)
	V.3.1.C.	Suelos FEI pseudo gleyicos -----	(FEIg)
	V.3.1.D.	Suelos FEI plánticos -----	(FEIp)
	V.3.1.E.	Suelos FEI líticos -----	(FEII)
	V.3.1.F.	Suelos FEI Líticos -----	(FEIs)
SUBGRUPOS:	6		

DINAMICA TAXONOMICA

A continuación se hace un resumen de las características de cada Clase con relación a los suelos representativos de cada una.

1. CLASE I. SUELOS MINERALES POCO EVOLUCIONADOS

Esta Clase está constituida por tres SubClases, ocho Grupos y 47 SubGrupos. Los suelos que integran esta Clase se caracterizan, en general, por un desarrollo nulo o muy débil de horizontes pedogenéticos, con excepción del horizonte A, y en algunos casos del horizonte E.

Los primeros cinco Grupos que integran esta Clase, corresponden con suelos originados por la degradación y fragmentación mecánica, con una alteración química casi nula. Los Grupos seis y siete muestran características evolutivas similares, pero a diferencia de los otros Grupos, estos suelos se han desarrollado *in situ*. El último Grupo, integra diferentes suelos constituidos por el hombre o por sus actividades tecnogénicas. Varias de las bases empleadas para definirlos se sustentan en las investigaciones realizadas por Gong Zi-Torg (1986), Kosse (1990) y Pape (1970).

2. CLASE II. SUELOS ARCILLOSOS SIALITICOS NEUTRO-ALCALINOS: SUELOS CALCIMAGNESICOS

Esta Clase esta integrada por cuatro SubClases, 16 Grupos y 30 SubGrupos. Los tres primeros Grupos (SUBCLASE II.1.) incluyen suelos someros, carbonatados que muestran un desarrollo fuerte del epipedón, el cual generalmente es mólico. Estos Grupos han sido designados, genéricamente, como Rendzinas (AFESS, 1990; Kittrick, 1971; y Yao, 1982).

Los cuatro Grupos siguientes (SUBCLASE II.2) corresponden con suelos intergradados entre Rendzinas, Cambisoles calcáricos y crómicos, Feozems y Vertisoles. Esta asociación de suelos intergradados, resulta muy común, particularmente, para el Subtrópico Mexicano (Gama, 1985, Khalifa, 1968 y Dudal, 1965).

La SubClase II.3 está constituida por seis Grupos, los cuales, grosso modo, corresponden con la Unidad de Vertisoles. Sin embargo, la complejidad morfológica y evolutiva que muestran estos suelos, justifica la creación de esta SubClase (Blokhuis, 1993).

Finalmente, la SubClase II.4 incluye a varios suelos que muestran propiedades vérticas desarrolladas. Actualmente estos suelos, no obstante ser tan numerosos y frecuentes en el Trópico y Subtrópico Mexicano, carecen de una ubicación taxonómica adecuada. En estos Grupos es muy frecuente observar complejas intergradaciones entre suelos de los Ordenes Inceptisol, Mollisol, Vertisol y Alfisol, incluso con algunas unidades de suelos

ferralsálticos. Muchos de los suelos que integran esta SubClase se consideran policíclicos (Bronger, 1989).

CLASE III SUELOS CON PROPIEDADES ANDICAS DIAGNOSTICAS: ANDISOLES

La constituyen tres Subclases, cinco Grupos y 34 Subgrupos. En general todos los suelos que integran esta Clase tienen un origen volcánico reciente. Bajo las condiciones de trópico y subtropico, son el clima, edafoclima y naturaleza del material parental, los factores determinantes de su tipogénesis e intergradación. Desde luego, el clima, edafoclima y vegetación son factores dependientes del relieve y altitud. En general, los regimenes de humedad y temperatura, que se utilizan para esta Clase se basan en los cálculos presentados por Van Wambeke (1981).

La SubClase III.1. está constituida por dos Grupos y siete Subgrupos. Todos ellos se caracterizan por presentar un carácter vítrico, por su desarrollo relativo del perfil (DRP) ligero a moderado, y por sus propiedades ándicas, lo cual los diferencia del Grupo de Suelos de Aporte Volcánico (Clase I). La retención de fósforo en estos grupos es limitada, debido a los contenidos, aún, bajos de aluminio.

La Subclase III.2 está representada por un sólo Grupo y nueve Subgrupos, que en su mayoría intergradúan hacia diferentes unidades de Inceptisoles, donde el horizonte B cámbico, estructural o de alteración (Bw) es diagnóstico. Estos suelos se caracterizan por sus propiedades ándicas y por su retención, evidente, de fósforo, sin embargo; el carácter vítrico se atenúa, y el contenido de arcillas, particularmente de relación 1:1 se incrementa.

La Subclase III.3 integra dos Grupos y 18 Subgrupos, por lo que resulta ser la más compleja. El primer Grupo se caracteriza, principalmente, por una retención de humedad muy alta, además de una C.I.C.T. y retención de fósforo muy significativas. Los Subgrupos intergradúan, rápidamente, hacia suelos argílicos, ferruginosos, e incluso, hacia suelos con propiedades oxídicas. El segundo Grupo presenta una diagnosis similar, pero se diferencia del primero en que su retención de agua y de fósforo es menor, razón por la cual se utiliza más frecuentemente en la cultura agrícola.

CLASE IV. SUELOS FERSIALITICOS Y FERRUGINOSOS ROJOS, AMARILLOS Y PARDOS: SUELOS RICOS EN SESQUIOXIDOS

A esta Clase la constituyen dos Subclases, dos Super-Grupos, 10 Grupos y 46 Subgrupos. En ella se incluyen a todos los suelos de México que tradicionalmente han sido denominados como "Suelos Tropicales", e incluso han sido Clasificados como "Latosoles jóvenes y Latosoles Maduros". Esta clasificación, generalmente, ha sido incorrecta, desde el punto de vista de Soil Taxonomy-SCS-USDA (1988), sin embargo; en varios casos es correcta, según la Escuela Francesa y el sistema FAO-UNESCO.

En esta tesis, todos estos suelos han sido agrupados en una sola Clase, debido a que la mayoría de ellos se caracteriza por su riqueza en sesquióxidos. Sin embargo, para fines de clasificación, fueron divididos en dos Subclases, atendiendo a la evolución y procesos presentes en el horizonte B.

La primera Subclase incluye aquellos suelos con horizonte B cámbico que muestran propiedades evolutivas características de una alteración, principalmente geoquímica, moderada a alta. En esta Subclase se incluyen suelos del Orden Inceptisol (USDA, 1990) de las Clases Isohúmica (Suelos pardos eutrópicos tropicales) con sesquióxidos de hierro (Ferruginosos y Fersialíticos Tropicales) y algunos suelos ferralíticos. La segunda Subclase agrupa a los suelos con horizonte B argílico o B kándico, equivalentes, aproximadamente, con algunos suelos de los Ordenes Alfisol y Ultisol. En esta Subclase se crearon dos Super-Grupos necesarios para un mejor diagnóstico: Eutróficos Tropicales y Distróficos Tropicales.

CLASE V. FERRALSOLES

Esta Clase contiene a los suelos menos conocidos y menos abundantes en el Trópico y Subtrópico Mexicano. En contraste, son los suelos más discutidos en los trabajos de investigación, a nivel nacional.

Para esta Clase, se proponen tres Subclases, 11 Grupos y 21 Subgrupos. La primera Subclase está representada por suelos ferralíticos casi equivalentes a los Oxisoles-típicos. Los suelos de esta Subclase son muy raros en México, y no cumplen con todos los requisitos taxonómicos para ser considerados dentro del concepto de Oxisol, establecido por Soil Taxonomy SCS-USDA (1988). Sin embargo, como ya se mencionó, para la Clasificación Francesa, y para el Sistema FAO-PNUMA, si reúnen los requisitos necesarios para denominarlos como suelos Ferrálicos, y como Ferralsoles, respectivamente.

La segunda Subclase integra suelos con horizonte B óxico muy desarrollado, altamente meteorizado, y sumamente pobre en minerales primarios (< 10%). Estos suelos, aún, no han sido diagnosticados en México, lo que sugiere, fuertemente, que tal vez no existan, o existan como paleosuelos. Evidentemente, se requiere de una investigación, profunda, para concluir al respecto.

La tercera Subclase, comprende suelos altamente alterados y desarrollados, que representan una serie de intergradaciones morfogenéticas hacia Oxisoles. Sin embargo, la presencia de estructuras pedológicas no típicas de un Oxisol, los excluye de ser colocados en este Orden. Estos suelos resultan, relativamente, "comunes" en el Trópico Mexicano húmedo-cálido.

En la Tabla 32a se dan algunos datos sobre las superficies geográficas que, a nivel mundial, ocupan las Clases propuestas en los trópicos.

TABLA 32a DISTRIBUCION GEOGRAFICA DE LAS CLASES

PROPUESTA	SOIL TAXONOMY 1990	AREA EN 10⁶ ha	PORCEN- TAJE
CLASE I	ENTISOL-INCEPTISOL	733	15.7
CLASE II	INCEPTISOL-MOLLISOL-VERTISOL	250	5.0
CLASE III	ANDISOL	57	1.1
CLASE IV	INCEPTISOL-ALFISOL-ULTISOL	1320	27.0
CLASE V	OXISOL	<u>1100</u>	<u>22.5</u>
		Total 3460	Total 71.3

FUENTE: USDA-SCS (1990).

III. J. GENESIS, DIAGNOSIS Y CLASIFICACION DE LOS SUELOS PRESENTES EN EL TROPICO Y SUBTROPICO MEXICANO

III.J.1. CLASE I. SUELOS MINERALES POCO EVOLUCIONADOS:

Incluye a los protosuelos con perfil (AC) R y Cw-R, así como a los suelos minerales que muestran fragmentación mecánica, escasas evidencias de alteración biogeoquímica, aunque en los suelos policíclicos, éstas pueden presentarse (herencia) y, un desarrollo nulo de horizontes pedogenéticos, estructurales, de iluviación-acumulación (B). La edad cronológica de estos suelos es muy variable.

Estas características les confieren a los suelos valores altos en sus relaciones: $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$; $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$; $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$; limo/arcilla y arena+limo/arcilla. En contraste, los índices de Parker, de Reiche (W.P.I.), así como los de Bilzi y Cilkosz, relativas al DRP y DRH son bajos, en el último índice; no mayores de 15.

Morfológicamente, estos suelos pueden presentar epipedones Ocricos (Oc); Umbricos (Um); Mólicos (Mo); Antrópicos (An); Hísticos (Hi), e incluso; E Albicos (E). En función de su saturación de bases intercambiables (S), estos suelos pueden ser neutros ($S > 50\%$) o ácidos ($S < 50\%$), eutróficos o distróficos; dependiendo de la relación $S/100+S$ /arcilla en los primeros 25 cm a partir de la superficie. Un valor superior de 0.25 es diagnóstico para considerarlo como eutrófico. Con excepción de algunos suelos que muestran adiciones extraordinarias de materia orgánica (suelos de selva caducifolia) o que muestran un horizonte Hi, Los contenidos de carbono orgánico en los epipedones, pueden variar de fracciones menores que la unidad, hasta porcentajes de 2.

Frecuentemente, los suelos con horizonte Hi están asociados con contenidos significativos de materiales sulfídicos, por lo cual es frecuente la presencia de un pseudo horizonte sulfúrico (Cws+) después de los 50 cm iniciales de profundidad. Generalmente muestran un valor n mayor de 0.7.

Estos suelos pueden exhibir diferentes propiedades diagnósticas que incluyen: (a) ándicas; (b) calcáricas; (c) ferrálicas y férricas (heredadas); (d) flúvicas; (e) gleyicas y estanogleyicas; (f) sálicas; (g) sódicas y (h) vérticas, entre otras. También es frecuente, la presencia de capas líticas y paralíticas, estas últimas no contemporáneas con la génesis del perfil (policíclicos) o pueden estar sepultados por materiales de edad y naturaleza diferentes, constituyendo pseudoperfiles. Los procesos predominantes son: (a) adición y acumulación superficial, generalmente, moderadas, en ocasiones restringidas por la erosión y (b) transformación mineral simple y migración reducida, con una alteración sialítica que propicia la formación de arcillas 2:1 de capacidad mediana de intercambio, que pueden constituir del 0.5% al 20% de la fracción fina (0.002 mm).

La formación de estas arcillas es por herencia o por transformación, nunca por neoformación. Generalmente la relación $Tca/100 + Tca/arcilla$ es mayor que 0.50. El complejo de alteración está constituido, predominantemente, por sales solubles, minerales primarios y iones intercambiables. Esta clase comprende a las Unidades FAO-UNESCO, 1988, denominadas como Fluvisoles, Regosoles, Leptosoles, Arenosoles y algunos Gleysoles, Histosoles y Antroposoles. **En síntesis, esta Clase comprende a los Grupos de Entisoles e Inceptisoles que carecen de horizonte Bw.**

III.J.1.1. SUBCLASE I.1. SUELOS MINERALES ALOCTONOS NO CLIMATICOS

III.J.1.1.1. GRUPO I.1.1. Suelos de Aporte Aluvial (Saa).

Suelos jóvenes, generalmente bien drenados, desarrollados en llanuras aluviales. Resulta característico de estos suelos: (a) distribución irregular de la materia orgánica con la profundidad. (b) esta distribución no es causada por la presencia de materiales úrbicos, gárbicos o espólicos, ni por efecto de drenaje (c) con excepción de un horizonte Ap, no muestran ningún otro horizonte antropogénico (d) las variaciones en la granulometría se deben únicamente a diferencias en el régimen de aluvionamiento y (f) presenta propiedades flúvicas dominantes y, ocasionalmente vérticas y de gley. Ocasionalmente, puede presentar materiales ricos en azufre (Cws+) o acumulación de sales (z).

III.J.1.1.1.1. SUBGRUPOS. En el Trópico Mexicano fueron determinados los siguientes subgrupos:

I.1.1.1	Suelos de aporte aluvial neutros ($S > 50\%$) -----	Saan
	Suelos de aporte aluvial ácidos ($S < 50\%$) -----	Saaa
I.1.1.3	Suelos de aporte aluvial eutróficos ($S/100 + S/arcilla > 0.25$) -----	Saae
I.1.1.4	Suelos de aporte aluvial distróficos ($S/100 + S/arcilla < 0.25$) -----	Saad
I.1.1.5	Suelos de aporte aluvial sálicos ($15dSm^1$ a $25^\circ C$) -----	Saas
I.1.1.6	Suelos de aporte aluvial sódicos ($> 15\%$ de Na^+) -----	Saso
I.1.1.7	Suelos de aporte aluvial sulfídicos ($> 0.75\%$ de Sulfuros) -----	Sasu
I.1.1.8	Suelos de aporte aluvial calcáricos (Efervescen fuertemente con HCl al 10%) -----	Saca
I.1.1.9	Suelos de aporte aluvial gleyicos ($rH = \frac{EhCmV}{29} + 2pH < 19$) -----	Saag

El perfil 1 se considera representativo de este Grupo de suelos. El perfil 1a es representativo del Subgrupo I.1.1.5., antiguamente considerado como Solonchak.

III.J.1.1.2. GRUPO I.1.2. Suelos de Aporte Coluvial (Sac).

Suelos generalmente, de textura gruesa, con frecuencia gravosos o pedregosos, cuyos materiales han sido transportados mecánicamente por efecto de la gravedad y de la erosión o como resultado de un coluvio-aluvionamiento a lo largo de las pendientes. El material lítico sufre una degradación y una fragmentación mecánica acentuadas, pero la alteración química y biológica de los minerales es casi nula.

Se consideran diagnósticas las siguientes propiedades (a) los fragmentos líticos de forma angular son predominantes en el perfil; (b) los contactos entre las capas son, generalmente, planos y abruptos; (c) generalmente, no presentan una clasificación de sus elementos texturales; (d) la distribución de la materia orgánica, así como del sodio y potasio, intercambiables, es caótica en todo el perfil; (e) no presentan materiales sulfídicos; (f) en suelos de textura fina, se puede presentar una pseudo estructura, aunque en realidad es masiva; (g) nunca se presentan en un régimen de humedad ácuico y son raros en regímenes údicos; (h) pueden presentar en su matriz-S materiales de origen úrbico, gárbico o espólico no depositados *in situ*, (i) no presentan valores n elevados, (j) los valores de Tca, así como los contenidos de carbón orgánico, generalmente son bajos y (k) generalmente su alteración corresponde con la etapa 1, propuesta por Tuncer y Lohnes (1977).

III.J.1.1.2.1. SUBGRUPOS. Fueron identificados los siguientes:

I.1.2.1	Suelos de aporte coluvial neutros ($S > 50\%$)-----	Sacn
I.1.2.2	Suelos de aporte coluvial ácidos ($S < 50\%$)-----	Sach
I.1.2.3	Suelos de aporte coluvial eutróficos ($S/100 + S/\text{arcilla} > 0.25$)-----	Sace
I.1.2.4	Suelos de aporte coluvial distróficos ($S/100 + S/\text{arcilla} < 0.25$)-----	Saed

El perfil 2 caracteriza al Grupo de suelos coluviales.

III.J.1.1.3. GRUPO I.1.3. Suelos de Aporte Eólico (Sae).

Suelos producto de la erosión por eolización. En estos suelos, generalmente predominan las partículas cuyo tamaño oscila de 0.1 a 0.5 mm de diámetro. Los perfiles de estos suelos están constituidos por material suelto, poco alterado, pobres en hierro libre, generalmente de colores claros. Ocasionalmente se presentan procesos de adición, por efecto eólico, de carbonatos y de sodio que pueden solubilizarse y redistribuirse dentro de las capas.

Con frecuencia estos suelos muestran algunas propiedades flúvicas, las clases texturales más comunes son los migajones arenosos y limosos. Los suelos de este Grupo muestran valores altos en su relación limo/arcilla; bajos en sus contenidos de agua a 15 bar y muy pequeños en el valor COLE. Los suelos de dunas no estabilizadas, así como los depósitos de flujo de cenizas y piroclásticos (removidas y transportadas por el viento) muy recientes no consolidados, y sin propiedades ándicas, son representativos.

III.J.1.1.3.1. SUBGRUPOS. Están representados por los siguientes suelos:

I.1.3.1	Suelos de aporte eólico neutros (S > 50%)-----	Saen
I.1.3.2	Suelos de aporte eólico ácidos (S < 50%)-----	Saea
I.1.3.3	Suelos de aporte eólico sódicos (> 15% de Na)-----	Saes

El perfil 3 ejemplifica a este Grupo.

III.J.1.1.4. GRUPO I.1.4. Suelos de Aporte Volcánico (Sav).

Suelos jóvenes que, ocasionalmente, muestran propiedades ándicas muy incipientes, constituidos por tefras y piroclastos de caída aérea, depositados *in situ*, sin evidencias de transporte eólico o hídrico. Se caracterizan además, por que pueden presentar las siguientes clases de tamaño de partículas:

1. Fragmental: constituida por rocas, piedras, guijarros, gravas y arena muy gruesa, existiendo muy poca tierra fina (<2mm)
2. Arenosa: <35% de fragmentos de roca mayor de 2 mm. La textura de la tierra fina (<2mm) es arenosa o areno francosa que contiene <50% de arena muy fina.
3. Esquelético arenosa: >35%, en volumen, son fragmentos de roca >2 mm; la fracción tierra fina es la definida para la arenosa.
4. Arcillosa: <35%, en volumen, son fragmentos de roca >2mm; la cantidad de arcilla en la fracción de tierra fina es >35% en peso.
5. Esquelético arcillosa: >35%, en volumen, son fragmentos de roca >2mm; la fracción de tierra fina es la definida para la arcillosa.
6. Franca: Todas las demás clases que tienen <35%, en volumen, de fragmentos de roca >2mm.
7. Esquelético franca: >35%, en volumen, de fragmentos de roca >2mm; la fracción tierra fina es la definida para franca.

III.J.1.1.4.1. SUBGRUPOS: Representados por los siguientes:

I.1.4.1	Suelos de aporte volcánico vítricos (> 60% en volumen de vidrio) -----	Savv
I.1.4.2	Suelos de aporte volcánico máficos (rico en ferromagnesianos) -----	Savm
I.1.4.3	Suelos de aporte volcánico félsicos (> 55% de SiO ₂) -----	Savf

El perfil 4 es típico de este Grupo.

III.J.1.1.5. GRUPO I.1.5. Suelos de aporte marino (Sam)

Suelos no consolidados, con perfil homogéneo, generalmente, constituido por capas. En estos suelos predomina la textura gruesa, especialmente las clases arenosas y esquelético arenosas, ambas constituidas por partículas minerales de forma redondeada y subredondeada, retrabajadas por la acción mecánica de las olas. La presencia de restos de fito y zoo plancton, exoesqueletos de protozoarios, espículas, valvas y otras estructuras orgánicas incluidas en la matriz textural son frecuentes. Estos suelos, generalmente, muestran contenidos altos de aniones solubles y de sodio intercambiable.

III.J.1.1.5.1. SUBGRUPOS: Se identificaron los siguientes:

I.1.5.1	Suelos de aporte marino neutros (S > 50%) -----	Samn
I.1.5.2	Suelos de aporte marino sálicos (> 15dSn a 25°C) -----	Sams
I.1.6.3	Suelos de aporte marino sódicos (> 15% de Na ⁺) -----	Smso
I.1.5.4	Suelos de aporte marino calcáreos (HClal10%) -----	Samc
I.1.5.5	Suelos de aporte marino sulfúricos (> 0.75% de sulfuros) -----	SamS

OBSERVACIONES: En estos subgrupos se incluyen a los suelos de playas y barras, en tanto que los suelos de los deltas, se consideran de origen mixto, es decir, aluvial-marino. El perfil 5 caracteriza al Grupo.

III.J.1.2. SUBCLASE I.2. SUELOS MINERALES AUTIGENOS NO CLIMATICOS.

III.J.1.2.1. GRUPO I.2.1. Leptosuelos (LS)

Suelos que muestran una profundidad efectiva de menos de 30 cm, limitada por la presencia de una roca dura, continua y coherente, o por capas cementadas o fuertemente compactadas que sirvan de material parental. Su variación textural es amplia, muestran desarrollo de estructura, sin llegar a constituir un (B), y su fracción mineral está constituida en más del 50%, en volumen, por minerales intemperizables. Con frecuencia, su escaso desarrollo evolutivo está condicionado por la erosión o por la juventud del suelo. Los perfiles tipo son: A-Cw-R y (AC)-Cw-R.

III.J.1.2.1.1. SUBGRUPOS: Comprende los siguientes:

I.2.1.1	Leptosoles neutros ($S > 50\%$)-----	LSn
I.2.1.2	Leptosoles ácidos ($S < 50\%$)-----	LSa
I.2.1.3	Leptosoles eutróficos ($S/100 + S/\text{arcilla} > 0.25$)-----	LSe
I.2.1.4	Leptosoles distróficos ($S/100 + S/\text{arcilla} < 0.25$)-----	LSd
I.2.1.5	Leptosoles calcáricos (HCl al 10%)-----	LSc
I.2.1.6	Leptosoles rendzínicos (A mólico/ $\text{CaCo}_3 > 40\%$)-----	LSr
I.2.1.7	Leptosoles líticos (Profundidad $< 10\text{cm}$)-----	LSl

OBSERVACIONES: Estos Subgrupos pueden mostrar los siguientes caracteres distintivos: (a) ándico; (b) ócrico; (c) fibrico; (d) fímico; (e) fólico; (f) ródico; (g) sálico; (h) sódico; (i) stánico; (j) tiónico; (k) vértico; (L) vítrico y (m) xántico.

- Dentro de los Leptosoles rendzínicos se incluye, únicamente a las unidades de pararendzinas.
- Se acepta la presencia de lamelas de arcilla de $< 1\text{ cm}$ de espesor; o que sean muy escasas como para no cumplir los requerimientos de horizonte B cámbico o B argílico.
- El perfil 6 es representativo de un Leptosol.

III.J.1.2.2. GRUPO I.2.2. Suelos Regolíticos Residuales (Srr).

Suelos formados *in situ*, de textura más gruesa que migajón arenoso en, al menos

los 100 cm iniciales de profundidad, pobres en material mineral intemperizable, ricos en cuarzo, pueden presentar coloración o alteración similar a un B Cámbico, pero carecen de estructura, que diagnostique a este horizonte. En otros casos existen lamelas de acumulación de arcillas, pero su índice de arrastre (< 1.2), espesor y cantidad, excluyen la posibilidad de un horizonte B argílico. Algunos suelos de este Grupo muestran propiedades ferrálicas ($Tca < 24 \text{cmol}(+) \text{Kg}^{-1}$ en arcilla y $Tca < 4 \text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$ en suelo), gleyicas y calcáricas que dan nombre a los subgrupos.

Ocasionalmente, pueden presentar propiedades flúvicas o ándicas. No tienen más horizontes de diagnóstico que un A ócrico y/o un E álbico

III.J.1.2.2.1. SUBGRUPOS: Esta constituida por 9 subgrupos:

I.2.2.1	Suelos regolíticos residuales háplicos (solo muestran un A ócrico)-----	SrrH
I.2.2.2	Suelos regolíticos residuales cámbicos (Pseudohorizonte (B) -----)	Srrc
I.2.2.3	Suelos regolíticos residuales lúvicos (lamelas de arcilla)-----	SrrL
I.2.2.4	Suelos regolíticos residuales ferrálicos ($Tca < 24 \text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$ en arcilla)-----	Srrf
I.2.2.5	Suelos regolíticos residuales álbicos (Horizonte E álbico)-----	Srra
I.2.2.6	Suelos regolíticos residuales calcáricos (HCl al 10%)-----	Src
I.2.2.7	Suelos regolíticos residuales gléyicos ($rH-Eh(mV) + 2pH < 19$)----- 29	Srfg
I.2.2.8	Suelos regolíticos residuales eutróficos ($S/100 + S/\text{arcilla} > 0.25$)-----	Srre
I.2.2.9	Suelos regolíticos residuales distróficos ($S/100 + S/\text{arcilla} < 0.25$)-----	Srrd

OBSERVACIONES:

- En el caso de SrrH, Srrc y SrrL conviene determinar si son, además, eutróficos o distróficos. Por ejemplo: Suelo regolítico residual háplico (eutrófico) o Suelo regolítico residual háplico (distrófico).

- El perfil 7 ejemplifica al grupo.

III.J.1.3. SUBCLASE I.3. SUELOS DE ORIGEN ANTROPICO Y/O TECNOGENICO.

Constituida por suelos en los que el hombre, y sus actividades culturales y técnicas han propiciado modificaciones profundas en los horizontes de los suelos y en su tipogénesis, a través de la remoción y alteración, corte y relleno, adiciones seculares de materiales orgánicos y metales pesados, irrigación continua y prolongada, subsoleo y dragado, y avenamiento, entre otros. El perfil D. 0-33, es uno de los ejemplos típicos de esta subclase.

III.J.1.3.1. GRUPO I.3.1 Antroposuelos (AT)

Los suelos se caracterizan, en general, por presentar: (a) distribución caótica de los tamaños y naturaleza química de las partículas; (b) distribución irregular de la materia orgánica; (c) altas densidades ($> 1.6 \text{ cm}^3/\text{g}$); (d) diferencias extremas en la permeabilidad y drenaje interno entre las capas; (e) diferentes pisos de compactación por el uso de maquinaria; (f) cementación por agentes no edafogénicos; (g) presencia de microorganismos, algunos patógenos y (h) presencia de materiales úrbicos, gárbicos, espólicos y de dragado (albañales). Convencionalmente, a estos suelos se les incluye dentro de los Entisoles.

III.J.1.3.1.1. SUBGRUPOS: Fueron determinados los siguientes:

- I.3.1.1 Antroposuelos úrbicos: contienen en el perfil objetos manufacturados por el hombre moderno. Esos artefactos incluyen: ladrillos, vidrio, escoria, cenizas, concreto, asfalto, clavos, madera, papel, plástico, acero, aleaciones metálicas y grava.----- (ATu)
- I.3.1.2 Antroposuelos gárbicos: son desechos de productos orgánicos, utilizados por el hombre, con un espesor de 50 cm o mayor, con frecuencia revueltos o interestratificados con materiales úrbicos, capaces de generar hasta más de 15% de gas metano en la atmósfera del suelo (por peso)----- (ATg)
- I.3.1.3 Antroposuelos espólicos: son materiales de suelos que han sido movidos por equipo utilizado en minería de superficie, en construcción de carreteras y en otras actividades que impliquen movimiento del suelo por medio de maquinarias. Estos suelos pueden contener, también algunos artefactos que califiquen como materiales úrbicos----- (ATe)
- I.3.1.4 Antroposuelos tiónicos: constituidos por materiales extraídos por dragado,

ricos en sulfatos y también en metales pesados. Muestran pH en su superficie < 3.5 y densidades típicas de masa de $1.6 \text{ Mgm}^{-3}(\text{gcm}^{-3})$. Con frecuencia muestran contenidos significativos de aceite y grasa. -----(ATt)

- I.3.1.5 Antroposuelos áricos: suelos que solo muestran remanentes de horizontes diagnósticos debido a la rotulación profunda. -----(ATa)
- I.3.1.6 Antroposuelos cumúlicos: muestran una acumulación de sedimentos con textura de migajón arenoso o más fina, con un espesor mínimo de 50 cm, resultado de una larga y prolongada irrigación o por depósitos de materiales arenosos propiciados por el hombre. -----(ATk)
- I.3.1.7 Antroposuelos fímicos: muestran un horizonte A que muestra un contenido de P_2O_5 extractable mayor de 250 mg kg^{-1} en ácido cítrico al 1%. Con frecuencia muestran pequeñas acumulaciones de elementos radioactivos (Torio, Cesio, Uranio) derivados del uso de superfosfatos. -----(ATf)

III.J.1.4. GENESIS DE LOS SUELOS REPRESENTATIVOS DE LA CLASE I.

Las condiciones genéticas bajo las cuales estos suelos se desarrollan son similares a las de los Entisoles, e incluyen: (1) paisajes muy jóvenes o rejuvenecidos, no estabilizados y, con frecuencia, sujetos a erosión; (2) materiales parentales con contenidos altos en minerales del tamaño de arena, especialmente si esos minerales son resistentes al intemperismo y (3) geoformas y suelos muy jóvenes producidos por la acción del hombre.

Las llanuras aluviales son un ejemplo: cuando los sedimentos se acumulan por aluviación más rápidamente que la formación de un horizonte (B) cámbico, solo es posible la formación de un A ócrico y los suelos de aporte aluvial son formados, en tanto que sus subgrupos solo dependerán de la naturaleza del aluvión y, en ocasiones de la geoforma (Saag). **En las partes con pendientes fuertes la erosión y el coluvionamiento pueden ser más intensos y rápidos que la velocidad de alteración (w) y de acumulación de materiales edáficos, y los suelos de aporte coluvial, y los Leptosoles son dominantes.**

En condiciones de erosión severa predominan los subgrupos líticos (LsL). En las zonas de marisma, lagunas costeras o pantanos, que periódicamente son sujetos al dragado o al inundamiento, se propicia la formación de Antroposuelos tiónicos o de suelos con gley. Cuando existe suficiente acumulación de materia orgánica, se pueden formar pseudohistosoles, algunos tiónicos (Sulfihemists, de USDA, 1990).

La acción dinámica de fenómenos naturales como el Volcanismo reciente (Volcán Chichonal) el oleaje y el viento, dirigen la formación y tipogénesis de varios grupos de suelos, como son respectivamente: los suelos de aporte volcánico y eólico, generalmente, incluidos de modo indiferenciado, en las Unidades de Regosoles de FAO-UNESCO, 1988, o dentro de los Psamments y Psammaquents de USDA, 1990.

La intensa acción del hombre en el trópico mexicano, ha propiciado cambios en el paisaje y en las geoformas, así los grandes movimientos de tierra por medio de maquinaria, han formado nuevas superficies y destruido los suelos preexistentes. **El SubOrden de Arents (USDA, 1990) fue creado con el fin de incluir, taxonómicamente, a algunos de estos suelos.** En áreas más disturbadas por el hombre, donde ya no es posible encontrar fragmentos de horizontes diagnósticos o pans, los suelos quedan colocados dentro de los Orthents (USDA, 1990) y se les atribuyen propiedades flúvicas, debido a la disposición tan irregular de la materia orgánica, en el perfil.

Actualmente, la dinámica de formación de estos suelos es tan intensa, que el USDA, propone un nivel taxonómico donde incluirlos. Smith y Sobek, (1978) han propuesto el término spolents para designar a los Antroposoles espólicos (ATe), en tanto que Blume (1989) designa como Metanosoles a los Antroposuelos gárbicos.

Como se menciona, anteriormente, las áreas donde los materiales sulfídicos han sido

expuestos, como resultado de un disturbio antropogénico, estos materiales pueden formar, en pocas semanas o meses, un horizonte Bw sulfúrico (Perfil D. 0.33) constituyéndose en un Inceptisol, ya que su etapa de Entisol, es muy corta. De modo similar cuando el suelo no contiene cantidades suficientes de materiales sulfídicos, como para formar un horizonte sulfúrico, en pocas décadas o cientos de años, un horizonte cámbico puede formarse, esto ocurre especialmente en zonas con clima Af. Varios de los Eutrochrepts y Dystrochrepts clasificados en el trópico, tuvieron su origen de esta manera.

Finalmente, es necesario considerar que los suelos de la Clase I, propuesta en esta tesis, podrán ser encontrados donde las condiciones genéticas se presenten, es decir; no son exclusivos de las zonas Tropicales y Subtropicales de México aunque, de modo desafortunado, son las zonas que muestran, actualmente, la mayor dinámica para su desarrollo. (Entisolización).

III.J.1.5. INDICES DE INTEMPERISMO PARA LA CLASE I.

Como puede observarse en la tabla 25, elaborada con base en los datos experimentales de la American Geophysical Union (1984), los constituyentes de las rocas que, comúnmente conforman a los suelos de la Clase I, no se meteorizan al mismo tiempo, siendo el edafoclima y el porcentaje de precipitación los que controlan la velocidad y grado de alteración. Bajo condiciones del trópico húmedo, Tardy (1969) estimó que se requieren 30 000 años para transformar un metro de granito en una saprolita caolinítica, aproximadamente 34 mm cada 1000 años.

Dethier (1986) estimó en diferentes rocas ígneas, volcánicas y sedimentarias localizadas en zonas tropicales húmedas del Pacífico, que las saprolitas presentes se formaron a una velocidad de 30 m/1000 años. Por otra parte, Pavich (1986), en su estudio sobre alteración de rocas ígneas y metamórficas, en clima templado, con precipitación moderada (< 700 mm) y humedad ústica, estimó que se necesitan 250 000 años para formar un metro de saprolita caolinítica, es decir 8 o 9 veces más lenta que las estimadas por Tardy (1969) y Dethier (1986).

En el caso de los suelos de la Clase I, no obstante que muchos de ellos se desarrollan en condiciones de pluviosidad y humedad altas (Perfiles 1 y 2) no muestran una alteración significativa. Como se mencionó anteriormente, esto se debe a la juventud del suelo (Perfiles 1 y 4), inestabilidad estructural del perfil (Perfiles 1, 2, 3, 5, 6) mineralogía (Perfil 7), erosión y antropización (Antroposuelos). Consecuentemente, su génesis y alteración pueden ser representados a través de la siguiente fórmula:

$$SCI = f(T_o, I_p, R_p, E, A_t) > f = (C_l + C_{l_s} + O_r) \text{ donde:}$$

SCI = Suelos de la Clase I

t_o = Tiempo cero (juventud del perfil)

I_p = Estabilidad estructural y mineralógica del perfil

R_p = Estabilidad del relieve y geoforma

- E = Erosión
 AT = Grado e intensidad de Antropización
 Cl = Clima (precipitación)
 Cls = Edafoclima
 Or = Biota

TABLA 25 INDICES DE INTEMPERISMO PARA LA CLASE I

VIDA PROMEDIO DE MINERALES Y ROCAS PARENTALES EN CONDICIONES TROPICALES SUBTROPICALES Y TEMPLADAS				
Roca (1 mm)	Clima	Edafoclima	Tiempo	Observaciones
ROCA ACIDA	Tropical semi-árido Tropical húmedo Templado húmedo Frio-húmedo	Xérico-ústico Udico-hipertérmico Udico-térmico Udico-mésico	65 a 200 años 20 a 70 años 40 a 250 años 35 años	Se refiere al tiempo requerido para alterar, totalmente un milímetro de roca fresca.
ROCA METAMORFICA	Subtropical húmedo	Ustico-térmico	33 años	Tardy (1969) reporta una vida promedio para un metro de roca granítica de 40 000 a 80,000, en zonas templadas.
ROCA BASICA	Templado húmedo Tropical húmedo	Udico-térmico Udico-hipertérmico	68 años 20 a 70 años	
ROCA ULTRABASICA	Tropical húmedo	Udico-térmico	21 a 35 años	

MINERAL	CLIMA	TIEMPO	
Cuarzo	Ustico-Udico	34 millones	Se refiere al tiempo requerido para alterar, totalmente un milímetro de cristal
Muscovita	Ustico-Udico	2.7 millones	
Forsterita	Ustico-Udico	600 000 años	
Feldespató-K	Ustico-Udico	500 000 años	
Albita	Ustico-Udico	80 000 años	
Enstatita	Ustico-Udico	8 800 años	
Diopsido	Ustico-Udico	6 800 años	
Nefelina	Ustico-Udico	211 años	
Anortita	Ustico-Udico	112 años	

FUENTE: American Geophysical Union (1984).

III.J.1.6. CARACTERIZACION DE LOS PERFILES REPRESENTATIVOS DE LOS GRUPOS DE SUELOS

III.J.1.6a. CLASE I. SUELOS MINERALES POCO EVOLUCIONADOS

PERFIL 1

CLASIFICACION PROPUESTA: Suelo de aporte aluvial, neutro, eutrófico, calcárico	FAO-UNESCO 1988 Fluvisol eútrico calcárico	SOIL TAXONOMY 1990 Tropofluent
LOCALIZACION: Alamo, Veracruz TOPOGRAFIA: Plana DRENAJE: Eficiente	MATERIAL PARENTAL: Aluviones carbonatados CLIMA: Aw2 VEGETACION: Cultivo de temporal permanente	EDAD: Holoceno EDAFOClima: Udico-isotérmico REGION: Planicie Costera del Golfo

III.J.1.6a.1 MORFOLOGIA DEL PERFIL I

- Ap. 0-18 cm** Migajón limoso fino, de color pardo-grisáceo muy oscuro (10YR3/2 en húmedo); estructura granular y en bloques angulares finos, con desarrollo débil. Reacción ligera al HCl. Límite abrupto con el horizonte subyacente.
- Cw1. 18-70 cm** Migajón limoso, de color café grisáceo (2.5Y4/2 en húmedo) estructura laminar fina, mal desarrollada. Reacción moderada al HCl. Límite abrupto y plano.
- C2. 70-147 cm** Migajón limoso, de color gris oscuro (5Y4/1 en húmedo), sin estructura, suelto, reacción moderada a fuerte al HCl; con moteado, irregular y fino de color ocre, raíces finas y medias en cantidad escasa. Límite abrupto y plano.
- C3. 147-200 cm** Migajón limoso de color pardo grisáceo oscuro (10YR4/2 en húmedo). Sin estructura, reacción moderada al HCl.

ANALISIS FISICOS DE LA FRACCION < 2 mm

PROFUND. (cm)	HORIZONTE (A-B-C)	CLASES TEXTURALES Y DIAMETRO DE PARTICULA (mm) 3 A1										DENSIDAD APARENTE FORMACION 2mm (g/cc)	#2 USA CONTENIDO de agua (10 bar)		
		ARENA FINA (A)		ARCILLA (A)		LIMO (A)		ARCILLA (A)		Relación Limo Arcilla					
		2 a 0.05 (mm)	0.05- 0.002 (mm)	ARCILLA 0.002 (mm)	MU gruesa (2-1 mm)	ARCILLA 1-0.5 (mm)	0.5-0.25 (mm)	FUMA 0.25- 0.1 (mm)	MU fina 0.1- 0.05 (mm)		0.05 (mm)	0.02 (mm)	0.002 (mm)		
0-18	Ap	15	68	17	0.7	1.8	3.5	6.3	2.7	39	29	17	4.00	1.17	11.6
18-70	Cv1	22	69	9	-	3.1	5.7	9.2	4.0	42	27	9	7.60	1.23	9.1
70-147	C2	35	54	11	12	7.5	7.3	3.2	5.0	38	16	11	4.91	1.28	12.7
147-200	C3	27	65	8	16	8.3	2.5	0.2	-	45	20	8	8.12	1.25	4.9

ANALISIS QUIMICOS Y FISICOQUIMICOS DE LA FRACCION < 2 mm

PROFUND. (cm)	HORIZONTE (A-B-C)	MATERIA ORGANICA (%)	CARBONO ORGANICO (%)	N (%)	C/N (%)	CaCO ₃ (%)	pH en agua 1:1	BASES INTERCAMBIABLES mg/100g de suelo				SOMA DE BASES S(meq)	C.I.C.T. Tea. (meq)	SATURACION DE BASES S/B (%)	RELAC. S100 S200	HIERRO LIBRE (%)
								Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺					
0-18	Ap	2.95	1.15	0.07	16.4	6	7.3	8.5	3.7	0.97	0.63	13.80	18.5	74.59	6.70	0.47
13-70	Cv1	0.95	0.47	0.03	15.6	7	7.5	6.2	2.5	0.97	0.72	10.39	12.7	81.80	7.50	0.32
70-147	C2	0.60	0.32	0.03	10.6	7	7.5	6.9	3.1	1.11	0.85	11.96	12.3	97.23	5.30	0.17
147-200	C3	0.79	0.40	0.03	13.3	7	7.5	4.4	2.3	1.25	0.93	8.88	10.2	87.05	6.10	0.19

III.J.1.6a.2 CARACTERES DIAGNOSTICOS. Suelo rico en limo y arena fina, que le confieren al perfil una susceptibilidad alta a la erosión (Factor $K = > 0.5$). El perfil muestra un epipedón Oc con un valor de $S = 74.59\%$ y un valor de $S/100 + S/arcilla = 0.949$ que le dan las características de neutro y de eutrófico, respectivamente, el valor de $Tca/100 + Tca/arcilla = 1.27$ en el horizonte A, y mayor de 0.50 en las otras capas, resulta típico de la Clase I, e implica la presencia de arcillas 2:1.

Las variaciones texturales que presenta el perfil, la distribución irregular de la materia orgánica, así como de carbono orgánico, son resultado evidente de diferentes ciclos de aluvionamiento, que le confieren propiedades flúvicas al perfil. La relación limo/arcilla, mayores de 4, indican el grado bajo de alteración mineral del perfil debido, principalmente, a su juventud y modo de formación. Los valores de densidad aparente y contenido de agua, resultan características para suelos aluviales. Las bases intercambiables así como los carbonatos presentes, saturan el complejo absorbente. El pH varía de casi neutro a ligeramente alcalino.

III.J.1.6a.3 EVOLUCION: La erosión y la aluviación son esencialmente el reverso uno del otro, cuando la erosión es causada por el agua. El proceso de aluviación, llamado también **cumulación o cumulización** (Buol, 1980) es el principal factor de la formación de estos suelos. Los análisis efectuados demuestran que se trata de un suelo muy poco

evolucionado, los colores heredados (litocromos), los porcentajes de arcilla, en ocasiones menores a 10%, la relación limo/arcilla, así como los bajos contenidos de hierro libre (<0.50%) indican que la alteración mineral es reducida.

Con excepción del Na^+ y del K^+ , no se observa ningún proceso de migración, ni siquiera de CaCO_3 , cuyo contenido es constante en las capas. Como se menciona, anteriormente, las diferencias granulométricas se deben únicamente al aluvionamiento, y no existe una redistribución de las partículas por lavado. El horizonte A es poco humífero y su relación C/N (16.4) indica una baja actividad microbiana. Los contenidos débiles de hierro libre en las capas y su incremento en el horizonte A, muestran una alteración bioquímica muy leve por efecto del humus.

Hipotéticamente al estabilizarse este suelo y aumentar la aireación, debido a la suspensión de aportes, se propicia un incremento en la alteración, que podría implicar una redistribución de los carbonatos, un incremento en los contenidos de hierro libre y, posiblemente, una mayor humificación, lo que propiciaría un empardecimiento y la formación de un Bw. En suelos aluviales que muestran mayor cantidad de arcilla heredada, se puede constituir una pseudo estructura prismática, por contracción de las arcillas y por efecto del hierro ligado a ellas. Este pseudo horizonte no califica como (B) y solo puede ser reconocido como un carácter vértico.

FIGURA 29a ELECTROMICROGRAFIA DE LA FRACCION FINA



Debido a su origen, y a los constantes aportes que recibe este perfil, su fracción fina (<2 μm) muestra una composición mineralógica muy heterogénea. La electromicrografía obtenida para el subhorizonte Ap(0-18 cm) indica la presencia de cuarzo y cristobalita (A), representando a los silicatos, caolinita (K), haloisita (Tubular y en glomerulos) y Montmorillonita (M) como minerales arcillosos cristalinos; y Feldespatos-K, todos ellos adicionados por la aluviación.

PERFIL DE SUELO 1a: LA PRESA FRANCO
CLASIFICACION

- Ap₀ 0-10 cm.** Horizonte de textura mediana y permeabilidad moderadamente lenta; de color pardo grisáceo en seco a pardo grisáceo muy oscuro en húmedo; estructura formada por pedos subangulares de tamaño medio, moderadamente desarrollados, de consistencia ligeramente dura y friable; ligeramente adhesivos y no plásticos. Presenta una cantidad moderada de poros finos intersticiales, en su mayoría discontinuos. El pH es fuertemente alcalino. **Presenta fase salina y sódica.** Raíces finas escasas. La superficie muestra encostramiento y encharcamiento. La separación con el horizonte subyacente es gradual y plana.
- Ap_n 10-32 cm.** Capa de textura media y permeabilidad lenta; de color pardo en seco a pardo grisáceo muy oscuro en húmedo; estructura con pedos subangulares, medios, débilmente desarrollados, ligeramente duros en seco, friables en húmedo, ligeramente adhesivos y no plásticos, que muestran una cantidad moderada de poros finos intersticiales, con una orientación caótica, y poco continuos. El pH es fuertemente alcalino. **Presenta fases, salina y sódica.** Raíces finas y de grosor medio en una cantidad escasa. Separación texturalmente abrupta y plana.
- C1 32-54 cm.** Capa no consolidada de textura gruesa, y de permeabilidad moderadamente rápida; de color pardo pálido en seco a pardo en húmedo; arenoso, sin estructura, suelto, no adhesivo ni plástico, con un esqueleto constituido por gravas redondeadas que ocupan, aproximadamente, el 10% del volumen de esta capa. Porosidad media y gruesa en cantidad moderada. En seco, se hace evidente la presencia de cristales de halita, pequeños, escasos, y dispersos. El pH es moderadamente alcalino y **muestra fase sódica.** No presenta raíces. Separación clara y plana.
- C2 54-75 cm.** Capa de arena consolidada, de permeabilidad lenta; con características morfológicas similares a las descritas para la capa 36-69 cm, presente en el perfil 4. Sin embargo, la presencia de un manto freático a 75 cm de profundidad, le ha conferido a esta capa algunas propiedades de hidromorfismo como son el moteado ocre que muestra y la presencia de nódulos de manganeso, pequeños, escasos y dispersos. El pH es moderadamente alcalino. **Muestra fase sódica.** No se presentan raíces.
- >75 cm** **Manto freático**

OBSERVACIONES

La presencia de sodio en el perfil ha propiciado fenómenos de floculación y dispersión de las arcillas y del estado coloidal. Este fenómeno ha generado una estabilidad estructural

muy deficiente, la cual afecta a la porosidad y la permeabilidad de las capas. Los contenidos de sodio, en porcentaje mayor a 15, le confieren una propiedad sódica al suelo. La conductividad eléctrica oscila de casi nula, en el subsuelo, a moderada en el epipedón.

CLASIFICACION TAXONOMICA:

El perfil califica, taxonómicamente, como un Fluvisol sódico, con propiedades gleyicas, salinas, sódicas, pseudo-ándicas y de cambio textural abrupto. Muestra, además, fase salina y fase sódica. El tipo textural es Franco.

Clave Taxonómica: Fln (pg-ps-pn-psa-ct)
Fs+Fn-C

INTERFASE: FLUVISOL SODICO-SOLONCHAKS: PERFIL 1a.**OBSERVACIONES**

1. Hasta antes de 1988, muchos suelos de zonas tropicales que mostraban un horizonte sálico (log. $K_s = -4.85$ a 25°C) fueron, en general, denominados como Solonchaks. En este concepto se incluían Histosoles, Cambisoles, Vertisoles, Planosoles y Fluvisoles, principalmente.

2. Actualmente, es posible aceptar que esos suelos cuando muestran horizonte sálico pueden, en el mejor de los casos, ser considerados únicamente como intergradaciones hacia Solonchaks y, en algunos casos como los Vertisoles, hacia Solonetz. Sin embargo, se acepta que esos suelos tienen propiedades edáficas más importantes que el carácter salino.

3. Genéticamente, los Solonchaks sólo pueden ser representados bajo condiciones ambientales xéricas o arídicas, ocasionalmente ústicas. En el caso del Trópico y Subtrópico Mexicano se debe considerar a este fenómeno como diagnóstico, únicamente, para establecer la subunidad sálica, o la propiedad salina.

4. En los suelos tropicales y subtropicales, resulta especialmente importante establecer una de las siguientes cuatro características con respecto al horizonte sálico: (1) suelos con horizonte sálico superficial (0-50 cm); (2) suelos con horizonte sálico profundo (> 50 cm); (3) suelos con horizonte sálico verticalmente indiferenciado y (4) suelos con horizonte sálico que muestra en el perfil diferentes capas de acumulación de sales.

5. Las sales presentes en los suelos tropicales y subtropicales pueden tener diferentes orígenes: (1) marino (Perfil 5); (2) litológico; (3) volcánico; (4) hidrotermal y (5) eólico, desde luego se acepta otro origen: antrópico o tecnógeno.

6. Actualmente, se aceptan dos criterios químicos para definir a los suelos afectados por sales: (1) los productos de solubilidad de las sales acumuladas y/o las sales que ellas pueden formar y (2) la concentración de iones en la solución del suelo. Para ser considerados como un suelo afectado, además de tener una acumulación importante de sales más solubles que el yeso, carbonato de calcio, jarosita y sulfuro de hierro deben cumplir los siguientes requisitos:

- a. Más de 15 dS/m (mS/cm) a 25°C si el pH es menor a 8.5
- b. Más de 8 dS/m si el pH es mayor de 8.5 y
- c. Menos de 3.5 dS/m de pH si el suelo es rico en azufre

7. Seis facies de suelos afectados por sales pueden ser distinguidos:

- A. **Suelos con ácido sulfúrico:** En general, son suelos de origen marino, palustre o de laguna de Litoral que han sido influenciados por la acción del hombre. El pH muy ácido a ácido (3.5 - 5.0), el calcio está casi

ausente y el azufre proveniente del agua marina está presente. El sodio es dominante en la solución del suelo. ($\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--} > \text{HCO}_3^-$, $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++}$).

- B. Suelos con sulfatos y cloruros neutros:** Los suelos son principalmente de origen marino, pero pueden estar enriquecidos por yeso depositado por los ríos. El pH es casi neutro. Los sulfatos y cloruros están presentes, en tanto que los carbonatos de sodio, calcio y magnesio se presentan en proporciones variables, pero siempre exceden a los bicarbonatos. Los depósitos de sales son principalmente: NaCl , CaCl_2 y MgCl_2 .
- C. Suelos con sulfatos neutros:** Estrictamente son de origen continental. Con frecuencia estos suelos se forman por la naturaleza química de las aguas de riego que muestran altas concentraciones de sulfatos y sodio. El pH está próximo a la neutralidad mientras que $\text{Na} > \text{Ca}$ y $\text{SO}_4 > \text{HCO}_3 > \text{Cl}$ en la solución del suelo.
- D. Suelos sulfatados ácidos:** son suelos de origen marino que se forman en un medio potencialmente ácido con vegetación de manglar. La acidificación se intensifica durante los períodos de sequía. El pH alcanza valores hasta de 3.5 ó menores lo que propicia una acidólisis de las arcillas y la liberación de aluminio, hierro y manganeso. Existen pequeños contenidos de calcio y de cloruro. La pérdida de bases y del pH tan ácido previenen la formación de jarosita. El perfil D-0-33 es un ejemplo de esta facies.
- E. Suelos sulfatados con bicarbonatos, alcalinos:** Son suelos desarrollados en un medio aeróbico, donde la producción de sulfatos a partir de sulfuros se presenta *in situ*. La acidez liberada es neutralizada por un exceso de Na^+ y de Ca^{++} en forma de carbonatos que se encuentran en el sistema. El pH del suelo es mayor de 8.5.
- F. Suelos carbonatados fuertemente alcalinos:** Son suelos que se presentan en condiciones continentales anaeróbicas, ricas en materia orgánica y en H_2 . La abundancia de agua con $\text{pH} > 10$ altera y permite la disolución de la materia orgánica.

La composición del suelo, en su solución, muestra: $\text{CO}_3 > > \text{SO}_4 > > \text{Cl}$ y $\text{Na} > > \text{Ca}$. Los depósitos de sales en forma de carbonato de Na^+ + materia orgánica, forman una costra superficial de color negro. La Trona ($\text{Na}_2 \text{CO}_3$), $\text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y la Gaylusita son las sales principales. Debido al alto contenido de materia orgánica que presenta, pueden ser clasificados como Histosoles sálicos.

8. Los seis arreglos presentados de las sales aniónicas, pueden estar presentes en diferentes unidades de Solonchaks, pero no son exclusivos de ellos. Este arreglo puede ser agrupado en tres tipos principales de suelos:

- A. **Suelos ricos en sulfatos y cloruros neutros.** Se incluyen, además del Solonchak, a las siguientes Unidades: Fluvisol eútrico con propiedades sálicas; Vertisol sálico; Fluvisol sálico y Gleysol con propiedades sálicas.
- B. **Suelos ricos en sulfatos ácidos.** Incluye, además del Solonchak a todas las Unidades de suelos que presentan Subunidades Tiónicas como son: Histosoles Tiónicos; Vertisoles Tiónicos; Fluvisoles Tiónicos; Gleysoles Tiónicos y Cambisoles Tiónicos.
- C. **Suelos ricos en carbonatos y bicarbonatos, alcalinos.** Además del Solonchak se incluyen: Histosoles sálicos; Antrosoles sálicos; Vertisoles sálicos, Fluvisoles sálicos y/o sódicos; Gleysoles con propiedades salinas; Planosoles con propiedades salinas y/ sódicas; Solonetz sálico y Luvisoles con fases salinas o sódicas.

9. Con respecto a las relaciones entre los cationes presentes, en particular los bivalentes versus monovalentes, es posible establecer tres grupos de suelos:

- A. **Suelos salinos ricos en calcio.** Se caracterizan por presentar porcentajes de calcio y de magnesio, que dominan sobre el sodio y el potasio, presentes en la solución del suelo y/o en el complejo de intercambio. La relación $Ca^{++} + Mg^{++}/Na^{+} + K^{+}$ está entre 1 a 4 y la relación Ca^{++}/Mg^{++} es 1.0. La estructura de estos suelos permanece estable después de la desalinización. Un ligero incremento en el pH puede presentarse.
- B. **Suelos salinos ricos en sodio.** El sodio es preferentemente fijado en el complejo de intercambio. La relación $Ca^{++} + Mg^{++}/Na^{+} + K^{+}$ en la solución del suelo < 1.0 . Una fuerte alcalinización ocurre después de la desalinización, congruentemente; la estructura tiende a degradarse.
- C. **Suelos salinos ricos en magnesio.** Son en algunos aspectos similares a los suelos salinos ricos en sodio. La relación $Ca^{++} + Mg^{++}/Na^{+} + K^{+}$ es > 1.0 , en tanto que $Ca^{++}:Mg^{++} < 1.0$. Este tipo de fenómeno es particularmente común en los Grupos de Vertisoles magnésicos. Después de la desalinización, la hidrólisis de los complejos de Mg^{++} , genera una fuerte alcalinización; seguida de una degradación estructural ("Smolonitzas"). Es evidente que el sodio y el magnesio pueden tener un efecto adverso en la estructura del suelo, dependiendo de los contenidos de calcio presentes.

10. Dentro de un marco taxonómico, los Solonchaks muestran problemas de clasificación, principalmente en las interfaces Fluvisol sódico-Solonchak y Fluvisol Tiónico-Solonchak. En el primer caso, las evidencias de propiedades flúvicas que presente el suelo, son suficientes para clasificarlo como un Fluvisol sálico, y en ausencia de estas como un Solonchak.

El segundo caso es más complejo. Así un Fluvisol Tiónico que muestra condiciones de reducción en su perfil, debe presentar un horizonte sulfídico, en tanto que en condiciones de buen drenaje y oxidación, el horizonte sulfúrico se presenta. En este caso, el perfil mostrará moteado de jarosita y pH menor de 3.5 dentro de los primeros 150 cm de profundidad. Adicionalmente, estos suelos pueden tener una conductividad eléctrica $> 15\text{dS/m}$, con una solución del suelo dominada por sodio y magnesio. Actualmente estos suelos se les denomina como Solonchaks háplicos, pero este nombre no expresa la naturaleza ácida del suelo. FAO-UNESCO propone el término Solonchak acérico (acer = ácido) para este caso.

OBSERVACIONES:

El valor de conductancia que en deciSiemens/metro o miliSiemens/centímetro es equivalente a 1 mmho/cm.

PERFIL 2

CLASIFICACION**PROPUESTA:**

Suelo de aporte coluvial,

FAO-UNESCO**1988**

Regosol dístico

SOIL TAXONOMY**1990**

Tropopsamments

LOCALIZACION:

Pijijiapan, Chiapas

TOPOGRAFIA: Ondulada**DRENAJE:** Rápido**MATERIAL****PARENTAL:**

Coluvión de granito

VEGETACION: Selva
baja y matorral**EDAD:** Holoceno**EDAFOClima:**

Udico

REGION: Valles
y Montañas de
Chiapas**III.J.1.6b.1****MORFOLOGIA DEL PERFIL 2****A 0-7 cm**

Migajón arenoso, de color pardo grisáceo oscuro (10YR 3/2 en húmedo); estructura en bloques subangulares finos; con desarrollo débil y muy friable. Aproximadamente un 15% del volumen de este horizonte, está constituido por fragmentos líticos que varían de 3 a 7 mm de diámetro; todos ellos de forma angular. No muestra reacción al HCl, presenta un límite claro y plano con el horizonte que le subyace. Raíces finas abundantes.

C1 7-20 cm

Migajón arenoso de color gris pardo claro (10YR6/2 en húmedo) estructura masiva, ligeramente compactada, aunque friable en húmedo. Presenta esqueleto constituido por gravas angulares finas, que ocupan el 40% de volumen del horizonte. Reacción nula al HCl. Límite claro y plano.

C2 20-95 cm

Migajón arenoso, de color pardo amarillento claro (10YR6/4 en húmedo) sin estructura, casi suelto en seco y suelto en húmedo. Las gravas representan el 50% del volumen de la masa del suelo. Reacción nula al HCl, límite claro y plano. Raíces finas muy escasas.

C3 95-125 cm

Arena limosa de color gris pardo claro (10YR6.5/2 en húmedo), masivo, suelto y muy friable; gravoso. Reacción nula al HCl. Límite gradual e irregular.

C4 125-150 cm

Arena de color pardo amarillento claro (10YR6/4 en húmedo). El 70% del volumen de este horizonte está ocupado por gravas, guijarros y piedras de forma angular, que no muestran indicios de alteración química y/o biológica. Reacción nula al HCl. Límite abrupto y plano.

CRb 150-200 cm

Roca fragmentada y parcialmente disgregada, sepultada por el coluvión. Sin reacción al HCl.

ANALISIS TOTAL DE LA ROCA

PROFUND. (cm)	HORIZONTE (A-B-C)	PORCENTAJES DE OXIDOS TOTALES											RELACION			
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	CO ₂	TOTAL	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
150-200cm	C1	65.5	22.0	0.7	1.4	2.3	0.1	0.3	0.7	2.3	4.6	0.5	2.1	100.5	5.06	121.22
200cm	B	70.5	15.0	0.7	0.9	1.4	0.1	0.5	1.1	2.9	5.7	0.3	1.0	100.1	7.48	195.83

DE = Dióxido de Silicio; FA = Fosfato Alcalino; Mg = Magnesio; SO₃ = Sulfato; CO₂ = Dioxido de Carbono; BI = Biotita y HE = Hornblenda.

ANALISIS FISICOS DE LA FRACCION < 2 mm

PROFUND. (cm)	HORIZONTE	FRACCIONES TEXTURALES										RELACION LIMO/ARCILLA (%)	RELACION LIMO/ARENILLA (%)	RELACION LIMO/AGUA (%)	RELACION LIMO/ARENILLA (%)	RELACION LIMO/AGUA (%)	RELACION LIMO/ARENILLA (%)
		ARENILLA 2-0.05 (mm)	LIMO 0.05- 0.002 (mm)	ARCILLA < 0.002 (mm)	GRASA > 2 (mm)	ARENILLA 0.05-0.25 (mm)	GRASA 1-0.5 (mm)	ARENILLA 0.10 (mm)	GRASA 0.5-0.25 (mm)	ARENILLA 0.1- 0.05 (mm)	GRASA 0.02 (mm)						
0-7	A	64	13	8	15	33	20	8	4	-	18	9	8	3.37	2.2	7.1	1.37
7-20	C1	40	11	9	40	35	22	3	1	1	22	7	9	3.22	2.0	6.5	1.42
20-95	C2	35	8	7	50	39	22	5	1	-	25	1	7	3.71	1.8	6.3	1.45
95-125	C3	20	12	8	60	43	20	3	2	2	22	-	8	2.75	1.6	6.4	1.19
125-150	C4	20	4	6	70	40	20	3	-	-	27	4	6	5.16	1.2	6.2	1.47

ANALISIS QUIMICOS Y FISICOQUIMICOS DE LA FRACCION < 2 mm

PROFUND. (cm)	HORIZONTE (A-B-C)	MATERIA ORGANICA (%)	CARBON ORGANICO (%)	NITROGENO (%)	C/N (%)	GRUPO CaCO ₃ (%)	SOLUBILIDAD pH 11 an agua (%)	BASES INTERCAMBIABLES rec/100g de suelo				SAR DE BASES S	C.T.C.T. Tca (meq)	SATURACION DE BASES S/T (%)	RELACION SiO ₂ /Al ₂ O ₃	HIDRO LIBRE (%)	EN- DRE DIF. DIF.	
								Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺							
0-7	A	2.5	1.12	0.06	18.6	2.15	6.3	1.2	0.6	2.1	2.2	6.1	13.2	46.21	4.50	0.32	9	5
7-20	C1	0.6	0.2	0.02	10.0	1.10	6.1	0.9	0.3	1.2	1.5	3.9	8.5	45.68	4.75	0.20	7	3
20-95	C2	0.3	0.2	0.02	10.0	1.00	5.7	0.7	0.3	1.1	1.2	3.3	7.0	47.14	5.20	Tz	-	-
95-125	C3	Tz	-	-	-	Tz	5.9	0.7	0.4	1.2	1.0	3.3	7.3	45.20	5.70	-	-	-
125-150	C4	Tz	-	-	-	Tz	6.1	0.9	0.2	1.0	1.3	3.0	6.7	44.77	5.40	-	-	-

III.J.1.6b.2. CARACTERES DIAGNOSTICOS. Suelo con caracteres litogénicos muy acentuados, en el que predomina la disgregación mecánica y física. La materia orgánica se acumula en los primeros 7 cm y desciende bruscamente con la profundidad.

Los valores de S/T <50% le confieren un carácter ácido al horizonte A, lo cual resulta congruente con el débil grado de alteración que muestra el suelo, así como con la naturaleza química y mineralógica de la roca parental. Sin embargo, la relación Tca/100+Tca/arcilla = 1.78 le da un nivel de eutrofismo que depende, principalmente, de los

contenidos de materia orgánica acumulada en los 7 cm iniciales, donde la relación C/N muestra una limitada humificación y una moderada actividad microbiana, que propicia una baja fijación del nitrógeno.

Granulométricamente, el perfil está constituido por tres clases de tamaño de partículas: el horizonte A es de Clase arenosa, las capas C1 y C2 son esqueléticas arenosas, en tanto que las capas C3 y C4 se consideran fragmentadas, lo que se correlaciona con los bajos contenidos de agua que presenta el perfil.

III.J.1.6b.3. EVOLUCION: El perfil está ubicado en la etapa I de intemperismo propuesta por Tuncer y Lohnes (1977), donde la meteorización física propiciada por la hidrólisis, hidratación, bioclastia y termoclastia, han generado descamación, fisuración y fracturamiento del granito. Por efecto de la gravedad, estos materiales, son depositados en las partes bajas y estables de las pendientes.

El rejuvenecimiento por la erosión interviene de forma intensa; en general, en estos suelos la materia orgánica se incorpora mal a la materia mineral con la cual no forman complejos húmicos. La relaciones limo/arcilla, $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y hierro libre, muestran una ligera alteración de las micas de las cuales proceden las arcillas, y una alteración reducida de los feldespatos. El complejo de alteración está constituido por elementos solubles que son eliminados del perfil por drenaje profundo, (carácter ácido= $S < 50\%$). Las pérdidas no afectan sólo a las bases, sino también a la sílice y a los sesquióxidos. Los valores de DRP y DRH son muy bajos, indicativos de que su evolución está frenada por causas mecánicas (erosión-coluvinamiento) y por la naturaleza del material parental.

Teóricamente al cesar los aportes y estabilizarse el suelo, las condiciones climáticas y edafoclimáticas del trópico, generarán una alteración casi total de los feldespatos, plagioclasas y micas, propiciándose una caolinización masiva. Las pérdidas de sílice y de bases en estado soluble se incrementaran y los sesquióxidos, principalmente el aluminio, tenderán a acumularse en el perfil (ferruginación-ferralitización).

PERFIL 3

CLASIFICACION

PROPUESTA:

Suelo de aporte
eólico, neutro

FAO-UNESCO

1988

Arenosol háplico

SOIL TAXONOMY

1990

Typic
Quartzipsamments

LOCALIZACION:

Alvarado, Veracruz

TOPOGRAFIA: De dunas

DRENAJE: muy rápido

MATERIAL

PARENTAL:

Arenas y limos eólicos

CLIMA: Aw2

VEGETACION: Pastos
esparcidos

EDAD: Holoceno

EDAFOCLIMA:

Ustico-údicó

REGION: Planicie
costera del Golfo

III.J.1.6c.1

MORFOLOGIA DEL PERFIL 3

C1 0-37 cm

Arena fina, de color pardo obscura en húmedo (10YR3/3), masiva; casi suelta en seco y suelta en húmedo, no cálcarea, Raíces finas (< 5 dm²). Límite abrupto y plano.

C2 37-93 cm

Arena fina de color pardo grisáceo en húmedo (10YR6.5/2), granular suelta, que tiende, en la parte inferior del horizonte, a ser láminar fina. Reacción moderada al HCl. Raíces finas y escasas (< 5 dm²). Límite claro y plano.

C3 93-145 cm

Arena fina de color gris claro en húmedo (10YR7/2) grano simple. La fracción limo efervescé débilmente al HCl, en tanto que en los granos de arena gruesa (2-1 mm) se observan algunas películas delgadas de CaCO₃ que los recubren. Raíces finas, muy escasas (< cm²). Límite abrupto y ondulado.

Ab 145-169 cm

Arena migajosa de color pardo muy oscuro en húmedo (10YR3/2), con estructura en bloques subangulares, débilmente desarrollada, de tamaño fino. Reacción moderada al HCl. En la parte superior de este horizonte, existe una acumulación de materiales orgánicos vegetales, algunos parcialmente descompuestos (Hojas) y otros muestran mineralización, principalmente por sílice y hierro (madera-raíces). Límite con el horizonte subyacente: difuso e irregular.

Cwb 160-200

Arena migajosa, de color pardo en húmedo (10YR5/3) de tamaño medio, masiva y débilmente cementada y compactada por SiO₂ y CaCO₃, ligeramente dura en seco y friable en húmedo. Muestra concreciones de CaCO₃ de forma filamental, así como crotovinas, edafotúbulos, rizoconcreciones y halos de oxidación-reducción.

ANALISIS FISICOS EN LA FRACCION < 2 mm

PROFUND. (cm)	HORIZONTE (A-B-C)	CLASES TEXTURALES Y DIAMETRO DE PARTICULA (mm)											RELACION LINDO ARETELA	RELACION LINDO ARETELA	CONTEN. DE AGUA (1) 15bar	CONTEN. DE AGUA (2) 0.1bar	ESPESOR DE ARETELA (mm)	DENSIDAD Aparente g/cc	
		ARCILLA		MUY GRUESA		GRUESA		MEDIA		FINA		USO							
		2-0.05	0.05	0.002	0.002	0.5	0.25	0.10	0.05	0.05	0.02	0.02							0.02
0-37	Cl	87	10	3	0.3	2.17	32.5	45.3	6.2	8.3	1.7	3	3.33	1.7	6.1	32.33	0.005	1.63	
37-93	C2	98	8	2	-	2.0	35.7	49.0	4.3	6.9	1.1	2	4.00	1.9	5.6	49.00	0.003	1.65	
93-145	C3	85	12	3	1.0	2.4	30.5	43.5	7.6	7.8	4.2	3	3.00	2.1	5.9	32.33	0.003	1.60	
145-160	A ₂	75	20	5	-	1.1	30.9	40.3	2.8	15.1	4.9	5	4.00	2.5	6.8	19.00	0.007	1.43	
160-220	C ₂	83	15	2	2.7	3.5	27.3	42.7	6.8	8.7	6.3	2	7.50	2.3	4.5	49.20	0.004	1.60	

ANALISIS QUIMICOS Y FISICOQUIMICOS DE LA FRACCION < 2 mm

PROFUND. (cm)	HORIZONTE (A-B-C)	ORGANICA (%)	CARBON (%)	NITROGENO (%)	C/N	CELS. CaCO ₃ (%)	PH en agua	BASES ESCAMBIAZABLES mg/100g de suelo	ASA DE BASES (%)	C. INT. TOA	SATURACION DE BASES SIT	RELACION SiO ₂ /Al ₂ O ₃	RELACION LINDO (1)	RELACION LINDO (2)				
0-37	Cl	0.5	0.30	0.023	13.0	72	5.7	4.1	0.4	1.10	1.25	7.35	9.0	31.87	5.40	0.35	7	4
37-93	C2	0.3	0.19	0.015	12.6	1	6.3	4.3	1.3	1.25	1.33	8.19	8.5	96.23	5.20	0.25	5	4
93-195	C3	0.3	0.15	0.010	15.0	1	6.7	4.5	1.2	1.45	1.40	8.55	8.7	98.27	6.70	0.17	-	-
145-160	A ₂	0.7	0.42	0.025	16.8	2	6.9	5.2	1.7	1.80	1.95	10.65	11.5	92.60	-	0.32	-	-
160-220	C ₂	0.4	0.27	0.017	15.8	1	6.6	4.7	1.3	1.93	1.80	9.63	9.8	98.26	-	0.43	-	-

ANALISIS PETROGRAFICO

PROFUND. (1 en volumen)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MINERALES	(% DE OXIDOS)	P.P.T	Total	SiO ₂	Al ₂ O ₃			
CE60, FC20, RE19, WE2	90.0	0.3	9.0	0.3	-	-	-	0.5	101.1	17.0				
CE63, FD20, RE16, WE1	63.5	0.1	20.0	0.4	-	-	7.6	4.5	1.6	0.3	0.5	100.4	9.40	
CE57, FD18, RE22, WE3	66.7	0.1	21.0	0.5	-	0.1	-	6.3	5.2	-	0.5	100.4	5.55	
CE55, FE25, RE18, WE4	52.3	1.2	6.2	5.6	3.1	1.1	9.9	16.5	2.2	1.1	0.6	-	99.90	14.02

Qz= Cuarzo
 FD= Feldespatos
 RE= Minerales Resistentes
 WE= Minerales Intemperizables

III.J.1.6c.2. CARACTERES DIAGNOSTICOS. Suelo muy joven, pedológicamente, constituido por capas y por horizontes sepultados (Ab-145-160), granulométricamente constituido por arenas eólicas, de tamaño predominantemente medio y fino, muy rico

en cuarzo (< 50%) y pobre en minerales formadores de arcilla (1-4%), con densidades aparentes altas, resultado de una consolidación y compactación intensa, casi sin estabilidad estructural (32.33-49.0) con excepción del horizonte Ab (19.00). Los valores limo/arcilla, indican una alteración muy reducida de la fracción textura arena-limo.

En estos suelos, la capacidad de intercambio es muy baja (< 10), así como los valores de S, lo cual propicia que las relaciones S/T y S/100+S/arcilla muestren valores aparentes que lo incluyen como un suelo neutro, que presenta un complejo de absorción saturado en más de 50% por el calcio. Muestra deficiencias, además, en materia orgánica y nitrógeno, en parte la descomposición de la materia orgánica se retrasa por el exceso de insolación.

La relación C/N, en este caso, indica una baja mineralización del nitrógeno. El complejo de alteración en este suelo, está constituido, principalmente por sales solubles, cationes, intercambiables y minerales primarios, muy poco alterados, gran parte del CaCO₃ y del Na son aportados al suelo. De hecho las determinaciones sobre la edad de los minerales presentes, muestra que este factor varía notablemente. En suelos de aporte eólico de Hawaii, se encontraron cantidades significativas de cuarzo y mica, minerales muy raros en las rocas basálticas.

Al determinar, la edad de esos minerales se estimó una edad de ± 200 millones de años, mientras que las rocas nativas más antiguas (Basaltos) sólo tienen cerca de 3.5 millones de años. Dymond en 1974, demostró que el cuarzo y la mica fueron transportados cientos de millas por el viento. En explosiones atómicas como la ocurrida en Chernobyl, los materiales de tamaño limo, constituidos por estroncio radioactivo, han viajado miles de kilómetros suspendidos en la atmósfera, incluso en la tropósfera, antes de ser depositados. En la Tabla 33 se muestra la clasificación de materiales eólicos propuesta por Syers, *et al.* (1969).

TABLA 33 CLASIFICACION Y CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES EOLICOS

TIPO DE MATERIAL	DIAMETRO DOMINANTE DE PARTICULA	TRANSPORTE		RESISTENCIA EN LA ATMOSFERA
		VIA	DISTANCIA (km)	
ARENA EOLICA	400-200 μm	Próxima al Suelo	10 ¹ -10 ²	Altamente transitoria
LOESS	50-10 μm	Tropósfera Inferior	10 ⁴ -10 ²	Fase transitoria
AEROSOLES POLVOS TROPOSFERICOS	10-1 μm	Tropósfera Media y Superior	10 ⁴ -10 ⁶	Días a Semanas
POLVO ESTRATOSFERICO	1 μm	Estratósfera	10 ⁹	Años
POLVO EXTRA-TERRESTRE	40-0.01 μm	Espacio Interplanetario	10 ¹³	Indeterminado

FUENTE: Syers, *et al.*, (1969).

III.J.1.6c.3. EVOLUCION. Los análisis físicos y químicos, demuestran la presencia de un suelo azonal, policíclico, constituido por un suelo sepultado, desarrollado a partir de una duna primaria y tres capas de arena eólica que le sobreyacen. La relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (>5), los contenidos bajos de hierro libre (<0.35) así como, los valores tan reducidos de DRP y DRH lo sitúan como un protosuelo. Actualmente, las definiciones de suelos establecidas por Soil Taxonomy, 1990, los excluye.

Bajo riego, o en condiciones de mayor humedad edáfica, estos proto-suelos son capaces de soportar vegetación y de estabilizarse constituyendo horizontes álbicos, o mostrando características de horizontes B argílico, cámbicos u óxicos los cuales; sin embargo, no califican como horizontes de diagnóstico, debido a requerimientos de textura. En estos suelos la evolución es similar a la de los suelos regolíticos residuales (Arenosoles de FAO, 1989) sin embargo, difieren en su edad de formación (Pleistoceno vs Terciario), dinámica (eolización vs alteración *in situ*) y modo de formación (aporte residual).

En evidente que en los suelos derivados, por eolización, la propiedad física más importante será un contenido elevado de arena, que les impartirá una elevada permeabilidad, lo que ocasionara la formación de estructura masiva o de grano sueltos. A pesar de los altos contenidos de cuarzo y de minerales difícilmente alterables, los valores de pH sólo oscilarán de 6 a 7, mostrando buenos porcentajes de saturación de bases, aunque una baja capacidad de intercambio. La caolinita, probablemente, será el principal mineral de arcilla.

PERFIL 4

**CLASIFICACION
PROPUESTA:**

Suelo de aporte
volcánico, máfico

**FAO-UNESCO
1988**

Regosol tétrico

**SOIL TAXONOMY
1990**

Vitrandic Udorthent

LOCALIZACION:

V. Chichonal, Chiapas

TOPOGRAFIA: Plana

DRENAJE: Moderado
a lento

MATERIAL**PARENTAL:**

Tefra

CLIMA: A (fm)**VEGETACION:**

Pastos pioneros

EDAD: Actual**EDAFOClima:**

Udico

REGION: Valles

y Montañas de

Chiapas

III.J.1.6d.1. MORFOLOGIA DEL PERFIL 4**C1 0-21 cm**

Depósito de ceniza intermedia de color gris (10YR5/1, en húmedo). Tamaño de partícula predominantemente arenoso, con facies esquelético arenoso, masivo, suelto y muy friable. Reacción moderada a la fenolftaleína. Muestra en su matrix-S, fragmentos líticos de pómez y de traquiandesitas, las cuales constituyen el 20% del volumen total. Límite claro y plano.

C2 21-83 cm

Depósitos de ceniza de color blanco (10YR8/1 en húmedo) rica en pómez, litoclástico y cristales, principalmente de feldespatos. Representa una mezcla de productos de caída aérea (Tefras) y derrames piroclásticos graduados. Estos derrames están formados por fragmentos de pómez (10 cm de diámetro), fragmentos, líticos y bombas (textura fragmental). Algunos fragmentos muestran xenolitos de rocas más ácidas. Límite abrupto y plano.

C3 89-124 cm

Derrame piroclástico, constituido por lapilli y cenizas (textura de tamaño franco). Este derrame sobreyace a un suelo arcilloso ferruginoso (suelo sepultado).

ANALISIS FISICOS DE LA FRACCION < 2 mm

PROFUND (cm)	HORIZONTE (A-B-C)	CLASES TEXTURALES Y DIAMETRO DE PARTÍCULA (mm) SAL											DENSIDAD APARENTE (g/cc)	DENSIDAD APARENTE (g/cc)			
		ARENA (s)													RELACION L/D ARCILLA	TEFRA	LITICOS
		ARENILLA 2-0-05	LIMO 0.05-0.002	ARCILLA 0.002	GRAVA 2	MUY GRUESA 2-1	GRUESA 1-0.5	MEDIA 0.5-0.25	FINA 0.25-0.10	MUY FINA 0.10-0.05	GRUESO 0.05-0.02	FINO 0.02-0.002					
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)						
0-21	C1	62	12.5	1	25	15.0	33.5	7.3	5.1	1.1	11.2	1.3	0.5	12.5	0.87	1.60	
21-83	C2	48	13.7	1	38	12.1	25.3	5.5	4.2	0.9	12.4	1.3	0.3	13.7	0.93	1.63	
83-124	C3	50	6.5	1	43	12.9	28.4	6.2	2.5	-	5.8	0.7	0.5	6.5	1.17	1.65	

ANALISIS QUIMICOS Y FISICOQUIMICOS DE LA FRACCION < 2 mm

PROFUND (cm)	HORIZONTE	MATERIA ORGANICA (%)	CARBONO ORGANICO (%)	NITROGENIO (%)	C/N (%)	SCl ₂	SCl ₂	SCl ₂	432	BASES INTERCAMBIABLES rec/100 de suelo				SO ₄	C.I.C.T.	SATURACION	PIE
						pH 1:1 Agua	pH 1:50 NaF	pH 1:1 KCl	(15bar) Peps	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	DE BASES S	Tea (meq)	DE BASES S/T	LIB (s)
0-21	C1	1.00	0.45	0.02	22.5	7.1	9.8	6.7	3.1	2.5	0.6	0.4	0.5	4.0	7.5	53.33	0.
21-83	C2	0.50	0.22	0.02	11.0	7.0	9.3	6.4	2.7	2.2	0.5	0.5	0.7	3.9	6.3	61.90	-
83-124	C3	Tz	-	-	-	6.8	9.0	6.3	1.6	0.9	0.3	0.5	0.7	2.4	6.0	40.00	-

ANALISIS DE OXIDOS TOTALES DE LA FRACCION < 2 mm

PROFUND (cm)	HORIZONTE	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO ₂	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	P.P.I.	TOTAL	SiO ₂	SiO ₂	FRACCION
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
0-21	C1	53.0	0.50	18.20	1.45	4.60	0.22	2.50	9.10	4.40	3.31	0.60	2.25	100.13	4.9	88	2.95
21-83	C2	56.2	0.50	18.10	1.50	4.10	0.18	2.45	8.70	4.00	3.50	0.40	0.83	100.46	5.22	88	2.20
83-124	C3	56.3	0.52	18.45	1.39	3.85	0.15	2.58	8.70	4.25	3.22	0.32	0.50	100.29	5.22	104	3.70

COMPOSICION MINERALOGICA DE LA TEFRA < 2 mm

PROFUND (cm)	HORIZONTE	ANALISIS PETROGRAFICO									DENSIDAD APARENTE (g/cc) 0.33bf	
		CUARZO (%)	ORTOCLASA (%)	ALBITA (%)	ANORTITA (%)	DIOPSIDO (%)	HIPERSIENA (%)	OLIVINO (%)	MAGNETITA (%)	ILMENITA (%)		APATITA (%)
0-21	C1	0.04	15.30	38.5	19.5	16.30	4.30	2.30	2.00	1.36	1.40	0.75
21-83	C2	0.10	16.20	38.7	18.9	14.90	4.30	1.60	2.30	1.40	1.60	0.75
83-124	C3	0.17	17.45	37.5	20.3	16.30	4.30	-	2.28	1.20	0.50	0.83

III.J.1.6d.2 CARACTERES DIAGNOSTICOS. Material pre-parental (Tiempo cero) colectado a tres años de haber sido depositado durante la erupción del Volcán Chichonal, el 28 de marzo de 1982. Se reconocen cuatro tipos de productos emitidos durante estas erupciones: (1) tefras que forman un total de tres series graduadas; (2) derrames piroclásticos de tipos de nubes de colapso; (3) fragmentos del basamento y (4) derrames de cenizas grises productos de explosiones mayores. (Mitre, 1982).

De acuerdo con Kanno (1961) estos materiales estan considerados dentro del grupo: Asociación de olivino.

Los análisis de laboratorio indican que no obstante la juventud de los materiales, los procesos de adición y acumulación, principalmente de materia orgánica, se llevan rápidamente a efecto, así como una ligera distribución del Na^+ y del K^+ .

Los valores de $S > 50\%$ lo ubican como un material neutro, en tanto que los valores Tca/arcilla, reacción a la fenoltaleina y pH en NaF, le confieren caracteres ándicos muy incipientes. En este caso la solución de NaF, reemplazó los OH de los amorfos y de los minerales de baja cristalinidad, provocando un cambio de pH de 7.1 a 9.8 en menos de dos minutos. Los valores del índice de Parker, así como los de $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$, muestran una débil alteración del material volcánico propiciando, de modo tan rápido (3 años) por efecto del clima y de las características de porosidad, permeabilidad y capacidad de campo muy elevadas.

La hidratación de los vidrios genera la formación de alófanos que estabilizan a los compuestos orgánicos solubles, insolubilizándolos y protegiéndolos contra la biodegradación, a través de formar compuestos polimerizados. (Acidos fúlvicos y húmicos). En este caso, la formación de alófan silícico es posible en un tiempo corto.

III.J.1.6d.3. EVOLUCION. Las cenizas volcánicas de caída libre "ash-fall", son los materiales parentales que más controlan, con relación a otros materiales, la génesis y tipogénesis de un suelo, dependiendo para su alteración del edafoclima y el drenaje. Las series mineralógicas que se forman, varían ampliamente en función de estos factores.

En el caso particular de este perfil, las condiciones de clima y de drenaje, no permiten la formación de un Andisol típico, debido a que existen condiciones ecológicas para suponer que el alofan silícico ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 > 2$) formado en los primeros estadios de alteración, se transformará rápidamente en caolinita, vía haloisita-metahaloisita. En medios que favorecen la desilificación, como es el caso, se estimula, además la formación rápida de alofano a gibsita. En este caso la ferruginización y la caolinitización, se superponen a la andosolización.

FIGURA 30. FRACCION LIMO EN UN SUELO DE APORTE VOLCANICO

Electromicrografía de barrido de la fracción limo del horizonte C1 de un suelo de aporte volcánico reciente. Se observan partículas de vidrio volcánico, muy poco alteradas, de forma predominante angular, así como algunos feldespatos y ópalo integrados a la Matrix-S. Estas partículas, en conjunto dan una clase textural Franca y un carácter vítrico, muy acentuado, a este horizonte. La electromicrografía fue obtenida con un microscópico JOEL modelo JS, M-35 c.

PERFIL 5

CLASIFICACION PROPUESTA:
Suelo de aporte marino, sálico, sódico

FAO-UNESCO 1988
Regosol eútrico en fase salina y sódica

SOIL TAXONOMY 1990
Tropeaquic Quartzsammments

LOCALIZACION:
Novillero, Sinaloa
TOPOGRAFIA: Plana
DRENAJE: Moderado a deficiente

MATERIA PARENTAL:
Sedimentos marinos
CLIMA: Awo
VEGETACION:
Pastos halófitos

EDAD: Holoceno
EDAFOClima:
Udico-Acuico
REGION: Sierra Madre Occidental (Llanura costera)

III.j.1.6e.1. MORFOLOGIA DEL PERFIL 5

Ci 0-15 cm

Capa de textura arenosa, constituida en gran parte por arena fina, lavada durante las mareas altas o durante períodos tempestuosos. Se presentan además algunos cantos rodados, depositados sobre las terrazas de erosión de las olas. En la fracción limo resulta abundante la presencia de diatomitas marinas y de glauconita.

C2 15-65 cm

Capa de color gris pardo (10YR6/3) constituida por arena rica en cuarzo, sin estructura, suelta, se presentan restos de raíces finas y fragmentos de moluscos. Reacción leve, al HCl. Limite claro y plano.

C3sg 65-150 cm

Arena gris (10YR7/2) sin estructura, suelta, muy rica en exoesqueletos, espículas y otras estructuras de la fauna marina. Muestra moteado pardo en los edafotúbulos, principalmente de raíces. Reacción fuerte al HCl

ANALISIS FISICOS DE LA FRACCION < 2 mm

PROFUND. (cm)	HORIZONTE	CLASES TEXTURALES Y DIAMETRO DE PARTICULA (mm)										DENSIDAD APARENTE (g/cc)	CONTENIDO DE AGUA (%)	CONDUCTIVIDAD (ds ^m -1 (25°C))	HIERRO LIBRE (%)		
		ARCILLA (1)		LIMO (1)		ARENA (1)		MOL. GROSERA (1)		MOL. FINA (1)						FRACCION (1)	
		2.0-0.5	0.05-0.002	0.002	2	2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.10	0.10-0.05	0.05-0.02	0.002	$\frac{A+E}{R}$				
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)				
0-15	C1	90.5	4.9	2.6	2	0.9	14.2	31.5	40.1	3.8	3.0	1.9	2.6	36.69	1.43	2.2 1.9 9.2	0.31
15-65	C2	96.8	0.8	2.4	-	1.1	13.5	35.7	42.8	2.9	0.4	1.2	2.4	43.66	1.53	2.5 1.6 21.3	0.22
65-150	C3sg	97.3	0.6	2.1	-	2.6	21.3	34.0	36.4	3.0	-	0.6	2.1	46.61	1.60	2.8 1.1 17.4	0.20

ANALISIS QUIMICOS Y FISICOQUIMICOS DE LA FRACCION <2 mm

PROFUND. (cm)	HORizonte	MATERIA	CARBON	NITROGENO	C/N	SCIA	BASES INTERCAMBIABLES				SUMA	C.Y.C.T. Tca	RELACION S/Tca	EXTRAIBLES EN PASTA DE SATURACION				EXTRAIBLES	
		(%)	(%)	(%)		FM 1-1 AGUA	DES(100g de suelo)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺			DE BASES S	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻
0-15	C1	0.99	0.30	0.01	30	8.3	7.9	1.2	0.9	0.3	10.3	9.85	100	5.5	0.9	0.3	0.3	6.4	0.7
15-63	C2	0.50	0.15	0.01	15	8.2	7.7	0.6	1.1	0.1	9.5	9.77	97.24	5.7	0.8	0.2	0.2	5.3	0.4
63-150	C35g	0.35	0.07	--	--	8.3	7.4	0.4	3.6	0.1	11.4	8.94	100	5.0	1.6	0.1	0.1	5.4	0.4

III.J.1.6e.2 CARACTERES DIAGNOSTICOS. Regolita constituida por capas arenosas, retrabajadas por efecto del oleaje y por el viento, ricas en cuarzo, CaCO₃ y sales, lo que la sitúa en los subgrupos sálicos (>15 dS/n a 25°C) y sódicos (>15% de Na⁺) con pH superior a 8.

Los altos contenidos de arena y la pobreza de arcillas que presenta, le dan una estabilidad estructural casi nula (36.69-46.61) una densidad aparente alta, por consolidación de las partículas (1.44=1.60 g/cc) y una baja retención de humedad, lo que favorecen la acumulación de sales. Este suelo es, además, pobre en materia orgánica y nitrógeno lo que impide la formación de estructura y una buena colonización de la vegetación, respectivamente. Los valores C/N demuestran que no existe, prácticamente, humificación.

El complejo de intercambio está constituido principalmente por Ca⁺⁺ y Na⁺ en la capa más profunda, lo que le da a este suelo una fase sódica. Con frecuencia se presenta un pseudogley (Sg).

III.J.1.6e.3 EVOLUCION. Este suelo representa el primer estadio en los procesos de salinización-solonización-solodización responsables de la formación de los suelos salino-alcalinios. El proceso evolutivo de este suelo, está retenido por la acción mecánica de las olas y del viento, así como por la presencia de las sales que limitan el desarrollo de la biota. Dinámicamente, este suelo puede comportarse como un Solonchak (álcali blanco) incluso tender a formar un horizonte sálico, pero taxonómicamente no puede ser considerado como tal, debido a que un Solonchak (Salorthids) se forma únicamente donde el valor ETP > P como son las zonas áridas y semiáridas.

Con frecuencia, se lo incluye, también, en el grupo de los Aquallic Salorthids (Soil Taxonomy, 1990) pero esta posición sigue siendo incorrecta, ya que la mayoría de estos suelos no desarrolla horizontes A ricos en materia orgánica, lo cual es un requisito del grupo.

En México, estos suelos son frecuentes en las zonas de litorales y han sido clasificados como Regosoles en fase salino y/o sódico o como Solonchaks, atendiendo únicamente a su morfología o a la presencia de un horizonte sálico.

FOTOMICROGRAFIA DE BARRIDO



ESCALA 10: MICRAS
AUMENTOS: 2400X

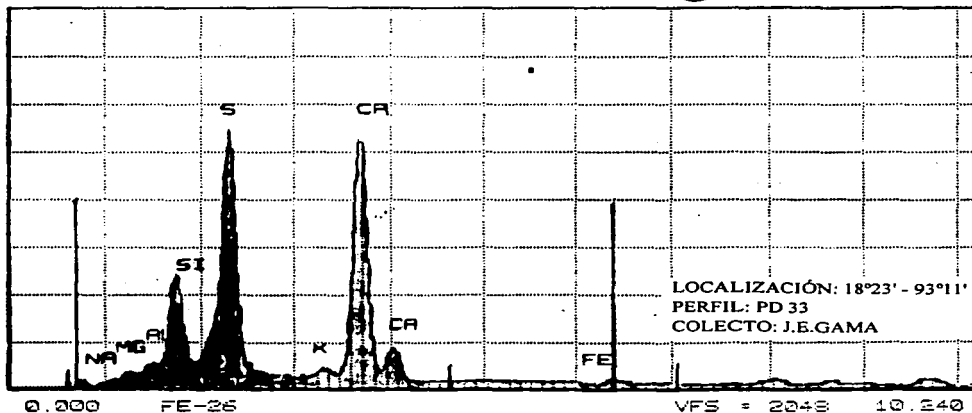
FIGURA 31.

OBSERVACIONES

INSTITUTO DE GEOLOGIA, U.N.A.M.
Cursor: 0.000keV = 0

MON 20-OCT-92 11:04

MUESTRA 09



PERFIL 6

CLASIFICACION PROPUESTA:
Leptosuelo ácido, distrófico

FAO-UNESCO 1988
Leptosol dístico

SOIL TAXONOMY 1990
Grupos líticos

LOCALIZACION:
Terán, Chiapas
TOPOGRAFIA:
Quebrada
DRENAJE:
Muy drenado

MATERIAL PARENTAL:
Lutitas-areniscas
CLIMA: Aw2
VEGETACION: Selva Baja caducifolia

EDAD: Cretácico
EDAFOCLIMA:
Údico
REGION: Valles y Montañas de Chiapas

III.J.1.6f.1. MORFOLOGIA DEL PERFIL 6

- Ai 0-18 cm** Horizonte ócrico de textura migajón limoso de color pardo oscuro (10YR2/2), estructura granular y en bloques subangulares, finos y moderadamente desarrollados, blandos, poco friables. Reacción ligera al HCl. Transición clara e irregular.
- Cw 18-27 cm** Capa de saprolita muy fragmentada, limosa, de color gris claro (5YR7/1 en húmedo) sin estructura, casi suelto y muy friable. Sin reacción al HCl.
- R. 27 cm** Roca: Lutitas-areniscas

ANALISIS FISICOS DE LA FRACCION < 2 mm

PROFUND. (cm)	HORIZONTE (A-B-C)	CLASES TEXTURALES Y DIAMETRO DE PARTICULA (mm)											
		TOTAL (t)		ARENA (s)				LIMO (s)		ARCILLA (s)		RELACION LIMO ARCILLA	
		ARENA	LIMO	ARCILLA	MUY GRUESA	GRUESA	MEOLA	FINA	MUY FINA	GRUESO	FINO		ARCILLA
		2.0-0.5	0.05-0.002	0.002	GRUESA 2-1	1-0.5	0.5-0.23	0.25-0.10	FINA 0.10-0.05	0.05-0.02	0.02	< 0.002	
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
0-18	A	22.6	61.4	16.0	0.6	1.5	1.1	6.0	14.4	24.7	35.7	16.0	3.83
18-27	Cw	10.0	70.0	20.0	0.1	0.5	0.8	2.6	6.4	27.6	41.9	20.0	3.50

DENSIDAD APARENTE (g/cc)	CONTENIDO DE AGUA (%)	HIERRO LIBRE (%)
0.33bar	0.33 - 15 bar	(%)
1.15	34.7	8.8
1.62	21.1	7.5
		1.6

ANALISIS QUIMICOS Y FISICOQUIMICOS DE LA FRACCION < 2 mm

HORIZONTE (A-B-C)	MATERIA ORGANICA (%)	CARBON ORGANICO (%)	NITROGENO (%)	C/N	sCl _a pH 1:1 Agua	BASES INTERCAMBIABLES mg/100g de suelo				SMA DE BASES S	ACIDEZ EXT. H	C.T.C.T. Tca (mcg)	RELACION S/Tca	S03 Ca/mg	S03 Ca+Mg K
						Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺						
A	2.5	14	0.347	41.39	5.1	6.2	1.5	0.1	0.6	8.4	14.7	22.5	37.33	4.13	12.8
Cw	0.50	0.03	—	—	4.7	0.7	1.2	0.1	0.2	2.2	10.0	12.2	18.03	—	—

ANALISIS TOTAL DEL SUELO

PROFUND. (cm)	HORIZONTE (A-B-C)	CONSTITUYENTES COMO OXIDOS											RELACION SiO ₂ Al ₂ O ₃	INDICE B		
		SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	FeO (%)	MnO (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)			P.P.I. (%)	TOTAL (%)
0-18	A	30.0	15.0	2.4	11.0	3.1	1.5	7.5	3.5	2.7	1.8	1.1	20.0	100.10	3.40	1.0
18-27	Cw	40.0	20.0	2.9	7.1	2.1	1.0	5.9	1.0	2.0	1.5	1.0	15.8	100.30	3.36	—

ANALISIS DE LA
FRACCION ARCILLA
7A2 D.R.X. SiO₂
R203

VR3, MII, KK10 9.5
MI= Mica
M13, VR2 KK10 5.3
KK= Caolinita

VR= Vermiculita

MI= Mica

KK= Caolinita

III.J.1.6f.2 CARACTERES DIAGNOSTICOS. Litosuelo rico en materia orgánica, de textura limosa que le confiere una erodabilidad potencial alta ($K = > 0.5$) así como riesgo a la compactación y al encostramiento. La materia orgánica atenua, considerablemente ambos riesgos. Los valores $S < 50\%$, $S/100 + S/\text{arcilla}$ e índice Bases/ Al_2O_3 , indican que se trata de un Leptosuelo muy lixiviado ($S = 8.4$) y acidificado ($H + 14.7$).

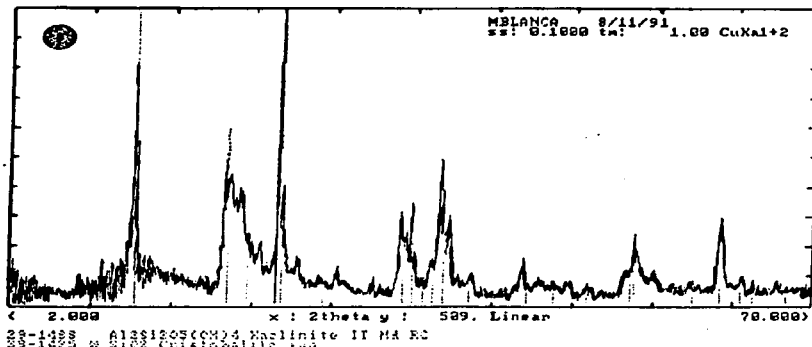
Los altos contenidos en materia orgánica que muestra, además de conferirle una densidad aparente baja y un contenido elevado de agua, han propiciado una concentración elevada de hierro en el perfil, por aporte de la hojarasca, más que por alteración de los minerales. La relación Fe_2O_3/FeO (1.4) indica una leve meteorización.

III.J.1.6f.3. EVOLUCION. Su desarrollo débil se debe, principalmente, a sucesivas etapas de erosión (Pendiente-deforestación) que han propiciado la formación de perfiles truncados y de pseudo perfiles (suelos-policíclicos). Actualmente el horizonte A que muestra este perfil, se formó a partir de un horizonte B decapitado, probablemente de un suelo fersialítico empardecido, por lo que la arcilla presente (Caolinita) es heredada (Figura 32).

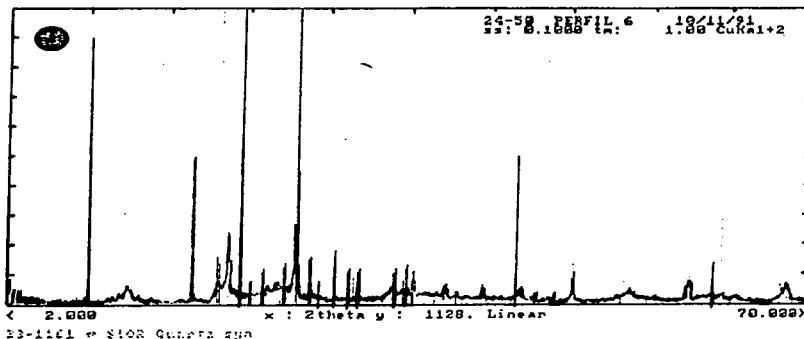
Por otra parte, de acuerdo con el valor B estimado (1) es posible afirmar que actualmente, no existe translocación de materiales dentro del perfil, por lo que no puede formarse un horizonte B. Las diferencias en el porcentaje de los componentes del suelo

entre A y C se deben fundamentalmente a la incorporación de materia orgánica, cuya relación C/N indica sólo una muy débil biodegradación de la materia orgánica.

FIGURA 32. DIFRACTOGRAMA DE LA FRACCIÓN FINA DE UN LEPTOSOL.



El difractograma muestra los picos característicos para la arcilla caolinita, la cual como se mencionó en el texto constituía parte del complejo de alteración de un horizonte B_t de un suelo ferralsítico. La erosión severa propició la formación de perfiles truncados y someros, que taxonómicamente corresponde, actualmente, con Leptosuelos.



El análisis de la fracción suelo, muestra una composición de alto intemperismo: Cuarzo, Caolinita y Oxidos. El origen de estos suelos es aún muy oscuro, pero es posible considerar que se trata de un estadio de evolución muy avanzada que, probablemente, se inició durante el Pleistoceno a partir de un suelo ferralsítico oxisol donde la intensa remoción del material fino dejó un residuo de partículas gruesas. Comúnmente, se le identifica como Arenosol (FAO-UNESCO, 1988).

PERFIL 7

CLASIFICACION**PROPUESTA:**

Suelo regolítico
residual, cámbico

LOCALIZACION: Río

Candelaria, Campeche

TOPOGRAFIA: Plana

DRENAJE: Excesivo

FAO-UNESCO

1988

Arenosol cámbico

MATERIAL

PARENTAL:
Roca cuarzifera

CLIMA: Aw2

VEGETACION:

De sabana

SOIL TAXONOMY

1990

Aquic Tropo-
sament.

EDAD: Pleis-
toceno

EDAFOCLIMA:

Udico

REGION: Planicie

costera del
Golfo de México

III.J.1.6g.1 MORFOLOGIA DEL PERFIL 7

- Ah 0-15 cm** Epipedon ócrico, arenoso, de color casi negro (10YR2/1 en húmedo), suelto con estructura de grano individual. Raíces finas muy abundantes pero escasas evidencias de mesofauna (edafotúbulos). Límite claro e irregular.
- Cw1 15-90 cm** Capa de color pardo amarillento, rico en arenas cuarcíferas, masivo y poco friable. Muestra moteado fino, irregular y disperso de color rojo, así como lamelas de acumulación de arcillas y ferrocitanés sobre algunos granos de cuarzo. Raíces finas y medias en cantidad moderada. Límite gradual e irregular.
- Cw2 90-210 cm** Capa de color pardo amarillento (5YR5/6 en húmedo) que con la profundidad gradua a pardo rojizo (5YR5/3 en húmedo) arenoso sin estructura; ligeramente consolidado. En este horizonte se incrementan los porcentajes de moteado y de lamelas de arcilla (caolinita). Límite claro e irregular.
- CR 210 cm** Capa arenosa, constituida casi en su totalidad por cuarzo. Sin evidencias diagnósticas.

ANALISIS FISICOS DEL PERFIL

PROFUND. (cm)	HORIZONTE	CLASES TEXTURALES Y DIAMETRO DE PARTICULAS (mm)										DENSIDAD APARENTE (g/cc) 0.33bar	CONTENIDO DE AGUA (%)			RELACION ARCILLA: (%)	HIERRO LIBRE (%)		
		TOTAL (1)		ARENA (1)		ARCILLA		FINA		GRUESA FINA			481c	481c	482				
	A-B-C	2.0 - 0.5 (mm)	0.05- 0.002 (mm)	0.002	GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA	GRUESO	FINO	0.002 (mm)	1/10 bar	0.33 bar	15bar	Tca	Hierro		
0-15	Ah	72.0	25.0	3.0	46.4	22.4	2.3	0.6	-	18.6	7.0	3.0	1.37	23.7	12.7	5.9	0.25	5.00	0.6
15-90	Cw1	72.8	25.7	1.5	52.6	18.4	1.6	0.2	0.3	20.1	5.6	1.5	1.51	15.6	7.0	3.0	0.17	3.75	0.4
90-210	Cw2	70.4	27.7	1.9	58.8	11.4	0.2	-	-	21.4	6.3	1.9	1.45	14.0	4.9	1.7	0.22	2.11	0.9
210	CR	69.1	30.4	0.5	55.7	11.9	0.4	0.1	-	24.1	6.3	0.5	1.49	16.7	6.3	2.4	--	--	0.4

ANALISIS QUIMICOS Y FISICOQUIMICOS DEL PERFIL

PROFUND. (cm)	HORIZONTE (A-B-C)	MATERIA ORGANICA (%)	CASEIN ORGANICO (%)	NITROGENO (%)	C/N	SOL. SCL pH 1:1		BASES INTERCAMBIABLES mg/100g de suelo				SMA DE BASES (meq)	C.I.C.T. Tca (meq)	SATURACION DE BASES S/Tca(meq)
						Arpa	KCl	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺			
0-15	Ah	2.5	1.42	0.122	12	6.9	5.6	6.20	2.10	1.0	0.90	10.20	12.0	68.00
15-90	Cw1	0.95	0.31	0.029	11	6.9	5.6	5.15	1.60	1.0	0.95	8.60	8.9	97.72
90-210	Cw2	--	--	--	--	6.8	5.5	4.90	1.75	1.0	0.70	8.35	8.4	99.40
210	CR	--	--	--	--	6.5	5.4	3.60	1.10	0.05	0.65	6.22	7.5	82.66

III.J.1.6g.2. CARACTERES DIAGNOSTICOS. Suelo de textura gruesa; ligera o nula consolidación, sin estructura pedológica, elevada permeabilidad (> 10cm/h) drenaje interno rápido y baja retención de agua que propician aridez fisiológica en las plantas. Estos suelos muestran pH casi neutro, un valor S > 50% y un valor S/100+S/arcilla > 0.25 que los ubica como eutróficos. El valor de Tca es bajo en el perfil, debido al escaso contenido de arcillas (0.5-3%) y a la naturaleza de estas (caolinitas) (Figura 33).

Sólo muestran un epipedon ócrico donde la relación C/N indica una buena humificación. No obstante que muestran algunas características de horizonte B cámbico como son principalmente el color, la presencia de lamelas de arcilla y ferrocitanes, no califican como de diagnóstico debido a requerimientos de textura y estructura. La presencia de hierro libre, se debe en su mayoría a los aportes vía lateral.

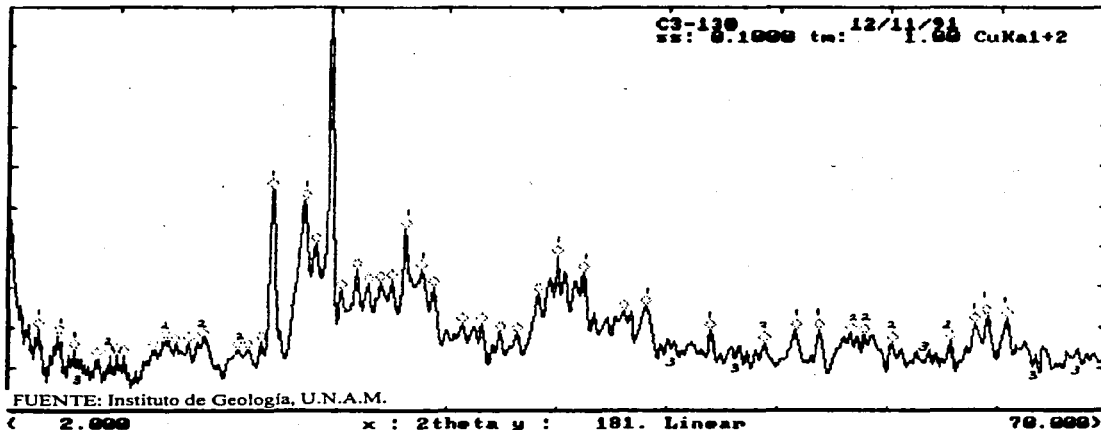
III.J.1.6g.3. EVOLUCION. La génesis y evolución de estos suelos es muy compleja, y aún poco conocida. Existen varias teorías para explicar su formación, las más importantes son:

1. Inicialmente, se trata de suelos altamente intemperizados (Ferralsol) constituidos por arcillas caolínicas y residuos resistentes (óxidos de Fe y de Al). estos suelos quedan sujetos a una erosión intensa que propicia la remoción del material fino dejando un residuo de partículas gruesas. Este fenómeno, hipotéticamente, se inicia durante el Pleistoceno.
2. Considera que estos suelos se han formado, como en el caso de este perfil, por

la meteorización intensa y progresiva de una roca rica en cuarzo, y por erosión o lixiviación diferenciales. Se consideran muy antiguos, y algunos autores le atribuyen una edad de formación durante el Período Terciario.

3. Estos suelos se han formado de sedimentos (Suelos de aporte) de textura gruesa, antiguos (Pleistoceno Tardío) como es el caso de los suelos de aporte aluvial, de aporte eólico y de aporte volcánico, ricos en materiales félsicos. Una vez estabilizados y consolidados los materiales, existen pruebas que indican que la lixiviación progresiva y la remoción de arcilla pueden conducir a la formación de suelos similares al descrito.
4. Con frecuencia, varios autores, incluyen la actividad de los termes como un factor formador de estos suelos. Cuando los nidos de los termes son abandonados se colapsan y luego, a través de la erosión diferencial hídrica y/o eólica, el material fino es transportado, dejando sólo la fracción gruesa.

FIGURA 33. DIFRACTOGRAMA DE LA FRACCION ARENA FINA

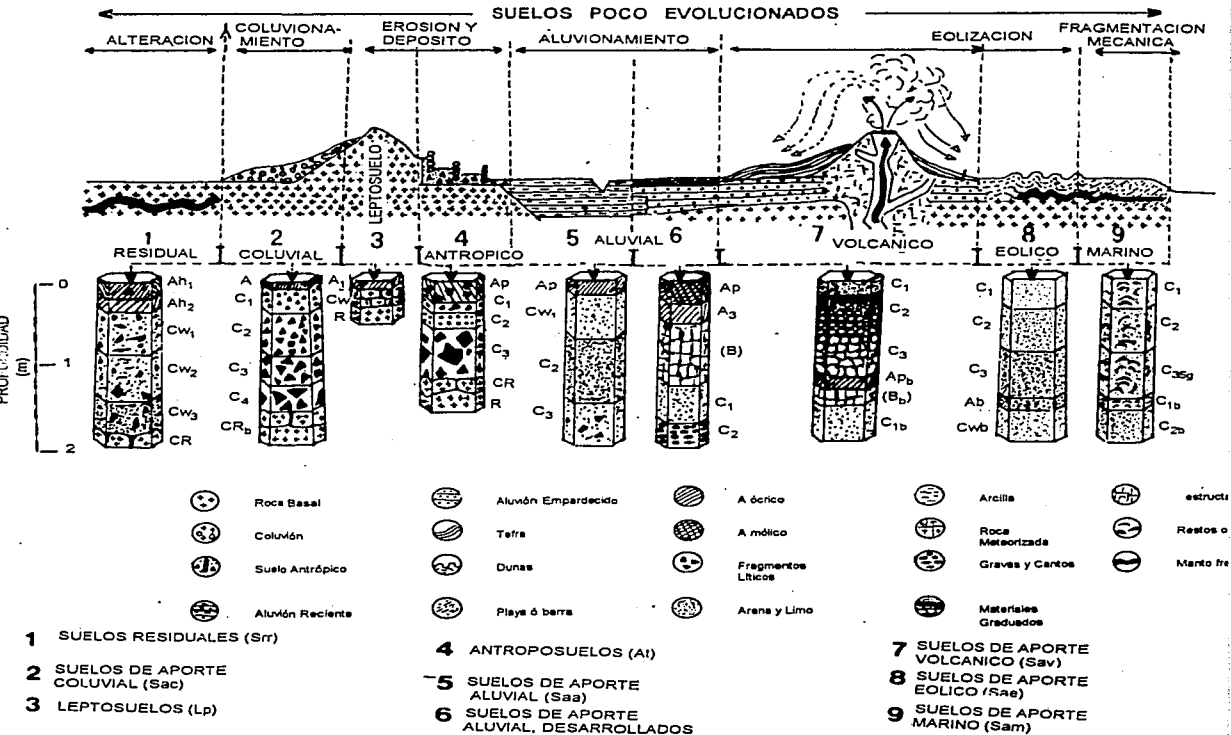


Análisis

(1) Cristobalita; (2) vidrio y (3) cuarzo

III.J.1.7. DISTRIBUCION DE LOS GRUPOS DE SUELOS

Con base en la discusión de los Grupos de suelos que constituyen esta Clase I, la figura 34, muestra la distribución de suelos, roca, vegetación y edafoclima a lo largo de un perfil topográfico idealizado. En él se aprecian las intergradaciones entre las diversas unidades.



III.J.2. CLASE II SUELOS ARCILLOSOS SIALITICOS NEUTRO-ALCALINOS: SUELOS CALCIMAGNESICOS

Comprende a los suelos esmeclíticos generados por la hidrólisis y la desilicatación, moderada a débil, de materiales calcáreos, cálcicos y rocas básicas, generalmente carbonatados.

Los suelos en su mayoría muestran un complejo de alteración constituido, mineralógicamente, por filitas 2:1, esmeclitas (bisialitización) y minerales secundarios, ricos en CaCO_3 , en ocasiones mezclados con caolinita, ilita y óxidos de hierro. (Suelos policíclicos). Las condiciones de formación de filitas y esmeclitas se limitan a los ambientes con un adecuado abastecimiento de iones alcalinotérreos (Ca^{++} - Mg^{++}) o hierro, que muestran un drenaje moderado o limitado y, que con excepción de algunos Subgrupos (Erosión, Coluvial, Antrópico), se localizan en pendientes muy suaves a ligeramente onduladas (< 1-12%) en ocasiones concavas. Los climas con un período de sequía estacional favorecen la pedogénesis de las unidades que integran esta Clase.

Los procesos de calcificación, carbonatación, descarbonatación y argiloedafoturbación, son diagnósticos de la tipogénesis de estos suelos, sin embargo la solonización, solodización, argilización y, la ferruginización por aportes, pueden también manifestarse. La presencia de suelos policíclicos, recarbonatados secundariamente, es frecuente.

Morfológicamente, los suelos pueden presentar perfiles A/C/Ck, A/C/Cg, A(B)C, A/Bk/C y, de modo menos común A (Bt)C.

Todas las unidades edáficas se caracterizan por un contenido elevado de arcillas (> 25%) de composición variable, pero con predominio de montmorillonita y vermiculita o de minerales interestratificados de vermiculita-esmeclita, ilita y clorita, (Figura 35) que le confieren a estos suelos una relación $\text{Tca}/100 + \text{Tca}/\text{arcilla} > 1.30$. Con excepción de los suelos lixiviados, los demás suelos muestran un valor de $S > 70\%$ y un valor $S/100 + S/\text{arcilla} > 1$, en la mayoría de los horizontes del solum, lo que les da un carácter diagnóstico de neutros y eutróficos, respectivamente. La relación $\text{SiO}_2/\text{bases}$ muestra siempre mayores porcentajes de bases que de SiO_2 . También es diagnóstico de esta Clase: los valores de $\text{pH} > 6$, la disminución de los contenidos de carbón orgánico con la profundidad, así como el incremento en los contenidos de arcilla. C.I.C.T., y en algunos Grupos, de CaCO_3 .

Estos suelos pueden mostrar epipedones Mo, Um, Oc y An y horizontes B estructurales (B) cámbicos (Bw) y cálcicos (Bk) rara vez argílicos (Bt), la presencia de horizontes E y de horizontes de Gley, son comunes en los Grupos que muestran deficiencias en su conductividad hidráulica o en su drenaje interno. Es permisible que muestren las siguientes propiedades diagnósticas: (a) vérticas; (b) calcáricas; (c) gleyicas y estanogley; (d) ferrosas; (e) sálicas y (f) sódicas, entre otras.

Taxonómicamente, los suelos de esta Clase pueden ser, artificialmente, ubicados en los Ordenes: Inceptisol, Entisol, Mollisol y Vertisol (Soil Taxonomy 1988), así como

en las Unidades de Rendzinas, Feozem, Cambisoles y Vertisoles de la FAO-UNESCO.

III.J.2.1. SUBCLASE II.1 SUELOS SIALITICOS.CARBONATADOS

La calcificación y la producción de humatos de calcio son los procesos diagnósticos. La calcificación incluye la eluviación de las sales solubles y de los carbonatos primarios, así como la eluviación de los carbonatos secundarios por precipitación de la solución. Estos suelos se desarrollan sobre materiales con $> 10\%$ de CaCO_3 .

En el Trópico Mexicano fueron determinados los siguientes Grupos:

III.J.2.1.1. GRUPO II.1.1 Rendzinas Negras Típicas (Rnt)

Suelos que muestran contenidos de arcilla en porcentajes > 25 , dominados en $> 65\%$ por montmorillonitas, así como contenidos de CaCO_3 $> 35\%$ en o debajo de un horizonte mólico, el cual generalmente muestra una estructura granular y/o subangular bien desarrollada, de consistencia ligeramente dura en seco y adhesiva y plástica, en húmedo. La relación S/Tca generalmente $> 70\%$, más de 2% de carbón orgánico, una relación C/N comprendida entre 9 y 12, un contraste fuerte en el contenido de agua a 15 bar entre los horizontes A y C, un $\text{pH} > 7$, y profundidad efectiva del solum > 50 cm, son características diagnósticas del Grupo.

III.J.2.1.1.1. SUBGRUPOS

- II.1.1.1 Rendzinas negras típicas, xéricas------(Rntx)
 II.1.1.2 Rendzinas negras típicas, ústicas------(Rntu)
 II.1.1.3 Rendzinas negras típicas, údicas------(Rnud)

OBSERVACIONES. Estos suelos fueron considerados, en los antiguos sistemas de clasificación como intrazonales, resultado de la meteorización de minerales ricos en carbonatos (Climax estacional) El Perfil 8 representa a este suelo.

III.J.2.1.2. GRUPO II.1.2 Rendzinas Pardas (Rnp)

Suelos con perfil A/C o A/R desarrollados sobre calizas blandas o sobre cretas muy ricas en CaCO_3 . Los altos contenidos de carbonato cálcico ($> 50\%$) bloquean la humificación, retardan la mineralización y enmascaran completamente la materia orgánica, además, generan un mull carbonatado en el que predominan compuestos poco transformados. El color pardo se debe, en parte, a la abundancia del hierro libre ($> 0.50\%$ en A y C). Estos suelos, generalmente son policíclicos, y gran parte del material que los constituye, es heredado (hierro-arcilla).

III.J.2.1.2.1. SUBGRUPOS: Fueron determinados los siguientes Subgrupos:

- II.1.2.1 Rendzinas pardas de erosión (Rnpe).** Generalmente, se forman en las pendientes, constituidas por materiales blandos muy carbonatados (Soft-powdery-lime) con frecuencia aportados por la erosión de las partes más altas (Empobrecimiento).
- II.1.2.2 Rendzinas pardas coluviales (Rnpc).** Comúnmente se forman sobre coluvios de piedemonte, enriquecidos en CaCO_3 por fenómenos de aporte lateral, (de modo casi constante), lo que atenúa significativamente la descarbonatación e impide la formación significativa, de residuos silicatados después de la disolución superficial de los carbonatos. Estos suelos generalmente son ricos en materia orgánica (>7%), porosos (>60%) con estructura poliédrica, raramente, granular, y muestran un esqueleto constituido por piedras y gravas angulares.
- II.1.2.3 Rendzinas pardas antrópicas (Rnpa).** Son suelos formados por el hombre, al inducir mecánicamente a través del laboreo, subsoleo, fertilización y quema de la vegetación una recarbonatación secundaria. Con frecuencia este tipo de rendzinas evoluciona hacia una rendzina empardecida (A_v)-(B)-C.
- II.1.2.4 Pararendzinas (PRn).** Son suelos rendzinoides formados sobre materiales dolomíticos o yesíferos, en este último caso, la disolución del sulfato cálcico propicia una fuerte acumulación de Ca^{++} en el horizonte A1. En los suelos derivados de dolomitas o de calizas que contienen cuarzo y otros silicatos, la evolución hacia el empardecimiento (Formación de (B)) es rápida. Estos suelos se caracterizan por mostrar un moder ácido, consistencia y textura arenosa, y por la carencia de una estructura granular. Su relación Limo/Arcilla > 1.

III.J.2.1.3. GRUPO II.1.3 Rendzinas Rojas Ferrocarbonatadas (Rnf)

Estos suelos, muestran un proceso evolutivo muy complejo, y existen al menos tres unidades edáficas, genética y taxonómicamente, muy diferentes entre sí, que comúnmente se designan como Rendzinas rojas, las cuales son:

III.J.2.1.3.1. SUBGRUPOS:

- 1. Rendzinas pardas, enriquecidas por aportes laterales de hierro.** En este caso, el suelo no ha experimentado rubificación o empardecimiento, por lo cual queda taxonómicamente incluido dentro de los suelos calcimagnésicos (Clase II).

2. **Suelos derivados de calizas ricas en impurezas silicatadas, las cuales han sufrido, inicialmente una descarbonatación.** Los suelos generados tienden evolutivamente a la fersialitización y a la rubificación (Terra rosa). Esta etapa al ser interrumpida por una recarbonatación secundaria, generada por coluviamento o remoción mecánica da origen a suelos policíclicos de color rojo, intergradados entre los suelos calcimagnésicos y los suelos empardecidos.
3. **Suelos ricos en arcillas de descarbonatación (Tierra fusca) que al ser removidas por la erosión se depositan sobre suelos fersialíticos.** La recarbonatación por erosión y mezcla de materiales calizos en estas arcillas, así como los aportes laterales de hierro, además de rejuvenecer al suelo fersialítico, generan la formación de pseudoperfiles con apariencia rendzinoide de color rojo. (Suelos policíclicos rejuvenecidos, con pseudoperfil).

OBSERVACIONES:

- Los perfiles 8, 9 y 10 son representativos de las Rendzinas negras, pardas y rojas, respectivamente.

III.J.2.2. SUBCLASE II.2 SUELOS SIALITICOS DESCARBONATADOS EMPARDECIDOS.

Constituida por suelos poco húmiferos con un horizonte (B) desarrollado, transicional con los suelos empardecidos; diferenciándose de ellos por la presencia de una cantidad aún importante de caliza activa. Estos suelos son más ricos en arcillas silicatadas que las Rendzinas, pero no tienen ya la posibilidad de formar complejos humo-calizos. El perfil es de tipo A(B)C. La descarbonatación en estos suelos depende del drenaje climático, la acidificación no se inicia hasta que la descarbonatación del suelo sea total.

III.J.2.2.1. GRUPO II.2.1 Suelos Sialíticos Empardecidos Calcáricos (Ssec).

Suelos que presentan horizonte Oc, ocasionalmente Um y rara vez Mo, y un horizonte (B) cámbico. El epipedón está generalmente desprovisto de CaCO_3 activo y tiende a formar un mull eutrófico, en tanto que el horizonte (B) efervescer, fuertemente, con HCl al 10%, conteniendo en su fracción fina > 2% de CaCO_3 equivalente. En los suelos con rubificación incipiente, muestran un matiz de 7.5YR en (B) y carecen de propiedades vérticas o gleyicas dentro de los primeros 100 cm de profundidad.

III.J.2.2.2 GRUPO II.2.2 Suelos Sialíticos Empardecidos Cálcicos (Ssek).

Suelos con horizonte Oc y Um, además de un horizonte (b) cámbico con estructura poliédrica, que no reacciona al HCl. La presencia de CaCO_3 en la fracción

fin sólo se observa en la base del (B) o acumulado en el horizonte Cw. Este suelo puede ser monocíclico; si se formó por la decarbonatión de una caliza (caliza margosa o marga) o tener un origen policíclico si se formó por la recarbonatión secundaria de un paleosuelo silicatado de tipo "terra fusca". De forma similar al Grupo II.2.1 muestra un valor $S > 50\%$ y una relación $Tca/100 + Tca/arcilla > 0.25$.

III.J.2.2.3 GRUPO II.2.3 Suelos Sialíticos Empardecidos Acidificados (Ssea)

Suelos con perfil AC-(b) o Um-(b) desarrollados sobre calizas, antiguos, con menos de 2% de $CaCO_3$. La decarbonatión y desaturación del complejo, se propicia por el efecto de la lluvia rica en CO_2 y NO_3 en disolución, así como por el efecto del drenaje climático anual (P-ETP) - 100). Los valores de S determinados por NH_4OAc son menores a porcentajes de 50, en alguno o varios de los horizontes, y muestran valores de $pH < 6.0$.

III.J.2.2.4. GRUPO II.2.4. Suelos Sialíticos Empardecidos Vérticos (Ssev).

Suelos con horizonte Ao y (B) con colores que varían del pardo oscuro al pardo rojizo. Muestran contenidos elevados de arcillas expandibles (>40%), principalmente, montmorilloníticas que les confieren propiedades vérticas. Los valores de Tca, generalmente, > 25 meq/100g de suelo y > 60 meq/100g de arcilla, el valor de $S > 80\%$, con relaciones $Ca^{++}/Mg < 4$. La relación Fe libre/Fe, total generalmente < 50%, aunque puede mostrar contenidos altos de Fe libre. A diferencia de los Vertisoles, muestra poca acumulación de materia orgánica, siendo los óxidos de Fe y no el humus, los que le transmiten el color. La presencia de caolinita es común en este Grupo.

OBSERVACIONES:

- El perfil 11 ejemplifica a la Subclase II.2 y representa a un suelo empardecido cálcico.
- Los suelos del Grupo Ssev, con frecuencia han sido denominados como Vertisoles, Cambisoles vérticos. Suelos pardo eutrófico vérticos, suelos fersialíticos vérticos, e incluso Gleysols vérticos cuando presentan un horizonte de gley. En este estudio se consideran como suelos decarbonatados, empardecidos (B) intergradados entre Vertisoles y suelos Fersialíticos.

III.J.2.3. SUBCLASE II.3 SUELOS MONTMORILLONITICOS SLITICOS (Smal). VERTISOLES.

Son suelos minerales que han sido fuertemente afectados por la argiloedafoturbación provocada por la contracción y expansión de las arcillas (esmectitas). Este fenómeno requiere para manifestarse, de períodos alternos de sequía y humectación del suelo, en presencia de > 30% de arcilla, típicamente,

montmorilonita. Si no está irrigado muestra grietas > 1 cm de ancho con una profundidad promedio de 50 cm, la mayoría de los años, durante la estación seca. Este agrietamiento propicia un traslado periódico de la masa del suelo y de la materia orgánica en todo el perfil.

Estos suelos a pesar de ser oscuros muestran contenidos bajos de carbón orgánico, a menudo de 1 a 2 %. En general el humus se compone, principalmente, de ácidos húmicos y, secundariamente, de huminas. Estos suelos poseen una composición mecánica pesada y un drenaje deficiente. Su relación $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ oscila entre 5 y 10, reacción alcalina (pH 7.5 - 8.5) en todo el perfil, valores de S, con excepción de los suelos lixiviados, mayores de 90%, una relación Tca/arcilla > 1, los valores de Tca, generalmente, oscilan de 25 a 60 meq/100g de suelo. En las bases intercambiables predomina el calcio y el magnesio.

Los grupos típicos y vérticos muestran un perfil A-C o A-Ck-C, sin embargo, en muchos de los Vertisoles estudiados en el trópico, se presentaron horizontes E, (B), B_k y con poca frecuencia Bt, que siempre subyacian a los horizontes de expansión-contracción. Estos horizontes de eluviación-iluviación, normalmente se forman en las porciones del perfil con menor contenido de arcillas y mayor humedad edáfica. La presencia de horizontes gley también es común (Bg o Cg).

III.J.2.3.1. GRUPO II.3.1. Vertisoles Típicos (Vrt)

Suelos profundos (>80 cm) que no muestran un contacto lítico o paralítico, dentro de los primeros 70 cm de profundidad. Muestran contenidos de arcilla > 30%, al menos en los primeros 50 cm. En algún período del año muestran autoinversión debido al agrietamiento. La presencia de facetas de presión-fricción, así como de agregados que rompen en un ángulo de 30° (Forma de cuña), pseudoestructura y, ocasionalmente, gilgai son caracteres diagnósticos de este Grupo.

III.J.2.3.1.1. SUBGRUPOS. Se distinguen los siguientes:

- II.3.1.1 Vertisoles típicos pélicos----- (Vrtp)
- II.3.1.2 Vertisoles típicos crómicos----- (Vrtc)
- II.3.1.3 Vertisoles típicos calcáricos (Reacción fuerte al HCl (19%))----- (Vrca)
- II.3.1.4 Vertisoles típicos gipsicos (Presencia de Cristales de SO_4Ca).----- (Vrgy)
- II.3.1.5 Vertisoles típicos sódicos (> 15 % de Na^+) ----- (Vrtn)
- II.3.1.6 Vertisoles típicos salinos (> 15dSm1)----- (Vrts)

III.J.2.3.2. GRUPO II.3.2 Vertisoles Cámbicos (VrC).

Suelos monocíclicos que muestran en el perfil, dentro de los primeros 50 cm, los caracteres diagnósticos de un Vertisol y después de este límite, presentan un horizonte (B) cámbico, constituido por arcillas 2:1 que le confieren un valor Tca (NH_4OAc) de más de 16 cmol (+) kg^{-1} de arcilla y/o un contenido de minerales intemperizables > 10%,

mostrando además las siguientes evidencias de alteración: (a) estructura; (b) cromas más rojizas que los de los horizontes infra y suprayacentes; (c) cambios en los contenidos de arcilla, hierro libre y carbonatos; (d) decremento regular en los contenidos de carbón orgánico; (e) ausencia de cementación y (f) espesor mayor de 25 cm. El contacto con el horizonte C, generalmente es gradual e irregular.

III.J.2.3.2,1 SUBGRUPOS: Sólo fueron identificados dos:

- II.3.2.1 Vertisoles cámbicos pélicos -----(VrCp)
 II.3.2.2 Vertisoles cámbicos crómicos -----(VrCc)

III.J.2.3.3. GRUPO II.3.3 Vertisoles Cálcicos (VrK)

Suelos monocíclicos que muestran, dentro de los primeros 50 cm, características de Vertisol y, después de este límite, un horizonte Bk; rico en minerales secundarios carbonatados que han sido iluviados por procesos de calcificación. El horizonte cálcico en estos suelos, está representado por sus contenidos en $\text{CaCO}_3 > 15\%$ mostrando, al menos 5% de CaCO_3 más que el horizonte C. Ocasionalmente se presenta un horizonte similar a un petrocálcico. Este horizonte no se rompe en contacto con el agua.

III.J.2.3.3.1. SUBGRUPOS: Fueron identificados tres:

- II.3.3.1 Vertisoles cálcicos pélicos -----(VrKp)
 II.3.3.2 Vertisoles cálcicos gleyicos (Horizonte de gley que subyace al horizonte Bk)
 -----(Vrkg)
 II.3.3.2 Vertisoles cálcicos salinos ($> 15\text{dSm}^{-1}$ a 25°C)----- (Vrks)

III.J.2.3.4. GRUPO II.3.4 Vertisoles Ferruginosos Lixiviados (Vrfl).

Suelos que muestran características de Vertisol, con pH ácido (< 6.3), complejo absorbente parcialmente desaturado ($< 60\%$), con contenidos de arcillas que muestran empobrecimiento en la superficie, sin reacción al HCl. La matrix-S muestra colores pardos y rojos (7.5YR-5Y), rico en hierro libre, el cual en su mayoría recibe por drenaje lateral, lo que propicia, algunas veces, la formación de horizontes E. En estos suelos predominan las fisuras sobre las grietas y las facetas de presión-fricción son menos evidentes. La presencia de beidelitas ferríferas es frecuente (Figura 35).

III.J.2.3.5 GRUPO II.3.5 Vertisoles Argilizados (Vra).

Comprende a los Vertisoles que muestran, después de los primeros 50 cm de

profundidad, algunos revestimientos de arcilla iluvial, finos, delgados y discontinuos sobre los pedo, edafotúbulos y granos minerales, así como en las paredes de las grietas y fisuras. Con frecuencia, debido al carácter dinámico de los horizontes (expansión-contracción) la integración de los revestimientos arcillosos (argilanes) a la masa del suelo es progresiva. Este Grupo se presenta, más comúnmente en los Vertisoles que tienen riego y en los Vertisoles que se inundan, periódicamente, con aguas ricas en sodio.

III.J.2.3.5.1 SUBGRUPOS: Están representados por los siguientes:

- II.3.5.1 Vertisoles argilizados pélicos----- (Vrap)
 II.3.5.2 Vertisoles argilizados ferruginosos----- (Vraf)
 II.3.5.3 Vertisoles argilizados salino-sódicos
 (> 15dSm⁻¹ a 25°C y > 15% de Na⁺)----- (Vrsn)

III.J.2.3.6. GRUPO II.3.6. Vertisoles con Gley (Vrg).

Vertisoles típicos que muestran después de los primeros 50 cm de profundidad, características de hidromorfismo y de anaerobiosis, propiciadas por la presencia de un horizonte de gley permanente o estacionario (estanogley). Además de presentar los mismos subgrupos que los Vertisoles típicos (Vrt) incluyen al subgrupo Tiónico.

OBSERVACION:

El perfil 12 es representativo de la Subclase II.3

III.J.2.4. SUBCLASE II.4. SUELOS VERTICOS.

Integra a muy diversas unidades edáficas que no sólo muestran caracteres vérticos, si no que algunas de ellas presentan, o han presentado, procesos reales de vertisolización (Paravertisoles). En esta Subclase se incluyen tanto las formas de intergrados genéticos como las formas que han sido degradadas, por causas naturales o inducidas. Los principales criterios para diferenciar los Grupos Vérticos de los Vertisoles, aún son poco adecuados, y se basan en los siguientes criterios:

1. **Color.** Expresa el grado de evolución de la materia orgánica. Los Vertisoles muestran colores oscuros, generalmente de 10YR 3/3 en seco (o menores) y de 10YR1/1 en húmedo (o menores) incluyendo a los suelos pardos, ocreos y rojizos (Vertisol crómico?).
2. **Condiciones edafoclimáticas y de drenaje.** Los Vertisoles muestran variaciones claras en ambos conceptos, es decir; su génesis requiere la presencia de un período seco, bien definido que facilite la maduración de la materia orgánica y de un drenaje muy deficiente que impida pérdidas significativas de sílice y aluminio.

3. **Fracción fina (<0.002 mm).** Se basa en la naturaleza mineralógica de las arcillas. Se estima que en los verdaderos Vertisoles predominan, ampliamente, las arcillas de la familia de las montmorillonitas, en tanto que en los suelos vérticos, el contenido de interstratificados amorfos protohaloísíticos, ilitas e incluso de caolinita puede estar presente en una proporción significativa.
4. **Haploidización y horizontalización del perfil.** Aún en los Vertisoles evolucionados (hierro libre/hierro total = <50%) las variaciones en la granulometría, contenido de materia orgánica y capacidad de intercambio (Tca) con la profundidad, no son tan evidentes como en los suelos vérticos, donde la horizontalización se sobrepone a la autoinversión.
5. **Índices de estructura.** En el período seco, la anchura de las grietas, así como la presencia de facetas de presión-fricción son menos evidentes en los intergradados vérticos.

OBSERVACION:

Los suelos vérticos, sujetos a inundaciones estacionales o que presentan gley o pseudogley, atenuan fácilmente el carácter vértico, debido, en parte, el exceso de humedad en el perfil y, debido, también, a la influencia de la hidromorfía y la acidificación. En estas condiciones las montmorillonitas ferríferas se alteran, liberando sílice y hierro, los caracteres vérticos del perfil se atenúan, del mismo modo que la expansión de la arcilla. El índice de alteración aumenta al mismo tiempo que se acentúa el color (rojizo) del perfil. El suelo vértico evoluciona hacia un suelo fersialítico o ferruginoso, dependiendo del edafoclima.

III.J.2.4.1 GRUPO II.4.1 Suelos con Propiedades Vérticas (Spv)

Debido a la heterogeneidad que muestran los suelos vérticos, y a la falta de investigación sobre su posición taxonómica, se propone el uso del esquema de Filipovoki y Ciric (1969), basado en la ecología del Trópico:

III.J.2.4.1.1. SUBGRUPOS: Se proponen los siguientes:

- II.4.1.1 Suelo pardo calizo vértico -----(Supk)
- II.4.1.2 Suelos marrón y fersialíticos vérticos -----(Sumf)
- II.4.1.3 Brunisemvértico----- (SvB)

III.J.2.4.2. GRUPO II.4.2 Suelos con Grado de Alteración Elevado (Sva).

III.J.2.4.3. GRUPO II.4.3 Suelos Vérticos Degradados por Acidificación o Hidromorfía (Svph).

III.J.2.4.3.1. SUBGRUPOS: Presenta los siguientes:

II.4.3.1 Suelos vérticos ferruginizados -----	(Svf)
II.4.3.2 Suelos vérticos con gley -----	(Sv _g)
II.4.3.3 Suelos vérticos con pseudogley -----	Sv _{sg})

OBSERVACIONES:

1. El Subgrupo II.4.1.1. corresponde, probablemente, con los Vertic-
entochrept de Soil Taxonomy 1990. Se caracterizan por una evolución débil,
hidromorfía moderada y débil segregación de hierro. Perfil Típico:
A/(B)/(Bg)/(C).
2. El Subgrupo II.4.1.2 corresponde, aproximadamente, con los Vertic-
calciustolls. Su evolución está condicionada por una acumulación rápida
y masiva de carbonatos (aportes y por las condiciones de estación:
geoforma y drenaje deficiente). Generalmente muestra un horizonte A
descarbonatado y un Bk donde el contenido de CaCO₃ aumenta muy
rápidamente con la profundidad. Se considera como un suelo transicional entre
las zonas subtropical y la xérica o ústica templada.
3. El Subgrupo II.4.1.3 comprende Molisoles caracterizados por el
predominio de arcillas 2:1, abundancia de Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ en el complejo
absorbente y fuerte humificación. Se constituyen bajo condiciones del trópico
xérico. Su perfil incluye la presencia de un horizonte Bt bien desarrollado.
4. El Grupo II.4.2 incluye suelos muy evolucionados, que sufren, por aportes
un abastecimiento secundario de iones alcalino térreos o de hierro. Las
condiciones de drenaje limitado y pendiente muy suave, propician que algunos
suelos formen montmorillonitas y, consecuentemente, la aparición de
caracteres vérticos.
5. El Grupo II.4.3 incluye en su mayoría a los suelos que muestran agua
freática cerca de la superficie por largos períodos (estacional) en
condiciones de un edafo-régimen hipertérmico. Fueron llamados "Low-
Humic Gley" y "Humic Gley Soil" en 1938 y 1949 por el USDA-SCS-Soil
Taxonomy. El perfil 13 caracteriza al Subgrupo II.4.3.2.

III.J.2. CLASE II. SUELOS ARCILLOSOS SIALITICOS NEUTRO ALCALINOS

PERFIL 8

<p>CLASIFICACION PROPUESTA: Rendzina Negra Típica</p>	<p>FAO-UNESCO 1988 Rendzina</p>	<p>SOIL TAXONOMY Typic Rendoll</p>
<p>LOCALIZACION: Tekax, Yuc.</p>	<p>MATERIAL PARENTAL: Caliza</p>	<p>EDAD: Pleis- tocenica</p>
<p>TOPOGRAFIA: Ondulada</p>	<p>CLIMA: (Awo)</p>	<p>EDAFOCCLIMA: Udico</p>
<p>DRENAJE: Lento</p>	<p>VEGETACION: Pastizal</p>	<p>REGION: P. de Yucatán</p>

III.J.2.1a.1. MORFOLOGIA DEL PERFIL 8

- A11 0-32 cm** Arcilla de color negro, en seco y en húmedo (10YR3/1), estructura granular bien desarrollada, de tamaño medio y fino; ligeramente dura, plástica y adhesiva, bien aireado, con poros tubulares pequeños y edafotúbulos abundantes. Raíces finas herbáceas y medias arbustivas muy abundantes (> 50 dm²). Presencia de polvo calcáreo en cantidad moderada, que le confiere al horizonte una reacción fuerte al HCl. Presencia de gravas calcáreas, finas en porcentajes de 5±. Límite gradual e irregular.
- A12 33-47 cm** Arcilla de color pardo grisáceo oscuro (10YR4/2) estructura moderada de bloques subangulares gruesos, dura, adhesiva y plástica, concreciones de CaCO₃, escasas, gravoso (>4%), raíces finas abundantes; reacción fuerte al HCl. Límite claro e irregular.
- Ck 47-65 cm** Roca meteorizada o saprolítica, con gravas calcáreas, en cantidad abundante. Este horizonte muestra, además, una marcada acumulación de CaCO₃ (> 40%), especialmente en la parte superior del horizonte. Se trata de una caliza muy alterada y, actualmente, muy suelta, con un abigarramiento de colores: blancos, pardos amarillentos, pardos y grises claros.
- R 65 cm** Caliza del Cretácico, pobre en residuos silicatados.

ANALISIS FISICOS EN LA FRACCION DE SUELO TOTAL

PROFUND. (cm)	HORIZONTE (A-B-C)	GRANOS DE SUELO Y FRACCIONES DE SUELO (mm)								INDICE DE ESTABILIDAD ESTRUCTURAL L-R A	VALOR K	H2O CONTENIDO ES AGUA (%) 0.3 bar	4D1 COLE (mm)	SISTEMAS APARENTES FRACCION 2 mm g/cc
		PIEDRAS GRUESAS < 2mm	GRANOS SUELO < 2mm	ARENA 2-0.05 (mm)	LIMO 0.05-0.002 (mm)	ARCILLA < 0.002 (mm)	RELACION LIMO ARCILLA							
0-33	A11	-	1.9	1.1	97.0	21.0	16.0	63.0	0.25	3.76	0.10	15.60	0.03	1.10
33-47	A12	-	4.1	1.1	94.8	20.0	15.0	65.0	0.23	4.60	0.15	10.60	0.04	1.25
47-65	Ck	25.0	3.3	0.5	71.2	32.0	29.0	39.0	0.74	2.12	0.12	5.05	0.01	1.60

ANALISIS QUIMICOS Y FISICOQUIMICOS DE LA FRACCION > 2 mm

MATERIA ORGANICA (%)	CARBONO ORGANICO (%)	NITROGENO (%)	C/N	FOSFORO Total (%)	CE1 D Truoc (%)	CE1 D CaCO3 (%)	SC1 B pH 1:1 (H2O)	MATERIAL Soluble (%)	COMBUSTION (%)	BASES INTERCAMBIABLES meq/100g de suelo				RELACION Ca++ Mg++ Na+ K+	C.I.C. Tca (meq)
5.25	3.70	0.32	11.56	2.60	24	43.25	7.9	3.8	12.3	35.0	15.0	0.40	0.70	2.33	57.00
2.60	1.12	0.09	12.4	2.10	21	43.10	8.0	7.2	8.5	29.0	15.0	0.65	0.75	2.60	56.00
0.50	-	-	-	7.80	-	65.60	8.3	12.3	3.0	35.0	8.0	1.10	0.90	4.37	46.00

ANALISIS TOTAL DEL SUELO

ANALISIS QUIMICO POR FUSION : FRACCION < 2 mm										
SiO2 (%)	TiO2 (%)	Al2O3 (%)	Fe2O3 (%)	Mn2O4 (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na2O (%)	K2O (%)	P2O5 (%)	P.P.I (%)
39.1	1.2	22.1	6.4	0.14	27.1	3.1	0.46	0.89	0.09	11.9
39.6	1.2	19.9	5.9	0.14	27.4	3.2	0.42	0.81	0.07	11.7
34.4	1.0	20.9	6.7	0.16	28.6	4.8	0.56	0.80	0.10	12.2

ANALISIS QUIMICO POR FUSION : FRACCION < 0.002 mm										
SiO2 (%)	TiO2 (%)	Al2O3 (%)	Fe2O3 (%)	CaO (%)	MgO (%)	K2O (%)	Na2O (%)	P.P.I (%)	SiO2 Al2O3 (%)	SiO2 R2O2 (%)
42.8	2.0	21.2	13.1	5.6	0.1	3.4	0.4	13.0	3.43	2.4
41.6	2.6	21.5	13.6	5.5	0.8	3.3	0.5	12.3	3.28	2.3
42.8	1.1	20.6	12.9	5.7	1.0	3.0	0.5	12.0	3.53	2.5

COMPOSICION QUIMICA DE LA ROCA CALIZA

PROFUNDIDAD (cm)	HORIZONTE ROCA PARENTAL	ANALISIS QUIMICO POR FUSION																
		SiO2 (%)	TiO2 (%)	Al2O3 (%)	Fe2O3 (%)	FeO (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na2O (%)	K2O (%)	H2O+ (%)	H2O- (%)	P2O5 (%)	CO2 (%)	SO3 (%)	S (%)	P.P.I (%)
65	R	6.41	0.14	2.55	0.70	1.20	0.15	2.70	45.44	0.15	0.25	0.38	0.30	0.16	39.27	0.02	0.30	0.04

III.J.2.1a.2. CARACTERES DIAGNOSTICOS. Suelo arcilloso, bien estructurado, representado por un horizonte mólico (Mo) bien desarrollado y horizonte C cálcico (Ck) constituido por fragmentos gruesos (> 7.5 cm) que tienen 35 por ciento o más de CaCO₂ equivalente, a un valor de COLE inferior a 0.09 y una extensibilidad linear menor de 6 cm que lo diferencia de los Vertisoles y de los suelos vérticos.

Los contenidos elevados de arcilla, así como los valores de Van Wambeke (Limo/arcilla) en los horizontes del *solum*, muestran una alta transformación de los minerales silicatados. El hierro libre como producto de la alteración y de la descarbonatación se concentra en el horizonte A11 (1.5%), desciende en A12 (0.7%) y disminuye rápidamente en el horizonte C (0.01%). Gran parte del hierro acumulado en A11, es aportado por la hojarasca (ciclo biogeoquímico). Los valores de estabilidad estructural, erodabilidad (Valor K) humedad, densidad aparente y porosidad resultan óptimos desde el punto de vista de conservación, y son el resultado de los contenidos de materia orgánica bien incorporada, por actividad biológica, al material calizo. La presencia de calcio en el complejo absorbente (61-76%) permite la formación de materia orgánica muy resistente a la mineralización. La alta capacidad de intercambio (Tca) se debe al alto contenido de materia orgánica y al tipo de arcilla (Montmorillonita). Las valencias disponibles están ocupadas, además del Ca^{++} , por los iones Mg^{++} y K^{+} .

La relación C/N muestra una buena humificación de la materia orgánica y una buena actividad microbiana, en tanto que los valores de fósforo total indican una fuerte fijación de este elemento por vía iónica (fosfatos de Ca^{++}) resultado de una retrogradación apatítica; provocada por la abundancia de caliza en estado activo (CaCO_3) y facilitada por la alcalinidad del pH (7.9-8.3) Los humatos alcalinos presentes en el horizonte A, dispersan los fosfatos cálcicos y favorecen el paso del anión en solución.

Los análisis por fusión muestran, tanto en la fracción del suelo como en la fracción fina, altos contenidos de CaO heredados del material parental. Los contenidos de SiO_2 , Al_2O_3 y de Fe_2O_3 en la fracción fina, son típicos para arcillas montmorilloníticas, de igual modo que su relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (< 3.55). En todos los horizontes la relación SiO_2 /bases muestra mayor contenido de bases que de sílice, lo cual es un requisito diagnóstico para los suelos de esta Subclase.

III.J.2.1a.3. MICROMORFOLOGIA: El humus formado en el suelo es de tipo mull.

El examen al microscopio demostró las siguientes estructuras biológicas: (a) células solitarias: fragmentos de hifas y esporas; (b) colonias miniatura: constituidas por 10 a 15 células de actinomicetos. Sus filamentos actúan agregando a las partículas del suelo; (c) colonias lineares: constituidas por bacterias, principalmente, *Mycobacterium*; (d) microestructuras de origen vegetal: células vegetales; granos de polen, residuos de membranas y restos de raíces, y (e) microestructuras de origen orgánico: agregados coprogénicos, pleuras de artrópodos, porciones corneales; restos de antenas de lepidópteros; restos de alas de himenópteros; aparatos masticadores; restos de pieles de lombrices; conchas de rotíferos, así como fragmentos de pelo y de plumas muy corroídos.

III.J.2.1a.4. GENESIS Y EVOLUCION: La calcificación, soluviamiento y remoción de los carbonatos, así como el mezclado de los residuos con la materia orgánica, especialmente, de las raíces de gramíneas, son junto con el fitobiociclaje, la edafoperturbación faunal y la iluviación-eluviación, los principales procesos formadores de estos suelos y de sus características estructurales (granular) tan particulares. Inicialmente, la acumulación de materia orgánica y la formación de humatos de Ca^{++} es predominante. El color oscuro que los caracteriza es resultado de la relación humus-calcio. En los suelos de esta subclase, cuando el residuo silicatado es grande (Calizas arenosas) o

cuando este se acumula, significativamente, puede propiciarse la formación de un (B) cámbico, especialmente si se genera descalcificación. La evolución, en estos casos, tiende hacia el empardecimiento, y los suelos que se forman son similares a los que se desarrollan a partir de rocas ígneas de grano fino. (Ochrepts).

OBSERVACION: Muchas Rendzinas se han formado, inicialmente, bajo condiciones de bosque o selva tropical, la cual ha desaparecido por la invasión de los pastizales, principalmente de los inducidos.

PERFILES 9 Y 10

CLASIFICACION PROPUESTA:
Para-rendzina Parda
y Para-rendzina Roja

FAO-UNESCO 1988

SOIL TAXONOMY 1990

Lithic Eutrochrept

LOCALIZACION:
Muna, Yuc.
TOPOGRAFIA:
Ondulada
DRENAJE:
Lento

MATERIAL PARENTAL: Dolomía
CLIMA: Awl
VEGETACION:
Selva baja

EDAD: Holoceno

EDAFOCLIMA:

Udico

REGION:

P. de Yucatán

III.J.2.1b.1. MORFOLOGIA DEL PERFIL 9

A 0-15 cm

Migajón areno limoso, de color gris pardo oscuro (7.5YR5/0) estructura grumosa fina moderadamente desarrollada; ligeramente dura en seco y friable en húmedo, ligeramente adhesiva y no plástica. Poroso, bien aireado. Muestra pequeñas gravas subredondeadas de caliza (Aportes por erosión y coluviamiento), así como gravas angulares de dolomía. Los pedos muestran, en sus caras externas, acumulaciones y películas de CaCO₃ pulverulento, transportados por colización. Reacción fuerte al HCl en las zonas con carbonatación secundaria, y reacción moderada en la matriz del suelo. Abundantes raíces finas (> 35 dm²). Límite claro e irregular.

AC 15-29 cm

Saprolita muy alterada, que conserva en un 70% la estructura de roca. Reacción moderada al HCl. Límite gradual e irregular.

R 24 cm

Dolomía, de color claro en fractura fresca, y amarillenta bajo condición normal. Interestratificada con calizas. Reacción lenta y moderada al HCl

ANALISIS FISICOS EN LA FRACCION DE SUELO TOTAL

PROFUND. (cm)	HORIZONTE (A-B-C)	CLASES TEXTURALES Y DIAMETRO DE PARTICULA TOTAL (t)							INDICE DE ESTABILIDAD ESTRUCTURAL $\frac{L+R}{A}$	VALOR K	CONTENIDO DE AGUA (%) 0.3 bar	4 B 2 COLE (mm)	4D1 FRACCION 2mm g/cc	DENSIDAD APARENTE	
		GRAVAS GRUESAS		GRAVAS FINAS		SUELO < 2mm	ARENA 2-0.05 (mm)	LIMO 0.05-0.002 (mm)							ARCILLA < 0.002 (mm)
		CZ	DI	CZ	DP										
0-15	A	3	5	6	15	71	55	30	15	2.0	0.81	0.35	10.3	0.01	1.15
5-24	AC	1	45	1	5	18	40	55	5	11.0	1.5	0.40	4.7	-	1.37

= caliza; DI = dolomía; Valor K = erodabilidad; INDICE N = compactación y DRP = desarrollo relativo del perfil

PROPIEDADES QUIMICAS DIAGNOSTICAS DEL SUELO Y LA ROCA

CARBONO ORGANICO (%)	NITROGENO (%)	C/N	HIERRO LIBRE (%)	GELB CaCO ₃ (%)	S Cla pH:1:1 (H ₂ O)	MATERIAL SOLUBLE (%)	BASES INTERCAMBIABLES Meq/100g de suelo				RELACION Ca ⁺⁺ Mg ⁺⁺ Na ⁺ K ⁺	C.I.C.T. Tca (meq)	RELACION ARCILLA: Tca Hierro		SATURACION DE BASES S/Tca (%)
							Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺			Tca	Hierro	
2.16	0.114	18.94	1.6	15.5	7.0	0.75	15.0	9.8	0.4	0.3	1.53	27.5	1.83	0.11	92.73
0.10	0.008	12.5	0.2	31.2	7.3	1.25	16.3	11.2	0.5	0.3	1.45	--	--	--	--

PROFUND. (cm)	HORIZONTE ROCA PARENTAL	ANALISIS QUIMICO PCR FUSION																
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	P ₂ O ₅	CO ₂	SO ₃	S	P.P.I.
24	R	3.25	0.01	0.17	0.17	0.06	-	20.90	29.35	-	-	0.30	-	-	45.54	-	-	0.35

III.J.2.1b.2. CARACTERES DIAGNOSTICOS. Suelo con textura areno limosa conferida, principalmente, por los granos y gravas de dolomía, poco alterables por el CO₂, que se concentran en los horizontes A y AC. Sus relaciones granulométricas Limo/Arcilla; estabilidad, valor K; e índice n, muestran que a diferencia de las Rendzinas negras típicas, estos suelos son muy susceptibles a la hidroerosión y a la compactación por carga. Los contenidos elevados de materia orgánica en el horizonte A (5.25%), le dan buenas características de porosidad aireación y baja densidad aparente. Sin embargo, dados los contenidos tan altos de Mg⁺⁺ se produce un efecto indeseable en la estructura del suelo, la cual tiende a ser grumosa, y poco estable. Los contenidos de arcillas en A (15%) y en AC (5%) revelan la existencia de un fenómeno de descarbonatación intensa, que además de concentrar las impurezas silicatadas, en el horizonte A (proto-arcillas), también tiende a concentrar el hierro (1.6% en A y 0.2% en AC). Las relaciones arcilla/Tca y arcilla/hierro, indican la presencia de montmorillonitas, asociadas con illitas y cloritas, que junto con el hierro y el CaCO₃ constituyen el complejo de alteración de estos suelos. La relación C/N indica una humificación restringida y una débil actividad microbiana, debido principalmente al carácter dolomítico del material parental. (Mg⁺⁺/Tca = 35.6%).

III.J.2.1b.3. EVOLUCION. Los bajos contenidos del material parental en SiO₂ (3.25%) y Al₂O₃ (0.17%), así como las altas concentraciones de Mg⁺⁺ (20.90%) y carbonatos (31.2%), han impedido el empardecimiento en estos suelos (B), además de bloquear la humificación. En condiciones de clima húmedo, sin período seco, y buen drenaje; la descarbonatación por arrastre del bicarbonato cálcico, y en ocasiones de nitrato cálcico, puede producirse a diferentes tasas de velocidad que pueden oscilar de 10g/m²/año a más de 200g/m²/año, dependiendo de las características de la lluvia y de los factores de estación.

Los análisis del perfil 10 muestran una Para-rendzina muy descarbonatada y lixiviada, de color rojo (ródico) debido a la acumulación de hierro libre por aportes y por alteración. Este hierro forma óxidos férricos muy resistentes al intemperismo. Las partículas de óxidos y de hierro férrico son microscópicas, y se distribuyen homogéneamente en el perfil, confiriéndoles un color pardo o francamente rojo. En este caso, no existe pardificación (B), ni tampoco se trata de un suelo fersialítico (Terra rosa), simplemente los

pedio de la Pararendzina han sido teñidos por el hierro. Con frecuencia, estas Pararendzinas rojas, pueden recarbonatarse, secundariamente, por aportes, ascenso capilar, cambio en la vegetación (bosque-pastizal), presencia de manto freático o por causas antrópicas (Laboreo-quema de vegetación) constituyendo un suelo policíclico.

En contraste, en climas húmedos con un período seco, el ascenso capilar de soluciones ricas en calcio, frena la descarbonatación, y el hierro presente llega a constituir concreciones de color rojo-oscuro, en ocasiones de tamaño de gravillas (> 2 mm) o agregados recubiertos y/o aglomerados de hierro férrico que le confieren al perfil una estructura mejor desarrollada y una mayor estabilidad. Algunos autores como Papadakis (1980) consideran, en este caso, que el suelo ha constituido un horizonte ferruginoso y que el suelo ha evolucionado (Suelo ferruginoso). Sin embargo, la ausencia de un horizonte (B) de eluviación-iluviación es un argumento, fuerte, contra una supuesta evolución.

Finalmente, se da el caso que muchas Pararendzinas, si no existe erosión, se estabilizan con su medio ambiente, y permanecen aparentemente, sin cambios durante mucho tiempo. Se han reportado edades de más de 4000 años para algunas de ellas.

PERFIL 10

III.J.2.1c.1 MORFOLOGIA DEL PERFIL 10

A 0-17 cm

Migajón areno-limoso, con pedio bien agregados de color rojo (5YR3/4) y pardo rojizo (5YR3/2) en húmedo, estructura subangular en ocasiones grumosa, ligeramente adhesivo, poroso y bien aireado. Con gravillas de dolomía, recubiertas, parcialmente, por hierro férrico, y en ocasiones, además, por manganeso. Reacción moderada y lenta al HCl Raíces finas en cantidad moderada. Límite claro e irregular.

AC 17-35 cm

Saprolita, policromática, aunque predomina el color amarillento, debido a la oxidación del hierro ferroso, contenido alto en los cristales de dolomita, así como de pirita y siderita presentes en la roca.

R 35 cm

Dolomía

ANALISIS FISICOS Y QUIMICOS EN LA FRACCION DE SUELO TOTAL

PROFUND. HORI. (cm)	HORIZONTE (A-B-C)	GRAVILLAS				SUELO < 2mm	AFENA 2-0.05 (mm)	LIMO 0.05-0.002 (mm)	ARCILLA < 0.002 (mm)	RELACION: HIESSO C.I.C.T LIMO LIBRE Tca			C.E.C. CONTENIDO DE AGUA				CATIONES ORGANICOS C	CATIONES ORGANICOS C/N ARCILLA			pH:1:1 (H ₂ O)
		CE	EP	CZ	EP					(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		(%)	(%)	(%)	
0-17	A	1	7	2	10	80	50.3	24.4	25.3	0.96	3.6	22.1	9.7	16.0	17.4	47.03	1.16	23	0.14	0.87	6.0
17-35	AC	-	40	-	35	25	30.6	52.9	10.5	5.61	0.9	15.3	5.0	30.0	3.6	---	0.07	-	0.08	0.98	6.5

COMPOSICION QUIMICA DEL SUELO Y DE LA ROCA

HORIZONTE (A-B-C)	SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	FeO (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	H ₂ O ⁺ (%)	H ₂ O ⁻ (%)	P ₂ O ₅ (%)	CO ₂ (%)	SO ₃ (%)	S (%)	P.P.-I (%)
A	37.1	0.35	8.56	5.86	3.65	0.12	9.27	14.49	-	-	3.25	3.75	0.221	7.0	0.182	0.35	6.15
AC	25.5	0.35	9.15	4.90	3.10	0.75	17.95	18.76	-	-	2.70	2.30	0.110	9.73	-	-	5.10
R	7.96	0.20	1.97	0.14	0.60	0.03	20.46	25.72	0.42	0.12	0.33	0.30	0.91	41.13	-	0.19	-

III.J.2.1c.2 OBSERVACIONES:

Los datos analíticos del perfil 10, permiten determinar los nombres genéticos de los horizontes de diagnóstico. En este caso, debido a la fuerte descarbonatación del perfil (41.13% en C y sólo 7.0% en A) y a su intensa lixiviación (S/Tca = 47.05%) el epipedón no califica como Mólico, por lo que este perfil sólo puede ser considerado como intergrado entre las Rendzinas típicas y los Suelos Fersialíticos; sin llegar a constituir ninguno de ellos.

Los contenidos de hierro libre, que muestra, son totalmente atípicos de una Rendzina, y son similares a las que se reportan para la "Terra rosa". Sin embargo, el hierro presente ha sido en su mayoría aportado y no es producto de la alteración. La relación hierro libre/hierro total que muestra, confirma un grado de intemperismo, moderado, atípico de una "Terra rosa".

En síntesis, se trata de un perfil no empardecido, descarbonatado y lixiviado, con aportes elevados de hierro libre y bajos contenidos de arcilla, principalmente ilitas y montmorillonitas, que muestra una morfología similar a una Rendzina, por lo que se incluye en el grupo de Para-rendzinas.

PERFIL 11

**CLASIFICACION
PROPUESTA:**
Suelo Sialítico
Empardecido Vértico

**FAO-UNESCO
1988**
Cambisol vértico

**SOIL TAXONOMY
1990**
Vertic Rendollic
Eutrochrepts

LOCALIZACION:
Tuxtepec, Oax.
TOPOGRAFIA: Ondulada
DRENAJE: Lento

**MATERIA
PARENTAL:** Caliza
CLIMA: Am (w)
VEGETACION:
Selva baja

EDAD: Cretácico
EDAFOClima: Udico
REGION: Planicie
Costera

III.J.2.1d.1. MORFOLOGIA DEL PERFIL 11

- Ap 0-23 cm** Arcilla de color pardo muy oscuro en húmedo(10YR3/2) estructura subangular fina y media, moderadamente desarrollada; adhesiva y plástica, ligeramente dura. Muestra fisuras y grietas (> 1 cm), así como facetas de presión- fricción, en la mayoría de los pedio. Raíces finas en cantidad moderada (I25 dm²). Reacción ligera al HCl. Límite gradual.
- Bw 23-55 cm** Horizonte de acumulación, arcilloso, con propiedades vérticas evidentes, de color pardo rojizo oscuro en húmedo, sin películas arcillosas, pero con migración de CaCO₃ que llega a constituir concreciones de forma dendrítica, las que tienden a acumularse en la base de este horizonte. Muestra fragmentos de caliza, en un 15% de su volumen (de hasta 70 mm de diámetro), en y por debajo del horizonte cámbico. Reacción nula a ligera al HCl. Límite claro e irregular.
- Ck 55-69 cm** Horizonte saprolítico, que muestra una evidente acumulación de CaCO₃; (> 35%), reacción fuerte al HCl, con un esqueleto gravoso y calcáreo. La textura es limosa. Límite gradual e irregular.
- R 69 cm** Roca basal: Caliza

ANALISIS FISICOS EN LA FRACCION DEL SUELO TOTAL

PROFUND. (cm)	HORizonte (A-E-C)	CARACTERÍSTICAS Y DIAGNÓSTICO DE PARTICULA (mm)												RELACION ARCI-LLA	RELACION ARCI-LLA	RELACION ARCI-LLA	D.A.	Contenido de Agua de					
		GRUESA FINA (mm)			ARCILLA			ARENA			LIMO								RELACION ARCI-LLA	RELACION ARCI-LLA	RELACION ARCI-LLA	D.A.	Contenido de Agua de
		2-0.075	0.075-0.002	<0.002	GRUESA	MEDIA	FINA	GRUESO	FINO	ARCILLA	ARCILLA	ARCILLA	ARCILLA										
2-23	Ap	22.0	33.0	45.0	1.1	3.3	3.4	7.7	6.5	12.5	20.5	45.0	14	0.73	0.08	0.33	1.29	0.12	1.10	32.5			
23-35	Bw	15	32.0	30.5	37.5	2.3	5.2	5.0	10.9	8.6	10.5	20.0	37.5	17	0.81	0.09	0.45	1.46	0.13	1.25	25.9		
35-69	Ck	45	35.9	43.9	13.2	5.3	5.5	6.1	11.0	9.0	18.5	31.4	13.2	-	-	-	-	0.14	-	-			

T = arcilla total. D = arcilla dispersable en H₂O. R.A. = Relación de agua. D.A. = Densidad aparente

ANALISIS QUIMICOS Y FISICOQUIMICOS DE LA FRACCION < 2 mm

CARBONO ORGANICO (%)	NITROGENO TOTAL (%)	CELSULFONADO C/N (%)	CaCO ₃	GG2a Hierro ext. (%)	GG1d Aluminio Ext.Kcl (%)	SC1a pH:1:1 (H ₂ O)	BASES INTERCAMBIABLES meq/100g de suelo				Relación Ca ⁺⁺ Mg ⁺⁺	C.Y.C.T. Tca: pH 7 (meq)	Fel: S/Tca (%)	MINERALOGIA DE LA FRACCION < 0.002 7 A2 - 7 A3 (%)
							Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺			
2.26	0.185	12	0.90	5.6	1.2	7.0	7.25	6.75	1.2	0.4	1.07	33.0	47.27	MT50, VR20, MI15
2.73	0.072	10	2.30	4.7	1.6	7.2	13.65	6.15	1.2	0.5	2.22	37.0	58.10	MT60, MI20, KK20
2.15	-	-	37.0	1.9	-	7.5	20.15	4.30	1.3	0.5	4.68	26.8	97.94	MT65, VP15, MI10

COMPOSICION QUIMICA DE LA ROCA CALIZA

HORIZONTE ROCA PARENTAL	SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	FeO (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	H ₂ O ⁺ (%)	H ₂ O ⁻ (%)	P ₂ O ₅ (%)	CO ₂ (%)	SO ₃ (%)	S (%)	P.P.I (%)
R	12.4	0.19	3.10	2.65	4.20	0.17	5.10	40.00	0.20	0.33	1.20	0.70	0.15	27.50	0.30	0.27	1.85

III.J.2.1d.2. CARACTERES DIAGNOSTICOS. Suelos arcillosos constituidos por un epipedón ócrico, un B cámbico y un horizonte C cálcico. El perfil muestra la siguiente combinación de características: (a) presencia de grietas durante el período seco (> 1 cm de ancho) que se extienden del horizonte B hasta el Ap; (b) un coeficiente COLE de extensibilidad lineal > 0.08 en dos horizontes (> 50 cm de espesor); (c) más de 35 % de arcilla en horizontes que totalizan más de 65 cm de espesor y que tienen > 50% de arcilla montmorillonítica; (d) más de 35% de CaCO₃, sin incluir los fragmentos de grava presentes, en el horizonte Ck, (e) una relación arcilla: R.A. (15bar) de < 1.25 y (f) una relación arcilla: Tca, próxima a 1.5.

Estas características relacionan la tipogénesis de estos suelos (Sialítico empardecido) con la de los suelos Sol brun calcareo vertique de la ORSTOM (1980); Cambisol vértico-cálcico de FAO-UNESCO (1988) y Vertic rendollic Eutrochrepts de Soil Taxonomy (1990). En todos los casos se trata de unidades edáficas intergradadas entre Rendzinas-Vertisoles-Eutrochrepts.

Por otra parte, la textura arcillosa en A y Bw (37.5-45.0%) se hace limosa con 13.2% de arcilla en C; lo que es indicativo de una acumulación relativa de la arcilla en superficie, debido a la descarbonatación. Los porcentajes en CaCO_3 son de orden $> 2.5\%$ en superficie, y pasa a 37% en C.

El complejo absorbente muestra valores altos en A y B (Tca 33-37 meq) y está saturado por Ca^{++} , el pH se incrementa con la profundidad. Son característicos en estos perfiles, los altos contenidos de carbono orgánico y de nitrógeno, constituyéndose un mull muy activo, biológicamente, con relaciones C/N comprendidas de 10 a 12.

Los colores pardos y pardos rojizos son resultado de las concentraciones significativas de hierro, el cual de modo similar a la arcilla se acumula en el epipedón por efecto de la descarbonatación: 56% en A y 1.9% en C.

III.J.2.1d.3. EVOLUCION. Se trata de un suelo monocíclico, generado de una alteración rápida del material subyacente por descarbonatación y acumulación en la superficie de materiales silicatados y de óxidos de hierro. Desde luego que el mayor contenido de impurezas en esta caliza, con respecto a las anteriormente analizadas, ha facilitado el proceso de pardificación del perfil.

Esta evolución monocíclica se pone de manifiesto por la presencia de un horizonte Bw y de un horizonte Ck que muestra una acumulación pedogenética, tanto de caliza activa, como de CaCO_3 , resultante de la precipitación de los carbonatos arrastrados por el agua de drenaje. Con frecuencia estos suelos han sido denominados o identificados, incorrectamente, como "terra fusca", en realidad la descarbonatación que muestran no es suficiente para provocar una acidificación tan intensa que los sitúe dentro de los suelos fersialíticos.

III.J.2.1d.4. MICROMORFOLOGIA. El análisis micromorfológico de la fracción de suelo que constituye el horizonte Ck, mostró cuatro formas en que el CaCO_3 se distribuye en la microfábrica del suelo; (1) formando revestimientos en los poros; (2) rellenando vacuolas y otros espacios del suelo; (3) formando revestimientos sobre los peds y (4) formando cristales aciculares de calcita, libres en la matrix-S.

PERFIL 12

CLASIFICACION

PROPUESTA:
Vertisol Cálcico-
Salino

FAO-UNESCO

1988
Vertisol Pélico
calcárico

SOIL TAXONOMY

1990
Typic Pellusterts

LOCALIZACION:

Batankan, Tab.

TOPOGRAFIA:

Plana

DRENAJE: Deficiente

MATERIAL

PARENTAL: Basalto

CLIMA: Aw (w)

VEGETACION:

Pastizal

EDAD: Holoceno

EDAFOClima:

Ustico

REGION:

P. de Yucatán

III.J.2.1e.1 MORFOLOGIA DEL PERFIL 12**A11 0-25 cm**

Arcilla gris muy oscura (10YR3/1); gris oscura (5YR4/1) en seco; pseudo-estructura prismática gruesa, que rompe en bloques angulares medianos, muy duro, muy firme, muy plástico y muy adhesivo, moderadamente aireado y poco poroso (macroporos). Muestra facetas de presión-fricción entre las caras de los pedio, agrietamiento fuerte y fisuras. Raíces finas abundantes y límite gradual e irregular.

A12 25-66 cm

Arcilla negra (10YR1/1 en húmedo), pseudo-estructura mixta: prismática gruesa y de bloques medianos, muy duro, firme, muy adhesivo y muy plástico; poco poroso y mal aireado, con excepción de las áreas con agrietamiento y fisuramiento fuerte. Un 50% de las grietas están parcialmente rellenas con material de la superficie. Facetas abundantes y pocas concreciones de CaCO_3 . Reacción leve y lenta al HCl. Límite claro e irregular.

AC 66-110 cm

Arcilla negra (10YR3/1) con manchas de colores pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2) y pardo (10YR4/3) en seco, pseudoestructura en bloques angulares, que rompen de modo irregular, extremadamente duro; firme, muy plástico y muy adhesivo, calcáreo con reacción moderada al HCl. Límite ondulado gradual.

Cca 110-125 cm

Arcilla pardo grisácea (2.5YR5/2), con abundante moteado de color gris pardusco claro (2.5 Y6/2) abundantes facetas formando ángulos de 25° a 45°, películas miceliales de CaCO_3 , así como revestimiento sobre las caras de las gravas, pocas raíces, pocos poros tubulares, generalmente finos y muy finos. Límite ondulado gradual.

CR 125-146 cm

Saprolita constituida por fragmentos de roca desintegrada (basalto) de color rojo amarillento, con color gris oscuro a blanco en las caras de fractura.

R 146 cm

Roca basal: basalto de olivina, meteorizado, ligeramente magnético.

ANALISIS FISICOS EN LA FRACCION DE SUELO TOTAL

Horizonte	Profundidad (cm)	Arena 10-0.5 mm	Limo 2.05-0.002 mm	Arcilla 0.002	Clasificación textural	Fracción 2 mm	Limo Arcilla	L+R A	Material Soluble (%)	C.E. mmhos /cm
A11	0-25	22.0	18	60	Arcilla	0.0	0.30	3.54	4.7	2
A12	25-66	20.0	16	64	Arcilla	0.0	0.25	4.00	6.8	2
A13	66-110	18.0	16	66	Arcilla	0.0	0.24	4.55	6-9	4
Cca	110-125	40.0	16	44	Mig. arcilloso	1.0	0.36	1.50	18.3	6
Cr	125-160	50.0	17	33	Mig. Arc. Arc.	4.0	0.51	1.00	5.2	2

ANALISIS FISICOS

CLASES TEXTURALES Y DIAMETRO DE PARTICULA (mm)														
TOTAL (%)		ARENA (%)							LIMO (%)		ARCILLA (%)		DEL: 4E1	
SUELO	ARENA	LIMO	ARCILLA	MUY GRUESA	GRUESA	MEDIA	FINA	MUY FINA	GRUESO	FINO	FINA	MUY FINA	ARCILLA	4E1
< 2mm	2-0.05	0.05-0.002	< 0.002	2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.10	0.10-0.05	0.05-0.02	0.02-0.002	2	1	ARCILLA	OCLE
(%)	(%)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	99	22.0	18.0	60.0	1.0	2.0	-	15	4	7	11	35.7	24.3	0.30
3	97	20.0	11.0	64.0	-	1.0	3	12	5	5	11	42.3	21.7	0.25
5	95	18.0	16.0	66.0	-	-	2	12	4	5	11	45.0	21.0	0.24
5	85	40.0	16.0	44.0	5	7	10	9	9	12	4	23.7	20.3	0.36
0	40	50.0	17.0	33.0	7	10	10	13	10	12	5	30.0	3.0	0.51

ANALISIS QUIMICOS EN LA FRACCION DE SUELO TOTAL

HORIZONTE	PROFUNDIDAD (cm)	Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		Na ⁺		K ⁺		S.B (S)	C.I.C.T (T)	VALOR S/T	C (%)	N (%)	C:N	PH 1:2.5	PH 1:1	Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺		Mg ⁺⁺
		Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	K ⁺															
A11	0-25	56.3	7.5	0.90	0.96	65.66	69.7	94.20	2.60	0.180	14.44	8.0	8.1	7.50	66.45	7.8				
A12	25-66	57.0	7.8	0.90	0.99	66.69	69.5	95.95	2.25	0.165	13.63	8.0	8.2	7.30	65.45	7.8				
A13	66-110	58.1	7.0	0.93	0.99	67.02	68.9	97.27	2.17	0.120	18.08	8.2	8.2	8.30	65.75	7.07				
Cca	110-125	60.0	5.0	1.10	0.95	67.20	68.7	97.81	1.11	0.067	16.56	8.3	8.2	12.00	68.42	5.26				
C	125-160	42.0	4.2	1.10	1.10	48.40	52.2	92.72	1.16	0.076	15.26	8.4	8.3	10.00	42.00	3.81				

ANALISIS TOTALES DEL SUELO

HORIZONTE	PROFUNDIDAD (cm)	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Mg ₃ O ₄	CaO	H ₂ O	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O	SiO ₂ R ₂ O ₃	SiO ₂ Al ₂ O ₃
A11	0-25	45.9	5.6	25.4	1.0	0.17	17.9	3.2	0.08	0.37	0.07	16.8	2.69	3.07
A12	25-66	47.1	5.7	24.3	1.0	0.13	17.5	3.3	0.17	0.34	0.05	16.2	2.86	3.29
A13	66-110	47.2	6.0	22.8	1.0	0.10	17.6	3.4	0.27	0.47	0.05	15.1	3.02	3.52
Cca	110-125	46.4	9.1	22.5	1.1	0.17	17.1	3.9	0.25	0.36	0.08	15.5	2.79	3.51
C	125-160	46.6	9.8	22.4	1.0	0.20	15.3	4.6	0.28	0.33	0.05	13.2	2.75	3.52

RELACIONES ENTRE CATIONES Y RELACIONES CON LA ARCILLA

RELACION: SDL ARCILLA:			DENSIDAD EN MASA		CONTENIDO DE AGUA		
R.A.	T	Fe	F.S.	1/3	F.S	1/3	15
15	C.I.C.T	Libre	g/cc	bar	(%)	bar	bar
bar	pH 8						
0.23	1.16	0.02	1.53	1.39	17.3	24.5	13.7
0.24	1.08	0.02	1.55	1.43	21.7	27.2	15.2
0.25	1.04	0.02	1.60	1.42	22.4	27.5	16.7
0.28	1.56	0.03	1.60	1.47	17.8	26.3	12.5
0.28	1.58	0.06	1.65	1.49	16.3	23.2	9.3

III.J.2.1e.2. CARACTERES DIAGNOSTICOS: Suelo mineral, arcilloso, fuertemente afectado por fenómenos de argiloedafoturbación propiciados por la expansión-contracción de las arcillas. Muestra un perfil que gradúa de A a Cca. La notable autoinversión que muestra impide la formación de horizontes E o B, aunque ocasionalmente llegan a presentar pseudo-horizontes Bw y Bt.

Este suelo se caracteriza, además, por su pH alcalino, fase salina y presencia de un horizonte Cca (Ck) de acumulación. La presencia de grietas, fisuras y facetas de fricción-presión son muy notables, especialmente durante el período de sequía (invierno). Los valores de COLE obtenidos, así como los de limo/arcilla, confirman su carácter vértico.

Como puede observarse en la tabla, el contenido de arcilla es muy elevado y homogéneo en los primeros 110 cm de profundidad (montomorillonita), su capacidad de intercambio (Tca), también es muy alta: > 65 meq/100g de suelo en el solum, o sea más de 100 meq/100g de arcilla; asimismo se caracteriza por sus altos contenidos de Ca⁺⁺, el cual satura en aproximadamente 80% al valor T. Como puede observarse, la relación Ca⁺⁺/Mg⁺⁺ es anormalmente elevada, lo que le confiere a este suelo el carácter de cálcico (k).

Los contenidos de materia orgánica, carbón y nitrógeno que muestra, lo califican como un suelo eutrófico con fertilidad natural alta, en la que los ácidos húmicos, están muy

polimerizados y estrechamente ligados a las arcillas. El contenido de hierro libre es pequeño: Fe/arcilla = 0.02 a 0.06, tal vez debido a que gran parte de él se encuentra complejoado por los ácidos húmicos o fuertemente retenido en la superficie de las arcillas. Estas últimas proceden de neoformación en un medio cálcico. Finalmente, la composición que muestra en óxidos totales, refleja el origen de este suelo por alteración de una roca básica (Vertisol litomorfo)

III.J.2.1e.3. GENESIS: Las rocas máficas (Basalto) presentes en el área, al alterarse en condiciones de lavado y drenaje deficiente, y en un ambiente rico en Ca^{++} y especialmente, Mg^{++} propician la formación de montmorillonitas y, consecuentemente, de vertisoles. La alta relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ estimula su síntesis. Sin embargo, de acuerdo con el esquema de Jackson (1965), es posible que algunos de los Vertisoles estudiados, especialmente los de las áreas de basamentos, se formen a partir de los productos de lixiviación (desilicación) de suelos altamente alterados (Ultisoles) que se sitúan en las partes altas de las geofomas. Es posible que las bases y el $\text{Si}(\text{OH})_4$ liberados se depositen, por eluviación lateral, en las partes más bajas de la pendiente propiciando fenómenos de silicación y la formación de esmectitas. La parte media de la pendiente, generalmente está ocupada por Inceptisoles (Tropepts) o por Entisoles.

PERFIL 13

CLASIFICACION

PROPUESTA: Suelos
Vérticos con gley

FAO-UNESCO
1988

Gleysol vértico

SOIL TAXONOMY
1990

Vertic Haploquept

LOCALIZACION:

Ukum, Quintana Roo

TOPOGRAFIA: Cóncava

DRENAJE: Nulo

MATERIAL

PARENTAL:

Aluviones Arcillosos

CLIMA: Aw1

VEGETACION: Selva baja

EDAD: Holoceno

EDAFOClima: Udico

REGION: P. de Yucatán

III.J.2.1f.1. MORFOLOGIA DEL PERFIL 13**A11 0-10 cm**

Zonalmente, presenta áreas en su superficie que muestran acumulación de Mull (10Y1/1 en húmedo) que sobreyace a una estructura grumosa y en bloques subangulares gruesos, duros, muy plásticos y muy adhesivos. Se presentan amplias grietas verticales y fisuras, manchas rojas y amarillentas indistintas, presencia de mineral de hierro-reacción ligera al HCl y abundantes raíces finas. Límite gradual.

A12 10-22 cm

Arcilla de color gris muy oscuro (10YR3/1), estructura débil en bloques subangulares gruesos, muy duro, muy plástico y muy adhesivo; agrietado y fisurado, rico en óxidos de fierro, sin reacción al HCl. Límite gradual.

(Bg) 22-75 cm

Arcilla de color gris oliva (5Y5/1), estructura angular; media, con revestimientos de materiales orgánicos y de hierro (herrumbre), muy duro, muy plástico y muy adhesivo. Moteado de hierro. Las grietas tienen 2 cm de ancho y continúan hasta los 95 cm de profundidad, presenta concreciones de MnO₂. Límite gradual.

C1g 75-163

Migajón limo arcilloso de color abigarrado en el que predominan el gris oliva (5Y5/1) el pardo grisáceo oscuro (10YR4/2) y el ocre (2.5Y6/2) con manchas rojas y grises indistintas; estructura débil en bloques subangulares gruesos, muy duro, adhesivo, y muy plástico. Grietas y fisuras presentes aunque en menor cantidad que en los horizontes que le sobreyacen. Concreciones de Fe y MnO₂ abundantes, raíces escasas. Límite claro.

OBSERVACION:

1. Para la descripción morfológica del color de los subhorizontes se empleó la Tabla Munsell (1988) modificada en Japón.

ANALISIS FISICOS

PROFUND. HORIZONTE (cm) (A-B-C)	CLASES TEXTURALES (%) Y DIAMETRO DE PARTICULA (mm)						4B2 CONTENIDO DE AGUA (%) 15 bar	4D1 COLE (mm)	DENSIDAD APARENTE APARENTE < 2mm (g/cc)	HUMEDAD Secado al aire (%)	
	ROCAS > 20mm (%)	GRAVAS GRUESAS 20-6.5 (mm)	GRAVAS FINAS 6.5-2 (mm)	SUELO (< 2mm) (%)	ARENA 2-0.05 (mm)	LIMO 0.05- 0.002 (mm)					ARCILLA < 0.02 (mm)
0-10 A11	0.1	0.1	0.1	100.0	18	43	39	40%	0.07	1.040	10.00
10-22 A12	0.1	0.1	0.1	100.0	20	38	42	45%	0.08	1.055	11.80
22-75 (Bg)	0.1	0.1	0.1	100.0	20	35	45	40%	0.08	1.070	11.90
75-163 C1g	0.1	0.1	0.1	100.0	30	40	30	30%	0.06	1.075	9.50

ANALISIS QUIMICOS Y FISICOQUIMICOS DE LA FRACCION 2 mm

MATERIA ORGANICA (%)	CARBONO ORGANICO (%)	NITROGENO (%)	C/N (ppm)	FOSFORO		GEIB CaCO ₃ (%)	SC1a pH 1:1 (H ₂ O)	BASES INTERCAMBIABLES mg/100g de suelo					SUMA DE BASES (S)	RELACION Ca ⁺⁺ Mg ⁺⁺	C.I.C.T. (Tca) (mec)
				TOTAL	TRUCC			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Mn ⁺			
5.30	2.95	0.230	12.8	790	29.5	0.02	5.9	27.5	23.3	1.70	0.80	0.13	53.43	1.18	55.30
2.10	1.21	0.080	15.1	270	4.7	0.04	6.5	28.0	22.5	2.40	0.50	0.27	53.67	1.24	57.25
2.10	1.29	0.060	21.5	215	3.5	0.02	6.5	30.0	21.9	5.10	0.25	0.15	53.40	1.36	59.30
0.60	0.33	0.025	13.2	150	1.1	0.01	6.8	19.0	15.3	3.90	0.11	0.07	38.38	1.24	45.65

ANIONES Y CATIONES HIDROSOLUBLES

ANIONES Y CATIONES HIDROSOLUBLES (% Peso seco)									Total	Na ⁺ (%)	C.E. dSm ⁻¹	Valor n	Arcilla:		
CaSO ₄	CaCl ₂	MgCl ₂	MgCl ₂	KCl	Na ₂ SO ₄	NaCl	NaHCO ₃	C.I.C.T.P.					H ₂ O	Fe ⁺	
0.0090	0.01	0.0050	0.01	0.0055	0.0178	0.0175	0.0140	0.0688	15	2	0.7	1.41	1.02	0.35	
0.0110	0.01	0.0040	0.01	0.0016	0.0050	0.0290	0.0285	0.0791	15	2	0.7	1.36	1.07	0.34	
0.0098	0.01	0.0075	0.01	0.0070	0.0087	0.0420	0.00390	0.1140	15	2	0.8	1.32	0.88	0.25	
0.0150	0.01	0.0140	0.01	0.0020	0.0196	0.1010	0.0040	0.1556	15	2	0.6	1.14	1.00	0.30	

ANALISIS MINERALOGICO

PROFUND.	HORIZONTE	FRACCION ARCILLOSA-MINERALOGIA 7 AL (RAYOS X)
0-10	A11	MT35, FD25, MI12, FM10, KK8, GI 6, QZ4
10-22	A12	MT35, FD30, MI10, FM 5, KK5, GI10, QZ5
22-75	(Bg)	MT45, FD20, MI15, FM 5, KK5, GI 7, QZ3
75-163	C1g	MT25, FD25, MI18, FM12, KK10, FI 5, QZ5

MT = MONTMORILLONITA
 FD = FELDSPATO
 MI = MICA
 FM = FERROMAGNESIANOS
 KK = KAOLINITA
 GI = GI BSITA
 QZ = CLARZO

III.J.2.1f.2. CARACTERES DIAGNOSTICOS. Suelos de textura fina que muestran **contracción-expansión**, muy evidentes cuando los contenidos de humedad edáfica cambian. Se caracterizan por sus contenidos altos de montmorillonita y por tener un período de sequía estacional en el que la evaporación-transpiración potencial excede la precipitación.

Estos suelos, están incluidos en la Clase de Suelos Hidromorfos (Duchaufour, 1980 salvo que su relación Fe libre/arcilla es anormalmente alta para un Pelosol típico, esto es debido a los aportes de Fe que recibe por drenaje. Sin embargo, el color gris oliva que caracteriza al horizonte (Bg) estructural, se debe a las arcillas y no al hierro ferroso.

Estos suelos muestran una hidromorfía temporal generada por inhibición capilar, presentándose fenómenos redox moderados caracterizados por una retención de agua a 15 bar/arcilla de 1.25 o menos.

Su relación limo/arcilla, con excepción del horizonte A11, indica un desarrollo pedogenético moderado que, evolutivamente, implica un proceso de empardecimiento, aunque el carácter vértico sigue siendo dominante.

Desde el punto de vista mecánico, se considera con una estabilidad estructural adecuada y con un índice de erodabilidad bajo, conferidos por los contenidos altos en materia orgánica, arcillas, calcio y hierro presentes. Sin embargo, los valores de COLE y valor n resultan críticos, aunque diagnósticos de este grupo de suelos, y son conferidos por el tipo y la abundancia de arcillas 2:1. Consecuentemente los valores de Tca son altos en todo el perfil, presentando un pH inferior a 7.

Los contenidos en aniones y cationes hidrosolubles son bajos, por lo que los valores de SAR son inferiores a 13, así como los de sodio (< 15%).

La presencia de mull, con porcentajes de 5.3% de materia orgánica y una relación C/N de 12.8 se considera normal en estos suelos, y se atribuye a un proceso de empardecimiento superficial y al contenido de humina en las arcillas según (Duchaufour, 1988).

III.J.2.1f.3 EVOLUCION: De acuerdo con el esquema tipogenético, propuesto por Duchaufour (1980) la hidromorfía temporal por inhibición capilar es el proceso fundamental que condiciona su génesis. La evolución puede producirse, como en este caso, por un empardecimiento gradual, generado en condiciones de aireación superficial, o bajo condiciones reductoras hacia la formación de un suelo hidromórfico con pseudogley. En el primer caso, el carácter vértico tiende a ser atenuado, en el segundo caso, el carácter vértico se acentúa, así como el porcentaje de moteado (herrumbre) por efecto de la degradación de las arcillas ferríferas que liberan hierro. Durante la época de sequía, el suelo se agrieta y el nivel de O₂ se incrementa, ocasionando que gran parte del hierro libre se oxide en las zonas mejor aireadas, propiciando la aparición de manchas de herrumbre en el horizonte (Bg). Localmente a estos suelos se les denomina, en lengua Maya como Ak'alché.

III.J.3. CLASE III. SUELOS CON PROPIEDADES ANDICAS DIAGNOSTICAS: ANDISOLES.

Estos suelos constituyen un Orden que fue adicionado recientemente, en 1990, a los 10 Ordenes del Soil Taxonomy. Muchos de los suelos, previamente, pertenecieron al Sub-Orden Andepts, en el Orden de los Inceptisoles. Consecuentemente, muchos de los criterios introducidos en 1990, que resultaron de la investigación en zonas templadas, han sido utilizados de forma no completamente adecuada, para diagnosticar los suelos tropicales derivados de la alteración de materiales volcánicos recientes.

Es un hecho que estos suelos contrastan, fuertemente, con los otros suelos del Trópico Mexicano por: (a) altos contenidos de materia orgánica; (b) epipedones gruesos y oscuros y (c) baja densidad aparente.

Existen también otras propiedades diagnósticas las cuales, con base en las investigaciones realizadas por Aguilera (1956 a 1992), USDA (1990), INCOMAND (1991) y Van Wanbeke (1992) pueden definirse de la siguiente manera:

III.J.3A. PROPIEDADES DIAGNOSTICAS GENERALES

III.J.3A.1. Diagnósis

Lo más distintivo son sus contenidos de materiales amorfos en la fracción $< 2 \mu\text{m}$. Estos minerales se forman, típicamente, por el intemperismo de las cenizas volcánicas bajo condiciones climáticas húmedas. (Udico-Ustico). El aluminio, el hierro y la sílice son liberados por la rápida descomposición de los minerales primarios. El aluminio, en combinación con la sílice y el hierro precipitan como geles amorfos que lentamente en condiciones alternantes de sequía humedad cristalizan en arcillas laminares. En el trópico, la fuerte percolación de agua, intensifica la lixiviación y el lavado que, continuamente, remueve el exceso de sílice.

Por otra parte, precipitación alta favorece la producción de contenidos significativos de materia orgánica, cuya mineralización, según Duhaefour (1990) es retardada en estos suelos, por la presencia de los amorfos. La fracción arcilla que sintetiza, consiste de alofano, óxidos el hidróxido de hierro y aluminio, y en algunos casos, ópalo. El aluminio presente, también contribuye a la acumulación, tan alta, de materia orgánica en el epipedón, debido a que al unirse con ella, la hace más resistente a la mineralización.

III.J.3A.2. Morfología:

La presencia de epipedones oscuros, alta porosidad, textura migajosa, consistencia friable, generalmente, no adhesiva, tixotropismo y transición gradual o difusa con los horizontes del subsuelo son las principales características, morfológicas y físicas de los Andisoles.

El horizonte A del Andisol, generalmente es más oscuro y más grueso que los de los demás suelos de la misma región, que no se han desarrollado de materiales volcánicos. Existen, además, otras características como son: (a) tacto untuoso; (b) alta retención de humedad y (c) baja densidad aparente. Van Wambeke (1991) considera que los Andisoles son el resultado de procesos de transformación *in situ*, más que la consecuencia de una traslocación de los constituyentes del suelo, para formar horizontes iluviales. Se acepta en estos suelos la presencia de perfiles: A/C/Cw, A/(B)/C, A/Bw/Cw; Ah/AB/B/BCg/C.

III.J.3A.3. Mineralogía:

Las fracciones coloidales de los Andisoles, están constituidas, principalmente, por minerales no cristalinos y arcillas cristalinas en cantidades escasas. También se incluyen: el aluminio, el hierro y los complejos de humus. Sin embargo, aún no existen métodos analíticos, totalmente, confiables para medir con precisión sus contenidos relativos.

Los minerales más comunes son:

III.J.3A.3.1. Materiales

III.J.3A.3.1.1. Alofano. Es un aluminosilicato hidratado, en el que predominan las uniones Si-O-Al. Su estructura molecular es similar a la de un filosilicato 1:1 que contiene aluminio en posiciones octahédrica y tetrahédrica.

El alofano 1 tiene seis Al-OH o AlOH₂⁺, frente a un grupo Si-OH, en el alofano 2, la relación es de seis a dos. Existen, además una serie de amorfos, cuya relación molar SiO₂/Al₂O₃ varía de 0.8 a 2. Los amorfos alofanicos con relaciones molares entre 1.7 y 2.0 se dispersan en soluciones alcalinas (pH 10) mientras que los que muestran relaciones molares inferiores flocculan en medio ácido (pH 4). En el primer caso, los alofanos se disuelven, por calentamiento, en una solución NaOH-0.5M, en el segundo en una solución 0.15 a 0.20 M de oxalato ácido (Wada, 1985). La superficie específica de los alofanos varía de 700 a 1200 m²/g.

III.J.3A.3.1.2. Constituyentes proto-alofánicos. Teóricamente son similares al alófano, pero aún no han sido plenamente identificados (Van Wambeke, 1992).

III.J.3A.3.1.3. Imogolita. Se presenta como un elemento filamentosos de 10 a 33 μm de diámetro. La superficie externa, está constituida por hidróxidos de aluminio, similares a la gibbsita. Su fórmula, aproximada, es: 2SiO₂-Al₂O₃-2.3-2.9 H₂O (+) y su superficie específica, se estima entre 900 y 1000 m²/g. (Wada, 1985).

III.J.3A.3.1.4. Complejos: (Al⁺-Fe⁺-humus). Son extraíbles en pirofosfato de sodio (Na₄P₂O₇) según recomienda Duchaufour (1980) y, es una técnica que también se emplea para aislar los complejos, traslocados, de aluminio, hierro y humus en los horizontes espódicos.

III.J.3A.3.1.5. Opalo y fitolitos. Se presentan como amorfos, en la fracción de arena fina y limo, principalmente (Van Wambeke, 1992).

III.J.3A.3.1.6. Gel de óxidos e hidróxidos. Constituido por ferrihidrita e hidróxido de aluminio. En Andisoles formados a partir de rocas o de cenizas basálticas, los contenidos de ferrihidrita, pueden ser mayores al 35%. Se estima que estos contenidos tan altos, son responsables de la deshidratación irreversible del suelo, que con frecuencia se observa en las áreas tropicales, así como de la formación de agregados en el perfil, de consistencia muy dura (Parfitt, 1988) Por otra parte, la formación de complejos de Aluminio-Humus, teóricamente compete con la síntesis del alofano, llegando a estar ausente en los epipedones ricos en materia orgánica y aluminio.

III.J.3A.3.2. Arcillas cristalinas. La gibbsita es el constituyente mineral más frecuente en los Andisoles de climas húmedos y perhúmedos (Udico-Perúdico). **La haloisita, es el primer filosilicato que aparece en los perfiles que adquieren madurez tipogenética.** En los trópicos, la haloisita tiene, en su superficie externa, una composición Si-O-Si que es menos activa para retener fosfatos que la superficie Al-OH-Al que caracteriza a los alofanos. La presencia de esmectitas en estos suelos, generalmente, es el resultado de una marcada estación de sequía.

III.J.3A.4 Características Químicas:

La variabilidad, muy notable, en la composición química de los Andisoles, limita su caracterización taxonómica. De hecho los principales criterios químicos que pueden ser utilizados son: (a) contenido en bases (S); (b) contenido en aluminio; (c) saturación de bases (S/T) y (d) porcentaje de C orgánico. **En general, la relación $T/\text{arcilla} = T > \text{arcilla}$ es un índice más confiable para diagnosticarlos.**

Existen de acuerdo con Van Wanbeke (1991) varias razones para explicar la variabilidad en su composición química durante su desarrollo (Tiempo Cero) y evolución, las más importantes son: (a) la composición original del material volcánico parental; (b) los regímenes climáticos que controlan la velocidad de intemperismo, lixiviación, lavado (Desilicatación) y drenaje y (c) la acumulación de materia orgánica.

Sin embargo existen algunas técnicas que pueden ayudar a caracterizarlos, las más importantes son:

III.J.3A.4.1. pH delta. Estima la proporción de cargas positivas y negativas en las cargas variables de los coloides, por ejemplo: valores superiores a -0.5 son indicativos de suelos que están denominados por cargas minerales variables. Los valores positivos implican que los suelos poseen una carga neta positiva. Valores de pH delta de 0 a +0.1 son característicos de Andisoles distrificados, con capacidad alta de retención de fósforo.

III.J.3A.4.2. Punto isoelectrico. El pHo de las arcillas amorfas varía con la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. El valor pHo cambia, gradualmente, a valores más altos, a medida que la proporción, relativa, de aluminio se incrementa por efecto de la desilicatación. El signo (+-) de la carga que desarrollan los coloides del suelo, depende del valor del pH del suelo con respecto al punto isoelectrico: pH suelo - pHo. El uso del valor pHo en la interpretación, asume que sólo un tipo de coloides (alofano-humus) está presente en el suelo.

III.J.3A.4.3. Punto cero de carga neta (PZCN). El PZCN se utiliza para determinar las diferentes cargas de una mezcla de coloides, diferentes a los determinados por el pHo.

III.J.3A.4.4. Retención de fosfatos. Varía con la relación SiO_2 : Al_2O_3 de los coloides del suelo. En los materiales ricos en SiO_2 la densidad de enlace en los hidroxilos-aluminio es pobre, por lo que es baja la retención de fosfatos. Consecuentemente, los Andisoles van adquiriendo una mayor retención de fósforo, a medida que maduran y evolucionan, y que el aluminio se incrementa.

III.J.3A.4.5. Índice isoelectrico de intemperismo. Los Andisoles muy desarrollados, muestran aluminosilicatos amorfos, caracterizados por una relación molar: $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$, baja, y un punto isoelectrico (PHo) alto. También se observa que las soluciones del suelo son cada vez más diluidas (lavado), y que el pH del suelo cambia hacia el valor del punto isoelectrico. La secuencia de evolución, teóricamente, termina con un suelo que prácticamente no tiene cargas (T), contenidos bajos en cationes (S) y pH neutro o ácido. Los Subgrupos acrustoxico son un ejemplo típico de estas condiciones.

III.J.3A.4.6. Selectividad catiónica. Los suelos alofánicos muestran una selectividad baja por el potasio, su deficiencia es la más evidente entre los cationes presentes. En algunos Udands, esta deficiencia se relaciona con la adsorción selectiva de los iones de calcio por la materia orgánica y por el alofano.

III.J.3A.5. Características Físicas:

III.J.3A.5.1. Densidad aparente. La densidad baja que muestran, se debe a los altos contenidos en materia orgánica y a la baja densidad de partículas que caracteriza al vidrio volcánico ($< 2.55 \text{ g/cm}^3$). Frecuentemente, menos del 30% del volumen, en los Udands, está ocupado por sólidos. Esto puede ocasionar problemas de retención de nutrimentos y es causa de su pérdida, rápida, por lavado. El tipo de estructura y la porosidad que muestran, también contribuyen a su baja densidad aparente.

III.J.3A.5.2. Estructura. La microestructura en los Udands y, en la mayoría de los Ustands, es muy porosa; con frecuencia esponjosa. Varios tipos de agregados están presentes, los más, en estructuras mayores. La ausencia de evidencias sobre el movimiento de arcillas, se interpreta como un signo de que los agregados son estables.

Sin embargo, muchos Andisoles, pierden estabilidad y cohesión en su agregados después de ser sometidos a desecación, propiciando la pérdida de estructura y, consecuentemente, incrementando su erodabilidad, en particular, a la eolización (Van Wambeke, 1992).

III.J.3A.5.3. Retención de agua. Warkentin y Maeda (1980) consideran que el agua presente en los Andisoles no es retenida en la superficie de las arcillas, si no en pequeños vacios que dejan los minerales al intemperizarse. Consecuentemente, el contenido de agua presente y el volumen de espacios (vacios) es una función directa del contenido de alofano presente. Se ha comprobado que el sobre-desecamiento, experimental, de estos suelos cambia, totalmente y de modo irreversible su capacidad de retención de humedad, a 1500 kPa, hasta en un 75% menos.

Este fenómeno, posiblemente, se debe a la reducción irreversible de la superficie específica al deshidratar, drásticamente, al suelo. Desde luego la destrucción de la materia orgánica del suelo, también influye en la reducción de la capacidad de retención de agua.

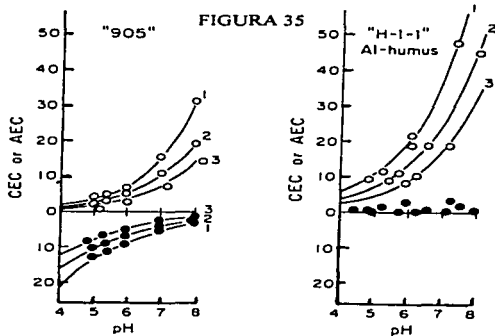
III.J.3A.6 Características Físico-Químicas:

La ausencia de minerales cristalinos, o su presencia escasa o moderada, en la fracción arcillosa típica a los Andisoles como suelos de carga variable. Es decir, en estos suelos las cargas que muestran los coloides dependen, principalmente, del pH y de la concentración de electrolitos en la solución del suelo. Estos constituyentes, pueden producir cargas positivas o negativas dependiendo, como antes se mencionó, del pH de la solución del suelo y del punto isoeléctrico (pHo) de los constituyentes edáficos. Se considera que el pHo es el pH del suelo al cual ningún sólido puede generar cargas superficiales, positivas o negativas, por procesos de protonación o deprotonación.

El pHo de la gibbsita es de 5 a 5.2, para el hidróxido de aluminio amorfo es de 7 a 9; y para los óxidos e hidróxidos de hierro es de 8.5. Los filosilicatos tienen un pHo bajo (pHo=2) al igual que el sílice amorfo y la materia orgánica. La densidad de carga que se desarrolla en la superficie de los coloides del suelo, cuando el pH se mueve alejándose de pHo, depende de los constituyentes del suelo, como de la concentración de electrolitos en la solución del suelo.

La concentración de electrolitos, es importante por dos razones: para interpretar la fertilidad del suelo, y para entender la evolución de las propiedades intercambiables.

En la figura se muestra la respuesta obtenida, siguiendo el diseño de Wada (1980), a las diferentes concentraciones de NH_4Cl en que la CIC fue medida a 0.1M, y 0.005 M. El ejemplo muestra una relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de 1.0 y una relación $\text{H}_2\text{O}(+)/\text{Al}_2\text{O}_3$ de 2.0.



Se acepta que la variación en las propiedades de intercambio, también se debe al procedimiento analítico utilizado. Así la determinación de CIC por $\text{IM-NH}_4\text{OAc}$ a pH7,

tiende a sobreestimar el valor de intercambio y, consecuentemente, a disminuir el porcentaje de saturación de bases. Un ejemplo, al respecto, se presenta en la tabla, donde un Udivitrands úmbrico colectado en Coatepec, Veracruz, fue analizado para determinar su C.I.C. a través de NH_4Cl -1M a pH 7 y 8.2, así en muestras normales, como en muestras previamente deshidratadas.

TABLA 39 DETERMINACIÓN DE LA CICT EN UN SUELO SENSITIVO

Suelo deshidratado por sobrecalentamiento (200°C)				Suelo Normal (1500 kPa)			
Profundidad (cm)	Horizonte	C.I.C.T. NH_4OAc pH 7.0	C.I.C.T. NH_4OAc pH 8.2	C.I.C.T. NH_4OAc pH 7	C.I.C.T. NH_4OAc pH 8.2	Saturación de Bases	
0-15	Ah	22.5	17.3	40.2	32.0	49.8	62.5
15-45	AB	17.3	14.2	37.5	27.0	53.0	74.0
45-70	(B)	12.9	11.0	35.0	23.0	57.0	87.0
70	C	-	-				

LOCALIZACIÓN: 19°30' - 97°00'.
COLECTO: J.E.GAMA

Como puede observarse, los valores de C.I.C.T. varían en cada caso, así como la saturación de bases, la cual decrece de 87.0 a 49.8, en este perfil, en función del pH de la solución empleada. También puede observarse que las muestras de suelo deshidratado, son las que presentan los valores de C.I.C.T. más bajos. Esto, probablemente, es debido a la reducción de la superficie específica del material coloidal por desecación. Como se mencionó anteriormente, estos cambios en la C.I.C.T. debidas a la deshidratación, tienden a ser menos reversibles en función inversa a los valores de la relación $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$, así los valores más bajos de esta relación, corresponden con los valores más altos de irreversibilidad del suelo.

OBSERVACIONES :

Recientemente, Gillman, Fox (1980) han propuesto un nuevo método a base de 0.002M- BaCl_2 , para medir la C.I.C. en Andisoles, argumentando que la fuerza iónica de este compuesto es muy próxima a la del suelo.

III.J.3B. PROPIEDADES DIAGNOSTICAS PARTICULARES

Con fines de ubicación taxonómica se estima, axiomáticamente, que el principal atributo de los Andisoles son sus propiedades ándicas. Ellas son un reflejo de la presencia, en un "Tiempo Cero" de materiales volcánicos parentales como ceniza, pómez, piroclásticos o lava. También pueden denotar diferentes estadios evolutivos del perfil, a través de la naturaleza y propiedades de las arcillas amorfas presentes, las cuales caracterizan el intemperismo rápido de los diversos materiales en climas húmedos o perhúmedos (Ustico-Udico-Per- Udico).

Esos minerales han sido descritos como los productos de un medio de formación de arcillas amorfas y, consecuentemente, de Andisoles. De acuerdo con Wada (1985), los Andisoles en las regiones templadas, pueden alcanzar su madurez en 2000 a 3000 años.

III.J.3B.1. Requerimientos e Identificación de las Propiedades Andicas.

Los requerimientos para diagnosticar las propiedades ándicas, incluyendo uno o ambos de los siguientes postulados (Soil Survey Staff, 1990) son:

A. La fracción de tierra fina (< 2mm) tiene todas las siguientes propiedades:

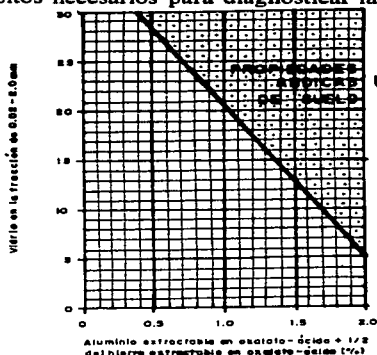
- a. La extracción de amorfos con oxalato ácido (EOA) es al menos de 2%.
- b. La densidad aparente (D.A.) medida a 33 kPa de retención de agua es de 0.90 g/cm³ o menos y
- c. La retención de fosfatos (Pret) es mayor que 85%

B. Treinta por ciento de la fracción 0.02 a 2 mm, tiene un Pret mayor a 25% y uno de los siguientes requisitos:

- a. La fracción de tierra fina tiene una EOA de al menos 0.40% y existe al menos 30% de vidrio volcánico en la fracción 0.02 a 2 mm.
- b. La fracción de tierra fina tiene un EOA de al menos 2% y existe al menos 5% de vidrio volcánico en la fracción 0.02 a 2 mm.
- c. La fracción de tierra fina tiene un EOA entre 0.40 y 2%, y un contenido recíproco de vidrio volcánico de entre 30 y 5% en las fracciones de 0.02 a 2 mm.

La figura 36 ejemplifica los requisitos necesarios para diagnosticar las propiedades ándicas en los suelos.

FIGURA 36



FUENTE:
USDA 1990

OBSERVACIONES

- Los suelos que se ubican en el área sombreada tienen propiedades ándicas si la fracción menor de 2.0 mm tiene una retención de fósforo mayor del 25 % y la fracción de 0.02 a 2.0 mm es al menos el 30 % de la fracción menor de 2.0 mm.

III.J.3B.2. Cuantificación Analítica de las Propiedades Ándicas.

Por otra parte, la identificación de las propiedades ándicas se basa en las siguientes técnicas de disolución química:

III.J.3B.2.1 Extracción con oxalato ácido (EOA). Se realiza agitando en la obscuridad, 1 g de suelo en 100 ml de oxalato de amonio 0.2 M (pH3) por 4 h. Se asume una disolución selectiva del aluminio "activo" y de los compuestos de hierro que están presentes en los materiales amorfos, tanto asociados como independientes del sílice amorfo. El método extrae alofano, imogolita, complejos de aluminio más hierro y humus, y amorfos de óxidos e hidróxidos, en ocasiones pobremente cristalizados. La extracción también asume que no disuelve gibbsita, goethita, hematita o filosilicatos.

Se intenta medir solo las cantidades de amorfos en el suelo, y este método se considera como el más preciso para lograrlo, sin embargo, no es posible esperar que los métodos químicos puedan distinguir los grados de cristalinidad, por lo que se debe ser cauteloso en la interpretación de los datos analíticos.

III.J.3B.2.2. Retención de fosfatos (Pret). Se define como el porcentaje de fosfato retenido por 1 g de suelo, después de equilibrarse con una solución de KH_2PO_4 . La retención se determina después de agitar toda la noche, 5g de suelo en 25 ml de KH_2PO_4 (pH 4.6) al 1%. El criterio es diagnosticar la dominancia de aluminio activo en las arcillas amorfas que se sintetizan, rápidamente a partir de cenizas.

El método se ha seleccionado con propósitos de identificación taxonómica y los niveles críticos, no necesariamente coinciden con los criterios de fertilidad. La concentración de 1% de KH_2PO_4 es más alta que los contenidos de P, que normalmente se presentan en las soluciones de suelo y, es posible, que el método en varios casos, sobreestime las cargas positivas de los coloides del suelo, bajo condiciones de campo. Por

concentración de 1% de KH_2PO_4 , es más alta que los contenidos de P, que normalmente se presentan en las soluciones de suelo y, es posible, que el método en varios casos, sobreestime las cargas positivas de los coloides del suelo, bajo condiciones de campo. Por otra parte, las propiedades ándicas sólo se reconocen en materiales que tienen menos de 25% de C.

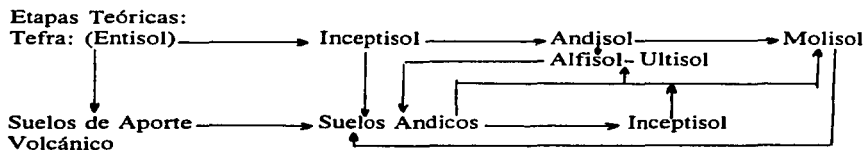
III.J.3C. TAXONOMIA DE LOS ANDISOLES TROPICALES Y SUBTROPICALES DE MEXICO: CLASE III ANDISOLES

Son suelos minerales que muestran propiedades ándicas en al menos 35 cm de los 60 cm de profundidad, a partir de la superficie, o en el 60% del suelo total si existe un contacto lítico o paralítico a una profundidad de 60 cm o menor.

Estos suelos incluyen un amplio grupo, que no sólo difiere por las propiedades del subsuelo en que se desarrollan si no que, además, muestran un número grande de variaciones en su régimen de humedad, etapas de intemperismo, condiciones de drenaje, lixiviación y lavado.

Es necesario considerar que no todos los suelos que se han formado de material volcánico, se clasifican como Andisoles. Varios de ellos han evolucionado a suelos más maduros como Molisoles, Alfisoles, Ultisoles y, en casos muy raros para México, en Oxisoles, o en suelos con propiedades oxidicas.

También es necesario considerar que los Andisoles son suelos transicionales entre los materiales volcánicos jóvenes y los Ordenes antes mencionados.



Con base en el trabajo realizado, se estima que en las zonas tropicales y subtropicales de México es posible reconocer la presencia de tres Subclases de Andisoles:

SUBCLASE III.1 ANDISOLES VITRICOS CON DRP LIMITADO (A_v).

Son suelos que muestran contenidos apreciables de materiales volcánicos inalterados, donde dominan las clases texturales gravosa y arenosa. Debido a su juventud, su complejo de alteración no muestra contenidos apreciables de minerales arcillosos amorfos, pero muestra un desarrollo relativo del perfil (DRP) y de los horizontes (DRH) mayor que

el de los Suelos de Aporte Volcánico (SaV). En los suelos de esta Subclase, la morfología, mineralogía y propiedades físicas, dependen del tipo de erupción, distancia al cráter, y modo de transportación y sedimentación.

Estos suelos muestran una retención de humedad a 1500 kPa de menos de 15% sobre muestras secadas al aire, y menos de 30% en muestras no secadas, a través de un espesor de 35 cm, o más, dentro de los 60 cm de la superficie del suelo mineral, o del límite superior de una capa orgánica.

III.J.3C.1. GRUPO III.1.1 Andisoles Víttricos con Regimen Ustico (Avu).

Son Andisoles cuya sección de control permanece húmeda menos de 90 días (consecutivos), pero no está seca 45 días consecutivos durante los 4 meses siguientes al solsticio de verano. Perfil A/C/Cw.

III.J.3C.1.1 SUBGRUPOS: Fueron identificados los siguientes:

- | | | |
|-----------|---|--------|
| III.1.1.1 | Andisoles víttricos, ústico-lépticos:
(Espesor total: < 50 cm) ----- | (Avu) |
| III.1.1.2 | Andisoles víttricos, ústico-úmbricos:
(Epipedón úmbrico) ----- | (Avum) |
| III.1.1.3 | Andisoles víttricos, ústico-típicos
(Epipedón ócrico) ----- | (Avut) |

La relación $S/100 + S/\text{arcilla} > 0.25$ ó < 0.25 da a estos Subgrupos el carácter de eutrófico o distrófico, respectivamente.

III.J.3C.1.2. GRUPO III.1.2 Andisoles Víttricos con Regimen Udico (AvU).

Son Andisoles cuya sección de control permanece húmeda 90 días (consecutivos) y 180 días (acumulativos) al año, y no está seca 45 días consecutivos durante los 4 meses siguientes al solsticio de verano. Perfil A/C/Cu y Ah/(B)/Cw.

III.J.3C.1.2.1. SUBGRUPOS: Se reportan cuatro:

- | | | |
|-----------|---|--------|
| III.1.2.1 | Andisoles víttricos, údico-lépticos:
(Espesor total: < 50 cm) ----- | (AvU) |
| III.1.2.2 | Andisoles víttricos, údico-ácuicos:
Muestran 2% o más de segregaciones redox; o cromas dominantes, en húmedo, de 2 o menos, o suficiente hierro activo para dar reacción positiva a la dipiridil-x ----- | (AvUa) |

- III.1.2.3 Andisoles vítricos, údico-thápticos:**
Muestran una capa sepultada, rica en materia orgánica, entre los 25 y 100 cm de profundidad -----(AvUt)
- III.1.2.4 Andisoles vítricos, údico-spódicos:**
Muestran un horizonte similar al espódico, formado en depósitos de arenas ricas en cuarzo (Riolitas) ----- (AvUs)

III.J.3C.2. SUBCLASE III.2 ANDISOLES USTICOS CON DRP MODERADO (Av).

Son Andisoles que muestran un desarrollo relativo del perfil (DRP) evidente, y corresponde con valores superiores a 10 con respecto al Índice de Bilzi y Cilcoz (1980). Estos suelos se han formado en un régimen Ustico, y ya muestran un perfil A/(B)/C o A/B/C que puede sobreyacer, y formar pseudo-perfiles, con horizontes Oxicos, Arglicos o Kándicos. Muestran, generalmente, epipedones ócricos pero pueden presentar epipedones úmbricos, e incluso mólicos.

Su complejo de alteración está constituido por alofanos, imogolita y otros amorfos a los rayos X. Hasta ahora sólo se identificó a un Grupo, y pertenece a condiciones de clima subtropical:

III.J.3C.2.1. GRUPO III.2.1. Andisoles Usticos Típicos (Aut)

Son suelos que en su tipogénesis sólo muestran un epipedón ócrico, mólico o úmbrico y un horizonte B que califica como estructural (B) o como cámbico (Bw) en los suelos más evolucionados. No presenta duripán dentro de los primeros 100 cm de profundidad.

III.J.3C.2.1.1. SUBGRUPOS: Los nueve Subgrupos que constituyen al Grupo son:

- III.2.1.1 Andisoles ústicos, típico-lépticos:**
(Espesor total: < 50 cm) ----- (Autl)
- III.2.1.2 Andisoles ústicos, típico-acuicos:**
Muestran 2% o más de segregaciones redox; o cromas dominantes, en húmedo, de 2 o menos, o suficiente hierro ferroso, activo, para dar reacción positiva a la dipiridil-x ----- (Auta).
- III.2.1.3 Andisoles ústicos, típico-thápticos:**
Muestra una capa sepultada, rica en materia orgánica, entre los 25 y 100 cm de profundidad. -----(Autt)
- III.2.1.4 Andisoles ústicos, típico-dístricos:**
La suma de bases extractables (S) más Al^{3+} extractable en KCl IN, es de menor de 15 $cmol(+) Kg^{-1}$ de tierra fina, en los 60 a 75 cm superiores del perfil ----- (Autd)
- III.2.1.5 Andisoles ústicos, típico-policíclicos:**
El perfil del Andisol sobreyace a un horizonte óxico (sepultado) cuyo

- límite superior se presenta dentro de los 125 cm de la superficie (Pseudo-perfil-suelo: policíclico) ----- (Autp)
- III.2.1.6 Andisoles ústicos, típico-álficos:
 Muestra un horizonte argílico o kándico (sepultado) dentro de los 125 cm de la superficie ----- (Autr)
- III.2.1.7 Andisoles ústicos, típico-mólicos:
 (Epipedón mólico) ----- (Autm)
- III.2.1.8 Andisoles ústicos, típico-úmbricos:
 (Epipedón úmbrico) ----- (Autu)
- III.2.1.9 Andisoles ústicos, típico-óéricos:
 (Epipedón óérico) ----- (Auto)

III.J.3C.3. SUBCLASE III.3 ANDISOLES UDICOS CON DRP MODERADO A ALTO (AU).

Son Andisoles que muestran índices altos de alteración del material parental, así como un desarrollo del perfil (DRP) muy evidente, con frecuencia intergradado hacia suelos fersialíticos e incluso, ferruginosos. Estos suelos se han formado en un régimen údico, y muestran un perfil A/Bw/C, donde el Bw muestra, en ocasiones, porcentajes elevados de arcillas cristalinas (halosita-caolinita-gibbsite) no iluviadas, además de alofano, imogolita y óxidos e hidróxidos de Fe y Al. Fueron identificados dos Grupos:

III.J.3C.3.1. GRUPO III.3.1 Andisoles Udicos con Retención de Humedad (RH) muy alta (AUh).

Estos suelos tienen una retención de humedad a 1500 kPa, en muestras no secadas, de 100% o más, con base al peso promedio ponderado a través de un espesor de 35 cm o más, dentro de los 100 cm iniciales de profundidad del suelo mineral o del límite superior de una capa orgánica que reuna las propiedades ándicas del suelo.

III.J.3C.3.1.1. SUBGRUPOS: Fueron reconocidos seis:

- III.3.1.1 Andisoles údicos con RH alta, lépticos:
 (Espesor total < 50 cm) ----- (AUhl)
- III.3.1.2 Andisoles údicos con RH alta, ácuicos:
 Tienen 2% o más de segregaciones redox; o cromas dominantes, en húmedo, de 2 ó menos, o poseen suficiente hierro ferroso para dar reacción positiva a la dipiridil-x ----- (AUha)
- III.3.1.3 Andisoles údicos con RH alta, acrudóxicos:
 La suma de bases extractable (S) más Al^{3+} extractable en KCl 1N es de menos de 2.0 cmol(+) kg^{-1} de tierra fina, en algún subhorizonte de 30 cm o más de espesor, entre 25 y 100 cm de profundidad --- (AUhx)
- III.3.1.4 Andisoles údicos con RH alta, thápticos:
 Muestran una capa sepultada, rica en materia orgánica, entre los 25 y 100 cm de profundidad. ----- (AUht)

- III.3.1.5 Andisoles údicos con RH alta, eútricos:
Tienen una suma de bases (S) mayor de 25 cmol (+) kg⁻¹ de tierra fina.
------(AUhe)
- III.3.1.6 Andisoles údicos con RH alta, útricos:
Muestran un horizonte, no genético argílico o Kándico con su límite superior dentro de los 125 cm de la superficie.----- (AUhu)

III.J.3C.3.2. GRUPO III.3.2 Andisoles Údicos Típicos (AUt).

Suelos que se han formado en un régimen údico. Carecen de un horizonte plácico, melánico o de capas cementadas dentro de los 100 cm de la superficie. Su retención de humedad (RH) a 1500 kPa, siempre es menor a 100% en cualquier subhorizonte del suelo. Su valor de pH Delta, generalmente, es mayor que: -0.5.

III.J.3C.3.2.1. SUBGRUPOS: Fueron establecidos los siguientes:

- III.3.2.1 Andisoles údicos, típico-lépticos:
(Espesor total: < 50 cm) ----- (AUtl)
- III.3.2.2 Andisoles údicos, típico-petroférricos:
Muestran contacto petroférrico dentro de los 100 cm a partir de la superficie -----(AUtp)
- III.3.2.3 Andisoles údicos, típico-alicos:
Tienen Al³⁺ extractable en KCl 1N de más de 2 cmol (+) kg⁻¹ a través de una capa de 10 cm o más de espesor entre 25 y 50 cm de profundidad. ----- (AUta)
- III.3.2.4 Andisoles údicos, típico-acrudóxicos:
La suma de bases extractables (S) más Al³⁺ extractable en KCl 1N de menos de 2 cmol (+) kg⁻¹ de tierra fina en algún subhorizonte de 30 cm o más de espesor, entre los 25 a 100 cm de profundidad. -- (AUtx)
- III.3.2.5 Andisoles údicos, típico-RH alta:
Presentan, en muestras no secas, de 70 a 100% de agua retenida a 1500 kPa a través de un espesor continuo de 35 cm o más dentro de los primeros 100 cm de profundidad. ----- (AUth)
- III.3.2.6 Andisoles údicos, típico-thápticos:
Muestran una capa sepultada, rica en materia orgánica, entre 25 y 100 cm de profundidad. ----- (AUtt)
- III.3.2.7 Andisoles údicos, típico-eútricos:
Tienen una suma de bases (S) de más 25.0 cmol (+) kg⁻¹ de tierra fina, en algún subhorizonte de 15 cm o más de espesor, entre los 25 y 75 cm de profundidad a partir de la superficie.----- (AUte)
- III.3.2.8 Andisoles údicos, típico-dístricos:
La suma de bases extractables (S) más Al³⁺ extractable en KCl 1N es de menos de 15 cmol (+) kg⁻¹ de tierra fina en los primeros 60 cm a partir de la superficie ----- (AUtd)

- III.3.2.9 Andisoles údicos, típico-óxicos:
Muestran un horizonte óxico (no genético) cuyo límite superior está dentro de los 125 cm de profundidad a partir de la superficie del suelo - - - - - (AUto)
- III.3.2.10 Andisoles údicos, típico-últicos:
Tienen un horizonte argílico o kándico con su límite superior dentro de los 125 cm de la superficie, y una saturación de bases (S/T) de menos de 35% a través de los 50 cm de aquel horizonte - - - - - (AUtu)
- III.3.2.11 Andisoles údicos, típico-áflicos:
Tienen un horizonte argílico o kándico, con su límite superior dentro de los 125 cm de la superficie. La relación S/T > 35%. - - - - - (AUtr)
- III.3.2.12 Otros Andisoles údicos:
Andisol údico, típico-ócrico - - - - - (AUty)

III.J.3D. GENESIS Y ALTERACION DE LOS ANDISOLES

Diversos autores como Kanno (1961); Aomine y Wada (1962), Kittrick (1969); Parfitt (1972), Buol (1980), Besoain (1985) y Aguilera (1989) entre otros, coinciden al afirmar que el proceso de andosolización se rige por tres principios básicos e independientes de la naturaleza petrográfica (basalto-andesita-dacita-riolita) y climática (excepción clima xérico) y son: (a) universalidad de la secuencia de meteorización; (b) especificidad y continuidad de los procesos y (c) dominancia del alofano entre los primeros productos neoformados.

III.J.3D.1. Etapas de Alteración.

Según Hetier (1973) la génesis de los Andisoles consta de tres etapas principales:

III.J.3D.1.1. Primera etapa: Alteración geoquímica y diagenética. Ocurre antes de la colonización por la vegetación y de la incorporación de materia orgánica. Durante esta etapa, los materiales volcánicos parentales se caracterizan, generalmente, por sus altos contenidos en cationes y la presencia de materiales amorfos, producto de la hidratación de los vídrios volcánicos, con relaciones altas SiO_2/R_2O_3 .

Estas primeras etapas, en los climas húmedos, proporcionan suficientes nutrimentos a los cultivos, durante un lapso corto (Andisoles Udicos) en tanto que en condiciones ústicas (Andisoles ústicos) los contenidos volumétricos de nutrimentos (Bases/Mg/ha/1m) siempre son altos y muy perdurables. Hetier (1975) considera que los geles formados en esta etapa, evolucionan por cristalinización progresiva, dando arcillas neoformadas.

III.J.3D.1.2. Segunda etapa: Alteración bioclimática e incorporación de la materia orgánica. La incorporación de hidrosolubles procedentes de la hojarasca modifican la tipogénesis inicial, básicamente geoquímica, propiciando fenómenos de alteración por acidólisis. Al parecer, los compuestos húmicos formados en esta etapa, mantienen a los geles minerales en estado amorfo, impidiendo la neoformación de arcillas cristalinas. En esta etapa las bases y la sílice son eliminadas progresivamente en estado soluble: (Desbasificación y

desilificación); incrementándose, esta última, según se incrementa la incorporación de materia orgánica.

A medida que el desarrollo del suelo continua y cuando un gran porcentaje de los minerales primarios es alterado, los nutrientes disminuyen de su nivel eútrico (> 25.0 cmol (+)) a límites dístricos y la relación Al_2O_3/SiO_2 se incrementa en los materiales amorfos, propiciando en consecuencia, que el aluminio activo genere problemas sobre algunas propiedades agronómicas del suelo como son: mayor retención de fosfatos y mayor acumulación de materia orgánica.

En el trópico este fenómeno ocurre muy frecuentemente y está representado, en sus últimos estadios, por varios Grupos de Andisoles Udicos y por los SubGrupos acrudóxico, álico e incluso típico.

Por otra parte, los amorfos ricos en alúmina, ejercen un efecto físico sobre la materia orgánica, ya que al mantener una condición de humedad constante, aceleran la descomposición de la materia orgánica fresca, pero estabilizan y protegen los compuestos humificados contra la biodegradación microbiana, propiciando su acumulación en el perfil. **En los medios donde la concentración de silicio en solución es alta y la acidez es menor a pH 4.5, se movilizan también el hierro y el aluminio, propiciando fenómenos de podsolización.**

III.J.3D.1.3. Tercera etapa: Envejecimiento de los geles mixtos. Los geles orgánicos y minerales evolucionan, a través del tiempo, a formas más específicas: los hidróxidos de aluminio se individualizan y los ácidos húmicos se encuentran sólo en estado adsorbido sobre la superficie de los geles y tienden a conservarse, una vez alcanzada su madurez, casi sin ningún cambio por mucho tiempo. **En estas condiciones, la acción inhibitoria de los compuestos húmicos sobre la cristalización de los geles tiende a desaparecer y vuelve a ser posible una neoformación limitada de arcillas.**

Estas arcillas, debido al empobrecimiento del medio en bases y sílice, son diferentes a las formadas en la primera etapa (haloisita, imogolita y montomorillonita) y consisten, principalmente en caolinita y gibbsita. Este último mineral puede presentarse, en casi todos los Andisoles con excepción de los muy recientes. Generalmente un medio, como el trópico que favorece la desilicatación y el lavado, estimula la transformación del alofano a gibbsita. En el caso de la caolinita, se considera que ésta se forma a partir del alofano, via haloisita. **En casos de déficit extremo en sílice, la ferralitización puede suceder a la andosolización.**

Se estima que una saprolita caolínica a partir de una condición inicial de material volcánico-Andisol se forma con una velocidad que varía de 4 a 40 mm por mil años. Esto depende de la naturaleza mineralógica del material parental. Así en una roca básica es 2.5 veces más rápido que en una roca ácida, sin embargo, existen tres factores que pueden alterar la velocidad de transformación y son:

1. **Porcentaje de flujo, índice de reacción y composición química.** Son factores no constantes que cambian con el tiempo, o que son mínimos en los primeros estadios de formación del suelo.

2. **Diferencias, a través del tiempo, en la velocidad de erosión y**
3. **Cambios en porcentajes y biotipos de microorganismos y de compuestos orgánicos.**

PERFIL 14

CLASIFICACION**PROPUESTA:**

Andisol Vitrico
Udico-léptico

LOCALIZACION:

Las Margaritas, Puebla

TOPOGRAFIA: Ondulado

DRENAJE: Drenado

FAO-UNESCO

1988

Andosol-Vitrico

MATERIAL**PARENTAL:**

Vidrio volcánico
andesítico

CLIMA: Aw2

VEGETACION: Pastizal

SOIL TAXONOMY

1990

Udivitrands-
leptic

EDAD: Actual

EDAFOClima: Udico

REGION: S. M. Oriental

III.J.3D.2a.1. MORFOLOGIA DEL PERFIL 14.**Ah 0-17 cm**

Horizonte pardo oscuro (7.5YR3/3 en húmedo), migajón arenoso, predominantemente, fino (> 50% de arena fina), agregados finos y estables que constituyen una estructura granular; friable en húmedo, no adhesiva ni plástica, raíces en cantidad muy abundante (> 50 dm²), poroso y bien aireado, sin tixotropía. Contacto claro e irregular.

(Bw) 17-40 cm

Horizonte rojo amarillento (5YR4/6), migajón arenoso; aunque muestra mayores porcentajes de arcilla, estructura subangular, media, débil a moderadamente estable, que presenta algunos esqueletanes que evidencian una débil eluviación de arcilla en las caras de los agregados. El ped es ligeramente adhesivo y no plástico, poroso y muestra grava de 10 mm de diámetro en porcentajes que varían de 1 a 5%. Raíces abundantes (> 35% dm²). Contacto claro e irregular.

C 40-47 cm

Capa no consolidada, constituida por vidrio y cenizas volcánicas de color negro (5YR1/1). Texturalmente, corresponde con la clase fragmentada, en la que se incluye la presencia de grava, partículas de arena muy gruesa y de tierra fina, insuficiente para rellenar los intersticios de más de 1 mm de diámetro.

R > 47 cm

Riolita

ANALISIS FISICOS DE LA FRACCION < 2 mm

PROFUND. (cm)	HORIZONTE (A-B-C)	TEXTURA SA/ TOTAL (%)				ARENA (%)				LIMO (%)				ARCILLA (%)	VIDRIO VOLCANICO FRACCION 0.02 a 2mm (%)	DENSIDAD APARENTE (g/cc) 33% SUELO	RETENCION HUMEDAD (1500KPa) (%)	RELACION LIMOS/ARCILLA (%)
		ARENA	LIMO	ARCILLA	GRAVA	GRUESA	GRUESA	MEDIA	FINA	GRUESO	FINO	< 0.002						
		2-0.05 0.002	0.05- 0.002	< 0.002	> 2	2-1	-1-0.5	0.5 a 0.25	0.25 0.10	0.05 0.02	0.05 a 0.02	0.02	0.002					
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)							
0-17	Ah	60	29	10	1	-	-	-	55.0	5	20	10	10	15	0.75	14.7	2.9	
17-40	(Bw)	50	30	17	3	-	5	10	33.0	2	16	14	17	20	0.83	12.5	1.1	
40-47	C	75	10	5	10	65	5	5	-	-	10	-	5	30	0.92	3.7	2.0	
47	R																	

ANALISIS QUIMICOS Y FISICO-QUIMICOS DE LA FRACCION < 2 mm

MATERIA ORGANICA (%)	CARBON ORGANICO (%)	NITROGENO 6B1 a (%)	C/N	BASES INTENCIONALES mg/100 g suelo				SMA DE BASES (S)	C.I.C.T. SA 1 a %Ca (mg)	RELACION S/T	pH Valor Delta	ANFOS *P O A (%)	RETENCION PO4 (Pret)	Fe (6C,a) Extractable		DRP	pH	
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺							Fe	Fe2O3		8C1a	8C1b
13.7	5.63	0.400	14.0	7.8	2.1	0.3	1.1	11.3	25.3	44.66	-1.1	1.45	63 %	4.6	6.6	15	6.5	5.4
6.8	2.70	0.189	14.2	11.7	2.0	0.1	0.7	14.5	20.0	72.50	-1.0	1.50	75 %	6.8	10.1	20	6.5	5.5
1.0	0.66	0.060	11.0	9.2	2.5	0.4	0.9	13.0	14.2	91.54	-0.6	0.70	60 %	2.1	3.3	9	6.7	6.1

ANALISIS QUIMICO TOTAL DEL SUELO Y ROCA SUBYACENTE

PROFUND. (cm)	HORIZONTE (A-B-C)	CONSTITUYENTES COMO OXIDOS											RELACIONES SIO2/SIO2 AL2O3	INDICE SIO2/R2O3					
		SIO2	Al2O3	TIO2	Fe2O3	FeO	K2O	CaO	MgO	Na2O	K2O	P2O5			F.P.F.I.	AGUA	TOTAL		
0-17	Ah	52.0	19.3	0.44	8.8	3.6	0.25	4.2	3.7	1.0	0.69	-	7.50	93.98	7.50	101.48	4.58	3.55	-
17-40	(Bw)	53.2	18.1	0.49	8.5	2.2	0.15	3.9	2.7	1.3	0.30	1.1	8.70	91.94	8.70	100.64	5.00	3.85	0.73
40-47	C	57.0	17.0	0.7	2.4	3.0	0.6	8.0	0.5	1.00	1.6	1.3	8.10	93.10	8.10	101.20	5.72	5.25	-
47	IIR	73.0	13.0	0.7	1.25	0.75	0.35	1.13	0.20	0.60	4.80	0.75	3.85	96.53	3.85	100.38	9.60	9.10	-

OBSERVACIONES:

III.J.3D.2a.2. CARACTERES DIAGNOSTICOS. Este suelo muestra propiedades distintivas, muy diagnósticas, para un Andisol Vitríco, Udico-léptico como son:

- 1. Profundidad total:** El suelo esta limitado en su profundidad por una roca riolítica situada a menos de 50 cm de la superficie. Esta característica le da al suelo, los extragrados de lítico (piedra) y léptico (delgado).
- 2. Granulometría:** Textualmente, se ubica al suelo en la clase de arena fina (55% en A, y 33% en (Bw) donde los porcentajes de vidrio volcánico varían de 15 a más de 20, confirniéndoles a estos suelos un carácter vitríco, que se acentúa por las bajas densidades aparentes que muestran (0.75 g/cc a 0.92 g/cc). Se observa, no obstante la juventud del suelo, un índice de arrastre de arcillas (1.7) y de hierro (1.5 Fe2O3) de Ah a (Bw significativo, que sirve de criterio para establecer la presencia de un horizonte de iluvación y acumulación (Bw). La retención, moderadamente baja, de agua a 1500 kPa,

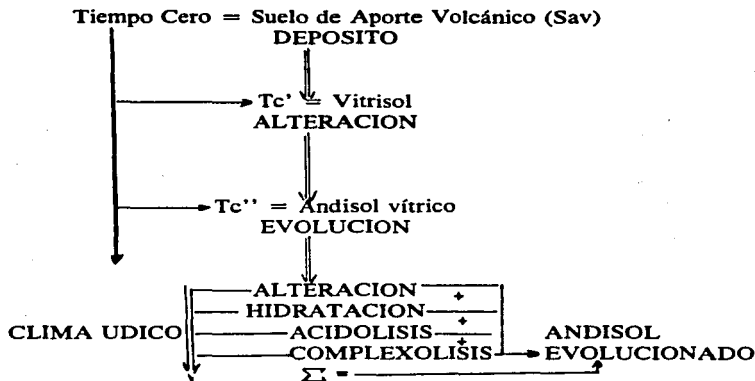
en todos los casos menor a 15%, es resultado de la textura gruesa que muestran, sin embargo; es diagnóstica de los Andisoles vítricos. Los valores de DPR, no obstante ser también bajos, los diferencian claramente de los Entisoles (Suelos de Aporte Volcánico Reciente). Las relaciones altas $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ que muestran ubican a este suelo en los primeros estadios de evolución propuestos por Hetier (1975).

3. **Fracción orgánica.** El humus en estos Andisoles aún es escaso, debido a la incipiente alteración bioclimática que muestran. Sin embargo la amplia relación C/N que presentan (> 13) permite identificarlo. Los valores C/N, ligeramente superiores a 14, como es el caso, son según Swindale (1964) característicos de regiones perhúmedas.
4. **Complejo absorbente:** El horizonte Ah muestra una fuerte desaturación de bases, característica de materiales volcánicos jóvenes, que se alteran en regímenes údicos o perúdicos. La C.I.C.T. es moderada, y oscila según los valores de pH por la carga variables de los coloides presentes. A medida que se acentúe la lixiviación de las bases. Los valores de pH Delta serán 0, ó de +1 y la retención de fósforo (60-75%) que, actualmente, muestran se incrementará en todos los horizontes a más de 85%.
5. **Amorfos:** Los porcentajes de amorfos extraíbles por EOA (1.50 a 0.70) con relación a los porcentajes de vidrio volcánico (> 15 a > 30) les confieren a estos suelos, el carácter Andico, excepto por los valores de retención de fosfatos. Sin embargo es explicable la retención baja, ya que en esta etapa evolutiva los contenidos de aluminio activo. También son bajos. Los valores de pH Delta obtenidos, confirman esta aseveración.
6. **Análisis Químico total:** Los valores de óxidos totales obtenidos, indican el origen de este suelo a partir de un material piroclástico de naturaleza andesítica. Como puede observarse en la tabla de análisis, debido a la juventud del suelo ($\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$) y a su moderada alteración, es posible identificar en todos los horizontes la influencia mineralógica y química del material parental. El valor β obtenido (0.73) indica que existe translocación ligera de materiales en el perfil y la presencia de un horizonte (Bw) formado a partir del horizonte A.

III.J.3D.2a.3.

EVOLUCION: Estos suelos debido a los caracteres pedológicos que muestran, pueden ser considerados como representativos de la primera etapa evolutiva, propuesta por Hetier (1975), en su fase más evolucionada.

PRIMERA ETAPA



En estos suelos, las condiciones ecológicas particulares en que se desarrollen, orientarán su tipogénesis e incluso su manejo: así en medios de saturación con agua, en el que predomine la movilización del Fe^{++} , la probabilidad es que evolucionen a Andisoles con RH altos (Grupo III.3.1) o que en condiciones de mayor acidez y riqueza de sílice, muestren procesos similares a la podsolización (Andisol vítrico, údico-spódico) e incluso, en condiciones extremas del trópico, lleguen a constituir Subgrupos Acrudóxicos (AUtx) genética y evolutivamente muy relacionados con los suelos ferruginosos y ferralíticos.

De igual modo, su manejo también depende del clima. Su baja retención de humedad, hace de la lluvia el factor más crítico para la producción de cultivos. Las plantas perennes de raíces profundas, tienen más posibilidad de sobrevivir que los cultivos anuales.

PERFIL 15

CLASIFICACION**PROPUESTA:**

Andisol Ustico
Típico-Ocrico

FAO-UNESCO

1988

Andosol-Háplico

SOIL TAXONOMY

1990

Typic Eutrandept

LOCALIZACION:

Jamapa, Ver.

TOPOGRAFIA:

Ondulada

DRENAJE:

Bien drenado

MATERIAL**PARENTAL:** Piroclás-
ticos andesíticos**CLIMA:** Awc (w)**VEGETACION:**

Pastizal Inducido

EDAD: Actual**EDAFOCLIMA:**

Ustico

REGION:

S. M. Oriental

III.J.3D.2b.1.**MORFOLOGIA DEL PERFIL 15****Ah 0-20 cm**

Horizonte de color pardo oscuro, en húmedo (7.5YR2/2) y pardo en seco, (7.5YR3/3) de textura migajón limosa; con estructura granular fina y subangular fina; bien desarrolladas; de consistencia blanda y friable, ligeramente adhesiva y plástica. Muestra tixotropismo acentuado y el ped es untuoso al tacto. La densidad de raíces es muy elevada de igual manera que el contenido de restos orgánicos vegetales, parcialmente descompuestos. Poroso y bien aireado, reacciona fuertemente a la fenoltaleina. Contacto claro e irregular.

AB 20-33 cm

Pardo oscuro en húmedo (7.5YR3/2) y pardo en seco (7.5YR3/4). Muestra textura limosa, con estructura en bloques angulares finos, ligeramente duros en seco y friables en húmedo. Consistencia untuosa, ligeramente adhesiva y plástica, tixotrópica; abundantes raíces finas y muy finas (> 100 dm²); poros finos y medios abundantes; reacción fuerte a la fenoltaleina. Contacto gradual e irregular.

B2 33-65 cm

Horizonte iluvial, pardo rojizo oscuro (5YR3/3); de textura migajón limosa, rico en minerales intemperizables (feldespatos cálcicos) presenta, también, vidrio volcánico muy alterado, en porcentajes altos (> 30%). Se caracteriza además por la presencia de una estructura edáfica, porosa, bien aireada, que muestra porcentajes altos de raíces y tubos de anélidos y de larvas. Contacto abrupto con el horizonte que le subyace.

Cw 65-100 cm

Horizonte mineral regolítico, constituido por cenizas y piroclásticos alterados, con tamaños que varían 0.5 mm a 12 mm. Estructura de grano simple, limosa en ocasiones cementada débilmente. Lo que le confiere dureza en seco, pero es suelta en húmedo. Raíces escasas y estratificación (laminar) intermitente. Contacto plano y abrupto.

II C 100-150 cm

Capa sepultada.

ANALISIS FISICO Y FISICOQUIMICOS DE LA FRACCION < 2 mm

PROFUND. (cm)	HORIZONTE (A-B-C)	CLASE TEXTURAL TOTAL (%)			VIERO VOLCANICO FRACCION 0.5 a 0.002 mm (%)	DIAMETRO DE PARTICULA (µ)								RELACION LIMO ARCILLA	DENSIDAD APARENTE 33KPa (g/cc)	DENSIDAD DE PARTICULA (g/cc)
		ARENA 2 - 0.05 (mm)	LIMO 0.05- 0.002 (mm)	ARCILLA < 0.002 (mm)		MAY GRUESA				MAY FINA						
						1-0.5 (mm)	0.5- 0.25 (mm)	0.25- 0.10 (mm)	0.10- 0.05 (mm)	0.05- 0.02 (mm)	0.02- 0.002 (mm)	ARCILLA < 0.002 (mm)				
0-20	Ah	28.0	48.0	24.0	17.0	8.0	3.52	7.55	3.18	5.75	21.0	27.0	24.0	2.00	0.71	2.67
20-33	AB	25.0	49.0	26.0	17.0	3.50	3.52	5.40	6.10	6.48	22.5	26.5	26.0	1.88	0.75	2.75
33-65	B2	25.0	55.0	20.0	21.0	2.50	3.20	4.30	9.35	5.65	30.7	24.3	20.0	2.75	0.80	2.77
65-100	Cv	65.0	34.0	1.0	30	33.3	15.7	8.50	7.50	-	25.4	8.6	1.0	3.40	0.85	2.75

ANALISIS QUIMICOS Y FISICOQUIMICOS DE LA FRACCION < 2 mm

M.O. (%)	6A1a C	6B1a N	C/N	BASES INTERCAMBIABLES mg/100g de suelo				SUMA DE BASES S	C.I.C.T. (T)	SATURACION DE BASES S/T	ACIDEZ POTENCIAL g.H ⁺ /ha	EH			PH DELTA	RETENCION DE FCSPATOS (Pret)	RETENCION DE HUMEDAD		D.R.P
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺					H ₂ O	KCl	Naf			33	1500	
12.0	5.75	0.45	12.7	36.0	12.0	3.4	3.1	54.5	59.7	91.29 %	72800	6.8	5.8	10	-1.0	55 %	65.3	33.3	25.0
5.7	2.85	0.23	12.4	39.0	11.5	3.6	2.9	57.0	60.3	94.52 %	32175	7.3	6.5	10	-0.8	50 %	63.7	35.8	27.0
5.5	2.67	0.20	13.3	42.0	10.3	4.0	1.3	57.6	61.5	93.65 %	99840	7.4	6.5	10	-0.9	60 %	70.5	45.6	35.0
1.2	0.39	0.05	7.8	20.5	4.7	2.6	0.8	28.6	30.3	94.38 %	50575	7.6	6.4	10	-1.2	60 %	18.3	15.1	—

ANALISIS DE OXIDOS TOTALES DE LA FRACCION < 2 mm

SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	FeO (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	P.P.I. (%)	Total (%)	RELACIONES			INDICE
													SiO ₂ Al ₂ O ₃	SiO ₂ Fe ₂ O ₃	SiO ₂ R ₂ O ₃	
29.0	4.4	21.0	17.8	n.d.	0.32	4.60	2.61	0.47	0.06	0.75	19.5	100.51	2.34	1.52	—	
29.7	4.4	21.9	19.7	n.d.	0.33	4.95	2.50	0.47	0.35	0.79	15.3	100.30	2.31	1.46	—	
29.5	4.4	22.8	20.0	n.d.	0.29	4.30	2.05	0.47	0.25	0.65	15.5	100.21	2.20	1.41	0.257	
40.2	4.7	16.5	14.6	n.d.	0.23	6.70	2.60	1.15	0.96	0.51	7.20	100.35	4.13	2.64	—	

Fe (%)	EXTRACTABLE Fe ₂ O ₃ (%)	AMORFOS		
		0.5N SiO ₂	N ₂ O ₃	EOA
8.5	12.7	12.63	8.33	1.75
11.2	14.9	12.90	8.70	1.83
10.3	14.2	13.40	9.20	1.95
2.0	3.3	11.90	4.50	1.20

III.J.3D.2b.2.

CARACTERES DIAGNOSTICOS:

1. **Granulometría.** El *solum* está constituido, principalmente, por limo y sobreyace a capas muy arenosas (arena gruesa), lo que además de propiciar un cambio textural abrupto entre los horizontes B2 y Cw (20:1 arcilla) genera cambios en la porosidad y drenaje interno del suelo. El contenido de arcillas en el perfil es moderado (20-26%) lo cual junto con la materia orgánica presente, tipo de estructura y permeabilidad, eficiente, que muestra; le

confieren al perfil una baja erodabilidad ($k=0.18$) un índice alto de estabilidad estructural (3 en el horizonte Bw) y una, casi, nula degradación física, no obstante los contenidos en limo que presenta.

La fracción mineral comprendida entre 0.5 a 0.002 mm está constituida por vidrio volcánico muy alterado, en porcentajes que oscilan de 17 a 30 lo cual le da, además, de una propiedad ándica, diagnostica, un carácter ligeramente vítrico, que permite correlacionarlo, genéticamente, en sus primeros estadios con varios Grupos de Andisoles vítricos. Sin embargo, su retención de humedad a 1500 kPa, que actualmente muestran, (33.3 a 45.6%) los excluye taxonómicamente de estos grupos. Los valores de DRP que presentan, los sitúan como suelos con desarrollo moderado (DRP=25 a 35).

2. **Amorfos minerales.** Los contenidos en amorfos minerales sílico-alumínicos en el *solum* (20.96% en Ah y 22.60% en B2), así como los valores de EOA para Ah/AB/B2, permiten situar a este suelo entre los Andisoles típicos. Los contenidos en hierro también son altos: 12.7 en el Ah y 14.2 en Bw. En total la fase amorfa se eleva a más del 30%.
3. **Complejo absorbente.** La C.I.C.T. es elevada, y según los valores de pH Delta obtenidos (-0.8 - 1.2) está constituida, principalmente, por cargas variables de la superficie de los amorfos, más que por las arcillas cristalinas (haloisita-ilita) o materia orgánica presente. La relación S/T en todos los casos es muy elevada (> 90%) por lo que, la acidez actual tiende a la neutralidad-alcalinidad, y la acidez potencial es muy baja (< 100000 g.H+/ha) dándole un carácter netamente eutrófico a estos suelos.

La fijación o retención de fosfatos no es muy alta (50-60%) debido a que las condiciones de pH son neutras o alcalinas, y consecuentemente, la solubilidad del $Al(OH)_3$ no es muy alta ($K_{sp} = 1.6 (10^{-13})$ moles/L a 20°C).

4. **Caracteres bioquímicos.** El contenido en M. O. es elevado en el *solum* (12.0 - 5.5%), así como los contenidos de C y N, los cuales dan una relación (C/N) que indica una fuerte actividad biológica, aunque los índices humolíticos (HI) y humogénicos son bajos: (12 y 15 respectivamente). Esto debido, posiblemente, a las condiciones climáticas que favorecen la mineralización de la materia orgánica.
5. **Composición química total.** El análisis de óxidos totales, indica que estos suelos se han formado a partir de un material neutro-básico (Horizonte CW: $SiO_2 = 40.2$; $Al_2O_3 = 16.5$) fácilmente alterable ($SiO_2/R2O3 = 1.41$ a 1.52) que ha permitido una evolución rápida de las capas (índice $\beta = 0.257$) hasta la formación de un horizonte (Bw) cámbico. En las condiciones actuales de drenaje pedológico moderado (t 250 mm) la formación de haloisita por cristalización de los amorfos, es completamente factible.

III.J.3D.2b.3 CONSIDERACIONES GENERALES. La más severa deficiencia de nutrimentos en algunos de los Andisoles evolucionados (Etapa 2) es relativa al P. Sin embargo, actualmente aún es difícil idear una prueba satisfactoria para determinar los requerimientos de P en los Andisoles. Por otra parte, los cultivos difieren en sus necesidades por este elemento: la papa y el camote son plantas que muestran requerimientos bajos de P en tanto que el maíz, frijol y cacao lo demandan en cantidades altas.

Los Andisoles difieren en sus requerimientos de P, por ejemplo: para alcanzar un requerimiento externo de P de 0.2 mg/1, un suelo como el que caracteriza el perfil 15 (Andisol Ustico) necesita absorber 200 mg P/kg de suelo; un Andisol Udico con RH alto (> 85%) necesita 1200 mg/kg y un Andisol que muestre hidromorfismo (Andisol Udico-Acuico) necesita 2500 mg/kg. Los Andisoles muy alterados, ricos en aluminio y amorfos, llegan a requerir hasta 4t/ha de P.

OBSERVACIONES

Actualmente, uno de los mejores métodos para determinar deficiencias de P es el método modificado Truog (1952). Para la extracción se utiliza 0.02 M $(\text{H}_2\text{SO}_4)_2$ + 0.03% $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ aplicado a las muestras sin secar. El valor crítico de 25 ppm de P, depende, para ser experimentalmente alcanzado, del espesor del epipedón y de su densidad aparente.

Por otra parte, la efectividad de la fertilización con P depende del método de aplicación. Briones (1982) considera que aplicaciones de dosis pequeñas (20 a 40 kg P/ha) y en forma sistemática (4 veces durante el cultivo) propician un incremento en la producción mucho mayor que cuando se aplican altas dosis. Esto se debe a que la difusión, lixiviación y pérdida de P, propiciada por la alta percolación y drenaje de los Andisoles, se incrementa notablemente durante la época de lluvia. Los japoneses, atenuan esta lixiviación y pérdida, reduciendo la permeabilidad del suelo, a través de adicionarle > 10 t/ha de bentonita.

PERFIL 16

CLASIFICACION**PROPUESTA:**

Andisol Udico
típico-dístrico

FAO-UNESCO**1988**

Andosol Háplico, dístrico

SOIL TAXONOMY**1988**

Acruoxic Hapludand

LOCALIZACION:

Xicontepec, Puebla

TOPOGRAFIA:

Casi plana

DRENAJE: Muy drenado

MATERIAL**PARENTAL:**

Ceniza volcánica-andesítica

CLIMA: A (fm)

VEGETACION: Pastizal

EDAD: Actual

EDAFOCLIMA:

Udico

REGION:

S. M. Oriental

III.J.3D.2c.1.**MORFOLOGIA DEL PERFIL 16****Ah 0-16 cm**

Horizonte de color pardo oscuro en húmedo (7.5YR3/2), de textura migajón arcillo limoso, estructura subangular y granular, de tamaño medio y fino, bien desarrollada, ligeramente dura en seco y friable en húmedo, de consistencia adhesiva y plástica, no tixotrópica, muy poroso y bien aireado. Muestra una densidad alta de raíces finas (> 60 dm²). Contacto claro e irregular.

B1 16-45 cm

Pardo rojizo muy oscuro, en húmedo (5YR3/2), migajón arcillo limoso, estructura angular media, moderadamente desarrollada, ligeramente dura en seco y friable en húmedo, ligeramente adhesiva, plástica y, débilmente, tixotrópica. Poros finos y raíces finas y medias muy abundantes. Contacto claro e irregular.

B2 45-91 cm

Pardo rojizo oscuro en húmedo (5YR3/3) migajón arcillo limoso, estructura fina y media subangular, consistencia ligeramente dura, pero friable en húmedo, moderadamente adhesivo y plástico, débilmente tixotrópico. Poros finos y raíces medias y gruesas abundantes. presenta gravas duras en porcentajes de \pm 3% del volumen del horizonte. Contacto gradual e irregular.

B3 91-130 cm

Pardo rojizo en húmedo (5YR4/4) migajón limoso, estructura débil en bloques subangulares, consistencia dura, ligeramente, compactada pero muy friable en húmedo, ligeramente adhesiva y ligeramente plástica, débilmente tixotrópica. Presencia de gravas (20% del volumen) muy alteradas y deleznales. Contacto claro e irregular.

Cw 130-180 cm

Capa de color pardo grisáceo (10YR6/2) en húmedo y gris claro en seco (10YR7/2), franca; gruesa, estructura muy débilmente desarrollada de forma subangular, ligeramente dura en seco y muy friable en húmedo, ligeramente adhesiva, no plástica y muy débilmente tixotrópica. Raíces escasas, porosidad fina abundante; 50% del volumen está constituido por saprolita.

ANALISIS FISICOS Y FISICO-QUIMICOS DE LA FRACCION < 2 mm

CLASES TEXTURALES Y DIAMETRO DE PARTÍCULA (mm)											RELACION LIMOSARCILLA	ESTABILIDAD EXTRUCTURAL L _o Ac Arena	DENSIDAD APARENTE 33kPa	DENSIDAD PARTÍCULA	LÍMITE PLÁSTICOS (%)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	
TOTAL (%)		ARENA (%)				LIMO (%)		ARCILLA (%)	LIMO ARCILLA	L _o Ac							g/cc
ARENILLA	LIMO	ARENILLA	GRAVA	GRUESA	GRUESA	MEDIA	FINA	GRUESO			FINO	(%)					
2 - 0.5- 0.05	0.5- 0.002	0.002	>2-7	2-1	1-0.5	0.5- 0.25	0.25- 0.10	0.05- 0.02	0.02	< 0.002							
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)							
15	55	30	-	-	-	3	5	7	13	42	30	1.83	5.66	0.72	2.67	65	85
15	50	35	-	-	-	2	5	8	12	38	35	1.42	5.66	0.70	2.75	65	85
14	50	33	3	-	-	1	10	3	10	40	33	1.51	6.28	0.78	2.00	68	85
5	60	15	20	-	-	3	2	-	23	37	15	4.00	3.00	0.85	2.85	50	75
8	40	2	50	6	2	-	-	-	15	25	2	20.00	0.72	1.20	2.90	35	40

ANALISIS FISICO, QUIMICOS Y FISICO-QUIMICOS DE LA FRACCION > 2 mm

RETENCION DE AGUA (kPa)		FEL. ARCILLA: C.I.C. Fe		M.O. Agua		M.O. C N C/N				BASES INTERCAMBIABLES meq/100g de suelo				C.I.C.T. (T)		S/T (T)		ACIDEZ Kg. H ₂ /Ha		PH Bgic		PH DELTA		RETENCION DE FOSFOROS (Pret)
33	1500	Ext.	1500 kPa	(#)	(#)	(#)	(#)	(#)	(#)	Ca++	Mg++	Na+	K+	(meq)	(#)	(#)	(#)	(#)	H ₂	KCl	1:50	(#)	(#)	(#)
65.2	45.2	1.32	0.38	1.5	11.7	6.35	0.470	13.5	10.5	3.7	0.5	0.9	39.5	39.4	274.0	6.1	5.5	10	-0.6	85%				
69.3	46.0	1.03	0.28	1.3	6.1	3.20	0.250	12.8	7.3	2.4	0.5	1.1	36.3	31.1	507.5	6.3	5.6	10	-0.7	85%				
55.5	39.7	1.08	0.27	1.2	5.2	2.60	0.200	13.0	5.2	1.3	0.6	0.9	35.7	22.4	993.9	6.2	5.6	10	-0.6	85%				
40.6	35.1	1.62	0.50	2.3	1.5	0.80	0.060	13.3	3.6	2.8	0.9	1.5	24.3	36.2	513.8	6.1	5.5	10	-0.6	85%				
34.7	25.2	9.25	12.6	12.6	0.50	-	-	-	1.7	1.8	1.1	2.9	18.5	40.5	660.0	6.0	5.2	10	-0.8	85%				

ANALISIS DE OXIDOS TOTALES DE LA FRACCION < 2 mm

SiO ₂ (#)	TiO ₂ (#)	Al ₂ O ₃ (#)	Fe ₂ O ₃ (#)	FeO (#)	MnO (#)	H ₂ O (#)	CaO (#)	Na ₂ O (#)	K ₂ O (#)	P ₂ O ₅ (#)	P.P.I. (#)	Total (#)	SiO ₂ (#)	SiO ₂ (#)	SiO ₂ (#)	INDICE	Fe EXTRACTABLE	
													SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂		Fe	Fe ₂ O ₃
20.0	4.5	23.6	20.9	n.d.	0.60	1.25	0.75	0.08	0.70	1.15	36.5	100.10	1.44	2.56	0.922	-	11.5	17.2
21.0	4.5	30.0	20.1	n.d.	0.55	1.20	0.45	0.08	0.60	0.92	21.8	100.20	1.19	2.80	0.835	-	9.8	14.5
21.5	4.0	32.0	21.0	n.d.	0.55	1.35	0.23	0.07	0.53	0.95	17.8	100.28	1.14	2.73	0.806	0.320	9.1	13.7
25.3	4.0	32.5	19.3	n.d.	0.45	1.15	0.30	0.35	0.40	0.70	15.8	100.25	1.32	3.51	0.961	-	7.5	10.5
33.0	4.0	32.7	16.5	n.d.	0.40	1.40	0.63	0.11	0.37	0.47	10.8	100.43	1.72	5.33	1.30	-	4.7	6.2

CLASE MINERALOGICA

PROFUND. (cm)	HORIZONTE (A-B-C)	AMORFOS				MINERALES CRISTALINOS				
		0. SN SiO ₂	NaOH Al ₂ O ₃	EOA (#)	(#)	(#)	(#)	(#)	(#)	
0-16	Ah	9.15	6.40	1.60	15.55	45	25	15	10	5
16-45	B1	12.10	10.35	1.65	22.45	40	30	12	12	6
45-95	B2	12.45	11.00	1.70	23.45	40	30	15	14	1
91-130	B3	14.10	20.50	1.80	34.60	35	25	15	20	5
130-180	Cw	15.15	21.90	1.80	37.05	20	20	20	32	8

Am = Alófono Hf = Halosita Kx = Caolinita Gl = Gibbseta
Gz = Goetita Cz = Cuarzo

HORIZONTE	Fe ₂ O ₃ + Gl % ARCILLA	Rel: Valor
Ah	OXIDICO	1.0733
B1	OXIDICO	0.7571
B2	OXIDICO	0.8696
B3	OXIDICO	1.7000
Cw	OXIDICO	13.1000

III.J.3D.2c.2. CARACTERES DIAGNOSTICOS

Este perfil representa a un Andisol muy evolucionado, profundo, de colores predominantemente pardos rojizos-oscuros, muy drenado, que cuando esta seco no presenta tixotropismo. Estos suelos muestran una baja a moderada C.I.C.T., una saturación de bases baja y contenidos muy bajos o nulos de vidrio volcánico y de minerales intemperizables.

1. Granulometría. Debido a los altos contenidos de amorfos y hierro que actúan como cementantes, los apartados texturales son difíciles de cuantificar. Sin embargo, predomina en los primeros 90 cm de profundidad, la textura fina indicativa de un desarrollo relativo del perfil (DRP) muy alto: $Ah/Cw = > 6$. Los contenidos en arcillas, al igual que su arrastre (< 1.2) es moderado, típico de un horizonte cámbico (Bw). A medida que se profundiza en el perfil, los contenidos de gravas (muy alteradas por hidrólisis y oxidación) se incrementan constituyendo una saprolita oxidica.

No obstante, los altos contenidos en limo presentes, los horizontes muestran valores de erodabilidad bajos, buen drenaje interno y buena estabilidad estructural. Esto se debe en gran parte, a los contenidos altos en materia orgánica y hierro que le confieren una buena estructura al suelo. Sin embargo, en áreas con pendientes fuertes y deforestadas, estos suelos, según los valores de Atterberg obtenidos, pueden en presencia de lluvias torrenciales (> 50 mm/h) y acumulación de agua en los horizontes, comportarse como un líquido propiciando grandes movimientos de masas (Efecto catastrófico) especialmente aquellos suelos que muestran discontinuidades litológicas o para-líticas (Fragipán-Duripán).

2. Propiedades físicas. En estos suelos destacan las siguientes propiedades: (a) densidad aparente del *solum* 0.7 a 0.8 g/cc; (b) densidad de partícula: > 2.65 g/cc, típica de minerales ricos en hierro y magnesio; (c) retención de agua a 1500 kPa: $> 35\%$ y (d) relación Arcilla: C.I.C. y Arcilla: Agua, mayores que la unidad. **Estos caracteres le confieren a los suelos propiedades ándicas muy acentuadas y, consecuentemente, a pesar de su alta evolución, una posición taxonómica, indiscutible, dentro de los Andisoles.**

3. Propiedades bioquímicas: El *solum* muestra contenidos muy altos de materia orgánica y nitrógeno que le confiere una relación C/N de ± 13 común en los Andisoles de regiones tropicales. Actualmente, no existen reportes sobre la composición química de la materia orgánica en los suelos del trópico, sin embargo es posible observar a través de mallas o de flotación, que la materia orgánica muestra estar constituida por dos fracciones: la macroorgánica o "ligera" que se obtuvo en la malla de 250 mm, y el humus. Este último es escaso en estos suelos y está a su vez constituido por dos fracciones: (1) substancias húmicas y (2) substancias no húmicas, estas últimas constituidas por carbohidratos, ácidos orgánicos y proteínas. Volkoff (1977) demostró en suelos ricos en hierro que los ácidos fúlvicos libres, son la forma dominante de materia orgánica en el subsuelo y contienen de 40 a 60% del total del C. orgánico. En los Andisoles de zonas templadas, la relación AF/AH es generalmente menor que 0.5 (Van Wambeke, 1992).

Las investigaciones de Wada e Higashi (1976) demostraron que el humus que se forma, en un principio, en el horizonte Ah tiene una capacidad complejante muy baja para el Al y el Fe y es poco disuelto por el pirofosfato (Andisol vítrico). A medida que el humus

evoluciona se incrementa su capacidad para complejar al Al y Fe liberados por el intemperismo y es totalmente disuelto por el pirofosfato. En los Andisoles muy alterados y evolucionados (P16) al humus también reacciona con el Al y Fe los cuales están presentes como hidróxidos o constituyentes proto-alofánicos, y sólo puede ser disuelto por el ditionito-citrato. Es posible que estas diferencias evolutivas, tanto del perfil como del humus, también puedan ser observadas mediante el análisis de espectroscopía infrarrojo diferencial, en los separados del tamaño de arcilla, limo y arena fina.

Complejo absorbente: La C.I.C.T. (T) es en general moderada y, aparentemente, baja si se consideran los contenidos de M. O. y arcilla presentes. Esto se debe en gran parte a que mucha de la materia orgánica presente es resistente a la degradación y, consecuentemente, se propicia una deprotonación limitada de los grupos (OOH) y de los hidróxilos fenólicos, generando un número moderado o bajo de cargas negativas, lo que implica un valor (T) limitado. Por otra parte la fracción de arcillas está constituida por haloisitas y caolinitas que, como se sabe, presentan propiedades de intercambio bajas. El valor de pH Delta obtenido para estos suelos indica una dominancia de cargas minerales variables.

En el caso de los horizontes Ah, B2 y B3 los valores de pH Delta (-0.6) resultan característicos de suelos fuertemente desaturados con una alta retención de fosfatos. (Propiedad ándica). La afinidad de los minerales amorfos por los fosfatos es muy alta debido a la densidad de aluminio activo y a la alta superficie específica de los coloides que forman.

Cationes: El alofano, los óxidos o hidróxidos, y los complejos de aluminio-humus presentes en los Andisoles, estudiados, reaccionan fuertemente con los aniones, principalmente, con los fosfatos, sulfatos y silicatos, sin embargo, sólo retienen débilmente el NH_4^+ y al potasio. La deficiencia de este último, es generalmente, la primera en aparecer dentro de los cationes. Como puede observarse en la tabla de análisis, la relación $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}/\text{K}$ llega a ser hasta de 15.77 en el epipedón. La baja afinidad del potasio en estos suelos, particularmente, en este Grupo, se debe según Delvaux, *et al.*, (1989) a la adsorción selectiva del calcio por la materia orgánica y el alófono.

Como puede observarse, la saturación de bases, es menor a 40% en el *solum*, en tanto que en el horizonte B3 es menor a 35% lo que les confiere un carácter dístico, muy distintivo de los Andisoles fuertemente desilicados en que, como es el caso, la reserva de minerales interperizables se ha agotado, y la acidez potencial es muy alta.

Teóricamente, el Ca^{++} , Mg^{++} y K^+ , pueden ser protegidos de la lixiviación excesiva a través de inducir el desarrollo de cargas superficiales negativas, y así incrementar la C.I.C.T. Existen al menos tres opciones: (a) incrementando el pH; (b) deprotonando los coloides del suelo, e incrementando la concentración de electrolitos en la solución del suelo y (c) disminuyendo el punto isoelectrónico, o el punto de carga neta cero. Actualmente la opción (c) es la que ha recibido atención por la mayoría de los investigadores.

Análisis Químico Total. Los análisis muestran una marcada desilificación del perfil, que propicia relaciones $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ similares a las de los suelos ferralíticos. La relación $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{gibbsite} (\%) / \text{arcilla}$, muestra en todos los horizontes la presencia de una clase

mineralógica oxidica con valores superiores a 0.20, que aunque en ningún caso cumple para constituir un horizonte óxico, si demuestra un estadio de alteración típico de la III Etapa evolutiva de un Andisol. El índice β confirma la presencia de una inmensa lixiviación y la formación de un horizonte Bw. En estos suelos el complejo de alteración está constituido por arcillas 1:1, minerales de aluminio, hierro, y cuarzo. Sin embargo; los contenidos de amorfos aún son muy altos: 15.55% en A y 37.05% en Cw, lo que confirma junto con el valor EOA, la presencia de caracteres ándicos muy acentuados, que sitúan a estos suelos como un intergrado evolutivo: Andisol - Oxisol.

Evolución: Estos suelos representan uno de los últimos estadios evolutivos de los Andisoles del Trópico Mexicano. Debido a las intensas transformaciones que han tomado lugar durante su pedogénesis, propiciadas, principalmente, por un alto intemperismo y una severa lixiviación, los contenidos de amorfos de aluminosilicatados secundarios que contienen, tienden a presentar una relación $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ baja y teóricamente un mayor punto isoelectrico. Del mismo modo, el signo de las cargas que se desarrollan en los coloides de estos suelos, también variará con el pH del suelo, las soluciones del suelo serán cada vez más diluidas, la C.I.C. disminuirá, los contenidos de aluminio se incrementarán y la retención de fosfatos será cada vez más alta. Estos son algunos fenómenos que ejemplifican el intemperismo isoelectrico, término propuesto por Mattson (1932). De acuerdo con Soil Taxonomy (1988) esta fase incluye a los Andisoles que no muestran, prácticamente, C.I.C.T. y que corresponden con los SubGrupos: acric; acrodoxic y acrustoxic los cuales, hasta el momento no han sido reportados en el territorio nacional.

III.J.4.

CLASE IV. SUELOS FERSIALITICOS Y FERRUGINOSOS ROJOS, AMARILLOS Y PARDOS: SUELOS RICOS EN SESQUIOXIDOS.

Estos suelos se han desarrollado en las zonas tropicales y subtropicales de México donde el régimen de temperatura del suelo es isohipertérmico o un iso más caliente ($> T_{ma} 22^{\circ}C$) con un régimen de humedad que puede oscilar de perúdicó-údicó-ústico. Su tipogénesis, además, está condicionada por otros factores como son: intensidad de las lluvias, intensidad y duración del período seco, insolación y erosión; ya que es obvio que la agresividad climática en el trópico supera, frecuentemente, la susceptibilidad del suelo (erodabilidad).

Bajo un régimen de humedad perúdicó o údicó, la vegetación es o fue, de selva perennifolia, en tanto que cuando es ústico; la vegetación es de selva decidua o sabana. La mayoría de estos suelos se ha formado de sedimentos del Holoceno, o sobre superficies que, en su mayoría, no son más antiguas al Pleistoceno.

Morfológicamente, esta Clase está constituida por suelos con perfiles de tipo: A/Bw/C; A/Bs/C; A/Bg/Cr; A/Bw/Ccs; A/Bt/C; e incluso A/Btb/C. Ocasionalmente pueden presentar horizontes E o subhorizontes AE y EB o un horizonte sulfúrico (Bwj).

Sus epipedones, generalmente son Ocrícos o Umbrícos, pero se acepta, taxonómicamente la presencia de un horizonte Antrópico o de un horizonte Hístico. Los horizontes B pueden ser: Cámbico, Argílico o Kándico, en orden creciente de alteración y evolución del perfil.

El horizonte Kándico es similar, en sus requerimientos diagnósticos, a un horizonte Argílico, pero difiere de este en que muestra un CIC de $16 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$ de arcilla o menos (NH_4 , OAc a pH7) y una CIC efectiva de $12 \text{ cmol (+) Kg}^{-1}$ de arcilla o menor, en la mayor parte del horizonte. Una de las principales diferencias con el horizonte Oxíco (Horizonte Férrico) es que este último no muestra argiluviación, por lo que su índice de arrastre de arcillas es menor a 1.2.

Estos suelos, dependiendo de su saturación de bases, pueden ser eutróficos (S/T $> 50\%$) o distróficos, condiciones determinadas, principalmente, por la precipitación, humedad, drenaje pedológico, cobertura vegetal, relieve y edad.

III.J.4A.

CARACTERES MORFOLOGICOS Y TIPOGENETICOS DE LOS SUELOS.

III.J.4A.1. Color:

La liberación de los sesquióxidos de hierro o de magnesio, les confieren colores característicos: rojos, amarillos o pardos, debidos a la hidratación y oxidación progresiva de los minerales primarios, y a la dispersión, en el *solum*, de los óxidos en cantidades

crecientes. Estos óxidos amorfos son isotrópicos a la luz polarizada y, se observó a través del microscopio electrónico que forman revestimientos sobre las arcillas y otras superficies (Ferranes) o constituyen concreciones, carapachos o corazas, en el suelo.

III.J.4A.2. Profundidad Efectiva:

Con excepción de algunos suelos ferruginosos jóvenes, que se localizan en áreas con pendientes fuertes (Tropets, Soil Taxonomy, 1988) la mayoría muestra una profundidad suficiente para el desarrollo radicular de plantas de cultivo. Sin embargo; algunas fases físicas que ocurren dentro del perfil pueden interferir con la buena penetración de las raíces y con el desarrollo del cultivo. Las principales son:

(a) compactación de los horizontes subsuperficiales; (b) régimen hídrico en el que predomina la presencia de un drenaje interno horizontal y/o una sobresaturación con agua, estacional o permanente, de los horizontes próximos a la superficie (Régimen ácuico-gleyización); (c) presencia de líneas de gravas o piedras, que constituyen una capa densa y gruesa y (d) presencia de capas para-líticas a poca profundidad (fragipán).

III.J.4A.3. Textura:

La textura de la fracción de tierra fina (< 2 mm) tiene, solamente, una influencia pobre sobre la penetración de las raíces, excepto cuando se presentan horizontes muy arenosos (E álbico) o, más comúnmente, muy arcillosos. Pero la textura en estos suelos, puede relacionarse con diferentes grados de compactación, permeabilidad, drenaje, retención de agua, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico. Así, algunas limitaciones agrícolas que llegan a mostrar, se deben indirectamente a la textura de la fracción fina.

III.J.4A.4. Estructura y Porosidad:

Debido a los contenidos, escasos o moderados, de limos que muestra la mayoría de estos suelos, así como a los porcentajes altos de arcilla que presentan, la mayoría de ellos tiene valores de erodabilidad (Factor K), degradación física y encostramiento muy bajos, que de acuerdo con FAO-PNUMA (1980), sólo representan un riesgo ligero. Sin embargo, esto es relativo, ya que como se mencionó, anteriormente, la agresividad climática, en especial la lluvia tropical, tiene una energía cinética muy alta que al golpear al suelo, propicia su dispersión. Además, el agua que penetra en los poros de los terrones, desplaza violentamente una cantidad enorme del aire contenido en ellos, propiciando la destrucción de los agregados estructurales, y el transporte del suelo, que los constituía, por el agua de escorrentía. (Gama, et al., 1990).

Se estima que los principales factores que determinan las propiedades estructurales de estos suelos son: (a) contenidos de calcio y materia orgánica en el epipedón y (b) contenidos de hierro, arcilla y raíces en los horizontes subyacentes. Relaciones Limo/Arcillas < 1 son diagnósticos de estos suelos, así como porcentajes de porosidad entre 40 a 60.

III.J.4A.5. Propiedades Hidráulicas.

Estos suelos, generalmente, muestran propiedades hidráulicas satisfactorias como son: (a) agua aprovechable normalmente entre 10 a 14 mm por cada capa de suelo de 10 cm de espesor; (b) alta permeabilidad y (c) buen drenaje.

Por otra parte, estas características pueden ser negativas, si se considera que bajo lluvias torrenciales, que se concentran en períodos cortos de tiempo, la lixiviación y el lavado intenso, son propiciados.

III.J.4A.6. Fases Limitantes:

Las principales fases observadas son: (a) antrácuica, caracterizada por que los suelos presentan propiedades de stanogley, ocasionadas por inundaciones asociadas a períodos largos de irrigación; (b) inundable, se refiere a la presencia de agua acumulada sobre la superficie del suelo, después de una lluvia, por más de 10 días; (c) freática, dada por la presencia de una capa de agua, dentro de los 5 m iniciales de profundidad; (d) petroférica, ocasionada por la presencia de una capa endurecida por hierro y muy pobre en M. O., dentro de los primeros 100 cm de profundidad y (e) esquelética, constituida en 40%, o más por volumen, de fragmentos gruesos líticos, concreciones oxídicas, restos de plintita endurecida, gravas de hierro, u otros materiales, que en conjunto dan una capa con un espesor de 25 cm, o mayor, y que se localizan dentro de los primeros 50 cm de profundidad del suelo.

Teóricamente, es posible, según las investigaciones realizadas por Flores y colaboradores (1992) encontrar en estos suelos una fase frágica (fragipán) pero esta es, generalmente, un horizonte fósil; relicto de condiciones paleoambientales diferentes a las actuales.

III.J.4A.7. Antagonismos, Sinergismos e interacciones:

De acuerdo con J.Boyer (1982) el equilibrio entre los elementos químicos de estos suelos es:

FORMULAS:

- a. **C/N**: valor óptimo entre 8 a 13.
- b. **N total/P205**: umbral válido entre 2 y 4 (sinergismo N-P).
- c. **N/S**: umbral válido entre 5 y 15, valor óptimo: 10.
- d. **Ca²⁺/Mg²⁺**: Valor óptimo entre 1 y 5 para las plantas perennes y de 1 para otros cultivos (antagonismo Ca-Mg).
- e. **Mg²⁺/K⁺**: valor óptimo próximo a 3. La variabilidad, probable, en la validez de estos umbrales, depende de los contenidos en Mg y K (Antagonismo entre Mg y K).
- f. **Ca²⁺/K⁺**: antagonismo que más frecuentemente es estudiado como una relación: $Ca^{2+} + Mg^{2+}/K^{+}$ donde el umbral normal varía de 15 a 40.

El aluminio intercambiable y los elementos menores, también tienen influencia en la morfología, tipogénesis y fertilidad de estos suelos; sin embargo aún es imposible usar relaciones para evaluar su acción mutua.

Los principales antagonismos que se presentan son: Ca-Al; Ca-Mn; Mg-Mn; K-Mn; P-Al; K+-Mo; K+-B; N-B; Al-Mn; Mo-Mn y Zn-As.

Sinergismos; Ca²⁺-Mo; K⁺-Fe²⁺; P-Mn; P-Cu; P-Zn; P-Si; Al-Mn.

III.J.4B. PROPIEDADES DIAGNOSTICAS:

Esta Clase incluye a un número grande de suelos ferruginosos que muestran propiedades ferrálicas, férricas, géricas, gléyicas o níticas, pero que carecen de un horizonte B óxico. Grosso modo, las propiedades diagnósticas que caracterizan a estos suelos pueden ser resumidas de la siguiente forma:

III.J.4B.1. Propiedades Ferrálicas.

Son características de suelos que muestran un horizonte Bw cámbico y se reconocen por: (a) una C.I.C. (NH₄OAc) de menos de 24 cmol(+) kg^{-1} en arcilla o (b) una C.I.C. de menos de 4 cmol (+) kg^{-1} de suelo, en al menos un subhorizonte del Bw cámbico o en el subhorizonte que subyace al horizonte A.

III.J.4B.2. Propiedades Férricas.

Son características de suelos con horizontes Argílicos o Kándicos y presentan: (a) moteado grueso con matices más rojos que 7.5YR o (b) cromas mayores que 5, ó ambos; (c) nódulos de hasta 2 cm de diámetro, cuyo exterior ha sido enriquecido y débilmente cementado con hierro, por lo que muestra matices y cromas más rojos que los del interior del nódulo.

III.J.4B.3. Propiedades Géricas.

Se aplican a los horizontes que muestran 1.5 cmol (+) Kg^{-1} o menos de bases intercambiables más aluminio extractable en IM de KCl y pH (IM-KCl) de 5, o más, o un pH delta de 0 o de + 0.1 o más.

III.J.4B.4. Propiedades Gléyicas o Stanogléyicas.

Se caracterizan por: (a) condiciones de reducción evidenciadas por un valor $rH = Eh \leq mv$ + 2 pH < 19; (b) presencia de manto freático, a una profundidad tal que

29

el agua alcanza por capilaridad la superficie del suelo y (c) colores blancos a negros, o azules a verdes en más del 95% de la matrix-S. Los moteados de oxidación, con cromas altos, cuando se presentan se manifiestan en las caras de los pedio, o en los canales de raíces (halos de oxidación).

III.J.4B.5. Propiedades Níticas.

Se presentan, principalmente, en los grupos de Nitosoles y Lixisoles propuestos por FAO (1988) y se caracterizan por: (a) presencia de más de 30% de arcilla; (b) estructura bien desarrollada en bloques angulares que rompe, fácilmente, en elementos poliédricos, los cuales muestran pedio brillantes, con facetas de presión y películas arcillosas (argilanes). Esta estructura está asociada con contenidos significativos de hierro activo, y es indicativa de un régimen de alta humedad, y de propiedades favorables de adsorción y desadsorción de fosfatos.

En el laboratorio, esta propiedad nítica se determina por la cuantificación de Fe_2O_3 extractable de la fracción de tierra fina por oxalato ácido (EOA) y del Fe_2O_3 extractable de la fracción de tierra fina por ditionito-citrato-bicarbonato (DCB). Los materiales con propiedades níticas, tienen más que 0.2% en EDA, el cual es superior, al menos, en 5% de lo obtenido por DCB.

III.J.4C. CLASES MINERALOGICAS:

Por su mineralogía, estos suelos pueden presentar las siguientes clases mineralógicas:

III.J.4C.1. Ferrítica.

Muestra más del 40%, por peso, de óxido de hierro extraíble por citrato-ditionito reportado como Fe_2O_3 , o 28% como Fe.

III.J.4C.2. Gipsítica.

Muestra más del 40%, por peso, de óxido de aluminio hidratado, reportado como gibbsita y bohemitita.

III.J.4C.3. Álica

En los suelos que no muestran horizonte B óxico (Bo) la clase se define por la presencia de más de 2 cmol. (+) de Al extraíble en KCl por kg de suelo, en alguna capa con espesor mínimo de 30 cm, y que se localice en la sección de control.

En contraste, la clase álica, se determina en los suelos con horizonte Bo, considerando el porcentaje de Aluminio con relación a las bases: $(100 \times \text{Al}/\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} + \text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{Al})$. Cuando el Aluminio excede el 50% con relación a las bases, se considera como clase álica. Este criterio también es útil para separar los suelos eutróficos de los distróficos, consecuentemente; todos los suelos que muestran una clase álica son distróficos:

FORMULAS:

$$\text{Saturación de Al}^{+++} = \frac{100 \text{ Al}}{\text{Al}^{3+} + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Al}^{+3}} > 50\%$$

III.J.4C.4. Oxídica.

Presenta menos del 90% de cuarzo, y su relación: porcentaje de óxido de hierro extraíble más porcentaje de gibbsita, al porcentaje de arcilla es de 0.20 o más. Por ejemplo:

$$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ extractable (\%)} + \text{gibbsita (\%)}}{\text{arcilla}} > 0.20 = \text{Clase oxídica}$$

III.J.4C.5. Serpentinica.

Más de 40%, por peso, de minerales de serpentina: antigorita, crisotilo, fibrolita y talco.

III.J.4C.6. Glauconítica.

Más de 40% por peso, de glauconita.

SUMARIO

En síntesis, esta Clase integra a los suelos, desarrollados, de clima tropical cálido que no muestran procesos de laterización o de latosolización, en grado tal, que constituyan un horizonté B óxico o una plintita continua y de gran espesor (Bv).

Estos suelos presentan varias características comunes, las principales son:

1. **Color rojo, amarillo, anaranjado o pardo.** Debido a la individualización de los sesquióxidos de hierro o de manganeso. La textura, casi siempre, es más fina que migajón arenoso fino, y su relación limo/arcilla es < 1 .
2. **Alteración intensa y profunda del perfil.** El cual, sin embargo, contiene todavía algunos minerales primarios y algunas arcillas 2:1 dispersables en agua, y aunque generalmente son suelos lavados (distróficos) existen Grupos que muestran una relación S/T $> 35\%$ (eutróficos).
3. **Un contenido, generalmente, bajo de materia orgánica.** Debido a la intensa y rápida descomposición de ésta.
4. **Pérdida considerable de sílice.** Que aumenta al pasar de los climas más secos, hacia los más húmedos, consecuentemente; el complejo de alteración es cada vez más pobre en sílice, presentándose, según se observa en los suelos estudiados, una secuencia intergradada de arcillas: (1) montmorillonita + haloisita + illita + caolinita; (2) haloisita + caolinita; (3) caolinita + haloisita; (4) caolinita; (5) caolinita + gibbsita y (6) gibbsita + caolinita.

En la mayoría de estos suelos la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ es generalmente > 2 en tanto que la relación $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}$ es < 1 .

5. La C.I.C. y C.I.C. efectiva, en arcilla, oscila de 16 cmol (+) Kg^{-1} a 24 cmol (+) Kg^{-1} . Aunque algunos Grupos eutróficos (Tropepts) pueden presentar valores más altos. En los Grupos con propiedades ferráticas o férricas la C.I.C.T. de suelo es menor a 4 cmol (+) kg^{-1} .

III.J.4D. TAXONOMIA:

Las principales SubClases propuestas y establecidas en este estudio son:

III.J.4D.1. SUBCLASE IV.I. SUELOS TROPICALES RICOS EN SESQUIOXIDOS, CON HORIZONTE B CAMBICO (STB).

Son suelos de color rojo, amarillo o pardo, con textura de arena fina o más fina, drenados; con excepción de los que son inundables por efecto de geoforma, o por la presencia de una capa lítica o para-lítica impermeable (Tropequepts). **Estos suelos se caracterizan por sus colores grises en los horizontes superficiales, y su moteado intenso en las capas profundas. (Propiedad gléyica).**

Los suelos de esta SubClase se localizan en regímenes isomésicos o más calientes, y en regímenes de humedad acuicos, perúdicos, údicos o ústicos. Muestran además las siguientes características:

1. Epipedón Ocrico, Umbrico o Antrópico y un horizonte Bw Cámbico que puede variar a Bs (acumulación de sesquióxidos); Bg (Gleyización) y Bv **caracterizado por la presencia de plintita, que en la mayoría de los suelos no constituye una fase continua y que, generalmente, no representa más de la mitad, por volumen, de la matrix-S, en los primeros 125 cm.**
2. El horizonte B cámbico se formó por: (a) remoción de carbonatos; (b) intemperismo de los minerales primarios y, fundamentalmente por: (c) reducción y remoción de los óxidos de hierro.
3. No tienen contenidos significativos de arcillas amorfas (EOA) = $< 1\%$ o de vidrio volcánico ($< 30\%$).
4. Con excepción de los Grupos con propiedades gléyicas (STBQ) no muestran drenaje artificial, y no tienen un régimen ácuico, o un cromatismo igual, o menor, a dos o un brillo igual o mayor a 4.
5. Tienen una densidad aparente a 33 kPa, en la fracción de tierra fina ($< 2\text{mm}$) y en los primeros 35 cm de profundidad, que es $> 0.90 \text{ g/cc}$.

Las tablas muestran algunas de la características químicas y físico-químicas, diagnósticas para los SubGrupos STBQw y STBQs.

TABLA 35 PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DE UN SUELO STBWw (PERFIL-35A)

Horizonte (A-B-C)	P Propiedad (cm)	M.O. (%)	CATIONES INTERCAMBIABLES CMOL (+) kg ⁻¹ de suelo					C.I. C.T.	pH H ₂ O 1:1.5	pH RCl 1:1.5	pH DELTA
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ³⁺				
			A	0-8	2.25	1.10	1.89				
B1g	8-50	0.70	0.85	0.95	0.05	0.02	2.9	11.0	4.5	3.3	-1.2
B21g	50-81	0.55	0.55	0.71	0.15	0.02	6.0	12.1	4.6	3.5	-1.1
B22g	81-97	0.30	0.33	1.57	0.40	0.07	7.5	13.5	4.8	3.3	-1.5
Cg	97	0.10	0.20	21.5	0.95	0.19	12.7	5.3	4.5	2.9	-1.6

Como puede apreciarse en esta tabla, la distrificación del suelo (S/T < 35%), la acidificación y los contenidos tan elevados de Al(Al/bases > 50%), además del drenaje deficiente del suelo limitan, severamente, su uso agrícola. El cultivo de arroz es una de las escasas alternativas, y posiblemente de las mejores, ya que según Van Wambeke (1992) atenua la acidez del suelo y reduce la toxicidad por aluminio. La fertilización fosfatada es casi siempre necesaria, para obtener un buen cultivo.

OBSERVACIONES :

El perfil 35-A caracteriza a este SubGrupo, en tanto que el perfil 36A (Tabla 36) sólo representa algunas propiedades diagnósticas del SubGrupo, y fue colectado en la población de la Cruz, Tabasco.

TABLA 36 PERFIL 36A: SUELO RICO EN MATERIALES SULFIDICOS

HORIZONTE (A-B-C)	PROFUND. (cm)	RETENCION DE HUMEDAD 1500kPa	pH INICIAL 1:1.5 1500kPa	pH Después de una semana 1:1	pH Después de un mes 1:1	RESISTENCIA ELECTRICA (Ohms - 20°C)		AZUFRE TOTAL
						INICIAL	1 SEMANA	
						A	0-25	
Bg1	25-55	150.0	5.5	3.5	3.1	25	16	3.5
Bg2	55-70	120.0	5.4	3.6	3.0	20	13	3.3
Bg3	70-92	110.0	5.6	3.8	3.1	20	14	3.2

Esta tabla muestra, las propiedades que caracterizan al SubGrupo de suelos que presentan un horizonte sulfúrico (Soil Survey Staff, 1990). El perfil (36A) fue recolectado en el área de Frontera, Tabasco.

Se trata de un suelo que posee una retención de agua muy alta, y por definición un horizonte Bwj sulfúrico (pH < 3.5 en H₂O 1:1) rico en jarosita que constituye moteados con matiz de 2.5 y cromas de 6 o más.

Como puede observarse en la tabla los valores de pH descienden notablemente, después de que los materiales sulfídicos han sido expuestos al aire, por oxidación de la pirita. Se presenta una reacción química similar a la siguiente:

6. Los Grupos éútricos pueden presentar: (a) epipedón mólico; (b) 35% o más de arcilla montmorillonítica; (c) propiedades vérticas; (d) COLE > 0.09, si el régimen de humedad es údico, o COLE > 0.07 si es ústico y (e) menos de 40% de CaCO₃ equivalente.

Dentro de esta SubClase fueron reconocidos los siguientes Grupos y SubGrupos:

III.J.4D.1.1. GRUPO IV.1.1 Suelos STB con Régimen Acuico (STBQ).

Son suelos que tienen un régimen de humedad ácuico y que pueden presentar una o más de las siguientes características: (a) epipedón hístico; (b) horizonte sulfúrico dentro de los primeros 50 cm de profundidad (c) pedio sobre la superficie de la matrix-S con cromas dominantes de 2 o menos si existe moteado, o de 1 o menos si no existe; (d) presencia de plintita no continua y (e) mal drenaje y fase inundable. Se reconocieron tres SubGrupos:

III.J.4D.1.1.1. SUBGRUPOS

IV.1.1.1 Suelos STBQ con horizonte sulfúrico. Son suelos que pueden tener dos orígenes, ya que pueden ser residuales o de origen antrópico. Se diferencian de los Suelos de Aporte Aluvial Sulfídicos (P.D.33) en que estos últimos, inicialmente, no muestran horizonte Bw. Este SubGrupo (IV.1.1.1) se desarrolla principalmente en los deltas y en las riberas de los ríos.

Su mayor restricción para la agricultura es su fuerte acidez y su toxicidad por aluminio que resulta posterior a la oxidación de la pirita, después de que los materiales sulfídicos han sido expuestos al aire. En cultivos de arroz, con frecuencia se presenta toxicidad por Fe²⁺ -----(STBQs)

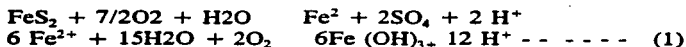
IV.1.1.2. Suelos STBQ con plintita. Son suelos pobremente drenados, que tienen una fase física constituida por plintita, la cual, solo en este SubGrupo, es casi continua y representa más de la mitad de la matrix-S.

Se presentan en áreas planas, que muestran fluctuaciones de la profundidad del manto freático. En general son ácidos, deficientes en nutrimentos, y ricos en aluminio intercambiable -----(STBQv)

IV.1.1.3 Suelos STBQ con drenaje muy pobre. En estos suelos predominan los colores grises en el epipedón y el moteado en las capas del subsuelo. Este fenómeno es producto de un drenaje interno muy pobre y de una oscilación periódica del manto freático, el cual con frecuencia aflora.

Su material parental predominante, consiste de depósitos aluviales. Eventualmente llega a presentar plintita, pero ésta es discontinua y de poco espesor. La mayoría de estos suelos, aún están en fases activas de intemperismo y contienen cantidades muy altas de aluminio activo --(STBQw)

FORMULAS:



Según Van Wambeke (1992) si la acidez no es neutralizada con carbonatos, se forma jarosita:



Cuando no existe más SO_4^{2-} presente, la jarosita se puede hidrolizar y producir hidróxidos de hierro como la goethita.

Osborne (1984) considera que no todos los suelos que contienen jarosita, muestran $\text{pH} < 3.5$. Así, en muestras secas de suelos de Tailandia, el pH 1:1 en agua, no se abate de 3.64 ± 0.2 y el aluminio extractable (IM-KCl) es del orden de 9.7 ± 3.8 μmol (*) de suelo.

Actualmente, es viable corregir estas condiciones adversas de fertilidad, aunque ninguna de las soluciones es fácil de implantar:

- 1. Alcalinización del pH.** El pH puede ser elevado a través de inundar el terreno, o encalar, o a través de lixiviar los sulfatos fuera de la zona radical. En las zonas de mareas la salinidad, puede ser otra limitante que hay que prevenir.
- 2. Prevención y atenuación de la oxidación masiva de pirita.** Esto es posible a través de establecer un drenaje gradual y progresivo, y así reducir la velocidad de formación de materiales sulfídicos y la producción de sulfatos controlando, además, las oscilaciones del nivel freático. Este tipo de manejo, requiere de aguas de buena calidad y control de mareas.
- 3. Inundaciones controladas y periódicas.** Bloomfield y Coulter (1973) durante sus experimentos, reportan que los valores de pH de estos suelos pueden incrementarse a la neutralidad, cuando al suelo se le mantiene en un estado de saturación con agua, por uno o dos meses. Sin embargo, el exceso de agua llega a remover las bases y a propiciar su desaturación.
- 4. Lavado de las sales solubles formadas durante la oxidación.** Desafortunadamente, la acidificación y la solubilización de sales, son fenómenos que una vez que se presentan afectan, rápidamente, grandes extensiones de suelos. Van Wambeke (1992) estima que se requiere un mínimo de 10 años para restaurar un suelo, en estas condiciones, si sólo el agua de lluvia (1200 mm/año) es utilizada. Los experimentos de laboratorio indican que se requiere, dependiendo de las características del suelo, de 5 a 15 veces su peso en litros de agua, es decir; para restaurar un kg de suelo se requiere lavarlo con 5 litros (como mínimo) de agua.
- 5. Encalado.** Puede contribuir eficientemente a solucionar el problema de la acidez, pero sus requerimientos no son económicamente factibles.

III.J.4D.1.2. GRUPO IV.1.2 Suelos STB con Régimen Udico o Ustico Eutróficos (STBuE).

Son suelos que tienen > 35% de saturación de bases (NH_4OAc) en todos los horizontes comprendidos en los primeros 100 cm de profundidad.

No obstante que llegan a presentarse en regímenes ústicos, raramente permanecen secos por períodos prolongados. Su minerales primarios, sólo están ligera o moderadamente alterados, y con frecuencia reciben aportes de bases provenientes de los suelos adyacentes.

Estos suelos generalmente, se forman de materiales parentales básicos, en pendientes moderadas o fuertes. Frecuentemente, parte del material parental se presenta en los primeros 50 cm de profundidad inicial, y su profundidad efectiva rara vez es mayor de 85 cm.

Ocasionalmente estos suelos contienen cantidades importantes de arcillas silicatadas, que les dan texturas pesadas similares a los Vertisoles. Sin embargo; estos suelos presentan, aún en estas condiciones, una serie de atributos favorables característicos: buena retención de humedad y buen contenido de nutrimentos.

III.J.4D.1.2.1. SUBGRUPOS

Los SubGrupos están definidos por las siguientes propiedades:

- A. La textura en los primeros 75 cm de profundidad, es más fina que migajón arenoso fino, y presentan una densidad aparente a 33kPa > 0.95 g/cc. Muestran, además las siguientes relaciones:
 1. La relación Arcilla/retención de agua (1500kPa) < 1.25.
 2. La relación CICT (pH8)/ retención de agua (1500kPa) > 1.5 y mayor acidez intercambiable que la suma de bases (S) más Aluminio extractable en KCl IN.
- B. No muestran moteado con cromas de 2, o menos, en el primer metro de profundidad.
- C. Tienen un contenido de carbono orgánico que decrece con la profundidad.
- D. No muestran contacto lítico dentro de los primeros 50 cm de profundidad.
- E. Siempre tienen horizonte B Cámbico
- F. No muestran la combinación de las tres siguientes características:
 1. Grietas en algún período del año, de más de 1 cm de ancho y más de 50 cm de profundidad.

2. Un COLE > 0.09 y un potencial lineal de extensibilidad > 6 cm en los horizontes comprendidos en el primer metro de profundidad.
3. Más de 35% de arcilla en horizontes con un espesor > 50cm.

G. No muestran la combinación de las siguientes características:

1. Tienen dentro de los primeros 50 cm de la superficie, un contacto lítico, para-lítico o roca alterada que conserva su estructura.
2. Tienen horizontes de 25 cm, o más, de espesor; que muestran 35% o más de arcilla montmorillonítica, con un COLE > 0.09.

Con base en estos criterios, en su mayoría establecidos por Soil Taxonomy (1988) se identificaron los siguientes SubGrupos:

- | | |
|----------|---|
| IV.1.2.1 | Suelos STBUe con caracteres ándicos. Cumplen con los caracteres diagnósticos del Grupo, excepto por A ----- (STBVe) |
| IV.1.2.2 | Suelos STBUe con propiedades acuicas. Cumplen con los caracteres diagnósticos del Grupo, excepto por B ----- (STBUeq) |
| IV.1.2.3 | Suelos STEUe con propiedades acuicas y flúvicas. Cumplen con los caracteres diagnósticos del Grupo, excepto por B. y C. -----(STBUel) |
| IV.1.2.4 | Suelos STBUe lépticos. Cumplen con los caracteres diagnósticos del Grupo excepto por D. ------(STBUel) |
| IV.1.2.5 | Suelos STBUe lépticos-vérticos. Cumplen con los caracteres diagnósticos del Grupo excepto por D y F (2). -----(STBUer) |
| IV.1.2.6 | Suelos STBUe vérticos. Cumplen con los caracteres diagnósticos del Grupo excepto por F.----- (STBUev) |

III.J.4D.1.3. GRUPO IV.1.3 Suelos STB con Régimen Perúdic-Udico, Distrófico (STBPd).

Este Grupo está constituido por suelos ácidos de color rojizo o pardo amarillo, que se han formado de rocas ácidas, o bajo condiciones de pluviosidad alta o ambas. Se distribuyen sobre superficies de erosión Holocénicas o Pleistocénicas, tanto en áreas con pendientes como planas.

Por definición ellos tienen, al menos, un subhorizonte entre 25 y 100 cm que poseen una base de saturación < 35% (NH₄OAc a pH7). Si existen arcillas laminares 2:1 comúnmente están asociadas con minerales intemperizables y aluminio intercambiable. Este último pueden influir negativamente en el desarrollo radicular de cultivos sensitivos, y esto es muy frecuente en el caso de los suelos STB con régimen Perúdico.

Su relación Limo/Arcilla es generalmente mayor que 0.10 lo que les da a estos suelos mayor capacidad de retención de agua que, la que muestran los Oxisoles.

En México, la mayor limitante que restringe el uso agrícola de estos suelos es su topografía; ya que debido a la pendiente, el riesgo de hidroerosión es muy alto. En algunas partes planas no existe el riesgo topográfico, pero las fluctuaciones del nivel freático pueden interferir con el desarrollo de las raíces y de los cultivos.

Por otra parte, los altos contenidos de aluminio, presentes, propician toxicidad a los cultivos, en especial a aquellos que tienen su pH óptimo de crecimiento, abajo de pH7. En los estados de Puebla y Veracruz, estos suelos han sido utilizados con éxito para el cultivo de plantas acidófilas perennes como el café, el cual proporciona materia orgánica a los epipedones de estos suelos. (García-Calderón).

Morfológicamente, el *solum* está constituido por un horizonte Ocrico, que siempre sobreyace a un horizonte Cámbico, caracterizado por el desarrollo, fuerte, de una estructura en bloques, y colores contrastantes con relación a los materiales que le subyacen. La Clasificación USDA de 1950 los consideró como Latosoles.

III.J.4D.1.3.1. SUBGRUPOS

Los SubGrupos están definidos, básicamente, por las mismas características utilizadas para los SubGrupos de los STBUe, pero difieren en los siguientes puntos:

1. Tienen una saturación de bases (S/T por NH_4OAc) de $< 35\%$ en el suelo, o al menos en algún subhorizonte entre 25 cm y 1 m de profundidad, o entre 25 cm y un contacto lítico, para-lítico o petroférrico que se presenta antes del primer metro de profundidad.

Opcionalmente, pueden presentar además:

2. Una C.I.C. menor a $24 \text{ cmol (+) Kg}^{-1}$ (NH_4OAc) en arcilla y de hasta $16 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$ en la fracción de tierra fina ($< 2\text{mm}$) en todos los horizontes que sobreyacen a una fase física limitante o en todo el suelo dentro de los 100 cm iniciales de profundidad. Si la capacidad en estos suelos es $< 16 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$ en arcilla, debe existir más de 10% de minerales intemperizados en la fracción de 20 a $200 \mu\text{m}$.
3. Las relaciones $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ pueden ser pequeñas en los SubGrupos oxidicos con valores de < 2 y < 1 respectivamente.

Fueron identificados los siguientes SubGrupos:

- | | |
|----------|---|
| IV.1.3.1 | Suelos STBPd típicos -----(STBPdt) |
| IV.1.3.2 | Suelos STBPd con propiedades flúvicas. En estos suelos el contenido de Carbono orgánico no decrece regularmente con la profundidad. -----(STBPdf) |
| IV.1.3.3 | Suelos STBPd lépticos. Muestran a 50 cm o menos un contacto lítico. -----(STBPdp) |
| IV.1.3.4 | Suelos STBPd oxidicos. Muestran C.I.C bajas y relaciones $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$, también bajas (Puntos 2-3).----- (STBPdx) |

OBSERVACIONES:

1. Los Perfiles 17 y 18 representan a los suelos del Grupo IV.1.2 y Grupo IV.1.3 respectivamente. Los suelos del Grupo IV.1.1 están, parcialmente, representados en sus características más diagnósticas, por los perfiles 35-A y 36-A (Tablas 35 y 36).

2. Con frecuencia, en los paisajes tropicales-volcánicos, los suelos STBPd reciben aportes de cenizas volcánicas u otros materiales ígneos que no sólo rejuvenecen al suelo sino que, además, les dan propiedades eutróficas, que los semejan a los suelos STBUe. Estos suelos se utilizan en México para el cultivo de café, o como pastizales. (Cárdenas, C. C., 1989).

III.J.4D.1c. GENESIS DE LOS SUELOS QUE CONSTITUYEN LA SUBCLASE IV.1.

La tipogénesis de los Grupos que constituyen esta SubClase está, fundamentalmente, controlada por el régimen de humedad y temperatura que prevalece, en cada caso, por la edad y naturaleza del material parental, la geoforma, el drenaje, y por los organismos, en los que destaca el hombre.

La presencia de un horizonte B Cámbico es diagnóstica, y éste se ha formado por uno o más de los siguientes procesos:

1. **Formación de estructura a partir de la roca o sedimento, soluviciación de carbonatos, y aparición de matices más rojos y cromas más intensos que los del material parental? (Verbraunung = proceso que hace a un suelo pardo).** En este proceso, según Fanning y colaboradores (1989) pequeñas cantidades de minerales silicatados, secundarios, pueden producirse al mismo tiempo, si sus productos de solubilidad fueron excedidos por la actividad de los iones constituyentes en solución.

Así, para que los colores rojizos que caracterizan el horizonte Bw, de estos suelos, se manifiesten, es necesario la formación de óxido de hierro libre, y para que este se forme se requiere que el potencial redox (Eh) sea lo suficientemente alto para que el hierro férrico (FeII) sea estable.

Una vez formado, los óxidos de hierro libre pueden disolverse, nuevamente, si el Eh disminuye. Los iones de (FeII) pueden difundirse o lavarse a otro lugar del suelo, donde el Eh es alto, causando que el FeII se oxide de nuevo a FeIII y, consecuentemente, los óxidos de hierro libre se precipiten en otro lugar (Transformación-Translocación-Transformación).

Por otra parte, Moñiz y Buol (1982) consideran que la estructura, principalmente en bloques, que caracteriza a ese horizonte, es resultado de una compresión inducida por una saturación, alternante, con agua y desecación. El exceso de agua proveniente de las áreas con pendiente, puede formar drenajes laterales, la subsecuente desecación inicia la formación de grietas que producen una pseudo-estructura de los agregados en bloques, los cuales al expandirse durante un nuevo período de saturación, forman facetas de presión (estructuras características del suelo). Posiblemente, las fluctuaciones en el nivel freático, además de

- Hue= Matiz
- Value= Pureza
- Croma= Intensidad

propiciar cambios en los estados del hierro presente (Eh) propicien efectos de compresión sobre la estructura.

2. Intemperismo. El intemperismo de los minerales primarios libera los óxidos de hierro libre, y/o produce arcillas que dan a los horizontes subsuperficiales colores o matices más rojos que los de los materiales que les subyacen.

En materiales parentales libres de carbonatos, que muestran translocación de óxidos y estructura de suelo, es válido considerar la presencia de un B Cámbico. Sin embargo, el desarrollo del horizonte no debe ser tal que reúna los requisitos de un Argílico o de un Kándico. Además puede el horizonte Bw tener la mineralogía, pero no las propiedades químicas de un horizonte óxico (SubGrupos oxídicos: IV.1.3.4).

3. Reducción y remoción de óxidos de hierro. Da como resultado la formación, dominante, de colores grises en los horizontes del suelo que muestran un régimen ácuico de humedad (Grupo IV.1.1 (STBQ)). A este horizonte, a veces, le sobreyace un horizonte Hístico o Umbrico en que la materia orgánica se acumula, debido a las condiciones anaeróbicas estacionales.

Este grupo de procesos es la base para establecer las definiciones de un horizonte cámbico (Soil Survey Staff, 1990). Excepto por el tercer proceso, estos horizontes siempre presentan un máximo en el desarrollo de colores, grados de estructura en bloques, y contenidos de arcilla. Por esas razones, anteriormente, a estos horizontes se les llamó B crómico (B)'s, o B estructural B's.

Por otra parte, además del horizonte Bw cámbico pueden existir otros horizontes asociados:

A. Horizonte de pseudogley.

Cuando el anegamiento es intermitente, una parte del hierro ferroso se oxida y se forman manchas de herrumbre, las cuales abundan cerca de las raíces que transportan oxígeno de la atmósfera. El suelo es moteado, las manchas férricas, tienen un matiz más rojo y/o un croma más elevado y/o una intensidad más baja que las partes ferrosas. Su matiz es siempre 10YR o más rojo.

La distinción entre pseudogley y un horizonte ferruginoso (Grupos y SubGrupos oxídicos) es fácil: en el ferruginoso la desecación es extrema y se forman concreciones duras, de tamaño > 2mm. En el pseudo-gley se trata de manchas pulverulentas, o de concreciones ferro-magnésicas más pequeñas.

En algunos materiales de meteorización rápida, como el basalto, la alteración es profunda y el suelo es, en general, bien drenado durante su formación. En otros materiales de alteración lenta (granito-gneis) el suelo al principio es somero, y se anega con las lluvias muy abundantes del verano. Estas condiciones favorecen la formación de concreciones grandes; además la alteración del granito y gneis produce gravillones, los cuales se cubren con hierro que los protege de la alteración y se forman concreciones ferruginosas.

2. Plintita.

El material edáfico rico en Fe^{2+} que es susceptible de endurecerse por humedecimiento y desecación sucesivas se llama Plintita. Un alto contenido de hierro en el suelo, contribuye mucho a su formación. La Plintita abunda en lugares donde se juntan aguas ferruginosas por escurrimiento, drenaje lateral o sub irrigación. Este horizonte, al ser expuesto por la erosión, se endurece y se forman caparazones y corazas, a las que comúnmente se les llama lateritas.

La tabla 37 muestra la composición química porcentual, de una roca basáltica y de una plintita endurecida (Laterita primaria) colectadas en un suelo STBQ con plintita (IV.1.1.2) en la región de Eden, Veracruz.

TABLA 37. COMPOSICION QUIMICA DE UN BASALTO Y DE UNA PLINTITA EN UN SUELO STBQ.

	Cuarzo	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	TiO_2	MnO	MgO	CaO	K_2O	Na_2O	P_2O_5	P.P.I
Basalto	3.0	50.0	17.5	3.10	8.10	0.50	0.05	6.80	9.0	0.15	2.90	0.09	
Plintita	3.2	0.6	49.4	24.1	3.4	0.65	--	--	--	--	--	--	

LOCALIZACION: $18^{\circ}10' - 95^{\circ}27'$

RECOLECTO: J. E. GAMA (1985).

OBSERVACIONES :

Estos datos ejemplifican las pérdidas, severas, de sílice y bases que han tomado lugar durante la alteración de una roca (basalto) a la formación de una plintita en un suelo tropical con régimen ácuico (SubGrupo IV.1.1.2). Casi toda la sílice, con excepción de la que está presente en el cuarzo, así como todas las bases se han perdido en la plintita. También existe una gran pérdida de agua, en temperatura de ignición, proveniente de los hidroxilos que constituyen la estructura de algunos minerales como la gibbsita, goethita y caolinita. Estos minerales, a altas temperaturas, se convierten en óxidos y agua (Dos OH-estructurales O + H₂O).

Los minerales primarios del basalto, tienen pocos OH estructurales. La hidrólisis, durante el intemperismo, forma muchos OH en la estructura de los minerales primarios. En plintitas bien constituidas, estudiadas en zonas tropicales del Ecuador, las relaciones $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ llegan a ser superiores a 7. En este caso, las relaciones $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ son en la roca de 2.86 y 0.18 respectivamente, y de 0.01 y 0.49 en la plintita. Estos valores son bajos y sólo indican un principio de latosolización muy incipiente y joven, limitada en gran parte por las condiciones de drenaje natural. La presencia de un horizonte óxico queda totalmente descartada.

PERFIL 17

**CLASIFICACION
PROPUESTA:**Suelos STIB
EutróficosFAO-UNESCO
1988
Cambisol CrómicoSOIL TAXONOMY
1990
Typic Eutropept**LOCALIZACION:**Huejutla, Ver.
TOPOGRAFIA: Cerril
DRENAJE: Drenado**MATERIAL PARENTAL:**
BasaltoCLIMA: Am(f)
VEGETACION: Selva
Baja

EDAD: Holocénico

EDAFOCLIMA: Ustico
REGION: Planicie
Costera del Golfo**III.J.4D.1a.1****MORFOLOGIA DEL PERFIL 17****Ap 0-14 cm**

Horizonte pardo rojizo en seco (5YR4/4) y pardo rojizo oscuro (5YR3/4) en húmedo, arcilloso (> 40% de arcilla), estructura granular fina y subangular media, bien desarrolladas; friable en húmedo, adhesiva y plástica, raíces finas y medias abundantes (> 60 dm²), poroso (50%), bien drenado. Contacto claro e irregular.

Bw1 14-42 cm

Horizonte de color rojo en seco (2.5YR3/6) y pardo rojizo oscuro (2.5YR3/4) en húmedo, franco arcilloso (> 40% de arcilla, < 45% de arena y < 40% de limo) estructura en bloques (compresión) bien desarrollada, de consistencia dura en seco y firme a friable en húmedo. Presenta algunos revestimientos de arcilla (Clay Skins) sobre la superficie de los agregados, partículas minerales y poros del suelo. La presencia de esqueletanos y facetas de presión también es común, aunque en cantidad escasa. Es adhesivo, moderadamente plástico y poroso, muestra raíces finas abundantes. Contacto claro e irregular.

Bw2 42-65 cm

Horizonte de acumulación, de color pardo rojizo oscuro en seco (2.5YR3/4) y rojo oscuro en húmedo (2.5YR3/2) que le confieren el extragrado de crómico. Textura franco arcillosa, duro y firme a friable en húmedo. Presenta revestimientos de arcilla y de hierro iluvial sobre los agregados, paredes de los poros y partículas minerales; sobre las que forma un barniz de color 2.5YR4/8. Además muestra una estructura en bloques angulares, muy bien desarrollada, de consistencia dura y firme, adhesiva, plástica y porosa, con raíces finas y medias en cantidad moderada (> 15 dm²). En la parte inferior del horizonte, es común la presencia de saprolita de color rojo brillante, de consistencia muy suave, que muestra pequeñas acumulaciones de arcilla sobre su superficie. Contacto abrupto e irregular.

C1 65-79 cm Saprolita muy alterada, que en húmedo se fragmenta fácilmente, de color abigarrado: 70% rojo (2.5YR4/6) 20% blanco (5YR8/1) y 10% amarillo (5Y8/8). Las superficies de fractura muestran películas de óxidos de hierro y manganeso. Contacto gradual e irregular

Ca 79-87 cm

Saprolita de consistencia dura y color rojo (10R4/8). Contacto claro.

R 87 cm

Roca basáltica

ANALISIS FISICOS DE LA FRACCION < 2 mm

PROFUND. (cm)	HORIZONTE (A-B-C)	CLASES TEXTURALES Y DIAMETROS DE PARTÍCULAS (µ)										H2O Vcl. TOTAL (%)	RELACION LIMO ARCILLA (%)	DENSIDAD APARENTE				
		ARCILLA TOTAL (%)		GRAVA S&P... (>2mm)	MUY GUESA (2-1)	GUESA (1-0.5)		FINA (0.25-0.1)		MUY FINA (0.05-0.02)				ARCILLA (%)	GUESA FINA (0.002 < 0.002)	43a (kPa)	44b (kPa)	
		(mm)	(mm)			(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)							(%)
0-14	Ac	23.0	33.3	43.7	-	2.0	4.0	3.3	7.3	7.5	10.0	23.3	33.0	9.6	100	0.76	1.20	1.33
14-42	Bw1	33.0	22.0	35.0	-	3.0	5.0	5.2	10.7	9.3	10.0	22.0	29.5	5.5	100	0.91	1.40	1.66
42-65	Bw2	26.0	30.0	34.0	10	4.5	5.5	3.0	10.5	1.5	9.0	21.0	27.0	7.0	90	0.88	1.75	1.93
65-79	C1	20.0	20.0	10.0	50	8.0	7.5	4.5	-	-	10.0	10.0	8.3	1.7	50	2.00	1.50	2.10

CONTENIDO DE AGUA	COLE 41b	POROSIDAD (%)
484	41b	cm
33	1500	
25.0	18.0	0.02
26.0	16.5	0.03
33.0	18.5	0.03
15.0	12.3	0.01

PROFUND. (cm)	HORIZONTE (A-B-C)	RELACION ARCILLA			PH	
		C.I.C.T. NH ₄ Cl	HIERRO EXT.	AGUA 1500 KPa	SC1a H ₂ O	SC1c KCl
0-14	Ac	0.76	0.125	0.412	5.1	4.1
14-42	Bw1	1.02	0.129	0.471	5.0	3.9
42-65	Bw2	1.10	0.118	0.544	5.0	3.9
65-79	C1	4.01	0.292	1.23	5.6	4.6

ANALISIS QUIMICOS DE LA FRACCION < 2 mm

PROFUND. (cm)	HORIZONTE (A-B-C)	M.O. (%)	C (%)	N C/N (%)	N P2O5 (%)	N S (%)	BASES INTERCAMBIABLES mg/100g suelo										C.I.C.T. BALA Tca (mg)	REL. S/T Scl	681a Acidez Det. (%)	683d Al Det. (%)	602a Fe Det. (%)	Al Bases (%)	S&B Bases + Al (mg)
							Ca**	Mg**	Na*	K*	Ca** Pq	Ca** K	Mg** K	S&B DE BASES (S)									
0-14	Ac	5.70	2.25	12	2.5	7.5	15.0	11.3	0.3	1.1	1.33	23.91	10.27	27.7	33.5	82.69	22.5	1.7	5.45	5.78	51.9		
14-42	Bw1	2.80	1.75	11	2.7	8.9	15.7	11.0	0.3	0.8	1.43	33.37	13.75	27.8	35.7	77.87	23.4	4.2	4.51	13.12	55.4		
42-65	Bw2	1.20	0.75	10	2.4	9.6	16.1	11.3	0.4	0.5	1.42	54.80	22.6	28.3	37.4	75.67	19.5	4.7	4.00	14.24	52.5		
65-79	C1	0.63	0.20	-	-	-	19.3	15.1	0.7	0.3	1.28	114.66	50.3	25.4	40.1	88.28	10.2	1.3	2.92	3.54	46.9		

A. S. I. = Antagonismos, Sinergismos e Interacciones

ANALISIS TOTAL DE LA SAPROLITA Y ROCA BASAL

PROFUND. (cm)	CAPA (C-R)	CONSTITUYENTES										COMO OXIDOS					REL. SiO2/Al2O3 (%)
		SiO2 (%)	Al2O3 (%)	TiO2 (%)	Fe2O3 (%)	FeO (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na2O3 (%)	K2O (%)	MnO (%)	P2O3 (%)	P.P.1 (%)	SiO2 (%)	Al2O3 (%)		
65-79	C1	10.5	32.1	1.9	35.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22.3	0.36	
79-87	C2	33.2	25.7	1.2	27.3	3.25	1.10	0.95	-	-	-	-	-	-	11.40	2.20	
87	R	49.7	13.5	0.9	3.85	8.50	10.30	5.79	1.40	1.10	0.50	0.75	3.95	6.27			

III.J.4D.1a.2. CARACTERES DIAGNOSTICOS:

Estos suelos muestran características muy similares al SubOrden Tropept (Soil Taxonomy, 1990) ya que presentan un horizonte Cámbico en el que se incluye la formación de estructura de suelo a partir de la roca, la soluviación de carbonatos, la transferencia de hierro (FeII) y la presencia de matices y cromas más rojos que los del material parental. De igual modo estos suelos se han desarrollado en un régimen de temperatura isomésico o más cálido.

Propiedades físicas

Los cromas que muestra en el *solum* le confieren a este perfil el extragrado de crómico y son debidos a la alteración de los minerales primarios y a la dispersión de los óxidos amorfos de hierro en la matrix-S.

Texturalmente, predominan las arcillas en el *solum* (34 a 43.7%) por lo que su relación Limo: Arcilla, es menor a la unidad. Esta propiedad es muy significativa en estos suelos, ya que, además, de estar relacionada con un grado de alteración pedológica moderada, implica que estos suelos poseen una estructura, porosidad, densidad y retención de agua muy aceptables para su uso agrícola. Por otra parte, la compactación, colapsabilidad y erodabilidad, están limitadas a un riesgo ligero.

Las principales fases observadas, se presentan en la parte inferior del horizonte Bw2 y en el horizonte C. Es una fase esquelética constituida por fragmentos gruesos de saprolita y concreciones oxídicas los cuales, eventualmente, dificultan el paso de las raíces pero no alteran la permeabilidad ni el drenaje interno.

Con frecuencia, debido a los altos contenidos en arcilla, hierro libre (4-5.45%) y aluminio extraíble (1.7- a 4.7%) así como a los bajos contenidos en carbonatos, se les ha clasificado, inadecuadamente, como "terra fusca", ya que aunque muestran caracteres fersialíticos, el material parental no es una roca descarbonatada (caliza), sino una roca ígnea básica (basaltos) que se ha intemperizado directamente (monocíclico) hasta constituir un suelo ferruginoso.

Propiedades químicas y bioquímicas:

El complejo absorbente muestra una C.I.C.T. alta (> 33 meq/100 g de suelo) debida, principalmente, a los contenidos altos de arcillas 2:1 (Montmorillonita) que aunque se encuentran asociadas con Caolinita, son mayoritarias (> 60% del total de las arcillas presentes). Estos contenidos en arcillas 2:1, no son suficientes para conferirle a estos suelos propiedades vérticas, o para dar valores de COLE altos, lo que reditúa en un manejo agrícola más eficiente.

El complejo de cambio (S/T) está ligeramente desaturado en el *solum* (75-82%) aunque conserva su carácter eutrófico. La relación Al:Bases confirma lo anterior, ya que sólo llega a representar un máximo de 14.24% lo que anula el riesgo de distrificación, pero no el de acidificación (pH 5.0-5.6) ni el de retención de fósforo.

Como puede observarse en la tabla de análisis químicos, el equilibrio entre los elementos químicos de estos suelos (J. Boyer, 1982) es óptimo para las relaciones: C/N y $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$, normal en el caso, de las relaciones: N/ P_2O_5 ; N/S y $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}/\text{K}^+$, y muy deficiente en la relación, antagónica, Mg^{++}/K , lo que implica que aunque estos suelos poseen una fertilidad natural alta, su deficiencia en K^+ es notable. Esto último es debido, en gran parte, a la alta solubilidad del K^+ y a la lixiviación que existe en el área, que, con frecuencia, se traduce en carencias severas de este elemento en los cultivos: "hambre oculta". En el caso de los suelos caoliniticos o de los suelos que muestran horizontes óxicos, se presenta un fenómeno de adsorción preferencial del K^+ sobre el Ca^{++} debido, probablemente, a los contenidos altos de aluminio, lo que reduce los contenidos de Ca^{++} aprovechable, por calcio y potasio intercambiables.

Propiedades mineralógicas:

El complejo de alteración en estos suelos está constituido, principalmente, por arcillas esmecticas, caolinita y óxidos e hidróxidos de hierro y de aluminio, pero aún conserva porcentajes > 10 de minerales intemperizables. Los valores > 0.6 en la relación Arcilla: agua retenida, que se muestran en el horizonte C1, implican la presencia de amorfos con propiedades similares a las arcillas cristalinas (proto-monmorillonita?). Por otra parte, dado el contenido de óxido de hierro extractable (Fe_2O_3) que muestra el horizonte C1 (35%) se puede considerar la presencia de una clase mineralógica ferrítica, muy incipiente, en este horizonte. Las relaciones $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ que muestran los horizontes C1 y C2 con respecto a la roca basal (R) indican una desilificación acentuada y una acumulación relativa de Al_2O_3 y Fe_2O_3 . La relación $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ es de 34.5 en la roca; pero desciende, considerablemente, a 3.25 en el horizonte C2, y a 0.802 en C1, lo que es característico de una saprolita muy alterada de tipo oxidico.

PERFIL 18

CLASIFICACION PROPUESTA: STB-Udico-Distrófico	FAO-UNESCO 1988 Cambisol dístico	SOIL TAXONOMY 1990 Typic Dystropept
LOCALIZACION: Huauchinango, Puebla TOPOGRAFIA: Cerril DRENAJE: Muy drenado	MATERIAL PARENTAL: Riolita CLIMA: Af VEGETACION: Agricultura de temporal	EDAD: Holoceno EDAFOCLIMA: Udico REGION: S. M. Oriental

III.J.4D.1b.1. MORFOLOGIA DEL PERFIL 18

Ap 0-20 cm

Horizonte antropizado de color rojo oscuro en seco (2.5YR3/6) y pardo rojizo oscuro en húmedo (2.5YR2.5/4) de textura arcillo limosa fina (> 35% de arcilla). Presenta una estructura granular y subangular, débilmente desarrolladas, de tamaño fino, friable en húmedo y ligeramente dura en seco. Es poco adhesivo y ligeramente plástico, poroso y fisurado. Raíces finas y edafotúbulos abundantes. Contacto claro e irregular

Bw 20-45

Horizonte de alteración (Cámbico) rico en óxidos de hierro que le dan un color rojo en seco (10R5/8) y en húmedo (10R4/6), de textura migajón arcillosa, y estructura subangular media, moderadamente desarrollada, firme no adhesiva y poco plástica, muy porosa y con una densidad alta de raíces finas (> 50 dm²). Los cortes en sección delgada indican la ausencia de películas arcillosas (argilanes) pero muestran la presencia de ferranes. Contacto gradual e irregular.

Cw 45-67 cm

Horizonte de saprolita muy alterada que ocupa, aproximadamente el 60% del volumen total de la capa. La fracción de tierra fina, se caracteriza por una textura arenosa, estructura masiva, porosidad alta y buen drenaje. En esta fracción predominan los colores rojos y amarillos. La saprolita es fácilmente desmenuzable con la manos, aunque tiende a incrementar su dureza con la profundidad. Las raíces finas y medias se presentan en cantidad moderada y, aparentemente, no muestran limitaciones físicas para su crecimiento y penetración. Contacto gradual e irregular.

Cw2 67-100 cm

Saprolita fracturada, de consistencia dura y muy dura, que aún conserva la estructura de la roca, aunque ya muestra la agilización de algunos feldespatos. Predomina el color rojo pardo en su matriz, pero sólo como producto de la hidrólisis y oxidación de la roca, ya que la fracción de tierra fina (2 mm) representa solamente, > 10% del volumen total de horizonte. Las raíces sólo se localizan entre las grietas y fisuras, consecuentemente, su densidad es muy baja ($> 3 \text{ dm}^3$). Con frecuencia se presenta un drenaje lateral entre este horizonte y los horizontes supra y subyacentes. Contacto gradual e irregular.

R 100 cm

Roca basal

ANÁLISIS FÍSICOS DE LA FRACCIÓN < 2 mm

PROFUND. (cm)	HORIZONTE (A-B-C)	CLASES TEXTURALES Y DIÁMETROS DE PARTICULAS (%)														RELACION		DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)	
		TOTAL		ARENA (A)						LIMO (M)		ARCILLA		LIMO ARENOSA	ARCILLA				
		2-0.05 (mm)	0.05-0.002 (mm)	2-1 (mm)	1-0.5 (mm)	0.5-0.25 (mm)	0.25-0.1 (mm)	0.1-0.05 (mm)	0.05-0.02 (mm)	0.02-0.002 (mm)	(%)	0.02-0.002 (mm)	0.02-0.002 (mm)	33	1500				
0-20	Ap	20.3	39.2	40.5	-	3.0	2.5	2.0	3.5	10.3	14.1	25.1	40.5	65.6	0.96	1.20	1.23		
20-45	Bw	22.0	40.0	38.0	-	3.7	2.3	2.0	4.0	10.0	14.0	26.0	38.0	66.0	1.05	1.15	1.20		
45-67	Cv-1	44.1	40.9	15.0	60%	2.1	4.3	4.7	14.5	18.5	14.4	26.5	15.0	41.5	2.72	1.18	1.30		
67-100	Cv-2	53.0	39.5	7.5	90%	2.0	4.0	6.0	22.0	19.0	13.5	26.0	7.5	33.5	5.26	-	-		

ANÁLISIS QUÍMICOS DE LA FRACCIÓN < 2 mm

PROFUND. (cm)	HORIZONTE (A-B-C)	M.O. (%)	C (%)	N (%)	C/N	BASES INTERCAMBIABLES mg/100g suelo							S. S. I.			Sala C.T.C. 2 (meq)	SCI REL: S/T	611a Acidez Ext.
						N _{F205}	N _S	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	S	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺			
						(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)			
0-20	Ap	3.2	2.60	0.180	14.4	1.3	14.0	3.1	0.5	-	0.3	3.9	6.20	12.0	1.66	17.5	22.28	24.10
20-45	Bw	1.80	1.35	0.100	13.5	1.5	14.7	3.7	0.5	-	0.4	4.6	7.40	10.5	1.25	17.2	26.74	19.30
45-67	Cv-1	0.70	0.20	0.018	11.1	1.2	14.5	2.9	0.3	-	0.3	3.5	9.66	10.6	1.00	17.0	20.58	19.60
67-100	Cv-2	-	-	-	-	-	-	1.1	0.2	-	0.2	1.5	-	-	1.00	16.2	9.25	21.55

(S) = suma de bases. A.S.I. =

OBSERVACIONES: INDICES

PROFUND. (cm)	HORIZONTE (A-B-C)	RELACION ARCILLAS		ARCILLA EXT. 1500KPa	RH 111 KCl	RH 113 KCl
		C.T.C.2 KNO ₃ GAG	HIDRO EXT.			
0-20	Ap	0.43	0.254	0.530	4.2	3.6
20-45	Bw	0.45	0.255	0.571	4.5	3.6
45-67	Cv-1	1.13	0.466	1.240	4.5	3.6
67-100	Cv-2	2.16	1.066	-	4.6	3.7

ARCILLA DE AGUA	ARCILLA DISPERS. EN H ₂ O	POROSIDAD
434	416	(%)
33	1500	
33.3	21.5	21.0
30.0	21.7	18.0
27.9	18.6	7.0
-	-	-
49.51	51.06	56.48

6G1d Al Ext.	6C2a Fe Ext	Al Bases (%)	5A1b Bases = Al (meq)
8.7	10.3	69.04	12.6
6.6	9.7	58.92	11.2
6.6	7.3	76.02	14.6
11.1	7.3	76.02	14.6
12.3	8.0	89.13	13.8

III.J.4D.1b.2 CARACTERES DIAGNOSTICOS:

En general, este Grupo está constituido por unidades pedológicas francamente desaturadas, fenómeno que además de conferirles un carácter distrófico, los sitúa dentro de los suelos ácidos de baja fertilidad natural, aunque son, potencialmente, aptos para el desarrollo de cultivos acidófilos y pastizales.

Morfológicamente, presenta un horizonte A ócrico, granular que pasa en forma gradual, a un horizonte Bw de estructura subangular que sobreyace a una saprolita muy alterada (Cw1). En sección delgada, los pedio granulares tienen una matriz isotrópica de arcilla-hierro-humus con material orgánico, principalmente vegetal, finamente fraccionado y parcialmente descompuesto. En el horizonte Bw, los pedio muestran en sección delgada y bajo luz polarizada, una matriz isotrópica y granos de arena anisotrópicos que principalmente son de cuarzo, en ocasiones, muy teñidos por los óxidos de hierro. En tanto que la saprolita, muestra colores pardos rojizos y amarillentos, estructura de roca débilmente conservada, pseudoamorfos de óxidos e intemperización profunda, típica de condiciones tropicales húmedas. En climas ecuatoriales se les encontró muy asociados con Oxisoles.

Propiedades físicas:

En general son suelos de textura fina (> 35% arcilla) o media, con el contenido máximo de arcilla en el epipedón: 40.5% en Ap, la cual disminuye en cantidad con la profundidad: 38% en Bw; 15% en Cw1 y sólo 7.5% en Cw2. Este contraste de textura puede, en ocasiones, ser debido a la estratificación del material parental, pero de modo más frecuente, indica que es en el horizonte superior (Ap) la posición de máxima hidrólisis, la cual es ayudada por los productos ácidos de la descomposición de la materia orgánica.

La fracción de arenas gruesas y muy gruesas en el *solum* (5.5-6%) está constituida, principalmente, por nódulos de hierro de color pardo rojizo (30%), en ocasiones asociados con MnO_2 que los reviste o sirve de material cementante, así como con granos aislados de FeS_2 ; con bordes corroídos y un revestimiento delgado, isotrópico, de $Fe(OH)_3$.

La fracción de arena fina y muy fina (13.8-14.0%) muestra, predominantemente, estar constituida por feldespatos potásicos, algunos con fuerte alteración caolinítica, cuarzo en forma de granos irregulares, y minerales ferromagnesianos en cantidad escasa (> 5%).

La relación Arcilla/retención de H_2O (1500 kPa) excede el valor 0.6 para el horizonte Cw1, lo que indica la probabilidad de que existan algunos amorfos que muestran propiedades muy similares a las de las arcillas cristalinas. Los colores rojo, pardo amarillento y pardo oscuro que se muestran bajo luz polarizada, se infiere, indican la presencia, de hematita dispersa, goetita hidratada y materia orgánica, esta última, comúnmente, asociada con oxihidratos de hierro y geles amorfos de este elemento.

Como en el caso del perfil 17, estos suelos poseen propiedades hidrológicas y estructurales adecuadas para el uso agrícola, sin embargo, presentan limitaciones muy serias para su uso como son: la topografía, los contenidos elevados de aluminio, y su pobreza en bases. La experiencia adquirida sobre estos suelos, indica que cuando no son expuestos a

la erosión, resultan más favorables que los Oxisoles para soportar cultivos de interés económico, especialmente si existen suficientes recursos para fertilizar y encalar los suelos, de modo que las deficiencias en nutrimentos sean reducidas, y se domine la toxicidad por aluminio y manganeso.

Propiedades químicas y bioquímicas:

A diferencia del perfil 17, el complejo absorbente muestra una C.I.C.T. moderada, debido al predominio de las arcillas caoliniticas sobre las de relación 2:1. Esta capacidad de intercambio no le confiere propiedades ferráticas.

El complejo de cambio (S/T) está fuertemente desaturado (9.25 a 26.74%) y que aún el calcio es el principal catión intercambiable, en ocasiones, puede predominar el magnesio especialmente, si el material parental es rico en minerales ferromagnésicos. La lixiviación de los cationes básicos, es uno de los principales procesos.

La tabla de análisis químicos, muestra relaciones deficientes entre los elementos C, N, P, y S, así como en las relaciones Ca^{++}/Mg^{++} , $Ca^{++} + K^{+}$ y Mg^{++}/K^{+} , que en conjunto indican una débil actividad de humificación, alta mineralización, severa lixiviación y deficiencias elevadas en Ca^{++} y K^{+} , que propician una acidez extractable y potencial muy elevadas. La relación Al/Bases en todos los horizontes es mayor que 50%, lo cual es indicativo de la fuerte distrificación.

En la tabla se da el contenido volumétrico de nutrimentos, entre un Oxisol (Rhodic Kandiodox) un Alfisol (Udalf), un Ultisol (Udult), un Andisol (Acruoxic Hydrudand) y el suelo estudiado.

Por otra parte, la cantidad y distribución del óxido de hierro extraíble, está distribuido de modo casi uniforme aunque, como es típico en estos suelos, el contenido de hierro en Bw es menor que el que muestra el horizonte A. Esto se debe a que la hidrólisis en el epipedón es muy activa, y la mayor parte del hierro y del aluminio liberados se precipitan cerca de su punto de liberación para, posteriormente, ser removidos en el drenaje o distribuidos por la lixiviación. La razón $SiO_2: Fe_2 + Al_2O_3$ es muy uniforme en estas unidades pedológicas.

Tabla 38 **CONTENIDO VOLUMETRICO DE NUTRIMENTOS**

UNIDAD PEDOLOGICA	C*	N°	Ca°	Mg°	K°	Na°	Al°
Rhodic Kandiodox	164	11910	8689	1088	992	7	n.d.
Typic Kandiuistalf	86	8899	8317	1517	1326	70	78
Plinthic Kandiuistult	72	6890	20	50	148	-	2490
Acruoxic Hydrudand	421	7890	737	855	390	n.d.	137
Typic Dystropept'							

* Unidades t/ha/m de profundidad. ° Unidades en kg/ha/m de profundidad

Typic Dystropept' = Perfil analizado en esta tesis

FUENTE: Alvarado y Buol (1975)

III.J.4D.2. SUBCLASE IV.2 SUELOS TROPICALES ARGILICOS, RICOS EN SESQUIOXIDOS Y ARCILLAS DE BAJA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO (STA)

Esta Subclase incluye a un gran número de suelos argílicos tropicales que han sido colocados, taxonómicamente, en los Ordenes Alfisol y Ultisol (Soil taxonomy, 1988). Los Grupos de suelos llamados Paleustults, Rhodustults, Paleudults, Rhodudults, Paleustalfs, Rhodustalfs, Paleudalfs y Rhodudalfs son excluidos de esta SubClase, debido a que cumplen, según la nueva Taxonomía de Suelos (Soil Taxonomy, 1988) con los requisitos, suficientes, para ser considerados como Oxisoles.

Esta Subclase comprende a los Alfisoles y Ultisoles que no muestran un horizonte óxico (Bo) y que tienen sus equivalentes, aproximados, en las Unidades FAO, 1988 designados como Lixisoles, Acrisoles, Alisoles, Nitosoles, Acrisoles, Luvisoles, Planosoles y, algunos, Plintisoles, equivalentes a los Sols ferrallitiques lessivés o Soils ferrallitiques fortement de'saturés-appauvris, del Sistema Francés, 1980.

Las razones principales para asociar en esta Subclase a los Ordenes Alfisol y Ultisol son:

1. La mayoría de los Alfisoles y Ultisoles del Trópico comparten propiedades comunes.
2. La diferencia en el porcentaje de saturación de bases (Alfisol > 35%. Ultisol < 35%) no es un criterio adecuado para suelos que, como los estudiados, muestran una C. I. C. T. baja y
3. Ambos suelos poseen horizontes Argílicos (Bt) o Kándicos, los cuales están constituidos, predominantemente, por arcillas caoliníticas, a menudo mezcladas con otras arcillas silicatadas (Suelos con arcillas de baja actividad).

En consecuencia, esta Subclase queda definida de la siguiente forma:

1. Son suelos minerales que muestran un régimen de temperatura del suelo que varía de isomésico a isohipertérmico y un régimen de humedad que puede oscilar de ústico a ácuico, caracterizándose, además, por:
 - a. Carecer de los requisitos taxonómicos de Spodosoles, Oxisoles y Vertisoles.
 - b. Mostrar un horizonte Kándico o Argílico y
 - c. Pueden tener una saturación de bases mayor o menor de 35% dentro de las siguientes profundidades: (a) 125 cm abajo del límite superior del horizonte Argílico o Kándico o (b) inmediatamente arriba de un contacto lítico o para-lítico o
- (c) dentro de los 180 cm iniciales de profundidad.

OBSERVACIONES:

Con base en estos criterios, fueron identificados los siguientes Super-Grupos y Grupos:

III.J.4D.2A SUPER-GRUPO: EUTROFICOS TROPICALES (e).

III.J.4D.2A.1 GRUPO IV.2.1 Suelos STA Eutróficos con Régimen Acuico (STAqe).

Son suelos que se caracterizan por presentar: (1) un cambio textural abrupto entre el horizonte ócrico, el horizonte albico (E) y el horizonte argílico, (2) muestran una conductividad hidráulica, en el horizonte Bt, lenta o muy lenta, (3) no muestran lenguas de materiales albicos en Bt2, (4) no presentan fragipán, duripán u horizonte nátrico, (5) no muestran diferencias térmicas, en el perfil, que excedan los 10°C y (6) no muestran plintita que forme una fase continua o que constituya más de la mitad de la matriz, en algún subhorizonte, situado en los 150 cm iniciales.

Con base en las siguientes características fueron identificados los Subgrupos.

- A. Tienen un croma de 2 ó menos, en el 60% o más de la masa del suelo que comprende los primeros 75 cm de profundidad.
- B. Debajo del horizonte E, los horizontes siempre muestran textura más fina que migajón arenoso fino, y puede presentarse en el perfil, un horizonte que no exceda los 18 cm de espesor, con una densidad aparente a 33kPa de 0.95g/cc, o menor en la fracción de tierra fina y una, o más, de las siguientes propiedades: (1) una relación Arcilla: Retención de agua (1500 kPa) de 1.25 o menos o (2) una relación C.I.C. (pH 8): Retención de agua (1500kPa) de > 1.5 y (3) mayor acidez intercambiable que la suma de bases más aluminio extraíble en KCl.
- C. No presentan un horizonte, dentro de 1 m de profundidad, que tenga 15, o más, centímetros de espesor y que muestre: (1) silanes o películas de ópalo y (2) durinódulos.
- D. Pueden tener un horizonte Ap con brillo, en húmedo, de 4, o más, o un brillo de 6, o más, en húmedo después de que el suelo ha sido molido y tamizado.
- E. No muestran la combinación de las siguientes propiedades: (1) grietas de más de 1 cm de ancho y 50 cm de profundidad, (2) un valor de COLE > 0.09, y (3) más de 35% de arcilla en horizontes cuyo espesor sea mayor de 50 cm.
- F. Muestran una textura más fina que migajón arenoso muy fino, en algún subhorizonte dentro de los 50 cm iniciales de profundidad.
- G. Tienen un horizonte superficial que después de que ha sido mezclado, en sus primeros 18 cm de espesor, presenta <30% de arcilla.

OBSERVACIONES:

Con base en estos criterios, fueron identificados los siguientes Super-Grupos y Grupos:

III.J.4D.2A SUPER-GRUPO: EUTROFICOS TROPICALES (e).

III.J.4D.2A.1 GRUPO IV.2.1 Suelos STA Eutróficos con Régimen Acuico (STAqe).

Son suelos que se caracterizan por presentar: (1) un cambio textural abrupto entre el horizonte ócrico, el horizonte albico (E) y el horizonte argílico, (2) muestran una conductividad hidráulica, en el horizonte Bt, lenta o muy lenta, (3) no muestran lenguas de materiales albicos en Bt2, (4) no presentan fragipán, duripán u horizonte nátrico, (5) no muestran diferencias térmicas, en el perfil, que excedan los 10°C y (6) no muestran plintita que forme una fase continua o que constituya más de la mitad de la matriz, en algún subhorizonte, situado en los 150 cm iniciales.

Con base en las siguientes características fueron identificados los Subgrupos.

- A. Tienen un cromax de 2 ó menos, en el 60% o más de la masa del suelo que comprende los primeros 75 cm-de profundidad.
- B. Debajo del horizonte E, los horizontes siempre muestran textura más fina que migajón arenoso fino, y puede presentarse en el perfil, un horizonte que no exceda los 18 cm de espesor, con una densidad aparente a 33kPa de 0.95g/cc, o menor en la fracción de tierra fina y una, o más, de las siguientes propiedades: (1) una relación Arcilla: Retención de agua (1500 kPa) de 1.25 o menos o (2) una relación C.I.C. (pH 8): Retención de agua (1500kPa) de > 1.5 y (3) mayor acidez intercambiable que la suma de bases más aluminio extraíble en KCl.
- C. No presentan un horizonte, dentro de 1 m de profundidad, que tenga 15, o más, centímetros de espesor y que muestre: (1) silanes o películas de ópalo y (2) durinódulos.
- D. Pueden tener un horizonte Ap con brillo, en húmedo, de 4, o más, o un brillo de 6, o más, en húmedo después de que el suelo ha sido molido y tamizado.
- E. No muestran la combinación de las siguientes propiedades: (1) grietas de más de 1 cm de ancho y 50 cm de profundidad, (2) un valor de COLE > 0.09, y (3) más de 35% de arcilla en horizontes cuyo espesor sea mayor de 50 cm.
- F. Muestran una textura más fina que migajón arenoso muy fino, en algún subhorizonte dentro de los 50 cm iniciales de profundidad.
- G. Tienen un horizonte superficial que después de que ha sido mezclado, en sus primeros 18 cm de espesor, presenta < 30% de arcilla.

OBSERVACIONES:

Con base en estos criterios, fueron identificados los siguientes Super-Grupos y Grupos:

III.J.4D.2A**SUPER-GRUPO: EUTROFICOS TROPICALES (e).****III.J.4D.2A.1****GRUPO IV.2.1 Suelos STA Eutróficos con Régimen Acuico (STAqe).**

Son suelos que se caracterizan por presentar: (1) un cambio textural abrupto entre el horizonte ócrico, el horizonte albico (E) y el horizonte argílico, (2) muestran una conductividad hidráulica, en el horizonte Bt, lenta o muy lenta, (3) no muestran lenguas de materiales albicos en Bt2, (4) no presentan fragipán, duripán u horizonte nátrico, (5) no muestran diferencias térmicas, en el perfil, que excedan los 10°C y (6) no muestran plintita que forme una fase continua o que constituya más de la mitad de la matriz, en algún subhorizonte, situado en los 150 cm iniciales.

Con base en las siguientes características fueron identificados los Subgrupos.

- A.** Tienen un croma de 2 ó menos, en el 60% o más de la masa del suelo que comprende los primeros 75 cm de profundidad.
- B.** Debajo del horizonte E, los horizontes siempre muestran textura más fina que migajón arenoso fino, y puede presentarse en el perfil, un horizonte que no exceda los 18 cm de espesor, con una densidad aparente a 33kPa de 0.95g/cc, o menor en la fracción de tierra fina y una, o más, de las siguientes propiedades: (1) una relación Arcilla: Retención de agua (1500 kPa) de 1.25 o menos o (2) una relación C.I.C. (pH 8): Retención de agua (1500kPa) de > 1.5 y (3) mayor acidez intercambiable que la suma de bases más aluminio extraíble en KCl.
- C.** No presentan un horizonte, dentro de 1 m de profundidad, que tenga 15, o más, centímetros de espesor y que muestre: (1) silanes o películas de ópalo y (2) durinódulos.
- D.** Pueden tener un horizonte Ap con brillo, en húmedo, de 4, o más, o un brillo de 6, o más, en húmedo después de que el suelo ha sido molido y tamizado.
- E.** No muestran la combinación de las siguientes propiedades: (1) grietas de más de 1 cm de ancho y 50 cm de profundidad, (2) un valor de COLE > 0.09, y (3) más de 35% de arcilla en horizontes cuyo espesor sea mayor de 50 cm.
- F.** Muestran una textura más fina que migajón arenoso muy fino, en algún subhorizonte dentro de los 50 cm iniciales de profundidad.
- G.** Tienen un horizonte superficial que después de que ha sido mezclado, en sus primeros 18 cm de espesor, presenta <30% de arcilla.

III.J.4D.2A.1.1. SUBGRUPOS

Se reconocieron los siguientes SubGrupos:

- IV.2.1.1 Suelos STAqe típicos. Cumple con todos los requisitos antes, establecidos ----- (STAqet)
- IV.2.1.2 Suelos STAqe aéricos. No cumplen con el requisito A ----- (STAqea)
- IV.2.1.3 Suelos STAqe údolicos. No cumplen con los requisitos A y D ----- (STAqeu)
- IV.2.1.4 Suelos STAqe vérticos- - - Cumplen con el requisito E ----- (STAqev)

El perfil 19 es representativo del SubGrupo STAqet.

III.J.4D.2A.2 GRUPO IV.2.2. Suelos STA Eutróficos con Régimen Acuico que muestran Plintita (STAqv).

Este Grupo se caracteriza por que los suelos muestran, además de las propiedades diagnósticas de la SubClase STA, un horizonte de plintita (Bv). Sin embargo, este horizonte representa <50%, por volumen, de todos los subhorizontes presentes, dentro de los 125 cm iniciales de profundidad y, generalmente, no forma una fase continua.

Presentan, además, las siguientes características: (1) tienen un régimen de temperatura isométrico, o más cálido y (2) no muestran fragipán, duripán, u horizonte nátrico.

Las características empleadas para identificar los SubGrupos son:

- A. Muestran moteado en el 60%, o más, de la matriz de todos los subhorizontes presentes en los primeros 75 cm de profundidad. El moteado puede presentar las siguientes características cromáticas: un matiz de 2.5Y, o más rojo, un brillo, en húmedo, mayor de 5 y un croma, en húmedo, de 2 o menos.
- B. No muestran un incremento de 20% de arcilla dentro de una distancia vertical de 7.5 cm, o de 15% de arcilla dentro de una distancia vertical de 2.5 cm en el límite superior del horizonte argílico.
- C. No presentan una capa abajo de 75 cm de profundidad que tenga una textura más fina que migajón arenoso fino, cuyo espesor excede los 18 cm, y que, además, muestra una densidad aparente, a 33 kPa, de 0.95 g/cc, o menor, en la fracción de tierra fina, y/o muestre las siguientes características:
 1. Una relación Arcilla: Retención de agua, a 1500kPa, de 1.25, ó menos, ó
 2. Una relación C.I.C: Retención de agua, a 1500kPa, mayor de 1.5, con una acidez intercambiable mayor que la suma de bases, más aluminio extraíble en KCl.

- D. Pueden presentar un horizonte Ap, que después de ser mezclado muestra un brillo, en húmedo, de 4, o más, y de 6, o más, en seco.
- E. No presentan propiedades vérticas

III.J.4D.2A.2.1 SUBGRUPOS

- IV.2.2.1 Suelos STAqv típicos. Cumplen con todos los requisitos, antes establecidos ----- (STAqvt)
- IV.2.2.2 Suelos Staqv texturales. No cumplen con el requisito C.-- (STAqvb)
- IV.2.2.3 Suelos aéricos. No cumplen con el requisito A.----- (STAqva)

El perfil 20 es representativo del SubGrupo STAqva

OBSERVACIONES

En el Grupo STAqv, la plintita siempre se localizó en la parte inferior del horizonte argílico, a profundidades que oscilan de 100 a 150 cm. Morfológicamente, la plintita se caracteriza, en este Grupo, por su moteado de color rojo, pardo rojizo y crema, así como por su textura fina, la cual varía de migajón arcillo arenosa a arcilla.

El horizonte (Bv) no presenta unidades estructurales, y en algunas partes, es posible reconocer la estructura de la roca parental, parcialmente, conservada. Como se observó en el perfil 20, con frecuencia, la plintita muestra revestimientos de arcilla, algunas concreciones de hierro, caolinita y gibbsita microcristalinas. Generalmente se endurece cuando se seca. Por otra parte, muestra, además, pH 5.2 - 6.1; saturación de bases > 35% pero < 50%; contenidos de M. O. < 0.7%; relación C/N 6 - 7 y C.I.C.T. < 15 meq.

III.J.4D.2A.3. GRUPO IV.2.3 Suelos STA Eutróficos con Régimen Udico (STAud).

Son suelos STA que muestran un régimen de humedad údico, y una temperatura del suelo que no varía más de 5°C, dentro de los primeros 50 cm de profundidad, durante el período verano-invierno-verano. Morfológicamente, se caracterizan por presentar horizontes de color pardo rojizo, o rojos. Se forman, comúnmente, sobre superficies de erosión recientes, o sedimentos, a partir de materiales parentales básicos. Con frecuencia, parte del horizonte A se muestra erosionado y, comúnmente parte del horizonte Ap incluye una porción del B argílico. No muestran horizontes nátricos o fragipán.

Las siguientes características fueron empleadas para distinguir los SubGrupos.

- A. No muestran moteado con cromas de 2, o menos, dentro de los primeros 75 cm de profundidad.

- B. No muestran contacto lítico dentro de los primeros 50 cm de la superficie.
- C. No presentan una capa abajo de 75 cm de profundidad que tenga una textura más fina que migajón arenoso fino, cuyo espesor exceda los 18 cm y que, además, muestre una densidad aparente, a 33kPa, de 0.95g/cc, o menor, en la fracción de tierra fina, y/o muestre:
 1. Una relación Arcilla: Retención de agua (1500kPa) de 1.25, o menos.
 2. Una relación C.I.C. (pH8): Retención de agua (1500kPa) > 1.5, y
 3. Mayor acidez intercambiable que la suma de bases más aluminio extraíble en KCl.
- D. No muestran cambios texturales abruptos.
- E. Tienen una textura más fina que migajón arenoso fino, en algún subhorizonte, dentro de los primeros 50 cm de profundidad.
- F. Muestran un horizonte Argílico con continuidad horizontal, y continuidad vertical, al menos en los primeros 30 cm superiores, y tienen una textura más fina que migajón arenoso fino.
- G. Tienen una saturación de bases de 60%, o más, hasta una profundidad de 125 cm, a partir del contacto superior del B argílico.
- H. Tienen una C.I.C. > 24 meq/100g de arcilla (NH₄OAc) y una retención de cationes (NH₄Cl) igual o mayor de 12 meq/100g de arcilla, en la mayor parte del horizonte argílico, y
- I. No muestran propiedades vérticas.

III.J.4D.2A.3.1 SUBGRUPOS

Fueron identificados los siguientes:

- IV.2.3.1 Suelos STAud típicos. Cumplen con todos los requisitos, antes establecidos ----- (STAudt)
- IV.2.3.2 Suelos STAud con carácter ácuico. No cumplen con el requisito A ----- (STAudq)
- IV.2.3.3 Suelos STAud Lépticos. No cumplen con el requisito B ----- (STAudl)
- IV.2.3.4 Suelos STAud oxidicos. No cumplen con el requisito H, y en ocasiones, con G ----- (STAudk)
- IV.2.3.5 Suelos STAud últicos. No cumplen con el requisito G ----- (STAudu)
- IV.2.3.6 Suelos STAud vérticos. No cumplen con el requisito I ----- (STAudv)

El perfil 21 representa, al SubGrupo IV.2.3.5.

III.J.4D.2A.4. GRUPO IV.2.4 Suelos STA Eutróficos con Régimen Ústico (STAus).

Son, probablemente, los suelos que más clasificaciones erróneas han tenido en México, debido a sus propiedades morfológicas y tipogenéticas. Algunos Grupos Typic, Aeríc y Ultic se presentan tanto en zonas tropicales y subtropicales, como en la zona templada, e incluso árida donde se les considera como paleosuelos.

Como su nombre lo indica, se desarrollan en un régimen ústico que, generalmente, muestra un período cálido-lluvioso bien establecido. En la mayoría de estos suelos, la humedad edáfica se desplaza a las capas profundas, sólo de modo ocasional. Consecuentemente, si el material parental es rico en carbonatos, existe la posibilidad de que se forme un horizonte Btk.

Se distinguen además, por presentar las siguientes características:

1. Tienen un régimen de temperatura que puede oscilar de isotérmico a isohipertérmico.
2. Tienen cromas muy altos, de color rojizo, y no tienen: (a) un régimen ácuico, o (b) drenaje artificial
3. Muestran un régimen de humedad ústico, o: (a) si el régimen es údico pero marginal a ústico, tienen dentro de los 150 cm de la superficie o dentro de los 50 cm de la base del horizonte argílico un horizonte Btk o concreciones de CaCO_3 , de forma esferoidal, polvo calcáreo recubriendo los pedio, o diseminado en la fracción arcillosa, o (b) si el régimen ústico es transicional a arídico, muestran epipedones masivos y duros cuando secos.

III.J.4D.2A.4.1. SUBGRUPOS

Fueron reconocidos los siguientes SubGrupos:

- | | |
|----------|--|
| IV.2.4.1 | Suelos STAus típicos. Cumplen con los caracteres diagnósticos señalados ----- (STAust) |
| IV.2.4.2 | Suelos STAus con plintita. Son suelos que muestran plintita como una fase continua que constituye más de la mitad de la matriz, de algún subhorizonte del horizonte argílico, dentro de los primeros 125 cm de profundidad ----- (STAusv) |
| IV.2.4.3 | Suelos STAus lépticos. Muestran un contacto lítico dentro de los primeros 50 cm de profundidad ----- (STAusl) |
| IV.2.4.4 | Suelos STAus oxídicos. Tienen una C.I.C. de 24 meq/100 g de arcilla (NH_4OAc) o menor, y una retención de cationes (NH_4Cl) de 12 meq/100 de arcilla, o menor, en la mayor parte del horizonte argílico ----- (STAusx) |
| IV.2.4.5 | Suelos STAus údicos. No constituyen horizonte cálcico (Btk) ni muestran CaCO_3 dentro de los primeros 125 cm de profundidad ----- (STAusu) |

- IV.2.4.6 Suelos STAus últicos. Muestran un horizonte argílico que tiene una saturación de bases de 75%, o menos, en algún subhorizonte. Nunca presentan horizonte Btk, ni concreciones de CaCO₃, -----(STAusa)
- IV.2.4.7 Suelos STAus vérticos. Muestran propiedades vérticas ----- (STAvisi)

El perfil 22 representa al SubGrupo STAust (IV.2.4.1)

OBSERVACIONES

Estos Sub-Grupos se correlacionan taxonómicamente, de modo aproximado, con los siguientes Grandes Grupos y Unidades de Soil Taxonomy, 1988 y FAO-UNESCO, 1988.

TABLA 39 CORRELACION TAXONOMICA

CLASIFICACION PROPUESTA 1992	FAO-UNESCO 1988	SOIL TAXONOMY 1988
IV.2.4.1 STAust	Luvisol órtico	Typic Haplustalfs
IV.2.4.2 STAusv	Luvisol plíntico	Plinthustalfs
IV.2.4.3 STAustl	Luvisol léptico	Lithic Haplustalfs
IV.2.4.4 STAusx	Luvisol férrico	Oxic Haplustalfs
IV.2.4.5 STAusu	-----	Udic Haplustalfs
IV.2.4.6 STAusa	-----	Ultic Haplustalfs
IV.2.4.7 STAusi	Luvisol vértico	Vertic Haplustalfs

- Los Grandes Grupos Rhodudtalfs, no incluidos en esta Clase, serán discutidos junto con los suelos que muestran caracteres muy similares a un Oxisol, o que poseen un horizonte Bo.

- Aunque no fue determinada la presencia de suelos STAust, que mostraran menos de 24 cmol (+) por kg de arcilla (NH₄OAc 1N a pH 7) en la mayor parte del horizonte argílico (Kandhaptic Haplustalfs) o que mostraran un horizonte Kándico, que cumpliera con los requisitos establecidos por el International Committee on the Classification of Low Activity Clays (ICOMLAC) no se descarta su presencia en el Territorio Nacional.

III.J.4D.2B. SUPER-GRUPO: SUELOS DISTROFICOS TROPICALES (d).

III.J.4D.2B.1. GRUPO IV.2.5 Suelos STA Distróficos con Régimen Acuico (STAqd).

Estos suelos se caracterizan por presentar una saturación de bases < 35% en algún subhorizonte del *solum*. Este horizonte puede estar localizado a las siguientes profundidades diagnósticas: (a) 1.25 m abajo del límite superior del horizonte Argílico o Kándico; (b) 1.8 m abajo de la superficie; (c) inmediatamente arriba de un contacto lítico o para-lítico. Nunca presentan Fragipan (Bx).

Los suelos de los Grupos Acuicos, distróficos, se caracterizan por que sufren, estacionalmente, de un drenaje impedido. La saturación con agua y las condiciones de reducción son los únicos atributos que requieren de un manejo especial para el uso y aprovechamiento de estos suelos.

Taxonómicamente son análogos, y en ocasiones similares, con los Aquults (distróficos) propuestos por Soil Taxonomy, 1988. Generalmente se presentan en las áreas más bajas del paisaje como son: llanuras aluviales, depresiones pequeñas, escudos continentales y zonas de subsidencia que bordean diferentes geoformas constituidas, principalmente, por rocas félsicas. En estos suelos las fases antrácuica, inundable, y freática son comunes, así como la asociación edáfica de los Grupos: STBQ, STAq y STAqd.

III.J.4D.2B.1.1. SUBGRUPOS

Fueron identificados los siguientes SubGrupos:

- IV.2.5.1 Suelos STAqd típicos. Son suelos distróficos, que cumplen con los requisitos establecidos para el Grupo -----(STAqd)
- IV.2.5.2 Suelos STAqd álbicos. Son suelos que presentan un horizonte E y un contacto textural abrupto, entre este horizonte y los supra e infraadyacentes. El horizonte Argílico se caracteriza por una conductividad hidráulica lenta, o muy lenta, que propicia una retención de humedad alta. Generalmente se desarrollan en pendientes planas y evolucionan a partir de un material parental muy pobre en bases ----- (STAqda)
- IV.2.5.3 Suelos STAqd ócricos. Son suelos que pueden presentar plíntita en < 5%, así como una distribución de arcilla que decrece hasta > 20%, dentro de los primeros 150 cm, de profundidad. Muestran, además, > 10% de minerales intemperizables en la fracción de 20 a 200 μ . No muestran cambios texturales abruptos, y la presencia de un horizonte A ócrico es diagnóstica -----(STAqdo)
- IV.2.5.4 Suelos Staqd plínticos. Son suelos que muestran plíntita como una fase continua, y que constituye más de la mitad de la matriz de algún subhorizonte presente en los primeros 125 cm de profundidad -----(STAqdv)
- IV.2.5.5 Suelos STAqd oxídicos. Tienen una C.I.C. de < 24 meq/100 g de

arcilla en la mayor parte del horizonte argílico y una capacidad de retención de cationes de < 12 meq/100g de arcilla ----- (STAqdx)

III.J.4D.2B.2. GRUPO IV.2.6 Suelos STA Distróficos con Régimen Udico (STAud).

Son suelos con drenaje eficiente, pobres en humus, distrificados, con epipedones, predominantemente, Ocrícos, que pueden presentar un horizonte Argílico, Kándico, Plíntita o colores con brillo, en seco, de menos de 5 y no mayores de una unidad con respecto al brillo en húmedo.

Existen, de modo muy poco frecuente, algunos Sub-Grupos donde los porcentajes de minerales intemperizables son $< 10\%$ en la fracción de 20 a 200 μ .

Estos suelos se han desarrollado en regímenes térmicos isomésicos, o más cálidos, en condiciones de buena distribución pluvial y sobre superficies Pleistocénicas, algunas Pliocénicas.

El perfil pedológico, llega a mostrar algunas características heredadas del material parental. Así, en el caso de los suelos derivados de rocas ácidas o intermedias, los epipedones muestran colores grises, mientras que el resto del horizonte (Bt) muestra colores que intergradúan de amarillos a rojos. Cuando derivan de materiales básicos o carbonatados, predominan los colores pardo rojizo y rojo oscuro.

En general, son suelos escasos y raros en el Trópico Mexicano, y es probable que, originalmente, soportaran una vegetación de selva alta perennifolia. Actualmente, se localizan en geofomas sabanoides o zonas de pastizales. Algunas pocas áreas han sido dedicadas al cultivo, pero al cabo de poco tiempo son abandonadas debido a su infertilidad y baja producción agrícola.

El Instituto de Agricultura Tropical de Ibadan, Africa, recomienda la técnica de laboreo mínimo para estos suelos, sin embargo; permite el uso de herbicidas para matar a la vegetación que se desarrolla durante la época de sequía.

Esta vegetación muerta forma un mulch que protege al suelo de la radiación solar y del impacto de las gotas de lluvia. El mulch, además de reducir la erosión, tiene una influencia significativa sobre la temperatura del suelo. Por ejemplo: Lal (1986) reporta en suelos de este Grupo, localizados en Africa, que a las 3.00 pm, y a una profundidad de 5 cm, las temperaturas son menores a 35°C en un suelo que presenta mulch, mientras que en los suelos arados, donde los residuos han sido incorporados, las temperaturas son superiores a 42°C.

Los efectos combinados de temperaturas bajas y reducida sequía, promueven la germinación de las semillas y, también, contribuyen a la conservación de la materia orgánica.

Otras características importantes de los suelos de este Grupo son:

1. Nunca están saturados con agua, o tienen un matiz o intensidad más rojo que los que presentan los suelos STA con régimen ácuico.
2. Tienen <0.9% de C orgánico en los primeros 15 cm del horizonte Argílico o Kándico y tienen < 12 kg de carbón orgánico en una unidad de volumen de 1 m² a una profundidad de 1 m.
3. Tienen un régimen údico.

III.J.4D.2B.2.1. SUBGRUPOS

- | | |
|----------|---|
| IV.2.6.1 | Suelos STAud típicos. Son suelos distróficos, con régimen údico, que cumplen con los requisitos establecidos para el Grupo. |
| IV.2.6.2 | Suelos STAud con plíntita. Suelos STAud oxídicos que muestran plíntita. La plíntita forma una fase continua que constituye más de la mitad de la matriz de algún subhorizonte en los 150 cm superiores del suelo ----- (STAudx) |
| IV.2.6.3 | Suelos STAud Típicos que muestran un contacto petroférico dentro de los primeros 100 cm de profundidad ----- (STAudf) |

III.J.4D.2B.3. GRUPO IV.2.7 Suelos STA Distróficos con Régimen Ustico (STAut).

Son suelos similares a Ultisoles de zonas cálido-tropicales, donde la precipitación es alta, aunque existe un período prolongado de sequía anual. Morfológicamente se caracterizan por: (1) un buen drenaje interno; (2) su pobreza en carbono orgánico; (3) sus coloraciones rojizas o amarillentas de sus epipedones y (4) sus colores rojos en las capas subyacentes.

Estos suelos siempre muestran un epipedón ócrico, a menos que esté erosionado, que sobreyace a un horizonte Argílico o Kándico el cual puede, o no, contener plíntita. Ocasionalmente puede presentarse un contacto petroférico en los primeros 100 cm de profundidad. Estos suelos se presentan en regímenes térmicos, isotérmicos o más cálido, con un régimen de humedad ústico, y una vegetación de bosque deciduo. Bajo condiciones de antropización están sometidos a cultivo, pastizales o constituyen pseudo-sabanas.

Otras características diagnósticas son:

1. Nunca están saturados con agua, o tienen un matiz o brillo más intenso que los que son diagnósticos para suelos con régimen ácuico.
2. Tienen un régimen de humedad limitada, pero esta humedad está presente cuando existen condiciones favorables para el crecimiento de las plantas (ústico)

3. Tienen menos de 0.9% de carbono orgánico en los epipedones y
4. Tienen <12 kg de carbono orgánico, en una unidad de volumen de 1 m³, a una profundidad de 1 m, debajo de la base del horizonte O, o de la superficie del suelo mineral.

III.J.4D.2B.3.1. SUBGRUPOS

Fueron identificados los siguientes:

- IV.2.7.1 Suelos STA_uTípicos..Suelos que cumplen con los requisitos establecidos para el Grupo -----(STA_ut)
- IV.2.7.2 Suelos STA_uT con plíntita. Tienen plíntita que forma una fase continua o que constituye más de la mitad del volumen de uno o más subhorizontes dentro de los 150 cm de la superficie del suelo -(STA_uv)
- IV.2.7.3 Suelos STA_uT con horizonte Kándico. Son suelos muy poco frecuentes en México, y se caracterizan por: (a) CIC <16 cmol (+) por kg de arcilla; (b) CIC efectiva <12 cmol (+) kg de arcilla; (c) no tienen contacto lítico, para-lítico, o petroférico dentro de los 150 cm de la superficie del suelo y (d) la distribución de arcilla no decrece tanto como 20% -----(STA_uTk)
- IV.2.7.4 Suelos STA_uT con propiedades níticas. La distribución de arcilla no decrece tanto como 20% dentro de una profundidad de 150 cm. Donde los porcentajes decrecen >20%, al menos el 5% del volumen consiste de esqueletanos sobre las caras de los agregados, y existe al menos 3% de incremento de arcilla, en la capa subyacente. -----(STA_un)
- IV.2.7.5 Suelos STA_uT crómicos. Muestran: (a) un epipedón con un brillo, en húmedo, de 3, o menos, en todas partes y (b) un horizonte Argílico que tiene un brillo, en seco, menor de 5, que no es mayor de una unidad con respecto a el brillo en húmedo -----(STA_vTc)

OBSERVACIONES:

- El perfil 19 representa al Grupo de Suelos Tropicales Argílicos (STA). Eutróficos que se desarrollan en un Régimen Acuico. Caracteriza al Sub-Grupo IV.2.1.1 (STA_qt).
- El perfil 20 ejemplifica al Grupo STA Eutrófico que se desarrolla en un Régimen Acuico, y que muestra plíntita. Es típico del Sub-Grupo IV.2.2.3.
- El perfil 21 caracteriza al Grupo STA Eutrófico que evoluciona en un Régimen Udico se considera modal para el Sub-Grupo IV.2.3.5.
- El perfil 22 es típico para el Grupo STA Eutrófico que muestra un Régimen Ustico. Representa el perfil Tipo (IV.2.4.1).

PERFIL 19

**CLASIFICACION
PROPUESTA**STAqet
Típicos**LOCALIZACION:**

Tuxtepec-Oax.

TOPOGRAFIA:

Plana

DRENAJE:

Deficiente

FAO-UNESCO

1988

Planosol

Dístrico

MATERIAL PARENTAL:

Aluvi3n antiguo

CLIMA: Am**VEGETACION:**

Cultivos de temporal

SOIL TAXONOMY

1988

Typic

Albaqualf

EDAD:

Holoceno

EDAFOClima:

Acuico

REGION: Llanura

Costera del Golfo

III.J.4D.2A.1.1a**MORFOLOGIA DEL PERFIL 19****A1 0-10 cm**

Horizonte de color pardo grisáceo muy oscuro, en húmedo (10YR3/2). Textura franca, estructura subangular fina, moderadamente desarrollada; friable en húmedo, ligeramente firme en seco; ligeramente adhesivo y plástico. Raíces finas y medias abundantes. Contacto abrupto y plano.

E 10-25 cm

Horizonte de color gris muy claro en húmedo (10YR7/1) y blanco en seco. De textura franca, sin estructura; no adhesivo ni plástico; muy friable. Presenta moteado de color ocre, muy fino y disperso, así como pequeñas concreciones de manganeso, en cantidad escasa. No muestra raíces y presenta un contacto abrupto y plano con el horizonte que le subyace.

B21tg 25-33 cm

Color pardo grisáceo en su matriz, y colores grises muy claros a verde olivo (5GY5/1) en las caras de algunos peds. Textura de arcilla. Moteado de color ocre y gris claro (N/7). Estructura angular media, bien desarrollada, firme y dura en seco; plástica y adhesiva. Muestra concreciones de manganeso, así como películas arcillosas verticales y horizontales bien desarrolladas. Raíces finas y medias escasas. Contacto gradual.

B22tg 33-68 cm

Pardo grisáceo claro (10YR6/3); arcilloso, muy adhesivo y plástico, así como muy duro en seco; y firme en húmedo. Moteado de color ocre, amarillo y gris claro abundante. Películas arcillosas abundantes, gruesas y bien desarrolladas, en ocasiones de color verde oliva (5G5/2). Presenta concreciones, abundantes, de manganeso. Raíces escasas; Contacto gradual.

B3 68-110 cm

Pardo oliva en húmedo (5G5/1); con una textura de arcilla, muy adhesivo y plástico, firme en húmedo y muy duro en seco. Estructura en bloques y prismas, gruesos y bien desarrollados. Moteado ocre y amarillo, fino y disperso. Películas arcillosas que recubren a la mayoría de los pedos, así como a la mayoría de las concreciones de manganeso que se presentan. Raíces finas y muy escasas. Contacto gradual.

C. 110-170 cm

Capa de color pardo oliva muy claro (5GY6/1); textura arcillosa con pedo adhesivos y plásticos de forma subangular, media, moderadamente desarrollados. Películas arcillosas zonales; moteado ocre de tamaño fino, disperso. El ped es duro en seco y ligeramente duro en húmedo. Las concreciones de manganeso se presentan en cantidad escasa. No existen raíces y el contacto es gradual con la capa que le subyace.

ANÁLISIS FÍSICOS DE LA FRACCIÓN < 2 mm

PROFUND. (cm)	HORIZONTE (A-B-C)	CLASES SEPARABLES Y CONCRECIONES DE FRACCIONES < 2 mm										RELACION V.C. LINDO ARCILLA	DENSIDAD ARENISTA						
		ARENA		ARCILLA		GRAVA		FEN. GRUESA		FEN. FINA				FEN. MUY FINA		FEN. GRUESO	FEN. FINO	ARCILLA GRUESA	ARCILLA FINA
		2-0.05 (mm)	0.05-0.002 (mm)	<0.002 (mm)	>2.0 (mm)	2-1 (mm)	1-0.5 (mm)	0.25 (mm)	0.10 (mm)	0.10 (mm)	0.05 (mm)			0.02 (mm)	0.02 (mm)				
0-10	A1	19.0	47.5	33.5	0.0	3.5	5.3	3.7	3.3	3.2	23.2	24.3	24.8	8.7	100.0	1.41	1.10	1.22	
10-25	E	40.0	45.0	15.0	0.0	18.3	9.8	3.9	4.9	3.1	24.3	20.7	9.9	5.1	100.0	3.00	1.50	1.57	
25-33	E21tg	15.0	28.0	55.0	2.0	2.7	3.3	3.3	2.1	3.6	17.5	10.5	23.0	32.0	98.0	0.51	1.42	1.53	
33-68	B22tg	8.5	29.5	62.0	0.0	0.5	0.9	3.1	1.0	3.0	19.0	10.5	24.7	37.3	100.0	0.47	1.45	1.57	
68-110	E3	6.3	36.2	53.0	2.5	0.3	0.7	2.4	2.9	0.0	21.7	14.5	25.0	28.0	97.5	0.68	1.55	1.64	
110-170	C	3.7	37.6	55.0	3.7	0.0	0.4	3.3	0.0	0.0	22.3	35.3	37.3	37.7	96.3	0.68	1.53	1.64	

ANÁLISIS QUÍMICOS Y FÍSICOQUÍMICOS DE LA FRACCIÓN < 2 mm

PROFUND. (cm)	HORIZONTE (A-B-C)	M.O. (#)	C (#)	N (#)	C/N	BASES INSEPARABLES mg/100g suelo								SRA DE BASES (S)	GPA ACIDEZ EXT. (%)	SASA (%)	Sala C.I.C.T (%)	Sala S/T (%)	60Gr Ext. (%)	60Gr Int. (%)	REL. AS (%)	REL. AL (%)				
						Ca				Mg													Na			
						Ca	Mg	Na	K	Ca	Mg	Na	K										Ca	Mg	Na	K
0-10	A1	11.3	5.50	0.40	13.7	0.0	8.5	4.4	0.0	0.62	1.93	13.52	24.1	37.62	25.1	53.86	0.1	0.5	0.74	0.55						
10-25	E	1.2	0.90	0.03	30.0	0.0	1.2	1.2	0.0	0.22	1.00	2.62	17.2	19.82	12.0	21.83	0.6	0.7	22.90	0.73						
25-33	E21tg	1.5	0.63	0.07	9.0	0.3	2.1	3.8	0.1	0.35	0.55	6.35	20.9	27.25	16.3	38.95	0.3	0.8	4.72	0.51						
33-68	B22tg	1.0	0.63	0.07	9.0	0.5	2.0	8.2	0.0	0.46	0.24	10.66	21.8	32.46	25.2	42.30	0.9	1.0	8.44	0.54						
68-100	E3	0.7	0.23	0.02	11.5	2.1	4.6	15.8	0.2	0.60	0.29	21.20	13.1	34.30	23.1	91.77	1.1	0.9	5.18	0.95						
100-170	C	n.d.	-	-	-	10.3	6.7	20.8	1.0	0.42	0.32	28.92	6.3	35.22	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.41					

ANÁLISIS QUÍMICOS DE LA FRACCIÓN < 2 mm

PROFUND. (cm)	HORIZONTE (A-B-C)	RELACION ARCILLA:			SI	
		C.I.C.T. HIERRO		AGUA 1500 KPa		
		NH ₄ DAC	EXT.			
0-10	A1	0.75	0.01	0.546	5.3	4.9
10-25	E	0.60	0.04	0.733	5.2	4.2
25-33	E21tg	0.30	0.01	0.505	5.1	4.2
33-68	B22tg	0.41	0.02	0.543	5.0	4.3
68-100	E3	0.44	0.02	0.454	5.9	4.6
100-170	C	n.d.	n.d.	n.d.	6.2	5.1

CONVERSION DE AGUA	CEC (pPa)	OCUL <D1 cm			
			424	415	
			23	1500	
			27.7	18.3	0.05
			14.1	11.0	0.2
			35.0	27.8	0.06
			42.0	33.7	0.06
			34.0	24.1	0.05

FRACCIÓN ARCILLA MINERALOGIA	
7 A 2	7 A 3
KRSO, MSO, M10, C26, Fp.4	
C27O, M25, M21O, M12, Fp.2	
M65, M10L, C21O, M10, Fp.5	
M60, M215, C215, M15, Fp.5	
M60, M21O, C21O, M10, Fp.9 Fp1	
- N. D. -	

CODIGO

KK = Kaolinita
 M2 = Montmorillonita
 M1 = Mica
 C2 = Clauso
 Fp = Feldespatos
 Pk = Pirroeno
 N.D. = No determinado

III.J.4D.2A.1.1b. CARACTERES DIAGNOSTICOS

Son suelos que normalmente se localizan en áreas del Trópico Mexicano que muestran un régimen de humedad ácuico, aunque actualmente la mayoría de estas áreas han sido artificialmente drenadas para su uso agrícola.

Los suelos de este Grupo presentan, siempre, características asociadas con exceso de humedad como son: (1) moteado; (2) concreciones de manganeso y/o hierro; generalmente mayores de 2 mm de diámetro y (3) cromas de 2 ó menores en los horizontes que subyacen al epipedón. En algunas ocasiones estos cromas están enmascarados por el hierro.

Estos suelos se caracterizan por presentar un horizonte eluvial producto de la presencia de un pseudogley (propiedades estágnicas), así como por un cambio textural abrupto dentro de los primeros 125 cm de profundidad (Figura 9). Pueden mostrar, además, un epipedón hístico, mólico, úmbrico u ócrico y un horizonte argílico que subyace. La presencia de horizonte argílico es un requisito taxonómico de este grupo. Siempre carecen de horizonte nátrico.

El horizonte eluvial (E Albico) es un horizonte mineral, próximo a la superficie, que muestra pérdida de arcilla, hierro y aluminio. Se caracteriza, además, por sus bajos contenidos en materia orgánica y por su color claro.

Propiedades físicas.

La propiedad física más importante es la defloculación y el transporte lateral de arcilla (Empobrecimiento y formación de un E álbico). Sin embargo, como puede observarse en la tabla de análisis, también son notables las siguientes: (1) regímenes de conductividad hidráulica muy contrastados, dentro de los primeros 100 cm de profundidad; (2) cambios caóticos en la porosidad, permeabilidad y contenido de agua entre los horizontes A, E y Bt; (3) contenidos de arcilla en el horizonte E < 18% y mayores de 30% en los demás horizontes; (4) relación porcentaje de arcilla: retención de humedad a 1500 kPa de < 1.25; (5) un valor COLE > 0.09 en el horizonte Bt; (6) relación CICT: arcilla < 1.0 y (7) fisuramiento, pero no agrietamiento del subsuelo durante el período de sequía.

Propiedades químicas y físicoquímicas.

Destaca el hecho de que en estos suelos la C.I.C.T. del horizonte A y del horizonte Bt2 son siempre muy similares, y con frecuencia la C.I.C.T. del A es menor. Por otra parte, el proceso genético de este suelo incluye la ferrólisis como uno de los principales factores para eliminar arcillas en el horizonte E. Además existen cinco características también muy relevantes desde este punto de vista químico: (1) valores de C.I.C.T. muy contrastantes dentro de los primeros 100 cm de profundidad; (2) empobrecimiento fuerte de bases intercambiables, arcilla y materia orgánica, dentro de los primeros 70 cm, así como la formación de horizontes magnésicos en el subsuelo; (3) acidificación moderada; (4) procesos de óxido reducción moderados que le confieren una propiedad estágnica al suelo, pero de ninguna manera le dan propiedades gléyicas, ya que la capa freática es temporal y fluctuante en cuanto a su profundidad y (5) bajo índice de humificación, debido a las condiciones

climáticas presentes que, francamente, favorecen la mineralización de la materia orgánica (Índice de humificación = < 10).

Propiedades mineralógicas.

La fracción arcillosa es, con excepción del horizonte E, predominantemente caolinítica, aunque aún muestra contenidos bajos de montmorillonita y mica. Resulta atípico el hecho de que el horizonte A1, aún presenta contenidos tan altos en arcillas, ya que el empobrecimiento en esta fracción es diagnóstico. Sin embargo, es posible que las arcillas presentes en este horizonte, sean adicionadas por escorrentías que provienen de algunos lomeríos próximos a esta área.

III.J.4D.2A.1.1c. GENESIS

Este perfil se ha desarrollado a partir de la evolución de sedimentos fluviales antiguos y estabilizados. La planosolización se ha llevado a efecto bajo condiciones de hidromorfía, tanto superficial como profunda, que contrasta con fases estacionales de intensa desecación. La acumulación de agua en los horizontes superficiales, durante la estación de lluvias, tiene tres efectos fundamentales en la génesis del suelo: (1) genera condiciones de hidromorfismo temporal (pseudogely = propiedades estágnicas) y de reducción con valores de rH en la solución del suelo > 19; (2) el agua que se filtra al subsuelo propicia un enriquecimiento de arcilla por lavado vertical y (3) el movimiento lateral del agua que propicia, gradualmente, un empobrecimiento de bases, arcilla y materia orgánica, en el horizonte E (Figura 9).

Al parecer la solubilización de la materia orgánica, en condiciones anaeróbicas, propicia que una cantidad importante de estas arcillas e hidróxidos se pierda por lavado lateral, pero otra parte emigra en sentido vertical y forma cutanes. El efecto de empobrecimiento por drenaje lateral, propicia la formación de un horizonte próximo a la superficie que, como se mencionó anteriormente, se caracteriza por su alta eluviación (Horizonte E albico).

III.J.4D.2A.1.1d. OBSERVACIONES

Es necesario establecer el hecho de que el concepto "Planosol" abarca a suelos de varios Ordenes taxonómicos en los que se incluyen Inceptisoles, Vertisoles, Alfisoles y Ultisoles. Esto se debe a que la sobresaturación y formación de drenaje lateral en los horizontes superficiales de suelos con subsuelo poco permeable conduce a la formación de horizontes eluviales (E albico). Este fenómeno es particularmente común en aquellas unidades edáficas que muestran un subsuelo rico en arcillas expandibles, o rocas y materiales de fácil consolidación y compactación (Limos y arenas muy finas).

En la región de Tuxtepec, Oaxaca, se pueden constatar fenómenos de planosolización inducidos por el hombre. Así, algunos suelos situados en lomeríos suaves fueron deforestados para ser utilizados en agricultura y/o práticamente. Esto propició inicialmente dos fenómenos que condujeron a la planosolización:

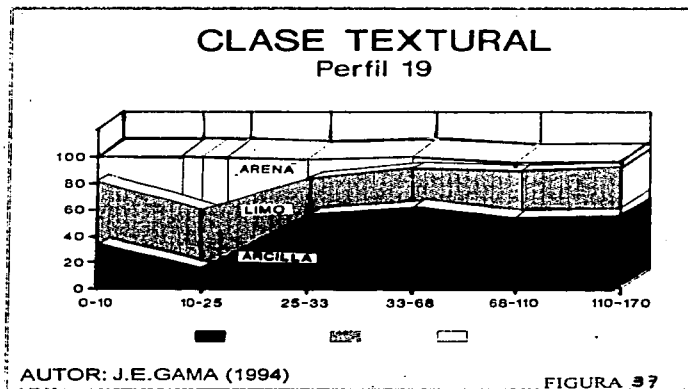
1. La destrucción de la selva y su sustitución por cultivos o pastizal, alteró

completamente el equilibrio hídrico entre: precipitación-*evapotranspiración*-uso consuntivo-pluvial en los horizontes superficiales, generando un drenaje lateral y (2) un valor más alto de drenaje pedológico que condujo a una mayor desbasificación.

2. La *practicultura* propició que el ganado fuera, paulatinamente, compactando las capas del subsuelo por efecto de carga confinada. Estas capas compactadas (*Densipanes*) propiciaron que la densidad aparente se incrementara hasta valores $> 1.9 \text{ g/cm}^3$ y que la porosidad se redujera a la mitad.

Consecuentemente, se originó una limitante vertical tanto para el paso de las raíces como del agua pluvial. Bajo estas condiciones, el drenaje vertical fue drásticamente reducido, y el agua empezó a deslizarse sobre las capas compactadas (50-80 cm de profundidad) propiciando un empobrecimiento de ellas y la formación de un *delgado E álbico*.

Actualmente, la presencia de estos horizontes *E álbico*, así como la alta susceptibilidad que muestran para colapsarse en presencia de carga confinada (*Ganado*) son responsables de la formación de un *microrelieve "escalonado"* que puede observarse en varios *lomeríos*.



PERFIL 20

**CLASIFICACION
PROPUESTA**
STAqva

**FAO-UNESCO
1988**
Acrisol
plíntico

**SOIL TAXONOMY
1988**
Plinthaudults

LOCALIZACION:
Concordia, Chiapas

MATERIAL PARENTAL: EDAD:
Aluvi6n

Pleistoceno-
Holoceno

TOPOGRAFIA:
Ligeramente
Ondulada

**CLIMA: Am
VEGETACION:**
Agricultura
de temporal

EDAFOCLIMA
Udico

DRENAJE:
Moderado

REGION:
Depresi6n
Chiapas

III.J.4D.2A.2.1a. MORFOLOGIA DEL PERFIL 20

Ap 0-24 cm

Horizonte de color pardo oscuro en húmedo (10YR4/7); textura de migaj6n limoso; estructura subangular fina, no adhesiva y ligeramente plástica; porosa; friable en húmedo y blando en seco. Raíces finas abundantes. Contacto abrupto y plano.

E 24-30/44 cm

Horizonte de color gris muy claro en húmedo (10YR7/1) y blanco en seco; textura de migaj6n limoso, plástico, muy friable en húmedo y casi suelto en seco. Presenta moteado de color ocre, muy fino y disperso, en cantidad escasa, así como pequeñas concreciones de manganeso también escasas. Raíces finas muy escasas y muestra un contacto abrupto pero irregular con el horizonte que le subyace.

B1t 30/44-65 cm

Horizonte de acumulación, de color pardo rojizo en húmedo (2.5YR4/4); textura de migaj6n arcilloso; estructura en bloques angulares finos y medios, bien desarrollados, sobre los que se presentan películas de arcilla, cutanes de hierro y moteado de color rojo, fino y disperso. Consistencia moderadamente firme en húmedo y dura en seco; moderadamente adhesivo y moderadamente plástico. Raíces finas y medias abundantes. Contacto gradual.

B2t 65-130

Horizonte de color rojo brillante en húmedo (2.5YR5/8); textura de migajón arcillo-limoso; estructura en bloques angulares medios y gruesos que muestran en más de 15% de su superficie moteado más rojo que 7.5YR y cromas de más de 5, así como nódulos de hierro. El ped muestra, además, películas de arcilla y de hierro, orientadas tanto en forma vertical como horizontal. La consistencia es casi friable en húmedo y ligeramente dura en seco, moderadamente plástica y ligeramente adhesiva. Raíces finas y medias abundantes. Contacto gradual.

B3-B3v 130-200 cm

Este horizonte presenta una capa de plintita a una profundidad de 150 a 170 cm. El horizonte B3 se caracteriza por presentar propiedades similares a un horizonte férrico, aunque su color difiere de B1t, ya que muestra una matriz de color amarillo muy abigarrado por tonos rojizos y anaranjados. La plintita (B3v) muestra moteados rojos, distribuidos en patrones poligonales y reticulares. En húmedo es firme, aunque puede ser cortada con una espátula. La repetida operación de secado-humectación propicia su endurecimiento irreversible. Su densidad aparente es mayor de 1.7 g/cm³.

ANALISIS FISICOS DE LA FRACCION < 2 mm

PROFUND. HORIZONTE (cm) (A-B-C)	CLASES TEXTURALES Y DIAMETROS DE PARTICULAS (µ)													VOL. SOL. TOTAL (%)	REACCION LIMO ARCILLA	DENSIDAD APARENTE g/cc	
	TOTAL (µ)			ARENA (µ)					LIMO (µ)			ARCILLA (µ)					
	ARENA 0.05-0.002	LIMO 0.002 < 0.002	ARCILLA > 2.0	GRAVA	MLY GRUESA 2-1	MLY FINA 1-0.5	MLY GRUESA 0.25-0.10	MLY FINA 0.10-0.05	GRUESO 0.05-0.02	FINO 0.002	GRUESA 0.002	FINA 0.001					
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)						
0-24 Ap	18.5	56.2	25.3	0.0	1.3	1.9	3.7	5.1	6.5	20.5	35.7	10.4	14.9	100.0	2.22	1.27	1.35
24-30/44 E	25.9	63.4	10.7	0.00	2.7	3.3	4.1	6.3	9.5	18.1	45.3	7.2	3.5	100.0	5.92	1.25	1.50
30/44-65 B1t	27.3	42.4	30.3	0.0	3.3	3.7	5.2	7.2	7.9	10.7	31.7	12.6	17.7	100.0	1.39	1.27	1.52
65-130 B2t	10.7	50.6	38.7	0.0	1.1	2.5	2.9	2.1	2.1	20.0	30.6	19.2	19.5	100.0	1.30	1.40	1.55
130-200 B3	16.3	56.5	24.2	3.0	1.7	2.7	3.5	4.0	4.4	31.8	24.7	9.3	14.9	97.0	2.33	1.50	1.50
150-170 B3v	69.6	8.6	21.8	1.0	8.2	22.4	16.3	18.9	3.8	6.1	2.5	14.7	7.1	-	0.39	1.75	1.83

ANALISIS FISICOS Y FISICO QUIMICOS DE LA FRACCION < 2 mm

M. O.	C	N	C/N	CaCO ₃	BASES INTERCAMBIABLES				SMA DE BASES	SMA DE ACIDEZ EXT.	SMA DE C.A.T.	REL. S/T	SMA DE C.I.C.T. (Tca)	REL. S/CI	SMA AL EXT.	SMA Fe AL EXT.	REL. BASES	REL. C.I.C.T. 41b	CONTENIDO DE AGUA 41a	DENSIDAD APARENTE 41c	
					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺													
(%)	(%)	(%)		(%)	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		
1.25	0.89	0.11	8.09	0.2	8.3	2.7	0.1	0.5	1.07	11.6	16.8	28.4	24.9	46.58	0.1	0.6	0.86	0.34	19.3	8.5	0.05
0.30	0.02	Tz	-	-	2.1	1.2	-	0.1	1.75	3.4	5.3	8.7	9.6	35.41	0.6	0.3	17.64	0.76	16.1	7.3	0.03
0.70	0.06	Tz	-	0.3	2.8	0.8	-	-	3.50	2.6	5.0	8.6	9.9	36.36	0.8	0.8	22.22	1.08	16.9	16.7	0.06
0.50	0.05	Tz	-	-	3.3	2.0	-	0.1	1.65	5.4	4.7	10.1	15.8	34.17	1.0	1.0	18.18	0.64	15.3	13.4	0.06
3.40	0.03	Tz	-	-	3.1	1.6	-	0.1	1.93	4.8	1.9	6.7	13.6	35.29	0.5	1.3	27.08	0.87	14.2	11.9	0.04
0.20	0.01	Tz	-	-	0.03	0.07	0.01	0.04	0.42	0.15	3.50	3.65	7.0	2.14	1.2	1.4	50	1.21	10.9	7.3	0.00

OBSERVACIONES:

VALOR INICIAL DE APEM.	
X	
0.65	1.82
0.70	2.00
0.50	0.55
0.53	0.68

ANALISIS QUIMICOS DE LA FRACCION < 2 mm ANALISIS MINERALOGICO

PROFUND. (cm)	HORIZONTE (A-B-C)	RELACION ARCILLA:					pH		FRACCION ARCILLA	
		C.I.C.T.		HIERRO	AGUA	8Cl _a	8Cl _c	MINERALOGIA		
		NH ₄ DAC	EXT.	1500 kPa	1:1	1:1	7A2	7A3		
0-24	Ap	0.98	0.02	0.33	5.3	4.7				
24-30/44	E	0.89	0.03	0.68	5.1	4.6				
30/44-65	B1t	0.32	0.02	0.35	5.2	4.7				
65-130	B2t	0.40	0.02	0.34	4.9	4.5				
120-200	B3	0.56	0.05	0.49	4.4	4.5				
150-170	B3v	0.32	0.06	0.33	4.7	4.4				

NK = Caolinita
 VC = Vermiculita/clorita integradas
 GI = Gibsita
 QZ = Cuarzo
 MT = Montmorillonita

III.J.4D.2A.2.1.b. CARACTERES DIAGNOSTICOS

La génesis y clasificación de estos suelos es compleja ya que se trata de suelos policíclicos, bisequum, que intergradúan con las unidades de Planosoles, Acrisoles, Ferralsoles y Plinthosoles. Se trata básicamente de suelos ferruginosos tropicales, desaturados y lavados que muestran dos sequum de diferentes edades y desarrollo. El primer sequum está constituido por los horizontes Ap y E, en tanto que el segundo sequum lo constituye un Bt y una plintita. La presencia de una marcada diferencia textural entre los sequum, así como lo contrastado de la precipitación durante las estaciones del año, permitieron la formación de un E albico, en tanto que la plintita se formó bajo condiciones típicas de pseudogley.

En México las plintitas son escasas y, con frecuencia, se les confunde fácilmente con otras capas como son: (1) fragipanes; (2) capas petroféricas y (3) horizontes plácicos. Sin embargo, es característico de las plintitas constituir un hardpan de hierro, o agregados irregulares, cuando se le expone repetidas veces a procesos de humectación-deseccación, especialmente, si esto ocurre en presencia de calor solar.

La presencia de plintita en México no es privativa de los Oxisoles, ni de los suelos con propiedades oxidicas, sino que se observó que esta se presenta, además, en los siguientes Ordenes: (1) Inceptisoles de edad holocénica que muestran nivel freático fluctuante (Plinthaquepts); (2) Alfisoles con regímenes de humedad ácuico, údico y, en menor proporción, ústico (Plinthaquepals-Plinthaquepals-Plinthaquepals). Este material no se observó en Ultisoles que se desarrollan en regímenes ústicos.

La mayoría de los Alfisoles y Ultisoles que muestran plintita son de edad Pleistocénica, y varios de ellos se consideran como paleosuelos relictos de paleoclimas de tipo ecuatorial. En ocasiones se encuentran sepultados por capas de edad holocénica.

Propiedades físicas, fisico-químicas y mineralógicas.

La presencia de un horizonte de eluviación le confiere a este perfil propiedades físicas similares a las que se determinaron para el perfil 19, sin embargo cuando este horizonte está

completamente seco adquiere una dureza, notable, en su consistencia que lo semeja con un fragipan. Esto se debe, en gran parte, a los altos contenidos de limos y arenas muy finas que presenta, así como a los bajos contenidos de arcilla y materia orgánica que muestra. Bajo estas condiciones, la consolidación y compactación, fácilmente se presentan, y este horizonte adquiere las características mecánicas de una capa rígida. Esta compactación desaparece una vez que el horizonte se humedece.

Por otra parte, es muy evidente, la baja C.I.C.T. que muestra, así como la baja saturación de bases, lo que propiciaría que el suelo estuviera poco estructurado. Esto no ocurre debido a la presencia de cementantes como los óxidos de hierro.

El horizonte argílico en la mayoría de estos suelos carece de evidencias claras de iluviación, aunque los incrementos de arcilla son el mayor índice. La penetración de las raíces, generalmente, es pobre debido a la fuerte acidez del subsuelo y a la presencia de la plintita. La mayoría de estos suelos muestran una relación Aluminio: Bases muy alta, en ocasiones mayor a 50. Sin embargo, el contenido absoluto de aluminio intercambiable, generalmente, no es mayor de 2 cmol (+)kg en la fracción fina del suelo debido a la baja C.I.C.T.

Como puede observarse en la tabla de análisis químicos, estos suelos muestran contenidos bajos de materia orgánica, principalmente, en condiciones de régimen ústico o en condiciones de un período pronunciado de sequía. Sólo en las tierras altas del trópico (> 1750 m) la acumulación de materia orgánica es considerable. El complejo de alteración es predominantemente caolinitico, aunque la presencia de clorita/vermiculita intergradadas, así como de gibsitita son significativas. Por lo general, el porcentaje de minerales primarios que aún se presentan es menor a 10.

III.J.4D.2A.2.1c. GENESIS DE LA PLINTITA

Según las observaciones establecidas en campo, la plintita en estos suelos se formó a partir de un horizonte saturado con agua en algún período del año. La fuerte evapotranspiración estival provocaba la desaparición total de la capa de agua, generando condiciones típicas de pseudogley. Bajo estas condiciones, el hierro se movilizaba en estado ferroso durante los períodos en que existía la capa de agua, y permanecía en esta forma durante su migración a distancias cortas, para posteriormente oxidarse cuando la capa de agua desaparecía, precipitando y formando manchas herrumbrosas o concreciones.

Este moteado era de consistencia suave, arcillosa y de color rojo, o rojo oscuro, (propiedades férricas). Sin embargo, estas evidencias no eran suficientes para interpretar la presencia de plintita, ya que ésta solo se presentó hasta que existió suficiente segregación de hierro como para permitir un endurecimiento irreversible en condiciones de exposición humedad-sequía.

La plintita en el suelo, generalmente, es firme o muy firme cuando el contenido de la humedad del suelo está próximo a la capacidad de campo, y es dura cuando el porcentaje de humedad es menor al punto de marchitez permanente.

En general, los procesos genéticos de la formación de plintitas y de corazas se relacionan con la acumulación de los sesquióxidos, particularmente de hierro. d'Hoore (1955) sostiene que la acumulación de sesquióxidos puede tener dos orígenes: Relativa o Absoluta.

La acumulación relativa resulta de la eliminación de los demás constituyentes presentes en el material parental con respecto a los porcentajes de TiO_2 o de Al_2O_3 que permanecen. Esto puede ser cuantificado a través del balance geoquímico propuesto por Krauskopf (1980). Generalmente, la acumulación relativa de sesquióxidos conduce a la formación de ferralitas sobre la roca madre básica y en medio bien drenado. Este tipo de plintita, frecuentemente es rica en gibbsita, aunque en México no se ha reportado un carácter bauxítico neto.

Por otra parte, la formación de plintitas por acumulación absoluta, es más frecuente y consiste en el aporte de óxidos de hierro movilizados en medio ácido. Así el hierro bajo la acción de la materia orgánica es movilizado en los horizontes A y transportado por vía lateral a distancia regulares, básicamente a depresiones mal drenadas, donde el hierro se acumula y cristaliza en forma de goethita y de hematita. Generalmente, la acumulación de hierro se realiza en un medio todavía hidromorfo. Las alternancias de humectación-desección permiten una segregación localizada del hierro y su endurecimiento.

PERFIL 21

CLASIFICACION PROPUESTA: STAud Ulticos	FAO-UNESCO 1988 Lixisol Albico	SOIL TAXONOMY 1988 Subgrupos Kanhapl
LOCALIZACION: Simojovel Chiapas	MATERIAL PARENTAL: Coluvión fino básico	EDAD: Pleistoceno
TOPOGRAFIA: Ligeramente Ondulado	CLIMA: Af	EDAFOClima: Udico-1S0
DRENAJE: Muy drenado	VEGETACION: Agricultura	REGION: Provincia de Chiapas

III.J.4D.2A.3.1a. MORFOLOGIA DEL PERFIL 21

Ap 0-30 cm

Horizonte plaggen de color pardo grisáceo oscuro (10YR4/2).; textura de migajón arcilloso; estructura migajosa media, bien desarrollada; consistencia blanda y friable, ligeramente adhesivo y poco plástico; poroso. Raíces finas muy abundantes. Contacto abrupto y plano.

A2 30-39 cm

Horizonte eluvial de color blanco en húmedo y seco (N 8/0); textura de migajón arenoso; estructura masiva, friable en húmedo pero dura a muy dura en seco; ligeramente adhesiva y muy poco plástica, porosa. Muestra algunas concreciones de manganeso pequeñas (<2 mm) así como moteado de color ocre y rojizo, de tamaño fino y de forma irregular. No se observan raíces y el contacto con el horizonte que le subyace es abrupto y casi plano.

B1t 39-80 cm

Horizonte de acumulación de color pardo amarillento en húmedo (10YR5/8); textura de arcilla; estructura subangular, media, bien desarrollada; de consistencia moderadamente firme en húmedo y ligeramente dura en seco; poros frecuentes; películas arcillosas presentes, aunque en algunos casos discontinuas y/o delgadas. Raíces finas y medias abundantes. Contacto gradual.

B21t 80-150 cm

Horizonte argílico de color amarillo rojizo en húmedo (2.5YR4/3); textura de migajón arcilloso; estructura angular de tamaño medio, bien

desarrollada; de consistencia casi firme en húmedo y ligeramente dura en seco; poros finos frecuentes; películas arcillosas presentes, aunque no muy evidentes; moteado frecuente de color rojo, aunque de tamaño fino; concreciones de hierro y manganeso dispersas y escasas. Raíces finas, medias y gruesas en cantidad moderada. Contacto gradual.

B22t 150-200 cm

Horizonte argílico de acumulación. Presenta en su matriz un color rojo amarillento (2.5YR4/3) que a medida que se profundiza es francamente rojo (2.5YR5/6). Textura de arcilla; estructura angular y subangular media y gruesa, bien desarrollada, de tamaño medio a grueso; de consistencia moderadamente firme en húmedo, y ligeramente dura en seco; poros finos frecuentes. Muestra películas arcillosas verticales y horizontales sobre todos los pedio, aunque estas son de espesor moderadamente grueso. Los porcentajes de concreciones de hierro y manganeso se incrementan significativamente, aunque la densidad del moteado permanece constante. Raíces de tamaño moderado y grueso en cantidad moderada.

ANÁLISIS FÍSICOS DE LA FRACCION < 2 mm

PROFUND. HORIZONTE (cm) (A-B-C)	CLASES TEXTURALES Y DIÁMETROS DE PARTICULAS										182 VOL. SUZLO TOTAL (%)	REL. LÍM. ARELLA	ESTABILIDAD DESTRUCTURAL LÍM-ARELLA	DENSIDAD APARENTE g/cc	CONTENIDO DE AGUA 41a 41b 41c				
	ARENILLA			ARCILLA			LÍM (1)			ARENILLA (2)									
	2-0.05	0.05-0.002	<0.002	2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.10	0.10-0.05	0.05-0.02	0.02-0.002						0.002	0.001	(mm)	(mm)
0-30 A ₀	38.2	33.7	33.5	0.7	1.8	6.5	14.1	15.1	15.2	18.5	14.1	19.4	100.0	1.00	1.76	1.39	1.44	20.4	5.0
30-39 A ₂	44.7	35.3	20.0	6.5	9.8	7.5	11.0	9.9	16.4	18.9	15.7	4.3	100.0	1.76	1.23	1.25	1.35	26.3	4.1
39-80 B _{1t}	21.0	31.5	47.5	-	0.6	1.7	9.2	9.5	10.2	21.3	20.1	27.4	100.0	0.66	3.76	1.65	1.49	22.7	7.8
80-150 B _{2t}	21.3	30.7	48.0	-	0.4	1.9	9.3	9.7	10.0	20.7	22.5	25.5	100.0	0.64	3.69	1.46	1.56	25.3	12.7
150-200 B _{2t}	29.7	31.3	49.0	-	0.2	1.5	8.0	8.0	10.6	20.7	23.2	25.8	100.0	0.84	4.07	1.46	1.52	26.3	13.1

ANÁLISIS QUÍMICOS Y FÍSICO QUÍMICOS DE LA FRACCION < 2 mm

PROFUND. HORIZONTE (cm) (A-B-C)	M.O. (%)	C (%)	N (%)	C/N	BASES INTERCAMBIABLES meq/100g suelo				SUA DE BASES	SUA Ca Mg	SUA ACIDEZ EXT.	SUA DE CATIONES	SUA C.I.C.T. (meq)	SCL S/T	60gib Ext.	60Ca Ext.	REL. AL Fe (%)	REL. AL AL (%)	41C 41B (%)	41E (%)
					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺												
					meq	meq	meq	meq												
0-30 A ₀	2.1	0.95	0.09	10.5	3.9	1.2	-	0.5	5.6	3.25	5.1	10.7	9.7	57.7	0.1	0.7	1.78	0.51		
30-39 A ₂	0.9	0.60	0.05	12.0	2.1	0.6	-	0.1	2.8	3.55	4.9	7.7	7.1	39.4	0.1	0.8	3.57	0.57	0.59	
39-80 B _{1t}	1.1	0.50	0.03	16.6	0.1	2.0	0.1	0.3	8.5	3.05	9.7	18.2	13.0	65.4	0.7	1.4	8.23	0.60	2.3	0.7
80-150 B _{2t}	0.7	0.30	0.02	15.0	6.3	2.1	0.2	0.3	8.9	3.00	9.8	18.7	14.9	59.7	1.3	1.7	14.60	0.85	1.01	
150-200 B _{2t}	0.5	N.D.	N.D.	N.D.	7.1	2.8	0.3	0.3	10.5	2.53	9.8	20.3	18.0	58.3	1.3	1.8	12.38	0.73	1.02	

M. A. = ARRASTE DE ARCILLA

FRACCION ARCILLA: PROPIEDADES DEL SUELO Y ANALISIS MINERALOGICO

PROFUND. HORIZONTE (cm) (A-B-C)	REACCION ARELLA				PH			
	C.I.C.T.	REL. ARELLA	AGUA	SC/a	SC/e	DE/a	DE/e	DE/pH
	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	PH
0-30 A ₀	0.29	0.020	0.150	5.6	4.9	-0.7		
30-39 A ₂	0.35	0.040	0.205	5.5	4.7	-0.8		
39-80 B _{1t}	0.27	0.029	0.164	4.9	4.3	-0.6		
80-150 B _{2t}	0.31	0.025	0.264	4.8	4.2	-0.6		
150-200 B _{2t}	0.36	0.036	0.267	4.7	4.2	-0.5		

FRACCION ARCILLA MINERALOGIA		FRACCION ARCILLA MINERALOGIA	
7 A 2	7 A 3	7 A 2	7 A 3
OKS, M4, M1	CFe 5%	OKS, M4, M1	CFe 5%
OKS, C4, M3, M1	CFe 10%, Cmn 10%	OKS, C4, M3, M1	CFe 10%, Cmn 10%
OKS, C4, C2, M1	CFe 20%, Cmn 15%	OKS, C4, C2, M1	CFe 20%, Cmn 15%
OKS, M2, C1, M1	CFe 10%, Cmn 20%	OKS, M2, C1, M1	CFe 10%, Cmn 20%
OKS, M2, C1, M1	CFe 35%, Cmn 25%	OKS, M2, C1, M1	CFe 35%, Cmn 25%

OK = Caolinita
M1 = Mica
M2 = Montmorillonita
CFe = Cuarzo
Cmn = Concreciones de hierro
Cmn = Concreciones de manganeso

III.J.4D.2A.3.1b. CARACTERES DIAGNOSTICOS

Estos suelos se caracterizan por una acumulación subsuperficial de arcillas de baja capacidad. En todos los horizontes la C.I.C.T. es menor de 24 meq/100 g de suelo, aunque se presenta, con excepción del horizonte A: (E álbico) una saturación moderada de bases. Estos suelos se caracterizan, también, porque los porcentajes de arcillas se incrementan con la profundidad. La relación C.I.C.T.: Arcilla (%) siempre es menor a 0.50; en tanto que las relaciones Arcilla: Hierro extraíble y Retención de Agua: Arcilla, invariablemente son menores de 0.07 y de 1.25, respectivamente.

Los suelos de este Grupo han sido designados como "Suelos rojos y amarillos: podzólicos tropicales"; "Podzólicos eutróficos"; "Latosoles"; "Ferralsoles"; "Luvisoles oxidicos"; "Alfisolos oxidicos" y "Ultic Hapludalf" entre otros.

III.J.4D.2A.3.1c. POSICION TAXONOMICA

Con frecuencia, estos suelos muestran caracteres morfológicos, físicos o químicos que los intergradúan con algunas Unidades de: Nitosoles, Alisoles, Acrisoles, Luvisoles, Ferralsoles y Glossisoles. Sin embargo, existen diferencias fundamentales:

1. Los Lixisoles o Grupo STAud últicos, se diferencian de los Nitosoles porque los primeros carecen de un horizonte nítico.
2. Los Lixisoles se diferencian de los Alisoles porque los Lixisoles no muestran contenidos de aluminio extraíble que saturan en más de 60% la C.I.C.T.
3. Los Lixisoles se diferencian de los Acrisoles porque su saturación de bases, en la mayoría de los horizontes es mayor de 50%, pero menor de 60%.
4. Los Lixisoles se diferencian de los Luvisoles, porque su C.I.C.T. siempre es mayor o igual a 24 meq/100 g de suelo (24 cmol (+))/(Kg) y su saturación de bases no excede a 60%.
5. Los Lixisoles se diferencian de los Ferralsoles, porque en los Lixisoles su C.I.C.T. nunca es menor a 16 meq/100 g de suelo y
6. Los Lixisoles se diferencian de los Glossisoles porque su horizonte eluvial nunca penetra al horizonte Bt en forma de lengüetas.

Propiedades físicas.

Una de las características más diagnósticas es que con excepción del subhorizonte A2, no muestra moteado con cromas de 2 ó menos en los primeros 75 cm de profundidad. Aunque existen otras que también son diagnósticas: (1) profundidad efectiva mayor de 150 cm; (2) densidad aparente en el subsuelo > 1.3 g/cm³; (3) relación retención de agua; arcilla < 1.25; (4) valores de arrastre de arcilla < 1.2; (5) relación Limo: Arcilla en el subsuelo < 1.0; (6) estabilidad estructural > 3.65 en el subhorizonte Bt2; (7) no presentan propiedades vérticas; (8) presencia de incremento de arcilla en distancias cortas dentro de los horizontes.

Propiedades químicas y fisicoquímicas.

Los contenidos moderados en bases dan a estos suelos mejor desarrollo estructural que el que normalmente se presenta en los Acrisoles. Sin embargo, algunos Acrisoles ricos en hierro, debido a la cementación que éste les confiere llegan a presentar agregados estructurales muy estables.

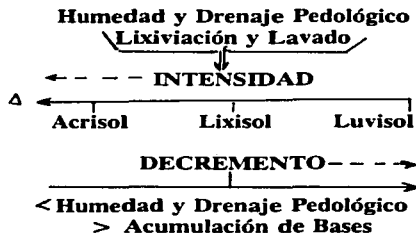
La penetración de las raíces en los horizontes es buena ya que no existen barreras químicas muy limitantes, salvo que la acidez intercambiable siempre es mayor que la suma de bases más aluminio extraíble, en la mayoría de los horizontes. La relación Aluminio: Bases en algún horizonte siempre es mayor a 10 pero nunca excede la saturación de bases en 60%. La mayoría de los horizontes superficiales muestra bajos contenidos de materia orgánica, sólo bajo condiciones de alta humedad ambiental y edáfica, la acumulación de materia orgánica es mayor de 1.5%.

III.J.4D.2A.3.1d. GENESIS

Estos suelos se derivan, principalmente, de materiales parentales con contenidos medios o altos de minerales fácilmente intemperizables, como es el caso de los basaltos y cenizas básicas.

Los suelos se presentan en condiciones tropicales o subtropicales húmedas y calientes, aunque con un período de sequía bien definido. Estas condiciones, genéticamente, no cumplen totalmente para generar un Acrisol, pero son demasiado agresivas para la formación de un Luvisol. Consecuentemente, se forma un suelo intergradado entre ambos, denominado en esta tesis como STAud últicos (Lixisoles). Generalmente, estos suelos mantienen su status taxonómico mientras reciban adiciones de bases, ya sea por drenaje lateral o a través del aire.

Un ejemplo muy evidente de esta intergradación fue observado en los lomeríos aledaños a Simojovel, Chiapas. Así los suelos de las zonas más altas y húmedas, aunque con mayor drenaje pedológico, están representados por Acrisoles, los de la parte media de la pendiente por Lixisoles (STAud últicos) y los de la parte baja por Luvisoles. Es necesario comentar que a medida que se desciende, la humedad ambiental y pedológica disminuyen, y por tanto el lavado y lixiviación de bases. En contraste la acumulación se incrementa. Este fenómeno puede ser representado en el siguiente diagrama:



Finalmente, es necesario, también, señalar que la formación del subhorizonte A2 (E albico) es resultado de una planisización superficial propiciada por una sobresaturación temporal de agua, que en función de la pendiente propicia la generación de un drenaje lateral.

PERFIL 22

CLASIFICACION

PROPUESTA
STAust típico

LOCALIZACION:

Champoton
Campeche

TOPOGRAFIA:

Casi plana

DRENAJE:

Moderado

FAO-UNESCO

1988

Luvisol
calcárico

MATERIAL PARENTAL:

Roca
Sedimentaria

CLIMA: Aw**VEGETACION:**

Selva baja
Caducifolia

SOIL TAXONOMY

1988

Rhodustalf

EDAD:

Holoceno

EDAFOClima:

Ustico

REGION:

Península
de Yucatán

III.J.4D.2A.4.1a. MORFOLOGIA DEL PERFIL 22**A 0-17 cm**

Horizonte orgánico de color pardo oscuro en húmedo (10YR2/2); textura de arcilla; estructura migajosa, blanda, aunque moderadamente firme, ligeramente adhesiva y moderadamente plástica; porosa. Abundan las raíces finas y se presentan en cantidad moderada las de diámetro medio. Contacto gradual.

B1t 17-45 cm

Subhorizonte de color rojo amarillento (5YR5/6); textura de arcilla; estructura en bloques subangulares y angulares, fuertemente desarrollados de tamaño medio, con facetas brillantes, muy estables, porosos, con alta retención de humedad, aunque friables en condiciones de sobresaturación. (Caracteres similares a las de los Nitosoles). Presenta películas arcillosas verticales y horizontales, gruesas pero discontinuas (Carácter de Lixisol), así como abundante moteado con matices más rojos que 7.5YR y brillo de más de 5. Muestra además nódulos de diámetro mayor a 2 cm, en ocasiones débilmente cementados con hierro. (Propiedad férrica). Las raíces finas y medias son abundantes, y se presentan raíces gruesas en cantidad escasa. Contacto gradual.

B2t 45-71 cm

Subhorizonte de color rojo (2.5YR4/6); textura de arcilla; muy similar en su morfología al horizonte que le sobreyace, aunque la presencia de películas arcillosas, moteado rojo y concreciones de hierro se incrementan notablemente (Horizonte férrico). Raíces medias y gruesas abundantes. Contacto gradual.

B3 71-110 cm

Subhorizonte de color rojo amarillento (2.5YR6/8); textura de migajón arcilloso; estructura en bloques angulares gruesos, moderadamente desarrollados, poros finos dominantes; presencia de pedio compactados. Sobre el ped se presentan películas de arcilla, discontinuas, moderadamente gruesas, verticales y horizontales que, frecuentemente, rellenan los poros y bioporos. El número de concreciones y de moteado decrece de manera evidente, y este horizonte muestra algunos fragmentos de roca totalmente alterados y argilizados. Reacción al HCl, moderada. Las raíces medias se presentan en cantidad moderada y en su mayoría vivas. Contacto gradual.

Cw 110-200 cm

Horizonte de saprolita de colores abigarrados, en los que predomina el rojo, amarillo y anaranjado sobre una matriz casi blanca, arcillosa, casi masiva, ya que existen algunos pedio finos y angulares débilmente desarrollados. Los cutanes de arcilla sólo se presentan recubriendo algunos poros. Con frecuencia los fragmentos de la roca parental, aún se definen dentro de la matriz de este horizonte, aunque esta roca no muestra ninguna dureza al tacto. Reacción fuerte al HCl. Raíces gruesas en cantidad moderada.

ANÁLISIS FÍSICOS DE LA FRACCIÓN < 2 mm

PROFUND. HORIZONTE (cm) (A-B-C)	CLASES TEXTURALES Y DIÁMETROS DE PARTÍCULAS < 2 mm										REL. LIND. ARENOSA	E.F. L = R	DENSIDAD APARENTE g/cc	CONTENIDO DE AGUA					
	TOTAL (mm)			ARENOSA (mm)			GRUESO (mm)		FINO (mm)					ARCILLA DISPERSAB. (g/cc)	4B (kPa)	4C (kPa)	4D (kPa)		
	ARENA	LIND.	ARCILLA	GRUESA	FINA	GRUESA	FINA	GRUESA	FINA										
	2-0.05	0.05-0.002	< 0.002	2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.10	0.10-0.05	0.05-0.02	0.02-0.002	0.002		33	1500	33	1500			
0-17 A	26.5	27.8	45.7	0.6	2.69	5.30	9.30	8.61	6.30	21.50	22.50	23.20	0.5	0.61	2.77	1.25	1.45	27.4	21.3
17-45 B1c	23.0	25.7	51.3	0.3	3.21	4.70	8.00	6.79	16.10	19.60	19.30	32.00	32.0	0.50	3.35	1.37	1.60	30.1	22.9
45-71 B2c	18.9	23.4	57.7	0.1	2.33	3.14	6.00	7.33	5.40	18.00	17.60	40.10	39.0	0.40	4.29	1.40	1.54	35.3	25.7
71-110 B3	27.4	32.6	40.0	0.3	3.78	5.20	7.30	10.78	8.75	22.55	23.75	14.70	0.22	2.66	1.40	1.48	29.2	21.6	
110-200 C	31.9	34.2	33.9	0.6	3.25	5.60	7.90	13.65	11.30	22.85	26.00	7.9	-	1.01	2.13	1.18	1.35	24.4	19.0

E.F. = ESTABILIDAD ESTRUCTURAL: L = LIND; R = ARCILLA; A = ARENA

ANÁLISIS QUÍMICOS Y FÍSICOQUÍMICOS DE LA FRACCIÓN < 2 mm

PROFUND. HORIZONTE (cm) (A-B-C)	H.O. (M)	C (M)	N (M)	C/N	BASES INERENDEABLES mg/100g Suelo				SND (S)	Ca++ Mg++	GHA ACIDEZ EXT.	SAR DE CATIONES	SAR C.I.C.T. (meq)	SCL REL. S/T	GOLB AL EXT.	GCLA Fe EXT.	REL. SCLIS	C.I.C.T. 415	M.A. (M)	M.Fe (M)
					Ca++	Mg++	Na+	K+												
					(M)	(M)	(M)	(M)												
0-17 A	5.60	2.40	0.200	12.00	6.2	3.1	0.4	0.3	10.0	2.00	4.7	14.7	19.0	52.63	0.3	2.1	3.00	1.32	-	-
17-45 B1c	1.45	0.69	0.080	8.60	6.7	3.5	0.7	0.4	11.3	1.51	5.3	26.6	17.1	66.08	0.5	2.8	4.42	1.33	1.12	1.33
45-71 B2c	0.55	0.39	0.040	9.75	7.5	4.0	0.9	0.5	12.9	1.87	6.5	19.4	17.0	75.88	1.3	3.5	10.07	1.50	1.26	1.66
71-110 B3	0.38	0.20	0.010	20.00	7.1	3.9	0.9	0.5	12.4	1.82	6.9	19.3	16.2	76.84	1.3	3.7	12.09	1.33	-	1.76
110-200 C	0.20	N.D.	N.D.	N.D.	7.0	3.5	0.7	0.4	11.6	2.00	7.3	18.9	13.3	67.22	1.6	3.9	13.79	1.42	-	1.85

M. A. = Arzate de arcillas
M. Fe = Arzate de hierro

ANÁLISIS QUÍMICOS DE LA FRACCIÓN < 2 mm ANÁLISIS MINERALÓGICOS

PROFUND. HORIZONTE (cm) (A-B-C)	CaCO3 (M)	RELACION ARCILLA:		BDI AGUA 1500kPa
		C.I.C.T. NH4OC	HIERRO EXT.	
0-17 A	0.31	0.415	0.046	0.466
17-45 B1c	0.35	0.333	0.054	0.446
45-71 B2c	0.40	0.294	0.060	0.445
71-110 B3	0.50	0.405	0.090	0.540
110-200 C	-	0.392	1.000	0.560

FRACCIÓN ARCILLA MINERALOGIA	
7 A 2	7 A 3
PK40, VR20, G110, FE10, FD10, RE10	PK50, VR15, G110, FE10, FD10, RE5, PK50, G115, VR10, FE10, RE10, FD5

KK = Caolinita
VL = Vermiculita
GR = Gibsita
FE = Óxidos de hierro
FD = Faldespatos
RE = Minerales resistente

III.J.4.2A.4.1b. CARACTERES DIAGNOSTICOS

Este perfil según las definiciones actuales propuestas por Soil Taxonomy 1990: ISSS, 1994 y FAO, 1994 debe ser inicialmente considerado dentro del concepto de Suelos con arcillas de Baja Actividad. Esto significa que la C.I.C.T. siempre es menor que 24 cmol (+)/Kg de arcilla y que la relación Arcilla/100: CICT/100 > 2.

Por otra parte, la aparentemente alta saturación de bases (> 60%) no necesariamente significa riqueza en bases. Así aunque estos suelos pueden contener hasta más de 20 veces calcio que un Oxisol, también, pueden contener 5 veces menos calcio que un Mollisol.

Es diagnóstico de estos suelos: la presencia de un horizonte argílico con propiedades férricas, los colores rojizos, y en edafoclimas menos húmedos, la presencia, significativa, en algún horizonte, de CaCO_3 , que incluso puede llegar a formar un horizonte Btk.

III.J.4.2A.4.1c. POSICION TAXONOMICA

Estos suelos representan un intergrado entre Acrisoles-Luvisoles-Nitsoles-Lixisoles. Sin embargo, atendiendo a una estricta definición taxonómica, estos suelos deben ser aún colocados dentro del Orden Alfisol debido a las siguientes características: (1) presencia de un horizonte argílico; (2) muestran una saturación de bases mayor de 50% y (3) el porcentaje de aluminio, en todos los horizontes del suelo es menor a 60%.

Con base en Soil Taxonomy, 1990, las condiciones de edafoclima en que se presentan los coloca dentro del SubOrden Ustalfs, Gran Grupo Rhodustalfs, esto último con base en que varios horizontes muestran un matiz más rojo que 5YR y un brillo en húmedo menor que 3.5.

Propiedades físicas.

Probablemente, la propiedad física más importante sea la presencia de una diferenciación textural, genética, que conduce a la formación de un Bt. La formación de un horizonte Kándico queda descartada, totalmente, debido a que la C.I.C.T. siempre es mayor a 16 cmol(+)/kg⁻¹ de arcilla, en este horizonte y a que los contenidos de arcilla en todos los horizontes siempre son mayores de 40%. En la tabla se muestran las principales diferencias físicas y químicas de estos suelos con otras unidades afines.

TABLA 40 RELACIONES ENTRE EL GRUPO STAust Y OTROS SUELOS ARGILICOS

1 ¹ STAust	CICT. < 24 cmol (+)/Kg de arcilla;	Al (saturación) < 60 %
2 ² STAust	CICT. > 24 cmol (+)/Kg de arcilla;	Al (saturación) < 60 %
3. Alisoles	CICT. < 24 cmol (+)/Kg de arcilla;	Al (saturación) < 60 %
4. Lixisoles	CICT. < 24 cmol (+)/Kg de arcilla;	Saturación de bases > 50 %
5. Acrisoles	CICT. < 24 cmol (+)/Kg de arcilla;	Saturación de bases < 50 %
6. Nitsoles	Horizonte nítico	

STAust¹ = Luvisol con arcillas de baja actividad de intercambio

STAust² = Luvisol con arcillas de alta actividad de intercambio

También existen algunas otras propiedades físicas muy diagnósticas como son:

1. Marcada acumulación del porcentaje de arcillas en el horizonte lúvico; (2) índice de arrastre de arcillas > 1.2; (3) contenidos altos en arcillas dispersables; (3) alta estabilidad estructural; (4) cromas altos de color rojizo; (5) contenidos altos de agua; (6) pH moderadamente ácido; (7) relación arcilla: hierro extraíble que se incrementa con la profundidad y (8) profundidad efectiva alta.

Propiedades químicas y físicoquímicas. Las principales son: (1) contenidos altos de materia orgánica, solo en el epipedón; (2) antagonismo entre los cationes Ca^{++} y Mg^{++} ; (3) incremento en el aluminio y hierro extraíbles en función de la profundidad; (4) relación alta aluminio: bases, aunque en ningún caso el aluminio da propiedades álicas a los horizontes; (5) saturación de bases, en la mayoría de los horizontes > 60% y (6) presencia de CaCO_3 en algún horizonte (E3 y Cw).

Propiedades mineralógicas. Se trata según los datos contenidos en la tabla de análisis mineralógicos de un suelo predominantemente caolinítico que, aunque el análisis no lo reporta, aún debe contener porcentajes significativos de arcillas haloisíticas responsables de la C.I.C.T. que muestra. Los contenidos de minerales primarios en la fracción arcillosa son nulos, sin embargo; la fracción limo y arena muy fina muestra riqueza en materiales imtemperezables que proveen al suelo de bases.

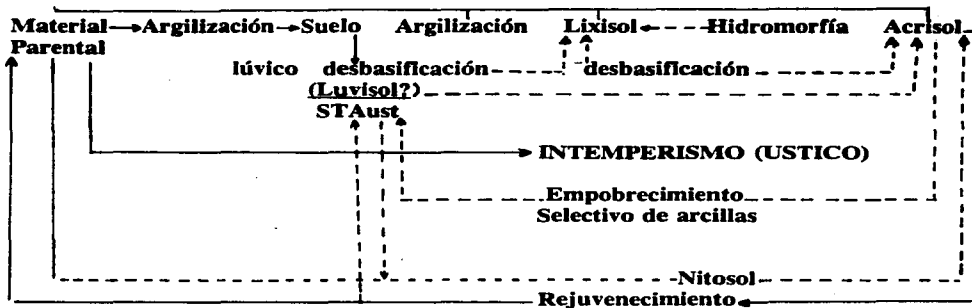
III.J.4.2A.4.1d. GENESIS

Este, probablemente, es un ejemplo de un suelo fersialítico, inicialmente muy alterado y desaturado que evolucionó a partir de un material antiguo, moderadamente, pobre en bases, paulatinamente fueron decreciendo y la caolinización se fue incrementando hasta ubicarlo en una posición taxonómica intergradada entre un Lixisol y un Acrisol, según lo muestra aún parte de su morfología. Gradualmente, fue evolucionando, claramente, hacia un Acrisol, adquiriendo, además, algunas propiedades níticas que aún perduran (estructura). La acidificación e hidromorfía que normalmente se presentan en estas condiciones, propiciaron una desrubificación que aún es muy evidente en el horizonte Cw. El aspecto abigarrado que muestra, así como la presencia de contenidos altos de caolinita en algunos pedo de este horizonte, además de fortalecer esta hipótesis, confirman la movilización secundaria del hierro por reducción.

Posteriormente, por causas aún no conocidas, se inicia una etapa de rejuvenecimiento de este suelo, el estadio de hidromorfismo y acidificación se atenuan, y las adiciones de bases se incrementan, principalmente por drenaje natural (Suelo policíclico). En estas condiciones, el régimen de humedad decrece y la acumulación de nutrimentos aumenta en el perfil. (Eutroficación).

Los estadios evolutivos para este suelo pueden ser propuestos de la siguiente forma;

INTEMPERISMO (UDICO)



III.J.5 CLASE V. FERRALSOLES

Aunque existen muchos suelos parecidos a los Oxisoles diagnosticados por USDA (1990), dentro del Trópico húmedo Mexicano, hasta ahora no existe ningún ejemplo (Perfil) que cumpla con todos los requisitos taxonómicos para ser totalmente aceptado en este Orden, aunque si son incluidos como tales en la Clasificación Francesa (1980) y en el Sistema FAO-UNESCO (1994).

Sin embargo, dada la importancia científica y práctica que revisten estos suelos se incluye la Clase V Ferralsoles en esta propuesta. Los criterios para definir esta Clase se basan, fuertemente, en los establecidos por la International Society of Soil Science, así como por FAO, en 1994.

Estos suelos, se caracterizan por un elevado intemperismo durante su génesis, así como por el hecho de que su fracción coloidal está constituida por arcillas de baja capacidad de intercambio ($< 16 \text{ cmol}(+)/\text{kg}$ de arcilla) y por sesquióxidos (hierro y aluminio). Todos los suelos de esta Clase se caracterizan por presentar un horizonte ferrálico localizado entre los 30 y 200 cm de la superficie mineral. Estos suelos son homogéneos en cuanto a su composición química-mineral, pero muestran diferencias en cuanto a su grado de intemperismo, riqueza en bases, extensión y acumulación de materia en las capas superficiales.

Los suelos, además, dependiendo del grado de cristalinidad que muestran los sesquióxidos se caracterizan por tener una carga variable. Las arcillas de baja capacidad, por ellas mismas, pueden tener cargas variables y una baja o impermeable carga constante.

Asociado con estas propiedades, los suelos muestran muy bajos contenidos de minerales intemperizables ($< 10\%$) que potencialmente se relacionan con los nutrientes y la alteración. El perfil, en general, muestra una morfología caracterizada por su uniformidad y baja horizontalización. Si existe suficiente hierro en el material parental, el suelo es rojo, pudiendo presentar, además, una débil estructura pedal, así como evidencias de otros procesos formadores de suelos que se presentaron en otros estadios evolutivos como: (1) horizontes de acumulación y translocación de arcillas y (2) películas arcillosas zonales.

Por otra parte, el intemperismo está tan avanzado que los fragmentos de roca con minerales intemperizables están ausentes. Una acumulación, secundaria, de minerales estables como la gibsita y los oxihidratos de hierro pueden estar presentes en formas concrecionarias, o como parte de la fracción fina de los suelos.

Los suelos de esta clase, no sólo muestran propiedades físicas y químicas similares, si no que, además, tienden a ocupar posiciones geomorfológicas iguales. Así el paisaje donde se desarrollan muestra pendientes planas a onduladas, con poco o nada de afloramientos rocosos, que generalmente corresponden con geformas muy antiguas, formadas por procesos de erosión-depositación (Pleistoceno).

Muchos de estos suelos están formados a partir de materiales transportados y

retrabajados, ajenos a la roca basal. Frecuentemente, como resultado del transporte y depósito, llegan a mostrar estratificación, con excepción de aquellos suelos donde el material es muy uniforme y, consecuentemente la estratificación es imperceptible.

III.J.5.A. CONCEPTOS, DIAGNOSIS Y PROPIEDADES

Aparentemente, la finalidad del intemperismo y de la alteración es la de transformar los minerales primarios y secundarios a compuestos en equilibrio con el medio ambiente. En estados extremos de intemperismo (SubClase: Ferralsoles géricos) bajo condiciones de lavado restringido, siempre se presenta una relativa acumulación de pequeños porcentajes de minerales aluminio-silicatados 1:1, minerales resistentes (anastasa y rutilo), así como de sesquióxidos.

Los sesquióxidos, incluyendo la goetita, hematita y gibsita, así como los minerales alúmino-silicatados son, generalmente, degradados a caolinitas y, algunos, a moscovita.

En este medio de intemperismo, la neogénesis de los alúmino-silicatos es rara, con la probable excepción de las alúmino-cloritas. Una secuencia mineral de este tipo que caracteriza a la fracción coloidal, es empleada para definir una propiedad diagnóstica del horizonte ferrálico, el cual está presente en todos los suelos de esta Clase.

Las condiciones edafoambientales que promueven la formación de esta secuencia mineral, en la fracción coloidal, son las altas temperaturas y las fuertes lluvias que caracterizan al trópico, en especial al ecuatorial. Desde luego que la velocidad de los procesos de transformación mineral están íntimamente relacionados por la naturaleza del material parental y de la roca madre. Así los horizontes ferrálicos se forman más fácilmente sobre calizas o rocas básicas como basaltos o serpentinitas.

La velocidad de alteración mineral también está controlada por el drenaje interno del suelo. En suelos bien drenados, el proceso dominante es la lenta y sistemática remoción de la sílice y la, concomitante, acumulación del aluminio y del hierro.

III.J.5.B TIPOGENESIS

El intemperismo ambiental y la naturaleza del material parental, previenen o retardan otros procesos formadores de suelos como la iluviación de arcillas, acumulación o la formación de horizontes espódicos. **Sin embargo, como ocurre con los suelos de la SubClase Ferralsoles intergradados, la localización geomorfológica y la edad de intemperismo del suelo pueden generar una serie de procesos, atípicos, como son:** acumulación de materia orgánica; evidencias de gleyzación por fluctuaciones del nivel freático; presencia y acumulación de argilanes y acumulación de cationes básicos. Desde un punto de vista taxonómico, aunque estas evidencias son consideradas como secundarias a los procesos básicos de intemperismo deben, además, ser interpretadas en varios casos como estadios de intergradación, especialmente cuando al horizonte ferrálico le subyace un horizonte argílico.

Es evidente que los procesos de intemperismo que propician la formación de un coloide de composición única, pueden preceder, ser simultáneos, o posteriores a otros procesos formadores de suelos como es la translocación de arcillas. Los resultados de esos procesos formadores, si son medibles u observables, se consideran como horizontes diagnósticos secundarios. Su presencia se considera como una propiedad del Grupo y del SubGrupo, las propiedades más comunes son:

- a. Carga cero o positiva en un horizonte de al menos 30 cm de espesor (pH KCl-pH H₂O) = **Posi-**
- b. Presencia de un contacto de petroplintita dentro de los 150 cm iniciales = **Lateri-**
- c. Presencia de un contacto lítico dentro de los 150 cm iniciales = **Lithi-**
- d. Colores (matiz) de 2.5YR o más rojos, presentes entre 25 a 125 cm de profundidad = **Rhodi-**
- e. Colores (matiz) de 7.5YR o más amarillos, presentes entre 25 a 125 cm de profundidad = **Xanthi-**
- f. pH (H₂O) < 4.5 en una capa de 30 cm de espesor, presente entre 0 a 50 cm de profundidad = **Dystri-**
- g. Capa con propiedades ferrálicas presentes a menos de 75 cm de profundidad = **Lepti-**
- h. Presentan una base de saturación (NH₄OAc) > 35% = **Eutri-**
- i. Presentan una base de saturación (NH₄OAc) < 35% = **Dystri-**

Por otra parte, el intemperismo extremo (SubClase: Ferralsoles géricos) es medido por una relativa baja actividad, o por las características físicas y químicas de la fracción coloidal y por el bajo contenido de minerales intemperizables. La baja actividad es debida a la naturaleza del coloide, y no debido al bajo contenido coloidal.

III.J.5C. MACROMORFOLOGIA

Los suelos de esta Clase V, son generalmente, profundos y carecen de diferenciación con respecto a color o distribución de partículas. Los suelos que se presentan en áreas elevadas pueden mostrar un epipedón rico en humus. En superficies antiguas, las líneas de piedras pueden estar presentes, y las piedras que las constituyen pueden estar compuestas por rocas o fragmentos minerales resistentes al intemperismo, o por gravas lateríticas. La estructura muestra un desarrollo moderado a débil y una consistencia,

en húmedo, friable. El material del suelo saturado fluye como harina entre los dedos.

III.J.5D. MICROMORFOLOGIA

La fracción de plasma es, generalmente, una masa homogénea con escasas separaciones. En los suelos ricos en hierro, el plasma está agregado en estructuras de tipo perdigón que le confieren una alta macroporosidad. Los minerales no intemperizables pueden ser distinguidos, a pesar del pseudomorfismo, de algunos minerales intemperizables como el olivino que pueden estar presentes en las partes más profundas del suelo. Los nódulos y concreciones de hierro, con o sin gibsitita, pueden presentarse. Las arcillas translocadas como cutanes pueden estar presentes, recubriendo pequeñas cavidades o tubos. En ocasiones pequeños fragmentos de cutanes iluviales, indicativos de la homogenización del suelo a través de los procesos de pedoturbación son, en su mayoría, interpretados como procesos relictos de iluviación.

III.J.5E. CARACTERES FISICOQUIMICOS

Entre los más importantes destacan: (1) la retención de agua disponible es baja; (2) la densidad aparente es, aproximadamente, de 1.25 g/cm³, aunque puede ser menor dependiendo del contenido de materia orgánica y/o del hierro libre; (3) el pH en NaF es generalmente mayor a 9.0; (4) la mayoría de estos suelos tiene una alta capacidad de retención de fósforo (> 85%); (5) sólo trazas de Fe, Al o Si son extraíbles con oxalato de amonio y (6) el pH Delta es poco negativo, y puede ser cero o positivo en los horizontes con contenidos deficientes de materia orgánica.

III.J.5F. NIVELES TAXONOMICOS PROPUESTOS

Con base en su edafogénesis, dinámica y tipogénesis es posible proponer la presencia de tres SubClases:

III.J.5F.1. SUBCLASE V.1. FERRALSOLES MODALES (FEM).

Esta SubClase esta constituida, básicamente, por suelos que muestran únicamente un horizonte ferrálico, y que carecen de propiedades de alto intemperismo o de factores que demuestren su integración hacia otras Unidades Taxonómicas.

El concepto central de horizonte ferrálico es el siguiente:

Es un horizonte subsuperficial que resulta de un largo e intenso proceso de intemperismo, en el cual la fracción arcilla esta dominada por arcillas de baja actividad, en tanto que las fracciones limo y arena están constituidas por minerales muy resistentes. Tiene textura de migajón arenoso, o más fina, y un espesor > 30 cm.

Como se mencionó, anteriormente, la presencia de este horizonte está asociada con geoformas antiguas y estables. Los horizontes ferrálicos tienen una fuerte microagregación

(seudoarenas) aunque la consistencia es friable. En esta SubClase, los caracteres de iluviación-presión, no están presentes en este horizonte, careciendo de películas arcillosas y de facetas de presión-fricción. Sus límites, generalmente, son difusos, aunque pueden existir diferencias, pequeñas, entre algunas partículas, principalmente en color. Normalmente, nunca presenta más de 90% (Peso) de gravas, rocas o concreciones de sesquióxidos.

Químicamente, este horizonte tiene una Capacidad de Intercambio de 16 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$ de arcilla o menor (IM NH_4OAc) y una Capacidad de Intercambio Catiónico efectiva (suma de las bases intercambiables + Aluminio en IM KCl) de menos de 12 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$ de arcilla.

También muestra menos de 10 por ciento de arcilla dispersable en agua, y la fracción entre 50-200 μm contiene menos del 10 por ciento de minerales intemperizables. La reserva total de bases (RTB) intercambiables es menor a 40 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$ de suelo y, finalmente, los contenidos de Fe, Al y Si son muy bajos, lo cual los diferencia de los horizontes ácidos.

Dentro de esta Subclase se proponen los siguientes Grupos y SubGrupos:

III.J.5F.1.1. GRUPO V.1.1. Suelos FEM háplicos (FEMh)

Incluye a los suelos que únicamente muestran un horizonte ferrálico, y se presentan los siguientes SubGrupos:

III.J.5F.1.1.1. SUBGRUPOS

- V.1.1.1. Suelos FEMh-Posi- Presentan una carga neta cero o positiva: FEMhP.
- V.1.1.2. Suelos FEMh-Lateri- Presentan petroplintita dentro de los primeros 150 cm: FEMhL.
- V.1.1.3. Suelos FEMh-Lithi Presentan una limitante lítica dentro de los primeros 150 cm: FEMhT
- V.1.1.4. Suelos FEMh-Acer Presentan un $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}) < 4.5$: FEMhA

III.J.5F.1.2. GRUPO V.1.2. Suelos FEM ródicos (FEMr)

Son suelos que además de tener un horizonte ferrálico, presentan un horizonte de 30 cm o más de espesor, dentro de los 125 cm a partir de la superficie, que muestra colores de 2.5YR.

III.J.5F.1.2.1. SUBGRUPOS

- V.1.2.1. Suelos FEMr-Posi: FEMrP
- V.1.2.2. Suelos FEMr-Lateri: FEMrL

- V.1.2.3. Suelos FEMr-Lithi: FEMrT
- V.1.2.4. Suelos FEMr-Acer: FEMrA
- V.1.2.5. Suelos FEMr-Dystri-Saturación de bases <35%: FEMrD

III.J.5F.2. SUBCLASE V.2. FERRALSOLES GERICOS (FEG).

Son representativos de esta SubClase todos los suelos que, además de mostrar un horizonte ferrálico, presentan propiedades que caracterizan una etapa extrema de intemperismo como son;

1. Capacidad de Intercambio Catiónico de <1.5 cmol(+)/kg de suelo en combinación con un pH (H₂O) mayor de 5.5.
2. Dominancia de gibsita (25% en la fracción fina del suelo) en una capa de, al menos, 30 cm de espesor.
3. Puede presentar, además, 1.5 cmol(+) o menos de bases intercambiables + aluminio extraíble por kg de arcilla (IM KCl).
4. Puede presentar un pH Delta de cero o positivo.

Dentro de esta SubClase se proponen los siguientes Grupos y SubGrupos.

III.J.5F.2.1. GRUPO V.2.1 Suelos FEG gibsíticos (FEGg)

Son suelos que muestran una capa de, al menos, 30 cm de espesor, que presenta de 25 a más de 40 por ciento de gibsita en la fracción fina del suelo. La capa debe estar presente dentro de los primeros 150 cm de profundidad. Existe la posibilidad de los siguientes SubGrupos:

III.J.5F.2.1.1. SUBGRUPOS

- V.2.1.1. Suelos FEGg-Xanthi. Color de 7.5YR o más amarillo en todo el perfil: FEGgX.
- V.2.1.2. Suelos FEGg-Rhodi. Color de 2.5YR o más rojo en todo el perfil: FEGgR.

III.J.5F.2.2. GRUPO V.2.2. Suelos FEG alíticos (FEGa)

Son suelos que muestran una C.I.C. <1.5 cmol (+)/kg de suelo, un pH mayor de 5.5; una fuerte desbasicación (<1.5 cmol (+) de bases intercambiables + aluminio extraíble por kg de arcilla, y un pH Delta de cero o positivo. Pero los contenidos de gibsita están entre 18 a <25%. Se incluyen los siguientes SubGrupos:

III.J.5F.2.2.1. SUBGRUPOS

- V.2.2.1. Suelos FEGa-Geri. Muestran un horizonte con menos de 1 cmol(+)/kg de arcilla y un pH (H₂O) mayor de 5.5: FEGaG.
- V.2.2.2. Suelos FEGa-Posi. Muestran un pH Delta > 1.0: FEGaP
- V.2.2.3. Suelos FEGa-Lateri. Presentan petroplintita dentro de los primeros 150 cm: FEGaL.
- V.2.2.4. Suelos FEGa-hiperDystri. Saturación de bases < 10%: FEGaD.

III.J.5F.2.3. GRUPO V.2.3. Suelos FEG caoliníticos (FEGc)

Estos suelos además de cumplir con los requisitos (o la mayoría de ellos) que caracterizan a la SubClase V.2., muestran más de 50 por ciento, por peso, de caolinita en la fracción de < 0.002 mm. Se proponen los siguientes SubGrupos:

III.J.5F.2.3.1. SUBGRUPOS

- V.2.3.1. Suelos FEGc-Geri. Muestran un horizonte con menos de 1 cmol(+) kg de arcilla y pH (H₂O) mayor de 5.5: FEGcG.
- V.2.3.2. Suelos FEGc-Posi. Muestran un pH Delta > 1.0: FEGcP
- V.2.3.3. Suelos FEGc-Lateri. Presentan Petroplintita dentro de los primeros 150 cm: FEGcL
- V.2.3.4. Suelos FEGc-Xanthi: FEGcX.
- V.2.3.5. Suelos FEGc-Rhodi: FEGcR.

III.J.5F.3. SUBCLASE V.3. FERRALSOLES INTERGRADADOS (FEI)

Está constituida por suelos transicionales que reflejan en su morfología, o en sus caracteres físicos, químicos o mineralógicos, una serie de controles secundarios de diversos procesos que los acercan a otras Unidades edáficas. Estas características son, normalmente, empleadas en categorías taxonómicas inferiores (Grupo y SubGrupo) para establecer inter o extragradaciones.

Esta SubClase, aunque reúne los requisitos para la Clase V. Ferralsoles, puede mostrar además las siguientes características atípicas; que originan Grupos Taxonómicos:

III.J.5F.3.1. GRUPOS: V.3.1.

- V.3.1.A. Un horizonte superficial enriquecido con materia orgánica, normalmente

como resultado de bajas temperaturas o alta humedad y/ ambos: Suelos FEI húmicos: FEIh.

- V.3.1.B. Un horizonte próximo a la superficie, con una alta base de saturación (> 35%): Suelos FEI eútricos: FEIe.
- V.3.1.C. Prolongada saturación de humedad en la parte baja del perfil (pseudogley) Suelos FEI pseudo gléyicos: FEIg.
- V.3.1.D. Prolongada saturación de humedad en la parte baja del perfil asociada a la presencia de rasgos de plintita: Suelos FEI plínticos: FEIp.
- V.3.1.E. Un horizonte superficial que muestra un incremento, gradual, de arcilla con la profundidad: Suelos FEI líxicos: FEIl.
- V.3.1.F. Presencia de roca o plintita a escasa profundidad Suelos FEI líticos: FEIs.

III.J.5F.3.1.1. SUBGRUPOS V.3.1.1.

Estos seis Grupos pueden mostrar, a nivel de SubGrupos, las siguientes propiedades: (a) Posi-; (b) Lateri-; (c) Rhodi-; (d) Xanthi-; (f) Eutri-; (g) Lepti-.

Estadísticamente, es probable que a medida que se incremente la investigación del Trópico Mexicano, en particular del húmedo-cálido, se detecte, claramente, un número significativo de Unidades edáficas que puedan ser incluidos en esta Subclase V.3, y posiblemente en la SubClase V.1.

Actualmente, el mayor conflicto por su estrecha intergradación, se presenta entre suelos que muestran diferenciación textural (Bt) como son los Luvisoles y Acrisoles, con respecto a algunos Ferralsoles que llegan a presentar horizonte argílico, subyacente al horizonte ferrálico. Sin embargo, existen criterios que pueden simplificar esta problemática, los principales son:

- A. Se acepta el hecho de que algunos Ferralsoles muestren propiedades líxicas, e incluso un horizonte de acumulación de arcillas iluviales, pero los Luvisoles y Acrisoles no pueden tener un horizonte ferrálico.
- B. Los Ferralsoles se caracterizan por una carga baja en la fracción coloidal, así como por una baja capacidad para proveer nutrimentos a través del intemperismo, el cual, en este caso, sólo actúa como una base para la neoformación de otros minerales.
- C. Los Ferralsoles muestran un contenido muy alto de arcillas, como para estar seguro que la baja carga es debida a la naturaleza de las arcillas, y no a su carencia dentro de la fase coloidal y

D. Las capas dentro de la sección de control, en los Ferralsoles, son totalmente homogéneas.

Los reportes más confiables, a nivel mundial, sobre la distribución espacial de los Ferralsoles han sido elaborados por FAO (1994), la ISSS (1994) y la ISRIC (1994). En estos informes se menciona que los Ferralsoles se asocian con los Cambisoles en áreas que muestran afloramientos rocosos, o donde la roca está próxima a la superficie. Sobre superficies estables, ellos se asocian con Acrisoles, siendo muy frecuente en las áreas que muestran materiales parentales ácidos (gneiss). Sobre rocas más básicas, estos suelos se presentan junto con Nitosoles y Luvisoles, aunque sin ninguna aparente relación con la roca subyacente o con las posiciones topográficas. Próximo a los valles, los Ferralsoles constituyen mosaicos, complejos, con los Gleysoles, Planosoles, Arenosoles y Sesquisoles.

Los Perfiles 23, 24 y 25 son ejemplos de algunos suelos Ferralsoles representativos de las Subclases Modal, Gérica e Intergraduados, respectivamente.

PERFIL 23

**CLASIFICACION
PROPUESTA:**
FEMr

**FAO-UNESCO
1988**
Ferralsol
ródico

**SOIL TAXONOMY
1988**
Rhodic
Kandiudox

LOCALIZACION
Anápolis
Brasil*
TOPOGRAFIA
Ondulada

MATERIAL PARENTAL: EDAD:
Rocas
Pleistoceno

Metamórficas
CLIMA:
Af

EDAFOClima:
Udico-Iso
Hipertérmico

DRENAJE:
Bien
drenado

VEGETACION:
Bosque Tropical
semideciduo

REGION:
15°24'S
49°00'

III.J.5F.1.1a

MORFOLOGIA DEL PERFIL 23

Ap 0-23 cm

Horizonte de color rojo oscuro en húmedo (1.5YR3/2) y pardo rojizo en seco (4YR4/4); textura arcillosa, estructura moderadamente firme de forma granular, de tamaño medio y fino ligeramente plástica y ligeramente adhesiva. Raíces finas abundantes. Contacto claro.

AB 23-40 cm

Pardo rojizo oscuro (1.5YR3/3) en húmedo y pardo rojizo en seco (4YR4/4) arcilloso, estructura en bloques subangulares fina y media, firme, plástica y ligeramente adhesiva. Raíces finas y medias abundantes. Contacto gradual.

BA 40-58 cm

Pardo rojizo oscuro (1.5YR3/4) en húmedo y rojo en seco (2.5YR4/5); arcilloso, estructura en bloques subangulares fina y media, firme, plástica y ligeramente adhesiva. Raíces finas y medias abundantes. Contacto gradual.

Bo1 58-95 cm

Rojo oscuro en húmedo (1.5YR3/5) y rojo (3.5YR5/7) en seco, arcilloso, pseudo estructura granular, bien desarrollada, dura, firme, aunque saturada es friable, ligeramente plástica y ligeramente adhesiva. Raíces finas abundantes. Contacto gradual.

Bo2 95-130 cm

Rojo oscuro en húmedo (1.5YR3/6) y rojo (2.5YR 4.5/6) en seco,

* Ver observaciones sobre los perfiles estudiados.

seudo estructura granular bien desarrollada, ligeramente dura en seco, friable en húmedo, ligeramente plástica y ligeramente adhesiva. Raíces finas en cantidad moderada. Contacto difuso e irregular.

Bo3 130-200 cm

Rojo oscuro en húmedo (1.5YR3/6) y rojo (2.5YR 4.5/6) en seco, pseudo estructura granular, fina y media, bien desarrollada, ligeramente dura en seco, pero friable en húmedo, ligeramente plástica y ligeramente adhesiva. Raíces finas y medias escasas. Contacto difuso a irregular.

Bo4 200-275 cm

De color rojo oscuro en húmedo (9R3/6) y rojo en seco (1.5YR5/7) arcilloso, estructura en bloques subangulares finos, débilmente desarrollados que rompen en una pseudo estructura granular muy fina. Son de consistencia friable a muy plástica. Raíces finas abundantes. Contacto difuso a irregular.

Bo5 275-410 cm

Rojo oscuro en húmedo (10R3/6), rojo en seco (1.5YR5/7), arcilloso, estructura angular que rompe en una pseudo estructura granular muy fina. Consistencia friable, aunque ligeramente dura en seco, ligeramente adhesivo y ligeramente plástico. Raíces finas abundantes. Contacto claro.

2BC 410-430 cm

Rojo en húmedo (1.5YR5/7), de textura arcillo arenosa, de morfología similar a Bo5, aunque presenta algunas gravas redondeadas y subredondeadas de cuarzo, cuarcita, gnesis y nódulos de laterita.

No.	PROFUNDIDAD (cm)	HORIZON.	ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)	ARCILLA FINA (%)	ARCILLA DISPER. (%)	LIMO FINO (%)	GRAVAS (%)	CAREONO ORG. (%)	N TOTAL (%)
1	0-23	Ap	41	11	48	N.D.	30	9.8	N.P.	3.97	0.268
2	23-40	AB	41	9	52	N.D.	42	6.4	N.P.	1.99	0.124
3	40-58	BA	41	7	54	N.D.	47	5.1	N.P.	1.29	0.069
4	58-95	BO1	41	6	55	N.D.	47	4.8	N.P.	0.89	0.047
5	95-130	BO2	38	7	55	N.D.	47	3.2	N.P.	0.68	0.033
6	130-200	BO3	38	8	54	N.D.	0	4.7	N.P.	0.53	0.024
7	200-275	BO4	35	8	55	N.D.	0	4.0	N.P.	0.42	N.D.

N.D. = NO SE DETERMINO; N.P. = NO PRESENTA

ANALISIS QUIMICOS Y FISICOQUIMICOS DE LA FRACCION <2 MM

No.	pH		NH4OAc				CIC		SAT. BASES		Fe EXTR. (%)	DENSIDAD APARENTE g/cm ³	CONTENIDO DE AGUA		
	KCL	H2O	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Al	pH7	SUMA	pH7	33 kPa			1500 kPa	RETENCION H2O	
															cmol (+)/kg
1	5.0	5.6	6.4	0.67	0.10	0.1	11.6	33	62	6.4	1.13	26.8	17.7	1.10	
2	5.2	6.0	4.0	0.21	0.03	0.1	6.9	32	62	7.4	1.14	24.2	16.5	0.09	
3	5.4	6.0	2.5	0.12	0.03	0.1	3.0	29	68	7.4	1.19	21.7	16.2	0.07	
4	5.7	6.2	1.5	0.12	0.03	N.D.	2.7	23	62	6.7	1.21	22.9	16.8	0.07	
5	6.1	6.1	1.0	0.12	0.03	N.D.	1.9	18	61	7.6	1.17	21.5	17.1	0.05	
6	6.5	6.7	0.5	0.12	0.05	N.D.	0.9	14	79	7.7	1.21	21.4	17.2	0.05	
7	6.5	6.2	N.D.	0.21	0.04	N.D.	0.9	6	27	7.7	1.23	23.3	16.9	0.08	

OBSERVACIONES

Este perfil representa a la SubClase V.1. de Ferralsoles Modales. Se caracteriza por presentar un horizonte ferrálico a una profundidad de 58 cm. No obstante los altos contenidos de arcillas presentes, no existen películas arcillosas que demuestran la presencia de un Bt, y su CIC es muy baja, en varios casos menor a la unidad (Característica de alto intemperismo). Es atípico la cantidad de arcilla dispersable en agua que muestra, sin embargo, se destacan varias propiedades diagnósticas de los Ferralsoles como son:

(1) muy baja retención de agua (< 1.0); (2) baja densidad aparente; (3) pH Delta, poco negativo en los primeros 95 cm de profundidad, con carga cero en Bo2 y carga positiva en Bo4; (4) colores más rojos que 2.5YR; (5) una reserva total de bases < 49 , aunque con un porcentaje de saturación > 59 ; y (6) contenidos bajos de Al extraíble.

Estas características lo sitúan como un Ferralsole modal ródico, con propiedades húmicas y valor Posi, eútrico.

PERFIL 24

**CLASIFICACION
PROPUESTA**
FEGc

**FAO UNESCO
1988**
Ferralsol

**SOIL TAXONOMY
1988**
Acrostoxic
Kandiustult

LOCALIZACION
1 Tumbiara, Brasil*

**MATERIAL
PARENTAL**
Esquistos
Micaceos

EDAD
Pleistoceno

TOPOGRAFIA
Ligeramente
ondulada

CLIMA
Af

EDAFOCLIMA
Udico

VEGETACION
Pastizal

REGION
17°20' y 49°15 W

III.J.5F.2.1A

MORFOLOGIA DEL PERFIL 24

Ap 0-13 cm

Horizonte de color pardo rojizo en húmedo (4YR3/2.5) y gris rosáceo en seco (6YR 5./5.2). Textura de arcilla arenosa, estructura granular de tamaño fino y medio, friable, plástico y adhesivo. Raíces finas abundantes. Contacto abrupto e irregular.

AB 13-23 cm

Pardo rojizo oscuro en húmedo (4YR3/5) y pardo rojizo claro en seco (4YR5/5). Textura de arcilla arenosa, ligramente gravoso, con pedio de forma angular y subangular; de tamaño fino y muy fino, con argilanes zonales, débiles y escasos. Plástico y adhesivo; raíces en cantidad moderada. Contacto claro e irregular

BA 23-33 cm

Horizonte de color rojo oscuro (3.5YR3/5) en húmedo, y pardo rojizo claro (4YR5.5/4) en seco. Textura de arcilla arenosa, ligeramente gravoso. Estructura en bloques subangulares y angulares, muy fina y fina, moderadamente desarrollada, que muestra argilanes zonales, débiles y verticales. Consistencia firme, plástica y adhesiva. Contacto claro e irregular.

Bo1 33-70 cm

Horizonte de color rojo oscuro en húmedo (3.5YR3/6) y amarillo rojizo en seco (6YR6/6). Textura y estructura similares a las del horizonte que le sobryace. Presencia de argilanes, débiles discontinuos y verticales. Consistencia firme, plástica y adhesiva. Contacto gradual e irregular.

Bo2 70-100 cm

Horizonte de color rojo oscuro (3.5YR3/6) en húmedo y amarillo rojizo en seco (4YR.5.5/6). Textura similar a la del horizonte que le

* Ver observaciones sobre los perfiles estudiados.

sobreyace, estructura en bloques angulares, finos y muy finos débilmente desarrollados. Friable con pedio firmes, plástico y adhesivo. Contacto abrupto y ondulado (20-60 cm).

2BC 100-175 cm

Horizonte de color rojo en húmedo (3.5YR4/5). Textura de arcilla, esqueletal, mezclada con una gran cantidad de gravas de cuarzo y cuarcita.

ANALISIS FISICOS Y QUIMICOS DE LA FRACCION < 2 mm

PROFUNDIDAD (cm)	HORIZONTE	ANALISIS GRANULOMETRICO							CARBONO ORG. (%)	N TOTAL (%)
		Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Arcilla Fina (%)	Arcilla Dispersable (%)	Limo Fino (%)	Gravas (%)		
0-13	Ap	27.4	14.3	58.3	27.4	44.0	6.7	5.0	2.56	0.198
13-23	AB	28.5	14.5	57.0	28.3	55.0	7.3	5.0	1.59	0.124
23-33	BA	31.6	14.6	53.8	9.4	49.0	7.0	10.0	1.00	0.074
33-70	Bo1	38.2	14.6	47.2	41.2	6.0	7.3	8.0	0.71	0.058
70-100	Bo2	37.8	15.8	46.4	41.6	0.0	7.7	11.0	0.50	0.035
100-175	2BC	29.9	15.6	54.5	8.3	0.0	8.2	57.0	0.30	0.019

ANALISIS FISICOS Y QUIMICOS DE LA FRACCION < 2 mm

pH	NH4OAC			Al	CIC pH7	SAT. BASES SUMA* pH7	Fe Exur. (%)	Densidad aparente g/cm ³	CONTENIDO DE AGUA			
	Ca**	Mg**	K*						33 kPa	1500 kPa	Retención H ₂ O	
KCl H ₂ O	Cmol (+)/Kg			%								
4.7 - 5.0	1.5	0.22	0.10	1.2	9.3	1.82	19.57	N.D.	0.98	18.65	12.30	N.D.
4.8 - 5.1	0.9	0.20	0.07	0.5	7.1	1.17	16.47	N.D.	0.98	20.15	12.00	N.D.
4.8 - 5.0	0.7	0.16	0.05	0.1	4.2	0.91	21.66	N.D.	0.99	20.10	12.00	N.D.
5.3 - 5.6	0.07	0.01	Tz	Tz	1.4	0.08	5.71	N.D.	1.00	19.80	11.50	N.D.
5.7 - 5.3	0.03	0.01	Tz	Tz	1.2	0.04	3.33	N.D.	1.00	19.50	10.60	N.D.
5.9 - 5.4	0.01	0.01	Tz	Tz	0.7	0.02	2.85	N.D.	N.D.			N.D.

* No se considera el valor de acidez extraíble.

OBSERVACIONES

Se trata de un suelo que además de mostrar un horizonte B óxico, presenta propiedades que caracterizan una etapa, extrema de intemperismo como son:

1. Muestran más de 40 por ciento de arcillas dentro de los primeros 150 cm de profundidad. Algunas con capacidad de intercambio catiónico < 1.5 cmol (+)/kg, en combinación con un pH (H₂O) mayor de 5.5 (Horizonte Bo1)
2. El horizonte B óxico, en general muestra < 10 por ciento de minerales intemperizables. En este caso, las fracciones de limo y arcillas presentes, están constituidas por cuarzo y cuarcita. en este caso, las fracciones limo y arena son una limitante al paso de raíces.

3. **La fracción arcilla está constituida por caolinita recubierta de óxidos de hierro y de oxihidróxidos de hierro.** Existe un porcentaje de estas arcillas pobremente cristalizado (arcillas de fuego) probablemente debido a defectos estructurales en las arcillas, provocados por las sustituciones por el hierro o por las inclusiones de K^+ . Normalmente, las caolinitas deferradas, muestran un área superficial de 35 a 45 m^2/g .
4. **Comúnmente, en el horizonte Bo, los contenidos de arcillas finas sobrepasan al 50 por ciento del total.**
5. **Debido a que la estructura primaria en el horizonte Bo está constituida por microagregados del tamaño de limos y arenas, muy estables, los porcentajes de arcillas dispersables, en este horizonte son muy bajos, o nulos.**
6. Los contenidos, altos de Carbono orgánico y nitrógeno, permiten inferir que se trata de un Oxisol representativo de un régimen de temperatura del suelo, de tipo isohiptérmico.
7. **Como puede observarse en la tabla de análisis químicos, una de las principales limitantes de estos suelos es su bajo contenido volumétrico en nutrimentos, expresado a través de la siguiente fórmula $[100 \times (Ca + Mg + K + Na)/CEC \text{ a pH7}]$.** En todos los horizontes, la suma de los cationes no rebasa a 2 Cmol (*)/kg, y la saturación de bases es menor a 20 por ciento, lo que les da un carácter distrófico.
8. La relación $[100 \times Al/(Ca + Mg + K + Na + Al)]$ oscila de 9.90 a 39.73, lo que indica que aunque existe suficiente aluminio como para propiciar fenómenos de retención de fósforo, aún es insuficiente su porcentaje como para asignarle una característica alica a este suelo.
9. **En general, los valores de densidad aparente son bajos, lo cual resulta típico de estos suelos.** Valores superiores a 1.2 g/cm^3 pueden resultar restrictivos para el crecimiento radicular, especialmente cuando existe más de 60 por ciento de arcilla en su composición textural.
10. **El porcentaje, en peso, de agua retenida por el horizonte óxico, a punto de marchitez permanente, es aproximadamente 0.24 veces que el porcentaje de arcillas, o con frecuencia menor, como puede observarse en la tabla.**
11. **Los valores de pH Delta, indican que este suelo esta dominado por cargas variables, y en algunos casos, como son los de los horizontes Bo2 y 2BC, los valores positivos muestran un fenómeno de alta retención de fósforo.**

PERFIL 25

**CLASIFICACION
PROPUESTA**
FEI lúxico

**FAO-UNESCO
1988**
Acrisol
férrico

**SOIL TAXONOMY
1988**
Typic Tropudult

LOCALIZACION:
Bethania, Oax.

MATERIAL PARENTAL: EDAD:
Basalto
Pleistógeno

TOPOGRAFIA:
Ligeramente
ondulada

CLIMA:
Af
VEGETACION:
Bosque trópic
deciduo

EDAFOCLIMA:
Udico-Iso
Hipertérmico
REGION: Sierra
Madre del Sur

DRENAJE:
Moderado

III.J.5F.3.1a.

MORFOLOGIA DEL PERFIL 25

A 0-32 cm

Horizonte de color rojo oscuro en húmedo (1.5YR3/2) y en seco; textura de arcilla, estructura subangular media que rompe a formas granulares finas. Consistencia ligeramente dura, pero friable, ligeramente adhesiva y poco plástica. El ped muestra poros finos y medios, recubiertos zonalmente por películas de arcilla. Raíces finas muy abundantes, las medias y gruesas son escasas. Contacto gradual.

AB 33-45 cm

Rojo oscuro en húmedo (1.5YR3/2) y rojo oscuro en seco (1.5YR3/2); textura de arcilla, estructura subangular media, ligeramente dura y friable que rompe en forma granular, es ligeramente adhesiva y poco plástica. Los pedio muestran, zonalmente, argilanes verticales de espesor delgado que se incrementan con la profundidad. Raíces finas abundantes. Contacto gradual.

B1t 45-90 cm

Rojo oscuro en húmedo (1.5YR3/6) y rojo (2.5YR4.5/6) en seco; textura de arcilla, estructura subangular media, moderadamente desarrollada, ligeramente dura pero friable, moderadamente adhesiva y poco plástica. La presencia de argilanes se acentúa y los pedio los muestran sobre sus caras como en los bioporos. Raíces en general, escasas. Contacto gradual.

B2t 90-153 cm

Rojo oscuro en húmedo (1.5YR3/5) y rojo (2.5YR4.5/6) en seco. Textura de arcilla, estructura subangular media, moderadamente desarrollada, ligeramente dura y menos friable, moderadamente adhesiva y ligeramente plástica. Los argilanes se presentan sobre todos los pedio, son gruesos y continuos hasta una profundidad de 130 cm. A partir de esta profundidad, el número y espesor de los argilanes decrece, considerablemente, siendo escasos en la parte profunda de este horizonte. Raíces escasas. Contacto gradual.

BO1 153-187 cm

Rojo oscuro en húmedo (1.5YR3/5) y rojo (2.5YR4.5/6) en seco. Textura de arcilla, estructura subangular y pseudo estructura granular. El ped es ligeramente duro en seco, pero friable a muy friable en húmedo, ligeramente adhesivo y poco plástico. Los cutanes de arcilla son muy escasos, zonales y delgados. Raíces escasas. Contacto gradual.

BO2 187-225 cm

Rojo oscuro en húmedo (1.5YR3/5) y rojo (2.5YR4.5/6) en seco. Textura de arcilla, pseudo estructura granular y en bloques subangulares medios y finos. Los pedio son ligeramente duros en seco, friables en húmedo, ligeramente adhesivos y poco plásticos. Los cutanes de arcilla son raros. Raíces escasas.

ANALISIS FISICOS DE LA FRACCION < 2 mm

NO.	PROFUNDIDAD (cm)	HORIZON	ARENA	LIMO	ARCILLA	ARCILLA FINA	ARCILLA DISPEK	LIMO FINO	GRAVAS	CARBONO ORG.	N TOTAL
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	0-33	A	33	12	55	25	27	11.0	N.P.	1.05	0.08
2	33-45	AB	35	10	55	35	32	8.5	N.P.	0.89	0.05
3	45-90	B1t	33	9	58	37	39	8.5	N.P.	0.40	0.03
4	90-153	B2t	33	9	58	37	39	7.0	N.P.	0.35	0.03
5	153-187	B01	35	9	56	33	5	7.0	N.P.	0.25	0.02
6	187-225	B02	36	8	56	33	5	7.0	N.P.	0.15	N.D.

N.P. = No Presenta; N.D. = No se determinó

ANALISIS FISICOS Y QUIMICOS DE LA FRACCION < 2 mm

ANALISIS FISICOS Y QUIMICOS DE LA FRACCION 2 mm

No.	pH		NH4OAc			CIC	SAT. BASES	Fe	DENSIDAD APARENTE	CONTENIDO DE AGUA				
	KCL	H2O	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺					Al	EXTR. (%)	33 kPa	1500 kPa	RETENCION H2O
	Cmo1 (+)/kg					pH7	SUMA	pH7	g/cm ³					
1	5.0	5.9	4.3	1.1	0.60	0.3	11.3	N.D.	53	3.6	1.32	29.0	21.2	0.10
2	4.8	5.2	3.0	1.0	0.55	0.4	9.0	N.D.	50	4.7	1.32	29.0	21.2	0.10
3	4.6	4.7	2.5	0.7	0.35	1.1	7.5	N.D.	47	5.8	1.25	32.0	25.0	0.09
4	4.6	4.6	1.2	0.5	0.35	2.3	7.3	N.D.	28	6.2	1.07	33.7	26.0	0.08
5	4.4	4.3	0.9	0.4	0.27	3.5	6.9	N.D.	23	7.1	1.11	33.1	26.3	0.08
6	4.4	4.3	0.6	0.3	0.25	5.7	6.9	N.D.	17	7.5	1.11	33.1	26.3	0.08

OBSERVACIONES

Se trata de un suelo muy intemperizado y evolucionado, que muestra una intergradación genética entre un Acrisol férrico y un Ferralsol róxico. Desde un punto de vista estricto, el hecho de que presente dentro de los primeros 150 cm de profundidad un horizonte argílico lo excluye de ser considerado como Ferralsol. Sin embargo, también es evidente la presencia de un horizonte ferráltico bien desarrollado, que subyace a B2t.

Como puede observarse en la tabla, los contenidos tan homogéneos de arcilla, la coloración y el incremento, menor de 20%, en la arcilla iluvial; le dan propiedades níticas, salvo que su relación arcilla dispersable: arcilla total es en todos los casos mayor a 0.10. Esto los excluye de ser considerados como Nitosoles.

Por otra parte, el hecho de presentar un horizonte argílico dominado por arcillas de baja capacidad de intercambio los acerca, taxónomicamente, con los Lixisoles, y con los Luvisoles, sin embargo debido a que presenta una saturación de bases menor a 50%, nuevamente, vuelve a excluirlos, taxonómicamente, de estas Unidades.

Finalmente, es con la Unidad de Acrisoles que presenta mayor afinidad, aunque nuevamente su posición resulta inaceptable por definición, ya que un Acrisol jamás muestra un horizonte ferrálico.

Se concluye que evidentemente hace falta establecer una unidad taxonómica apropiada, no sólo para este suelo sino, además, para un gran número de ellos que se proponen en la SubClase V.3, denominada en esta tesis como Ferralsoles intergradados.

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

J. UBICACION TAXONOMICA DE LOS SUELOS

- J.1.** La insuficiente investigación básica sobre los procesos formadores y tipogenéticos de los suelos del Trópico y Subtrópico Mexicano, es la razón principal que obstaculiza el establecimiento de una Clasificación Taxonómica Natural. Este obstáculo es independiente de la problemática relativa a la información generada sobre los suelos, ya que aunque esta información es relativamente amplia, y se dispone de infraestructura para incrementarla, la heterogeneidad en sus diversas formas de expresión dificultan, severamente, su uso.
- J.2.** Consecuentemente, se requiere, además, de incrementar la investigación básica de este recurso, de establecer un lenguaje científico común que unifique criterios entre los diferentes investigadores, así como crear un organismo académico que tenga como función correlacionar la información aportada por las diferentes escuelas de suelos, a nivel nacional.
- J.3.** De las dos conclusiones anteriores es posible derivar una tercera: la generación de datos e información sobre los suelos del Trópico y Subtrópico Mexicano, aunque, es extensa, está en su mayoría desvinculada a una investigación básica, sistemática y ordenada. En la mayoría de los casos, esta información sólo se presenta como un resultado, pero carece de interpretación.
- J.4.** Históricamente, estas deficiencias no han sido particulares para México, si no que han sido comunes para todos aquellos países donde la Ciencia del Suelo; es una ciencia joven. Probablemente, la mejor solución que se ha dado a este problema, consiste en la creación de instituciones de investigación especializadas, cada una, en los diferentes Ordenes o Clases de suelos presentes. Esto implica que la especialización de las investigaciones sobre cada uno de los Ordenes o Clases de suelos presentes en el área de estudio, es un prerrequisito, a la etapa de dar soluciones.
- J.5.** El hecho de que el área de estudio, está constituida por cinco Clases taxonómicas de suelos, le da viabilidad a esta propuesta. Aunque es muy importante, para el caso de México, evitar el agrupamiento de suelos de acuerdo con conceptos estereotipados de zonalidad ecológica o genética, adecuados para países con grandes zonas ecológicamente muy estables. En México, es necesario agrupar a los suelos, en sus respectivas Clases, de acuerdo a sus propiedades, y no según lo dictado por sistemas de Clasificación ajenos a la realidad ecológica, económica y social, que prevalece.
- J.6.** La Clase I, Suelos Minerales poco Evolucionados, agrupa a tres SubClases, ocho Grupos y 47 SubGrupos de suelos, caracterizados por un desarrollo

débil o nulo de horizontes pedogenéticos. En esta Clase se incluyen varias Unidades de Inceptisoles y de Entisoles propuestos por Soil Taxonomy (1990), así como a los Grupos de Regosoles, Fluvisoles, Solonchacks, Gleysoles, Arenosoles y Antroposoles definidos por FAO-UNESCO (1989).

- J.7.** Aunque los conceptos establecidos por Soil Taxonomy (1990) o por FAO-UNESCO (1988) llegan a presentar analogías, y en algunos casos similitudes con las características diagnósticas de los suelos de esta Clase, los aportes que proporcionan sobre su génesis, dinámica y uso, son pobres. Esto se debe a que ambas clasificaciones no consideran, en su diagnosis, las diferencias ecológicas y tipogenéticas, que existen, para los suelos de zonas templadas, con relación a los de zonas tropicales y subtropicales.
- J.8.** Dentro de esta Clase I, destacan por su dinámica, tan intensa, de formación, así como por el desconocimiento que se tiene sobre sus propiedades, aptitud de uso y rehabilitación, los suelos de origen antrópico o tecnogénico. Actualmente la dinámica de su formación, así como su frecuencia, son tan significativas, que Soil Taxonomy, ya ha propuesto varios SubOrdenes donde incluirlos.
- J.9.** Los suelos de la Clase II, denominados como Suelos Arcillosos Sialíticos Neutro-Alcalinos, está integrada por Unidades de los Ordenes Inceptisol, Mollisol, Vertisol, así como por algunos Alfisoles y Grupos calcáricos. Se incluyen los Grupos de suelos: Rendzinas, Cambisoles calcáricos y crómicos, algunos Feozems, Vertisoles, y Luvisoles entre otros. En esta Clase II, la frecuencia de fenómenos de intergradación, policiclismo, y rejuvenecimiento, son tan comunes, que la mayoría de los suelos que la integran, no se ajustan a las definiciones, tradicionales, dictadas por Soil Taxonomy (1990) o por FAO-UNESCO. En la realidad, para su estudio es necesario agruparlos en una Clase, y establecer sus intergradaciones.
- J.10.** Dentro del Subtrópico Mexicano, estos suelos llegan a ocupar, asociados, grandes áreas en el paisaje. Aparentemente los climas con periodos de sequía-humedad estacional que favorecen la dinámica de procesos como la calcificación, carbonatación, descarbonatación y argiloedafoturbación, también favorecen la formación de climax de asociación de estos suelos. El predominio de arcillas 2:1 es característico de la mayoría de los suelos que integran esta Clase.
- J.11.** La mayoría de los Grupos y SubGrupos de esta Clase son de importancia agrícola o prático debido a su fertilidad potencial que con frecuencia muestra una C.I.C.T. < 25 meq/100 g de suelo, y una relación $Tca/100 + Tca/arcilla > 1.30$. Sin embargo, la principal limitante para el uso agrícola son sus propiedades vérticas presentes en la mayoría de ellos, así como sus propiedades físicas y mecánicas relativas a la conductividad hidráulica, retención de humedad y humedad óptima para su laboreo. La limitante química más común en ellos es la retención de fósforo, y secundariamente los antagonismos entre los elementos Ca^{++} : Mg^{++} y $Ca^{++} + Mg^{++}/K^{+}$.

- J.12.** La calcificación y la producción de humatos de calcio, junto con la formación de arcillas 2:1 son los procesos diagnósticos en la SubClase II.1. En contraste, la descarbonatación por drenaje climático y, posteriormente, la acidificación caracterizan a la Subclase II.2. La argiloedafoturbaación provocada por la presencia de períodos concomitantes de sequía-humedad del suelo, es el proceso típico de los suelos de la Subclase II.4. **Todos estos procesos son reversibles a través del tiempo de evolución pedológica, lo que propicia, además, de intergradaciones complejas, entre las Unidades; fenómenos de policiclismo. En general la estabilidad tipogenética de estos suelos, está en función, directa, de la estabilidad de los factores medio ambientales presentes. Los suelos con propiedades vérticas son el principal ejemplo de intergradación, de estas Unidades, dentro de una sola Clase Taxonómica.**
- J.13.** La Clase III, tiene como carácter distintivo en los Grupos, los contenidos altos en materiales amorfos dentro de su complejo de alteración. Sus principales propiedades son los altos porcentajes de vidrio y/o su alta retención de fósforo. Morfológicamente, la mayoría de los suelos se caracteriza por presentar epipedones oscuros, porosidad alta, bajo contenidos de sólidos, baja densidad aparente, alta permeabilidad al agua y al aire, consistencia blanda, textura media o gruesa, tixotropismo y transición gradual o difusa entre los horizontes.
- J.14.** **Aparentemente, los Andisoles, según sus características morfogenéticas, son el resultado de procesos de transformación *in situ*, más que la consecuencia de una traslocación de los constituyentes del suelo, para formar horizontes iluviales. La estabilidad taxonómica de estos suelos para ser denominados como Andisoles, depende del índice de alteración, estabilidad del material parental, y grado de agresividad climática que se presenta.**
- J.15.** En el área de estudio la secuencia de alteración y tipogénesis de los Andisoles presentes, muestra el siguiente orden evolutivo: < Regosol tefrico; < Andisol vítrico; < Andisol eútrico; < Andisol dístrico; < Cambisol ándico; < Suelo argílico (Luvisol-Acrisol) y < Suelo con propiedades oxídicas.
- J.16.** En los Andisoles estudiados, el complejo de alteración está constituido por arcillas amorfas y, en menor cantidad, por arcillas cristalinas. Las propiedades físicas, químicas y físico químicas que muestran, indican la presencia de varios tipos de amorfos, además del alófono. Los amorfos más comunes que fueron identificados, además del alófono, son: (1) complejos de $Al^{3+} + Fe^{3+} +$ humus; (2) ópalo y fitolitos; (3) ferrihidrita e hidróxido de aluminio y (4) complejos de aluminio-humus.
- J.17.** Desde un punto de vista taxonómico, la variabilidad tan notable en la composición química de los Andisoles, limita su caracterización por medio de este concepto. Sin embargo, existen algunas propiedades fisicoquímicas que le son diagnósticas, siendo las principales: (1) pH delta, en función de sus cargas variables; (2) pHo, en función de la relación SiO_2/Al_2O_3 presente en los

amorfos; (3) PZCN, en función de las diferentes cargas en una mezcla de coloides; (4) retención de fosfatos, en función de la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$; (5) índice isoelectrico de intemperismo, en función de la relación $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ y (6) selectividad catiónica, en función de los contenidos de K_+ .

- J.18. Dentro de las características físicas y fisicoquímicas, estadísticamente, más diagnósticas para los Andisoles estudiados, están:** (a) densidad aparente $< 1 \text{ g/cm}^3$; (b) microestructura muy porosa: $> 50\%$; (c) estabilidad alta en los agregados; (d) relación retención de agua: arcilla a 1.5 MPa = > 0.6 ; (c) gran superficie específica y (f) presencia de carga variable.
- J.19. Taxonómicamente, esta Clase está constituida por tres Subclases, cinco Grupos y 34 Subgrupos.** La primera Subclase está constituida por suelos que muestran un carácter vítrico muy evidente y son, aún, bajos en sus contenidos de aluminio. La segunda Subclase muestra un carácter vítrico atenuado ($< 30\%$ de v.v.); un DRP siempre mayor de 10; una relación Tca $> \%$ arcilla, y una retención evidente de fósforo. La tercera Subclase se caracteriza por una retención de humedad muy alta, además de una C.I.C.T. y retención de fósforo muy significativas, que paulatinamente decrecen a medida que los suelos de esta Subclase intergradúan hacia suelos cámbicos, argílicos, ferruginosos, e incluso oxidicos.
- J.20. Los Andisoles típicos, dentro del área estudiada, ocupan un área limitada. Sin embargo, los suelos con propiedades ándicas se distribuyen en una superficie muy amplia, que probablemente constituyen más de la mitad del área total.** Con mucha frecuencia, resulta muy difícil establecer si se trata de un Andisol evolucionado e intergradado a otros Grupos taxonómicos, o si en realidad se trata de un suelo rejuvenecido, al que los aportes de cenizas volcánicas le han conferido propiedades ándicas muy evidentes.
- J.21. Los Andisoles presentes en el área de estudio, siempre muestran tres etapas, muy evidentes, de alteración. La primera etapa comprende básicamente, una alteración geoquímica y diagenética, dando valores del Índice de Intemperismo > 5.0 ; las relaciones $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ altas, del mismo modo que la saturación de bases. La segunda etapa se caracteriza por una alteración bioclimática e incorporación de materia orgánica. Esta etapa, normalmente, resulta más típica y frecuente en las zonas subtropicales. Al parecer, los compuestos húmicos formados en esta etapa, mantienen a los geles minerales en estado amorfo, impidiendo la neoformación de arcillas cristalinas y, la tercera etapa está representada por una evolución de los geles orgánicos y minerales. En estas condiciones, la acción inhibitoria de los compuestos húmicos tiende a desaparecer y vuelve a ser posible una neoformación, limitada, de arcilla, principalmente caolinita si el medio del suelo ha sido empobrecido en bases y sílice.**
- J.22. La Clase IV está constituida por dos Subclases, dos Supergrupos, 10 Grupos y 46 SubGrupos.** Los suelos que integran a esta Clase tienen una

distribución espacial muy amplia en el área de estudio. Se caracterizan, principalmente, por su riqueza en sesquióxidos.

- J.23.** Desde un punto de vista taxonómico, los suelos que integran a esta Clase son los que más problemas han presentado para su correcta ubicación y clasificación. Esta deficiencia se debe, en primer término, a las inconsistencias en las definiciones establecidas por cada uno de los sistemas de Clasificación, para diagnosticar el horizonte óxico.
- J.24.** La principal característica morfológica que los agrupa en esta Clase IV es el color conferido por la liberación de los sesquióxidos de hierro que, obviamente, varía de rojo-amarillo a pardo. Dado los contenidos de sesquióxidos que presentan, sus propiedades diagnósticas, más comunes, son ferrálicas y férricas, siendo su mineralogía representada por las clases: ferrítica, gibsítica, alica y oxidica, principalmente.
- J.25.** En estos suelos, la alteración intensa y profunda del perfil, los contenidos bajos de materia orgánica y la pérdida considerable de sílice son características, además de responsables, de una clara secuencia, intergradada, de las arcillas presentes en el complejo de alteración. Así en los suelos menos alterados, con mayor contenido de materia orgánica y menor pérdida de sílice, la montmorillonita-haloisita-ilita predominan, en tanto que en los suelos muy alterados y desilificados, la gibsita-caolinita son dominantes.
- J.26.** En general, varios Grupos de suelos llegan a presentar plintita, pero ninguno llega a presentar, según la definición de Soil Taxonomy, (1990) procesos de laterización, ni formación de horizonte B óxico. Sin embargo, para la Clasificación Francesa, así como para el Sistema FAO-UNESCO, existen en esta Clase varios suelos equivalentes a Oxisoles.
- J.27.** La tipogénesis de los Grupos que constituyen a la SubClase IV.1. está fundamentalmente controlada por el edafoclima que prevalece, por la edad y naturaleza del material parental, la geoforma, el drenaje, y por los organismos, cuya acción conjunta culmina con la formación de un horizonte Bw cámbico, rico en óxidos de hierro libre que dependiendo de los valores de pH y de Eh, pueden pasar, reversiblemente, de FeII a FeIII, particularmente en aquellas unidades que muestran seudogley.
- J.28.** La SubClase IV.2, está constituida, también, por suelos ricos en sesquióxidos, pero que ya muestran un horizonte argílico, rico en arcillas de baja capacidad de intercambio. Esta SubClase, agrupa a los Alfisoles y Ultisoles como una sola unidad, debido a que el criterio de separarlos con base en su porcentaje de saturación, no es un criterio adecuado para suelos que muestran una C.I.C.T. baja.
- J.29.** Esta diferencia sobre la saturación de bases, no es suficiente para establecer una diferencia taxonómica a nivel de Ordenes o de Clases, simplemente puede propiciar la creación de un nivel de menor rango

taxonómico, como fue en este caso, la propuesta del concepto Super-Grupo.

- J.30.** La Clase V representa a un conjunto de suelos altamente intemperizados, cuya fracción coloidal está constituida por arcillas de baja capacidad de intercambio y por sesquióxidos. Todos los suelos se caracterizan por presentar un horizonte B ferrálico, en ocasiones equivalentes a un B óxico.
- J.31.** Esta Clase V, está constituida por tres SubClases, 11 Grupos y 21 SubGrupos. La primer Subclase agrupa suelos ferralíticos, análogos a los Oxisoles Típicos, propuestos por Soil Taxonomy. La segunda SubClase, no diagnosticada en México, integra suelos con horizonte B óxico muy desarrollados. La tercer SubClase representa a los suelos que más frecuentemente se presentan, bajo las condiciones del Trópico cálido-húmedo de México. Se trata de suelos que intergradúan hacia Oxisoles.
- J.32.** La mayor confusión taxonómica entre los Grupos de esta Clase V, se presenta con los Grupos de suelos de la Subclase IV.2, debido a la estrecha intergradación que existe entre ellos. Sin embargo, existe, también, un medio eficiente para diferenciarlos, basta recordar que un Ferralsol puede presentar características lúxicas, e incluso un argílico, de modo similar a un Luvisol, Acrisol o Nitosol, pero ninguna de estas Unidades puede presentar un horizonte ferrálico.
- J.33.** La Clase V, desde un punto de vista práctico, carece de valor ya que la superficie que ocupan los suelos que la integran, resulta mínima con relación a los suelos de las otras cuatro Clases establecidas para el Trópico y Subtrópico Mexicano. Sin embargo, desde el punto de vista científico, es probablemente, la más interesante debido a la enorme complejidad de sus procesos pedogenéticos, así como debido, también, al gran desconocimiento que se tiene sobre ella.

CONCLUSIONES

- 1.- Las zonas tropicales y subtropicales de México ocupan aproximadamente, una área equivalente a una quinta parte del territorio nacional. Ambas zonas representan condiciones ambientales muy complejas, aún no bien conocidas, y diferentes a las que caracterizan al trópico ecuatorial.
- 2.- Si se acepta la validez de la conclusión anterior, por inferencia lógica, también se acepta que los suelos que conforman, respectivamente, estos ecosistemas también son diferentes, no obstante que, en muchos casos, se rijan por los mismo principios universales.
- 3.- Lo anterior justifica la necesidad de establecer una metodología propia para investigar, de modo particular al suelo en su contexto vegetación-agua-clima, antes de establecer extrapolaciones o de aceptar paquetes tecnológicos ajenos.
- 4.- Esta tesis, junto con las valiosas investigaciones que le anteceden o que están en desarrollo, sólo representa una primera aproximación sobre el conocimiento del trópico mexicano y de sus suelos.
- 5.- Existen muchas causas, algunas intercurrentes, que dificultan su estudio, y que con frecuencia limitan su correlación con el trópico ecuatorial, las más estudiadas son la complejidad y variedad de los fenómenos que se presentan debido a la juventud geológica del territorio. Sin embargo, la limitante principal que históricamente ha dificultado tal conocimiento, es la falta de una clasificación taxonómica adecuada y específica para los suelos de México.
- 6.- Así la mayoría de los suelos estudiados muestran intergradaciones, y un número significativo presenta fenómenos de policiclismo. El concepto de perfil típico, casi se invalida en los suelos de estas zonas, en consecuencia; una clasificación adecuada para ellos, es aquella que de prioridad a la génesis, a los factores que intervienen en ella, y a los productos resultantes de ella, antes que a los rasgos morfológicos que exhiben los suelos.
- 7.- Resulta obvio, que una clasificación de suelos que pretende ser útil no sólo a la Edafología Tropical sino, también a otras ciencias a fines, debe basarse tanto en los sistemas taxonómicos naturales como en sistemas interpretativos.
- 8.- La clasificación de suelos propuesta en este trabajo, se basa a nivel de clase, subclase y grupo, en los principios taxonómicos establecidos por los actuales sistemas de clasificación natural de suelos. En tanto que, con el propósito de ampliar su utilidad, las definiciones a nivel de subgrupos, propiedades diagnósticas y fases, fueron elaboradas según los sistemas interpretativos vigentes.
- 9.- Una contribución significativa que aporta, la clasificación propuesta es el tomar en consideración las etapas de transición entre los suelos (Integrados), así como aquellas propiedades edáficas que afectan su génesis o que resultan de ella.

BIBLIOGRAFIA

- AFES, Association Francaise pour l'Etude u Sol, 1990, Référentiel Pédologique principaux sols d' Europe. INRA, Paris., 220 p.
- Aguilera-Herrera, Nicolás, 1955, Estudio preliminar del contenido arcilloso de un perfil de Tepatiulán, Jal.: México, D. F., Revista Chapingo, 64, p. 1-4.
- Aguilera, H. N., 1955, Los suelos tropicales de México. *in*: Mesas Redondas, sobre problemas del Trópico Mexicano; Beltrán, E. (ed), Publ. Inst. Mex. Rec. Nat. Renov. 1. p. 3-24.
- Aguilera, H. N. y M. L. Jackson, 1956, Iron oxide removal from soils and clays: Soil Sci. Soc. Am. Proc., 17. p. 359-64.
- Aguilera H., N., 1959, Suelos. *In*: Los Recursos Naturales del Sureste y su Aprovechamiento, Beltrán, E. (ed): Publ. Inst. Mex. Rec. Nat. Renov. II (2): p. 177-212.
- Aguilera, H. N., 1989, Tratado de Edafología de México; Tomo I: México, D. F.; Univ. Nal. Autón. de México; Facultad de Ciencias, Laboratorio de Investigación de Edafología; 222 p.
- American Society for Testing and Materials, 1970, Procedures for testing soils: Filadelfia, eds. ASTM., 200 p.
- Anderson, J. M., Ingram, J. S., 1989, Tropical Soil Biology and Fertility: Exeter, UK; CAB, International, OXON; U.K., 171 p.
- Anon, J., 1984, *In*: Booker Tropical Soil Manual: England, (J.R. Landon, Ed), Longman, Harlow, p. 213-217.
- Aomine, S., y Wada, K., 1962, Differential weathering of volcanic ash and pumices resulting in formation of hydrated halloysite: American Mineralogist 47, pp. 1024-1048.
- Arenal del, C. R., 1971, Scientific Hydrology in México: (Summary): Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology. XVI, Année No. 3, 32 pp.
- Arenal del, C. R., 1974, Revisión y Evaluación de Estudios sobre el Potencial de Aguas Subterráneas de la Zona Noreste: Santo Domingo, República Dominicana; 31 pp.
- Arenal, del, C. R., 1976, Ground Water in the Western Hemisphere (Mexico): New York; Natural Resources/Water Series No. 4, pp. 27-44.

- Ardjjs Homero, 1991, Introducción, in: Porritt Jonathon; eds., Salvemos la Tierra: México, D. F., Aguilar, p. 10-13.**
- ASP, 1985, Photographic Interpretation Manual: Menasha, Wisconsin, American Society of Photogrammetry, The George Banta Publishing Company, 620 p.**
- Association of Official Agricultural Chemists, 1945, Official and Tentative Methods of Analysis: 6° ed., Washington, D. C., 120 p.**
- ASTM-USDA., 1986, Procedures for Testing Soils: Filadelfia, eds. (ASTM), 210 p.**
- ASTM-USDA, 1989, Introduction and Procedures for Testing Soils: Filadelfia, eds (ASTM) 225 p.**
- Aubert, G., 1949, Cah. ORSTOM, Les Sols: Sér. Pédologie, II (3), pp. 50-53.**
- Aubert, G., 1959, Influence de divers types de végétación sur les caracteres et L' evolution des sols en regiones ecuatoriales ainsi que leurs bordures tropicales semihumides; In: Tropical soils and vegetation. Procceding of the abdiyam symposium. México, D. F.**
- Aubert, G., 1960, Cah. ORSTOM, Les sols rubéfies: ser. Pédologie, IV (4), pp. 67-88.**
- Aubert, G., 1965, Soil Classification des Sols Utilisée par les Pedologues Francais; in: World Soil Resources Report 32, FAO: Roma., pp. 78-94.**
- Banco Mundial, FAO-PNUMA y UNESCO, 1991, El Bosque Tropical, in: Porritt Jonathon; eds., Salvemos la Tierra: México, D. F., Aguilar, p. 46.**
- Bascomb, C. L., 1968, Distribution of pyrophosphate extractable iron and organic carbon in soils of various groups: J. Soil Sci. 19; p. 251-268.**
- Baver, L. D., y Garder, W. H., 1980, Fisica de Suelos: México, D. F. UTEHA, 529 p.**
- Bergama, E. I., 1980, Aerial photo-interpretation for soil erosion and conservation surveys. part I, Soil erosion features: Enschede, Holanda, International Training Centre, 220 p.**
- Besoain, E., 1985, Mineralogía de Arcillas de Suelos: San José, Costa Rica; Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA/Serie de Libros y materiales educativos; No. 60, 1216 pp.**
- Bilzi, A. F., y Ciolkosz, E. J., 1977, A field morphology rating scale for evaluating pedological development: Soil Science, v. 124, pp. 45-49.**
- Birkeland, P. W., 1964, Soils and Geomorphology: Oxford University Press. 370 p.**
- Blake, G. R., y Hartge, K. H., 1982, in: Methods of soil Analysis: Part 1., (2°ed): American Society of Agronomy, 150 p.**

- Blume, H. P., 1989, Stauwasserböden: West Germany (BRD); Verlag Eugen Ulmer., pp. 105-115.
- Blázquez, L. L., 1958, La Isla Socorro: México, D. F., Monografías del Instituto de Geología; pp. 103-126.
- Blokhuis, W. A., 1993, Vertisols in the Central Clay Plain of The Sudan: Thesis Agric. Univ. Wageningen, The Netherlands. XV, 418 p.
- Boul, W. S., 1980, Morphological characteristics of Alfisols and Ultisols in: Soils with variable charge., (Ed.) B.K.G. Theng; Soil Bureau, Department of Scientific and Industrial Research, Lower Hutt, New Zealand, pp. 3-15.
- Bouma, J., 1981, Comment on Micro-Meso-Macroporosity of Soil: Soil Science Society of America: Journal 45, p. 1244-1245.
- Bouyoucos, G. J., 1955, Directions for making mechanical analysis of soils by the hydrometer method. Soil Sci. Am. Proc. 42: 225-230.
- Bowden, J. W., Posner, A. M., y Quirk, J. P., 1980, Adsorption and Charging Phenomena, in variable charge soils, in: Soils with variable charge; (Ed.) B.K.G., Theng; Soil Bureau, Department of Scientific and Industrial Research, Lower Hutt, New Zealand, pp. 147-164.
- Boyer, C., 1983, Produits minéraux amorphes: Cah ORSTON, Bondy; pág. 105-125.
- Brady, N. C., 1985, The Nature and Properties of Soils: New York., 7 th, ed., Macmillan, Inc., 600 pp.
- Brady, N. C., 1990, The Nature and Properties of Soils, 8 Th Edition: New York, Macmillan Publishing, CO., 639 pp.
- Briones, A. A., 1982, Characteristics and fertilization of Andepts in the Philippines: Tropical Agriculture Research Series; Tropical Agriculture Research Center, Tsukuba, Japón, No. 15; pp. 251-264.
- Brinkman, R., 1973, Recognition and prediction of acid sulphate soil conditions: Acid Sulphate Soils: International Land Reclamation Institute, Publication 18, in: H. Dost (Ed), Wageningen, the Netherlands, pp. 169-203.
- Bronger, A., and J. Catt, 1989, Paleosols: Problems of Definition, Recognition and Interpretation. In:
- Buckman, O. H., y Brady, C. N., 1985, Naturaleza y Propiedades de los Suelos: México, D. F., ed., UTEHA, 590 pp.
- Buol, W. S., Hole, D. F., y McCracken, J. R., 1970, Soil Genesis and Classification: (ed). The Iowa State University Press, Ames Iowa, E. U. A., 398 pp.

- Buol, S. W., Hole, F. D., y McCracken, R. J., 1981, *Génesis y Clasificación de Suelos: México*, D. F., Editorial Trillas, 417 p.
- Boul, S. W., y Yesilsoy, M. S., 1984, A genesis study of a Mohave sandy loam profile: *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 28, p. 254-256.
- Cárdenas, C. C., 1979, *Estudios Edafológicos en la Zona Cafetalera de Tlapacoyan, Estado de Veracruz*: Univ. Nal. Autón. de México; Fac. de Ciencias; Tesis de Maestría, 66 pp.
- Carrol, P. H., 1969, Soil-dwelling termites in the South west region of the Ivory Coast: *Soil Survey Horizons*, 10, pp. 3-16.
- Cuanalo de la C., H., 1964, *Los Suelos de la Zona Tropical Húmeda de México: Seminario de Semestre de Primavera*. Colegio de Post-Graduados. ENA, 21 p.
- Cuanalo de la C., H. E., y Aguilera-Herrera, N., 1970, *Los Grandes Grupos de Suelos en la Región de Tuxtepec, Oax.*: México, D. F., Comisión de Estudios sobre la Ecología de Dioscoreas, UNIF., S.A.G., 62 p.
- Chiang-Cabrera, F., 1967, *La Vegetación de Villahermosa, Estado de Tabasco*. In: *Comisión de Estudios sobre la Ecología de Dioscóreas, Inst. Nal. de Invest. Forest.*: México, D. F., V. Informe; p. 88-105.
- De Cserna, Z., 1960, Orogenesis in time and space in Mexico: *Rev. Geol. Rundschau* 50; pp. 585-605.
- De las Salas, G., 1987, *Suelos y ecosistemas forestales: San José, Costa Rica.*, Inst. Interamerc. de Coop. para la Agric., IICA., No. 80, XVIII., 450 p.
- Delvaux, B., Dufey, J. E., Vielvoye, L., y Herbillon, A. J., 1989, Potassium exchange behavior in a weathering sequence of volcanic ash soils: *Soil Sci. Soc. Mer. J.* 53., pp. 1679-1684.
- DETENAL, 1978, *Síntesis Cartográfica. I Mapas Temáticos: México*, D. F., Dirección de Estudios del Territorio Nacional, Mapas, escala 1:2 000 000.
- Diego, P. N. 1970, *La Vegetación Tropical: México*, D. F., Seminario, UNAM; Facultad de Ciencias (no editado).
- D'Horre, J. L., 1955, Proposed classification of the accumulation zones of free sesquioxides in a genetic basis: *Revist. African Soils*; (3)., pp. 2-16.
- Dubos, René, 1991, *El Despertar de las Conciencias*, in: *Porritt Jonathon*; eds., *Salvemos la Tierra: México*, D. F., Aguilar, p. 15-17.
- Duchaufour, P. 1980, *Atlas Ecológico de los Suelos: París*, Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Toray Masson, 476.

- Duchaufour, P., 1984, *Edafología. I Edafología y Clasificación*: París Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Toray Masson, 493 p.
- Dural R., 1965, *Dark clay soils of tropical and subtropical regions*: FAO, Agric. Development Paper 83. Roma, 161 p.
- Duelman, W. E., 1965, *A biogeographic account of the herpeto-fauna of Michoacán, México*: Univer. Kansas Publ. Mus-Nat. Hist. 15., pp. 627-709.
- Elton, Charles, 1979, *Animal Ecology*: New York; 8a. ed., Macmillan Company., 525 pp.
- El-Swaify, S. A., 1980, *Physical and Mechanical Properties of Oxisols*, in: *Soils with variable charge.*, (Ed.)B.K.G., Theng., Soil Bureau, Department of Scientific and Industrial Research, Lower Hutt., pp. 303-322.
- Eswaran, H., y Tavernier, R., 1980, *Classification and Genesis of Oxisol*, in: *Soils with variable charge*; (Ed) B.K.G., Theng., Soil Bureau, Department of Scientific and Industrial Research, Lower Hutt, pp. 427-443.
- Fanning, D. S., y Fanning, M. C. B., 1989, *Soil Morphology, Genesis and Classification*: John Wiley and Sons., 395 pp.
- FAO, 1978, *Informe Alimentario Mundial*: Roma; Dirección de Publicaciones de la FAO, Trevor Boundfoud y Creative Data Limited, Londres, U. K., 64 pp.
- FAO, 1981, *Report on the Agroecological Zones Project, vol. 3: Methodology and results for South and Central America*, World Soils Resources, Report 48/3, Food and Agriculture Organization of The United Nations, Roma., 150 pp.
- FAO-PNUMA, 1980, *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*: Roma, Food and Agriculture Organization of the United Nations, y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 86 p.
- FAO, FAO-UNESCO, 1988, *Soil Map of The World. Revised Legend*: Roma; World Soil Resources, Report 60, Food and Agriculture Organization of The United Nations., 130 pp.
- FAO-UNESCO, 1985, *Proteger y Producir. Conservación del suelo para el desarrollo*: Roma, Food and Agriculture Organization of The United Nations, y United National Educational, Scientific and Cultural Organization, 40 p.
- FAO-UNESCO, 1990, *Soil map of the world, revised legend*: Roma, Food and Agriculture Organization of The United Nations, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, e International Soil Reference and Information Centre, World Soil Resources Report 60, 119 p.
- FAO-UNESCO, 1994, *Soil Map of the World. Revised Legend: World Soil Resources Report 60*, FAO, Roma., 190 p.

- Fassbender, H. W., 1987, Bases Edafológicas en los Sistemas de Producción Agroforestales: Turrialba, 31., CATIE, Materiales de Enseñanza 21., 185 pp.
- Fassbender, W. H., y Bornemisza, H., 1987, Química de Suelos con énfasis en suelos de América latina: San José, Costa Rica; Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) XIV., 420 pp.
- Fassbender, H. W., 1988, Química de Suelos: Turrialba, Costa Rica. Inst. Interam. Ciencias Agrícolas de la O.E.A., 398 p.
- Fitzpatrick, R. W., y LeRoux, J., 1977, Mineralogy and Chemistry of a Transvaal Black Clay Toposequence: Jour Soil Sci. 28., p. 165-179.
- Flach, K. W., Holzhey, C. S., De Coninck, F., y Bartlett, R. J., 1980, Genesis y Classification of Andepts and Spodosols, in: Soils with variable charge; (Ed.) B.K.G., Theng., Soil Bureau, Department of Scientific and Industrial Research, Lower Hutt, pp. 411-425.
- Flores-Román, D., Alcalá-Martínez, J. R., González-Velázquez, A., y Gama-Castro, J. E., 1992, Suelos con Fragipán de origen volcánico en clima semicálido y subhúmedo- El caso del Noroeste del Estado de Morelos, México: México, D. F., Univ. Nac. Autón. de México, Instituto de Geología, Revista, vol. 10, No. 2., pp. 151-163.
- Flores-Román, D., Alcalá-Martínez, J. R., González-Velázquez, A., y Gama-Castro, J. E., 1994, (en revisión), Duripans in semiwarm and temperated subhumid climate in the Transmexican Volcanic Belt. - The case of the north of the state of Morelos, Mexico: México, D. F., Univ. Nac. Autón. de México, Instituto de Geología.
- Föelster, H., De las Salas, G., Khanna, P., 1987, A tropical evergreen forest site with perched water Table. Magdalena Valley, Colombia. Biomass and Bioelement in ventroy of primary and secondary vegetation: Geología Plantarum 11 (4): pp. 297-320.
- Fox, R. L., 1980, Soils with Variable Charge: Agronomic and Fertility Aspects, in: Soils with variable charge; (Ed.) B.K.G., Theng; Soil Bureau, Department of Scientific and Industrial Research, Lower Hutt, pp. 195-220.
- Gama, C. J. E., Guajardo, V. R., y Villegas, S. M., (Revisión). Estudio de Suelos en San Juan Evangelista y Playa Vicente, Ver.: México, D. F., Inst. de Geol. UNAM. Revista de Edafología Mexicana.
- Gama, C. J. E., y Allende, L. R., 1979, Levantamiento de Suelos en Pijijiapan, Edo. de Chiapas: México, D. F., Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Depto. de Agrología: I. Informe Técnico (11). p. 120-230.
- Gama-Castro, J. E., y Quiñones Garza, H., 1983, Organismo y Suelos; Ciclo de Conferencias IV: Edafología: México, D. F., INEGI; (no editado)

- Gama-Castro, J. E., 1985, Taxonomía de suelos: Univ. Nal. Autón. de México, Fac. de Ciencias; Tesis de Licenciatura; 185 pp.
- Gama, C. J. E., Palacios, M. S., y Villegas, S. M., 1990, Evaluación de la Hidroerosión en la Provincia de la Sierra Madre del Sur-Sistema Terrestre Tepetzingo, Edo. de Morelos: México, D. F., UNAM., Inst. de Geología., Revista 2. Contribuciones a la Edafología Mexicana., pp. 55-91.
- Gama-Castro, J. E., Vallejo-Gómez, E., Palacios-Mayorga, S., y Shimada-Miyasaka, K., 1992, Degradación de los Suelos (mapa de la República Mexicana): Univ. Nal. Autón. de México, Instituto de Geografía, Atlas Nacional de México, hoja Visión Sinóptica de la Problemática de los Suelos, No. V. V.2.7., escala 1:4 000 000.
- Gama-Castro, J. E., Vallejo-Gómez, E., Palacios-Mayorga, S., y Shimada-Miyasaka, K., 1992, Regiones de suelos y zonas climáticas (mapa de la República Mexicana): Univ. Nal. Autón. de México, Instituto de Geografía, Atlas Nacional de México, hoja Visión Sinóptica de la Problemática de los Suelos, escala 1:8 000 000.
- Gama, C. J. E., Vallejo, G. E., Palacios, M. S., Shimada, M. K., 1992, Visión Sinóptica de la Problemática de los Suelos, Atlas Nacional de México. Sección del Medio Ambiente. Tomo II. Clave V. 2.7., Inst. de Geografía, UNAM.
- García-Calderon, N., Alexandre, T., Pinilla, A., y Aguilera, N., 1986, Mineralogía de Andosoles de la Zona Cafetalera de Veracruz (México): Madrid; Anales de Edafología y Agrobiología; Tomo XLV. No. 1-2; pp. 103-118.
- García-Calderon, N., Pinilla, A., Alexandre, T., y Aguilera, H., 1986, Relación entre la fertilidad natural y la mineralogía de algunos suelos sobre materiales volcánicos: Madrid, Anales de Edafología y Agrobiología, pp. 1567-1578.
- García-Calderon, N., Velasco, F., y Aguilera, N., 1989, Evolución regresiva de diversos parámetros edáficos en agroecosistemas (cafetales, cañaverales) derivados del bosque mesófilo de montaña (México): Madrid, Anales de Edafología y Agrobiología, Tomo XLVIII; No. 5-12., pp. 591-603.
- García, E., y Mosiño, A., 1968, Los climas de Baja California. In: Comité Nacional Mexicano para el Decenio Hidrológico Internacional: México, D. F., Memoria 1966-1977, p. 120-160.
- García Enríqueta, 1965, Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana): México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, 246 p.
- Gaucher, G., 1965, Comportement et activité de récolte de Macrotermes: Bull-Séanc. Acad. Sci. Outre-Mer. 35, pp. 301-322.
- Gaucher, G., 1971, Tratado de Pedología Agrícola. El suelo y sus características agronómicas: Barcelona, Ed. Omega, 647 pp.

- Gentry, H. S., 1946, Sierra Tacuichamona-a-Sinaloa plant locale: Bull. Torr. Bot. Club., 73, pp. 356-362.
- Gerassimov, I. P., y Glazouskaya, M. A., 1974, Fundamentals of soil science and soil geography (Traducción Ruso-Inglés). Reedición; Israel prog. for Sci. Trans., Jerusalem, 395 pp.
- Ghilleen France, 1991, La riqueza de especies, in: Porritt Jonathon; eds., Salvemos la Tierra: México, D. F. Aguilar, p. 74-79.
- Gibbs, H. J. y Bara, J. B., 1966, Stability problems of collapsing soils: California; (ed) California University, Berkeley., 156 pp.
- Gilman, G. P., y Fox, R. L., 1980, Increases in the cation exchange capacity of variable charge soils following superphosphate applications: Soil Sci. Soc. Amer. J. 44., pp. 934-938.
- Goh, K. M., 1980, Dynamics and Stability of Organic Matter, in: Soils with variable charge., (Ed.) B.K.G. Theng., Soil Bureau, Department of Scientific and Industrial Research, Lower Hutt, pp. 373-390.
- Gómez P., A., L., Hernández; y Sousa, M., 1965, Estudio Fitoecológico de la Cuenca Intermedia del Río Papaloapan: México, D. F., Publ. Esp. Inst. Nal. Inv. For., 3, p. 37-90.
- Gómez-Pompa, A., 1980, Anteproyecto para el Estudio Ecológico en los Agroecosistemas Cafetaleros: Xalapa, Veracruz, Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos; (Documento Interno); 15 p.
- Gómez-Pompa, A., Hernández, L. P., y Sousa, M., 1964, Estudio Fitoecológico de la Cuenca Intermedia del Río Papaloapan: México, D. F., Inst. Nac. Invest. Forest. Publ. Esp. 3., p. 37-90.
- Gómez Pompa, A., Vázquez, S. J., y Sarukhán, K. J., 1964, Estudios ecológicos de las zonas tropicales cálido-húmedas: Inst. Nac. Invest. Forest. Publ. 5., S.A.G., p. 1-36.
- Gong Zi-Tong., 1986, Origin, evolution and classification of paddy soils in China: Advances in Soil Science, Vol. 5., p. 179-200.
- Herbillon, A. J., 1980, Mineralogy of Oxisols and Oxidic Materials, In: Soils with variable charge; (Ed.) B.K.G., Theng Soil Bureau, Department of Scientific and Industrial Research, Lower Hutt. pp. 109-123.
- Hernández-Silva, G., 1983, Método paramétrico para evaluar la aptitud de las tierras; un caso: la caña de azúcar: México, D. F., Univ. Nac. Autóm. de México; Fac. de Ciencias. Tesis Doctoral; 180 pp.

- Hernández-Silva, G., Flores-Delgadillo, L., Solorio, J. G., Sommer-Cervantes, I., y Aranda-Gómez, J., 1990, Estudio Pedogenético de los Suelos en Función de algunas Unidades Litoestratigráficas de la Sierra de Guanajuato: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Contribuciones a la Edafología Mexicana; pp. 25-48.
- Hernández, X. E., 1959, La agricultura., in: Los recursos naturales del sureste y su aprovechamiento: México, D. F. (ed) Publ. Inst. Mex. Rec. Nat. Renov. 2 (3)-3, 57 p.
- Hernández, X. E., y Miranda Faustino, 1963, Los tipos de vegetación de México y sus clasificaciones: México, D. F., Sobreiro del Boletín de la Soc. Bot. de México, Vol. 28, p. 35-36.
- Herrera, T., 1970, La Vegetación de México: México, D. F., Seminario; UNAM, Facultad de Ciencias (no editado)
- Hetier, J. M., 1973, Andosols: Sci. du Sol 2, París; pp. 51-82.
- Hetier, J. M., 1975, Formation et évolution des Andosols en climat tempèrè. Tesis Doc., Univ. Nancy I; 258 pp.
- Hole, F. D., 1961, A Clasification of Pedoturbations and some other Processes and Factors of Soil Formation in relative to Isotropism and Anisotropism: Soil Scienc 91, pp. 375-377.
- Hole, F. D., 1967, An ancient young soil: Soil Survey Horizons, 8. pp. 16-19.
- Holtz, W. G., 1959, Expansive clays-properties and problems: Quarterly of the Colorado School of Mines, Vol. 54., No. 4; pp. 175-225.
- Hutchinson, G. E., 1976, The Biosphere: Scient. Amer. Nat. Aced., 223 (3)., pp. 44-53.
- Instituto de Geología, 1992, Carta Geológica de la República Mexicana. México, D. F., Univ. Nal. Autón. de México. Inst. de Geología.
- Instituto de Geología, 1992, Provincias Geológicas de México in: Ortega-Gutiérrez y colaboradores, Texto Explicativo de la Quinta edición de la Carta Geológica de la República Mexicana, Escala 1:8 000 000; Univ. Nal. Autón de México- Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal., Instituto de Geología - Consejo de Recursos Minerales. (mapa de Provincias).
- Instituto Smithsonian, 1993, La Agricultura Itinerante en Chamiceraz: in: Le Recherche: versión en castellano; No. 151; Barcelona; pp. 101-120.
- Internarnational Society of Soil Science; ISRIC; and FAO., 1994, World Reference Base for Soil Resources, Draft: Wageningen/Roma., Compiled and edited by O. C. Spaargaren; 161 p.

- Isabell, R. F., 1980, Genesis and Classification of Low Activity Clay Alfisols and Ultisols, in: Soils with variable charge., (Ed.) B.K.G. Theng; Soil Bureau, Department of Scientific and Industrial Research, Lower Hutt, pp. 397-408.
- Jackson, M. L., 1956, Soil chemical analysis-advanced course. (Publicado por el autor): Dept. of Soils, Univ. Wis. Madison, 250 p.
- Jackson, M. L., 1958, Soil chemical analysis: N. J., Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 220 p.
- Jackson, M. L., 1965, Soil clay mineralogical analysis, in: C. I. Rich y G. W. Kunze. (edit.) Soil clay mineralogy. Univ. N. C., Press, Chapel Hill., pp. 245-294.
- Jackson, M. L., y Keller, W. B., 1970, A comparative study of the roll of Lichens and inorganic processes in the chemical weathering of recent Hawaiian lava flows: Amer. Jour Sci. 269, p. 259-263.
- Jenny, H., 1949, Factors of Soil Formation (Red): New York., Mc Graw-Hill., 320 pp.
- Jenny, H., 1980, Factors of soil formation (new ed): New York, McGraw-Hill., 345 p.
- Jenny, H., 1980, The Soil Resource. Origen and Behavior: New York; Springer-Verlag. 350 pp.
- Juárez-Badillo, E., Rico, A. R., 1963, Mecánica de Suelos, (Tomo I): México, D. F., Ed. Rabasa, S. A., 275 pp.
- Juo, A.S.R., 1980, Mineralogical Characteristics of Alfisols and Ultisols in: Soils with variable charge; (Ed.) B.K.G., Theng; Soil Bureau, Department of Scientific and Industrial Reserach, Lower Hutt. pp.69-84.
- Kanno, I., 1961, Genesis and Classification of The Main Genetic Soil Types in Japan: Bulletin Kyushu Agricultural Experimental Station, 7; pp. 1-185.
- Kassiff, G., Livneh, M., y Wiseman, G., 1969, Pavements on expansive clays: Israel., Jerusalem Acaemic Press; 45 pp.
- Khalifa E. M., and Buol, S. W., 1968, Studies of Clay Skins in a Cecil Soil: 1. Composition and Genesis: Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Vol. 32, p. 857-861.
- Kilmer, J., 1949, Eliminación de Materia Orgánica in: Investigación de Suelos: México, D. F., Edit. Trillas, 90 p.
- Kilmer, V. J., 1960, The estimation of free iron oxides in soils: Soil Sci.Soc. Am. Proc. 24: p. 420-21.
- Kinter, Earl, B., y Diamond Sidney, 1958, Gravimetric determination of monolayer-glycerol

complexes of clay minerals: Proc. 5th Natl. Conf. in Clays and Clays Minerals Natl. Acad. Sci. Natl. Res. Council Publ. 556, p. 318-333.

- Kittrick, J. A., 1969, Soil Minerals in the $Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O$ System, and a Theory of Their Formation: Clay and Clay Minerals 17., pp. 157-167.
- Kittrick, J. A., 1971, Montmorillonite equilibria and the weathering environment: Proc. Soil Sci. Soc. Am. 35, p. 815-823.
- Koepf, E., 1953, Soil Organic matter: in: Volkoff, B., 1981, Humus em solos ferraliquos da nordeste do Br zil, (ed) ORSTOM, serie P dologic 12 (3), pp. 263-270.
- Köppen, W., 1948, Climatolog a: (Versión directa de Grundriss der Klimatologie (1923) 1931 por Hendrich Pérez) Fondo de Cultura Econ mica. México-Buenos Aires, pp. 125.
- Kosse, A., 1990, Diagnostic horizons in Anthrosols, In: Moscow, Soil Classification. Reports on the International Conference on Soil classification, 12-16 September, 1988, Alma Ata, USSR., p. 264-273.
- Krauskopf, K. B., 1979, Introduction to Geochemistry: Tokio, McGraw-Hill, Kogakusha; 617 pp.
- Lal, R., 1980, Physical and Mechanical Characteristics of Alfisols and Ultisols, with Particular Reference to Soils in the Tropics, in: Soils with variable charge; (Ed.) B.K.G., Theng; Soil Bureau, Department of Scientific and Industrial Research, Lower Hutt; pp. 253-274.
- Lal, R., 1986, Effects of eight tillage treatments on a Tropical Alfisol: Maize growth and yield: J. Sci. Food. Agric. 37 (11) pp. 1073-1082.
- Laudelout, H., 1960, Dynamics of tropical soils in relation to their fallowing techniques: R ma. FAO., p. 111.
- Leamy, M. L., Smith, G. D., Colmet-Daage, F., y Otowa, M., 1980, The Morphological Characteristics of Andisols in: Soils with variable charge., (Ed.) B. K. G. Theng; Soil Bureau, Department of Scientific and Industrial Research, Lower Hutt, New Zealand., pp.17-28.
- Lelong, F., Souchier, 1972, in: Alteration des roches cristallines en milieu superficiel: INRA. Sci. du Sol. 2 y 3., p. 267-279.
- León, A. B., 1984, Nueva Edafología: México, D. F., Grupo Editorial Gaceta, S. A., 340 p.
- Leopold, A. S., 1950, Vegetation Zones of Mexico: Ecology, 31., pp. 507-518.
- Little, A. L., 1989, The engineering classification of residual tropical soils: Proc. Spec. Session on Eng. Props. Lateritic Soils: México, D. F., 7th, Int. Conf. Soil Mech., Found. Eng., p. 1-10.

- López-Ramos, E., 1945, Estratigrafía y Paleontología de Tabasco y Norte de Chiapas; ESIA; Inst. Politec. Nal., 45 pp.
- Lovelock James, 1991, Hoy Todos Somos Administradores, in: Porritt Jonathon; eds., Salvemos la Tierra: México, D. F., Aguilar, p. 19.
- Loyer, J. Y., 1991, Classifications des sols salés, Ises sols salic: Cah. ORSTOM, sr. Pédol. Vol. XXVI, No. 1, p. 51-61.
- Lugo-Hubp, José, y Aceves-Quesada, J. F., 1990, Amplitud del relieve (Mapa de la República Mexicana): Univ. Nal. Autón. de México, Instituto de Geografía, Atlas Nacional de México, hoja Morfometría 2, núm. IV.3.2. escala 1:8 000 000.
- Lundell, C. L., 1934, Preliminary sketch of the phytogeography of the Yucatan Peninsula: Washington, D. C., Carn. Inst. Wash. Publ. 436., pp. 255-321.
- Macias-Villada, M., 1962, Carta de Suelos de México: México, D.F., Publicado en la Geografía General de México, por Tamayo, L. J., Instituto de Investigaciones Económicas.
- Malpica, C. V. M., Solleiro, R. E., Padilla, G. A., Pedrin, A. S. y Aceves, F. Q., 1991, Erosión-depositación como causa posible de destrucción marina en Punta Maldonado, Edo. de Guerrero: Pachuca, Edo. de Hidalgo., Conv. Evol. Geol. de México; Primer Congreso Mexicano de Mineralogía: 92-94 p.
- Maples-Vermeersch, Mireya, 1992, Número de meses al año con capacidad de campo (mapa de la República Mexicana): Univ. Nal. Autón de México, Instituto de Geografía, Atlas Nacional de México, hoja Regímenes de Humedad del Suelo, Núm. IV.6.2., escala 1:4 000'000.
- Margalef, R., 1980, Ecología: Barcelona, Editorial Planeta; (1a-ed.), 252 pp.
- Martín del Campo, R., 1970, Los Recursos Naturales de México: Seminario de Semestre, (Conferencia); Inst. Mex. Rec. Nat. Renov. (Inédito).
- Mattson, S., 1932, The laws of soil colloidal behavior: amphoteric reactions and isoelectric weathering: Soil Science, 34., pp. 209-240.
- McKenzie, R. C., 1957, The differential thermal investigation of clays: Londres; (ed) Mineralogical Society, 80 p.
- Mehra, O. P., y M. L. Jackson, 1960, Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate, in: Clays and clay minerals, Nomograph 5, Earth Science Series, p. 317-327.
- Miranda, F., 1942, Estudios sobre la vegetación de México. II. Observaciones preliminares sobre la vegetación de la región de Tapachula, Chiapas: México, D. F., An. Inst. Biol. Mex., 13 pp. 53-70.

- Miranda, F., 1947, Estudios sobre la vegetación de México. Rasgos de la vegetación en la Cuenca del Río de las Balsas: México, D. F., Rev. Soc. Mex. Hist. Nat. Tomo VII, No. 1; 4 pp. 95-114.
- Miranda, F., 1947, Estudios sobre la vegetación de México. I. La vegetación de los cerros al sur de la Meseta de Anáhuac- el cuajotal. An. Inst. Biol. Mex 12., pp. 569-614.
- Miranda, F., 1952, La Vegetación de Chiapas: Chiapas, México, Ediciones del Gobierno del Estado. Tuxtla Gutiérrez., 2 Vols. (No numerados).
- Miranda, F., 1958, Estudios acerca de la vegetación; in: Los Recursos Naturales del Sureste, y su Aprovechamiento: Edic. Inst. Mex. Rec. Nat. Renov., México, D. F., Vol. 2., pp. 215-271.
- Miranda, F., 1959, Vegetación. In: La isla Socorro: México, D. F., Monografía, Inst. Geof., UNAM., p. 127-152.
- Miranda, F., 1961, Tres estudios botánicos de la Selva Lacandona, Chiapas: México, D. F., Bol. Soc. Bot. Mex. 26, pp. 133-176.
- Miranda, F., 1963, Two plants from the amber of the Simojovel, Chiapas, México, área: Journ. Paleont. 37: pp. 611-614.
- Miranda, F. y Hernández, X. E., 1963, Fisiografía y Vegetación. in: Las zonas áridas del centro y noreste de México. Edic. Inst. Mex. Rec. Nat. Renov., México, D. F., pp. 1-27.
- Mohr, E. C. J., y Van Baren, F. A., 1954, Tropical soils: A critical study of soil genesis as related to climate, rock, and vegetation: New York., The Royal Tropical Inst., Amsterdam. Interscience. pp. 10-15.
- Moniz, A. C., y Buol, S. W., 1982, Formation of an Oxisol-Ultisol Transition in Sao Paulo, Brazil: I. Double-water flow model of soil development: Soil Sci. Soc. Amer. J. 46., pp. 1228-1233.
- Morán-Zenteno, D., 1994, Geology of the Mexican Republic: American Association of Petroleum Geologists; AAPG Studies in Geology # 39; Traducido por James Lec Wilson y Luis Sánchez-Barreda; 160 pp.
- MORC, 1990, Munsell soil color chart: Baltimore, Maryland, Macheth Division of Kollmorgen Corporation, 28 p.
- Mosiño, P. A., 1964, Meteorología de las Zonas Tropicales: México, D. F., Colegio de Post-Graduados, E.N.A. Chapingo. (Apuntes mimeografiados).
- Myers Norman, 1991, La desaparición del bosque tropical, in: Porritt Jonathon; eds., Salvemos la Tierra: México, D. F., Aguilar, p. 46-54.

- Nelson, D. W., y Sommers, L. E., 1982, A rapid and accurate method for estimating organic carbon in soil: Indiana, Proceedings of the Indiana Academy of Science, 84, 456-462 p.
- Nielsen, G. A., Hole, F. D., 1964, Earthworms and the development of coprogenous A1 horizons in forest soils of Wisconsin: Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28, pp. 426-430.
- Nieuwolt, S., 1977, Tropical Climatology: An Introduction to the Climates of the Low Latitudes: London, John Wiley and Sons; Inc., 180 pp.
- Nieuwolt, S., 1977, Tropical Climatology: An Introduction to the Climates of the Low Latitudes: London, John Wiley and Sons; Inc., 180 pp.
- Nye, P. H., 1984, Organic matter and nutrient cycles under moist tropical forest: Plant and Soil 13 (4) 333-346 p.
- Odum, E. P., 1972, Environment, Power and Society: New York., John Wiley and Sons, Inc., Interscience; 331 pp.
- Odum, E. P., 1980, Ecología: el vínculo entre las ciencias naturales y las sociales. México. Compañía Editorial Continental, S. A., p. 395.
- Okigbo, B. N., LaL, R., 1979, Soil fertility maintenance and conservation for improved agroforestry systems in the lowland humid tropics, in: Mongi, H. OI, (ed), Soil research in agroforestry: proceedings of an expert consultation. ICRAF: Nairobi, p. 41-77.
- Ordoñez-Ezequiel, D., 1897, Rocas Eruptivas: México, D. F., Bol. Inst. Geol. México, No. 4-6; pp. 251-270.
- Ordoñez-Ezequiel, D., 1900, Un voyage a la "Sierra Madre del Sur": Mem. Soc. Cien. Ant. Alz. 14, pp. 162-173.
- ORSTOM, 1970, Classifications des soils: Grignon, Francia, Editions del'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, 110 p.
- ORSTOM, 1980, Classification des Sols Utiliséè par les Pedologues Francais, (Modificada de Aubert, 1968); In: World soil resources, report 32, FAO, Roma, 1980, pp. 78-94.
- Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar, L. M., Roldán-Quintana, J., Aranda-Gómez, J. J., Zenteno-Morán, D., Alanis-Alvarez, A. S., y Nieto-Samaniego, A. F., 1992, Texto Explicativo de la Quinta Edición de la Carta Geológica de la República Mexicana, Escala 1:2000,000 (Carta Geológica): Univ. Nal. Autón. de México - Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal; Instituto de Geología-Consejo de Recursos Minerales; 74 pp.
- Ortíz, M. R., 1957, Los Recursos Agrológicos de la República Mexicana: México, D. F., Ing. Hidr., XI:(1); p. 69-78.

- Ortíz-Pérez, M. A., 1979, Fotointerpretación Geomorfológica del Curso Bajo del Río Grande de Santiago Nayarit: Boletín del Instituto de Geografía, Univ. Nal. Autón de México, No. 9., pp. 65-92.
- Ortiz, V. B. 1955, Intervención, in: Mesas Redondas sobre Problemas del Trópico Mexicano: Beltrán, E. (ed): Publ. Inst. Mex. Rec. Nat. Renov. pp. 38-50.
- Osborne, J. F., 1984, Soil analysis as a guide in mature acid sulphate soils of the southern central plain of Thailand: Proceedings of the 5th ASEAN Soil Conference, Department of Land Development, Bangkok; C3.1-C3.5.
- Palacios-Mayorga, S., 1990, (Tesis Doctoral, en proceso), Micorrización Vesículo-Arbuscular, y respuesta a la inoculación en Edafocistemas de origen Volcánico con diferentes grados de Antropización: UNAM; Facultad de Ciencias; (Tesis Doctoral).
- Palacios-Mayorga, S., Shimada-Miyasaka, K., y Salinas-Chapa, Cora; 1987, Efecto de la inoculación de dos variedades de cebolla (*Allium cepa L.*) con cuatro hongos endomicorrízicos, en un suelo deficiente en fósforo; Rev. Latinoamericana de Microbiología. Vol. 29, No. 4, pp. 329-336.
- Palacios-Mayorga, S., y Ortega, G. M., 1985, Estudio sobre el crecimiento de *Azolla filiculoides*, en medio de cultivo, y en suelos de arrozal del Edo. de Morelos; México, bajo condiciones de invernadero: Rev. Latinoamericana de Microbiología, Vol. 27, No. 1, pp.61-69.
- Palmer, R. G., 1980, Determinación de la Permeabilidad, in: Investigación de Suelos: México, D. F., Edit. Trillas, 90 p.
- Papadakis, S., 1980, El Suelo. Referencia especial a los suelos de América Latina, Península Ibérica y ex colonias Ibéricas: Buenos Aires, Editorial Albatros; 346 pp.
- Pape, J. C., 1970, Plaggen soils in the Netherlands: Geoderma 4, p. 229-245.
- Paramanathan, S., y Eswaran, H., 1980, Morphological Properties of Oxisols in: Soils with variable charge; (Ed.) B.K.G. Theng; Soil Bureau, Department of Scientific and Industrial Research, Lower Hutt; New Zealand, pp. 35-43.
- Parfitt, R. L., 1972, Amorphous material in some Papua New Guinea Soils: Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36., pp. 683-686.
- Parfitt, R. L., 1980, Chemical Properties of Variable Charge Soils, in: Soils with variable charge; (Ed.) B.K.G., Theng; Soil Bureau, Department of Scientific and Industrial Reserach, Lower Hutt; pp. 167-188.
- Parfitt, R. L., Childs, C. W., y Eden, D. N., 1988, Ferrihydrite and Allophane in four Andepts from Hawaii and implications for their classification: Geoderma, 41, pp. 223-241.

- Pedro, G., 1964, Contribution à L'étude expérimentale de L'alteration géochimique des roches cristallines., Tesis Doc., Univ. Paris., 334 p.
- Peech, M., Alexander L. T., Dean, L. A., 1947, Methods of soil analysis for soil fertility investigations: U. S. Dept. Agr. C. 757: 25 p.
- Pérez J., L. A., y Sarukhán, K. J., 1970, La vegetación de la región de Pichucalco, Chis: Chiapas, México, Inst. Nal. Invest. Forest., Publ. Esp. 3. p. 13-48.
- Pimm, S. L., 1986, Community, Stability and Structure, in: Soulé, M. E., Conservation Biology: The Science of Scarcity and Diversity, Sinaver; pp. 309-329.
- Pons, L. J., y Zonneveld, I. S., 1965, Soil Classification: Inst. for Land Reclamation and Improvement, Pub. 13, pp. 128.
- President's Science Advisory Committee, 1967, Distribución de las Principales Regiones Climáticas en los Trópicos, in: Sánchez, P., Propiedades y Manejo de los Suelos en el Trópico: John Wiley and Sons; 620 pp.
- Puig, H., 1970, Etude phytogéographique de la Sierra de Tamaulipas (Mexique): México, Edo. de Tamaulipas., (ed). Bull. Soc. Hist. Nat., Toulouse 106., pp. 59-79.
- Puig, H., 1974, Phytogéographie et écologie de la Huasteca (NE du Mexique): Francia, Université Paul Sabatier., Toulouse, Tesis Doctoral., pp. 547-639.
- Quiñones-Garza, H., 1978, Los Suelos de la Península de Yucatán: (Conferencia) México, D. F.; DETENAL, Depto. de Educación Continua; documento de circulación interna, 17 pp.
- Quiñones, G. H., 1963, Apuntes de la Excursión de Pedología del Sureste de México, (dirigida por el Dr. Pierre Segalen). México, D. F., Colegio de Posgraduados, ENA. (no numerados).
- Quiñones, G. H., y Allende, L. R., 1974, Formation of the Lithified carapace of calcareous nature which covers most of the Yucatán Peninsula and its relation to the soils and geomorphology of the region: Trop. Agr. (Trinidad) 51:94-101.
- Rehm, S., 1975, Agricultural productivity in tropical countries with high rainfall: Plant Research and Development 2: p. 7-16.
- Remy, J., y Marin-Lafleche., 1974, Tropical forests and the global carbon cycle: Science; 180 (1).. pp. 45-65.
- Rhoades, J. D., 1982, In: Methods of Soil Analysis, Part 2: (2°ed) American Society of Agronomy, Inc. Madison, 200 p.
- Richards, L. A., 1954, Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Manual de

Agricultura No. 60: Depto. de Agricultura de los Estados Unidos, de América, 4 ed. Traducida al español, México, Editorial Cultura, 172 p.

- Richards, L. A., (Dir), 1954, Diagnosis and improvement of saline and alkali soils: U.S. Salinity Laboratory, U. S. Dept. Agr. Hbk. 60, 130 p.
- Richards, P. W., Tansley, A. G., y Watt, A. S., 1939, The recording of structure, life form and flora of tropical forest communities, as a basis for their classification: Journ. Ecology 28., p. 224-239.
- Ríos, M. F., 1956, Bosquejo Geológico de la Cuenca de Veracruz y Parte Salina del Itsmo de Tehuantepec: Congreso Geológico Internacional (XX sesión) Excursión C-7, México, D. F., 27-38 pp.
- Rozanov, B. G. 1965, Laterite and laterization: Doklady Soil-Sci., Supplement to Soviet Soil Science, No. 13 (1964): p. 1367-1371.
- Ruxton, G. P., Berry, L., 1957, Weathering of granite and associated erosional features in Hong-Kong: Bolletin, Geol. Soc. Amer. 68., p. 1263-1292.
- Rzedowski, J., 1962, Contribuciones a la fitogeografía florística e histórica de México. I. Algunas consideraciones acerca del elemento endémico en la flora mexicana: Bol. Soc. Bot. Mex., 27: 52:65.
- Rzedowski, J., 1978, Vegetación de México: México, (ed), Limusa, pp. 1-432.
- Rzedowski, J., 1986, Vegetación de México: México, D. F., Editorial Limusa., 432 pp.
- Rzedowski, J., y McVaugh., 1966, La Vegetación de Nueva Galicia: Michoacán, Contr. Univ. Mich. Herb. 9; pp. 1-123.
- Rzedowski, J., y Vela, L., 1966, *Pinus strobus* var. *chiapensis* en la Sierra Madre del Sur de México: México, D. F., Rev. Ciencia 24., pp. 211-216.
- Sadio, S., 1989, Pédogenèse et potentialités forestières des sols sulfatés acides ssales des tannes du Sine Saloum, Sénégal. th.: (ed) University of Wageningen., 270 p.
- Salas, G. de las; y Fölster, H., 1976, Bioelement loss on clearing a tropical rain forest: Turrialba, 26., pp. 179-186.
- Sánchez, P. A., 1981, Suelos del Trópico: características y manejo: Costa Rica; IICA, Serie de los libros, materiales educativos No. 48, 634 p.
- Sánchez, P. A., y Buol, S. W., 1975, Soils of the tropics and the world food crisis: Science 188: pp. 598-603.
- Sarukhán, K. J., 1964, Estudio sucesional de una área talada en Tuxtepec, Oax: Inst. Nac. Invest. Forest, Publ. Esp. No. 3. México, D. F., p. 107-172.

- Sarukhán, K. J. 1968, Los Tipos de Vegetación Arbórea de la Zona Cálida-Húmeda de México., In: Pennington, T. D., Manual para la identificación de los principales árboles tropicales de México; México, D. F., Inst. Nac. Invest. Forst., p. 3-46.
- Sarukhán, K. J., 1988 (en prensa), Bases Ecológicas para un Manejo Sostenido de los Ecosistemas, in: Leff, Medio Ambiente y Desarrollo en México, S. XXI.
- SCS-USDA, 1986, Soil Survey Laboratory Methods and Procedures for Collecting Soil Samples: Washington, D. C., U. S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, 90 p.
- SCS-USDA, 1993, Soil Survey Manual 18: Washington, D. C., U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service. 520 p.
- Schröder, T., 1971, Evolution des Sols, In: Pédologie I. Pédogenèse et Classification; Duchaufour, P. (1984); Paris., (ed) Masson, S. A., 490 pp.
- Schwertmann, U., 1974, Beitrage zur Mineralogie und Petrographic: Proc. Intern. Clay conf. I (683)., p. 199-209.
- Schwertmann, U., 1985, The effect of pedogenetic environments on iron oxide minerals: Advances Soil Science 1, pp. 191-200.
- Segalen, P., 1969, Suelos de la Zona Intertropical. Serie de Apuntes No. 4: Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México.
- Seghal J., Battacharjes, J. C., Yadav, S. C. y Vadivelo, S., 1987, Taxonomic characteristics of Vertisols in relation to their management and use potential under rainfed conditions in India: Int. Conf. Management of Vertisols in Sub Sahara in Sub Sahara Africa ILCA, Addis Abada, Ethiopia (August-Septemeber). p. 21-43.
- Shapiro, L. y Brannnock, W. W., 1956, Rapid analysis of silicate rocks: U. S. Geol. Survey Bull. 1036-C: p. 19-56.
- Shaw, R. J., y Yule, D. F., 1978, The Assessment of Soil for Irrigation, Emerald Queensland: Australia, Technical Report 13, Agricultural Chemistry Branch, Queensland Dept. of Primary Industries, 155 p.
- Shrard, J. L., Decker, R. S., y Ryker, N. L., 1972, Hydraulic Fracturing in Low Dams of Dispersive Clays: Asce, (ed) Purdue University; 37 pp.
- Sherman, Mildred, S., 1942, Colorimetric determination of phosphorus in soils: Indus. and Engr. Chem. 14: 182.
- Simonson, R. W. 1959, Outline of a generalized theory of soil genesis: Soil Sci. Soc. Am. Proc. 23: 152-156 p.

- Simonson, R. W., 1978, A multiple-process model of soil genesis: England, in: W. C. Mahancy (Ed.) Quaternary Soils (Third York Quaternary Symposium. Toronto: Geo. Abstracts., pp. 1-25.
- Simonson, R. W., 1979, Origin of the name "Ando soils": *Geoderma*, 22, p. 333-335.
- Smith, R. M., y Sobak, A. A., 1978, Physical and Chemical Properties of Overburdens, Spoils, Wastes, and New Soils. pp. 149-172, In: F. W. Schaller and P. Sutton (Eds.) Reclamation of Drastically Disturbed Lands. Amer. Soc. of Agronomy, Madison, W. I., 420 pp.
- Snow, M. C., Fanning, A. S., y Rabenhorst, M. S., 1983, Evidence of eluviation and illuviation of sulfur and heavy metals in Sulfaquepts in Baltimore Harbor dredged materials: Selected Papers of the Dakar Symposium., Dost (Ed)., pp. 38-48.
- Soil Survey Staff, 1988, Keys to Soil Taxonomy, SMSS: Technical Monograph C. International Soils, Agronomy Department, Cornell University, Ithaca, New York, 650 p.
- Soil Survey Staff, 1990, Keys to Soil Taxonomy, SMSS: Technical Monograph 19, Blacksburg, VA., 625 pp.
- Soil Survey Staff, 1993, Keys to Soil Taxonomy, SMSS: Technical Monograph 19, 5th ed. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg; 650 pp.
- Sokolov, I. A., 1980, Hydromorphic non-gley soil formation: *Pochvovedeniye*, No. 1., p. 21-33.
- Solteiro-Rebolledo, E., Gama-Castro, J. E., y Palacios-Mayorga, S., 1994, Pleistocene soil-stratigraphic units: the case of the Transmexican Volcanic belt in the state of Morelos: México, D. F. *Revista Jour. Catena*; Elsevier, The Netherlands (En Prensa).
- Sombroek, W. G., and Siderius, W., 1982, Nitosols, a quest for significant diagnostic criteria: Annual Report, 1981, ISRIC, Wageningen, p. 11-31.
- Sousa, S. M., 1964, Estudio de la Vegetación Secundaria de la Región de Tuxtepec, Oax.: Publ. Esp. Inst. Nal. Invest. Forest., Publ. Esp. No. 3., pp. 91-105.
- Sousa, S. M., 1968, Ecología de las leguminosas de los Tuxtlas, Veracruz: An. Inst. Biol. Mex. Serv. Bot. 39, pp., 121-160.
- Srinivas, T. R., 1976, Taxonomy of saline, alkali and saline-alkali soils: *J. Indian Soc. Soil Sci.* 24., p. 12-19
- Stoud, J. D., y Lee, K. E., 1980, Ecology of Soil Micro-and Macro-Organisms, in: Soils with variable charge, (Ed.) B.K.G., Soil Bureau, Department of Scientific and Industrial Research, Lower Hutt, 353-370.

- Swindale, L. D., 1964, The properties of soils derived from volcanic ash: FAO-UNESCO, World Soil Resources Report, No. 14., pp. 74-81.
- Tardy, Y., y Garrels, R. M., 1974, A method of estimating the Gibbs energies of formation of layer silicates: *Geochim. Cosmochim. Acta* 38; pp. 1101-1116.
- Tate, K. R., y Theng, B.K.G., 1980, Organic Matter and its Interactions with Inorganic Soil Constituents, in: *Soils with variable charge*; (Ed.) B.K.G., Theng; Soil Bureau, Department of Scientific and Industrial Research, Lower Hutt; pp. 225-244.
- Thorp, J. y Smith, D. G., 1949, Higher Categories of Soil Classification: Order, Suborder, and Great Soil Groups: *Soil Science*, 67, pp. 117-126.
- Toledo, V., 1969, Diversidad de Especies en las Selvas Altas de la Planicie Costera del Golfo de México: México, D. F., UNAM; Fac. de Ciencias; Tesis; 55 p.
- Truog, E., 1952, Mineral nutrition of plants: Madison, University of Wisconsin Press; 469 pp.
- Tsuzuki, Y., 1980, Solubility diagrams for explaining zone sequences in bauxite, kaolin, and pyrophyllite-diaspore deposits: *Clays and Clay Miner.*, 24, pp. 297-302.
- Tuncer, A. L., Lohnes, A., 1977, An engineering classification of certain basalt derived lateritic soils: *Eng. Geol.* 11 (4), p. 319-339.
- UNESCO-UIBS, 1989, Man and the Biosphere, Programme: University of Exeter; U.K., CAB, International, 65 p.
- USDA-UNESCO-UIBS, 1989, Handbook of Methods: Alabama; U.S. Department, Soil Conservation Service, 95 p.
- USDA-SCS, 1990, Keys to Soil Taxonomy: Soil Survey Staff, Agency for International Development, USDA, Soil Management Support Services; Cornell University; SMSS, Technical Monograph #6; 290 pp.
- USDA-SCS, 1990, Soil Survey Laboratory Methods: Washington, Soil Survey Investigations, Report, No. 1, US. Government Printing Office, 90 p.
- USDA-SCS, 1993, Anthrosols, in: Van Wambeke, 1993, Soils of the Tropics; McGraw Hill, Co., pp. 253-264.
- U.S. Geological Survey, 1980, Análisis por Difracción de Rayos X, in: Investigación de Suelos: México, D. F., Edit. Trillas, 90 p.
- Uzochukwu, G. A., Lewis, D. T., 1990, Volcanic Glass Influence on Selected Soil Properties in Western Nebraska: Univ. of Nebraska, Lincoln; Published in *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54., pp. 1058-1060.

- Vallejo-Gómez, E., Shimada-Miyasaka, K., y Sánchez-Beltrán, S., 1994, Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa (P. H. Aguamilpa): Nayarit, México, Reporte Técnico I., Análisis Físicos y Químicos de Suelos Aluviales; Univ. Nal. Autóm. de México, Inst. de Geol. CFE., pp. 120-260 (Tomos I y II).
- Van den Broek, T. M. M., 1989, Clay disperion and pedogenesis of soils with an abrupt contrast in texture - a hydro-pedological approach on subcatchment scale: (Thesis) University of Amsterdam The Netherlands; 109 p.
- Vander-Heuvel, R. C., 1965, Elemental analysis by X-ray emission spectrography, In: Methods of soil analysis. Monog. 9. 2° vol. Amer. Soc. Agrom.; Wisconsin; p. 771-821.
- Van der Merwe, D., 1978, The soils and their engineering properties of an area between Noreth and Brits: Transvaal. DSC, Thesis, University of Pretoria, p. 25-62.
- Van Wambeke, A., 1981, Calculated Soil Moisture and Temperature Regimes of South America: SMSS, Technical Monograph No. 2. SCS, USDA. Ithaca/New york; p. 25-37.
- Van Wambeke, A., 1991, Soils of The Tropics: Properties and Appraisal: McGraw Hill, Inc., 343 pp.
- Van Zuidam, R. A., 1990, Terrain analysis and classification using aerial photographs, a geomorphological approach: Enschede, Holanda, International Training Centre, 186 p.
- Vargas, M., Pihler, E., 1957, Residual soil and rock slides in Santos, Brazil: Proc. 4th Int. Conf. for soil Mech., Found. Eng. London II., p. 394-398.
- Vazquez Yáñez, C., 1980, La Vegetación de la Laguna de Mandinga (Reeimpresión): Veracruz, México; An. Inst. Biol. Méx. Ser. Bot. 42; pp. 49-94.
- Villaseñor, A. R., 1970, Los Suelos y Bosques de México: México, D. F., Seminario de Semestre, Inst. Nac. de Recursos Renovables; p. 1-7. (Copias en mimeógrafo no numeradas).
- Villegas-Soto, Mariano, Aguilera-Herrera, Nicolás y Flores-Delgadillo, Lourdes, 1978, Método simplificado de análisis para clasificación granulométrica de los minerales del suelo: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista V.2, p. 188-193.
- Volkoff, B., 1977, La matière organique des sols ferrallitiques du nordeste du Brèsil: Cah. ORSTOM, serie Pédologie, 15 (3), pp. 275-290.
- Wada, K., 1980, Mineralogical characteristics of Andisols in: B. K. G. Theng (d), Soils with Variable Charge, New Zealand Society of soil Science, Lower, Hutt, New Zealand, pp. 87-107.

- Wada, K. 1985, The distinctive properties of Andosols: *Adv. Soil Sci.* 2; pp. 173-228.
- Wada, K., y Higashi, T., 1976, The Categories of Aluminum and Iron Humus Complexes in Ando Soils Determined by Selective Dissolution: *J. Soil. Sci.* 27., pp. 357-368.
- Walkley, A., y Black, I.A., 1947, An examination of the Degtharcff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid tritation method: *Soil Science*, V. 3, p. 29-38.
- Warkentin, B. P., y Maeda, T., 1980, Physical and Mechanical Characteristics of Andisol in: B. K. G. Theng (ed). *Soils with Variable Charge*, New Zealand Society of Soil Science, Soil Bureau, Lower Hutt, New Zealand, pp. 195-224.
- Weinert., H. H., 1974, A climatic index of wethering and its application in read construction *Geotechnique*. 24 (4)., p. 478-488.
- Wilkerson Jeffrey, 1991, Selva Lacandona, in: Porritt Jonathon; eds., *Salvemos la tierra: México*, D. F., Aguilar, p. 12.
- Wischmeier, W. H., 1976, Use and minuse of the universal soil loss equation: *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 31, p. 59.
- Yao, K., 1982, Etude des sols rouges montmorillonitiques acides de la Martinique: Thése, Université de Paris, VII, France, p. 20-43.
- Young, H., 1980, Soils and Slopes, in: *The Enciclopedia of Geomorphology*: New York, (ed) Fairbrige; pp. 980-1002.

GLOSARIO

Albino. Del Lat. *albus*, blanco; connotativo de fuerte blanqueado (propiedad u horizonte).

Alúminos. (suelo). Del Lat. *alumen*; connotativo de contenido alto de aluminio.

Antroposoles. (suelo). Del gr. *anthropos*, hombre; connotativo de actividades humanas.

Ariza. Del Lat. *arare*, arar; connotativo de capa arable (propiedad u horizonte).

Caliza pedregalosa blanda. Caliza autigénica trasladada en el suelo, que puede rayarse con la uña. Se considera como una propiedad de diagnóstico cuando este material recubre 50% de la superficie de los pedos, o si su volumen en el suelo es de 5 por ciento o más.

Cambio arenoso abrupto. Es un aumento, mínimo, de 20%, o más, de arcilla entre dos capas, y que tiene lugar en una distancia menor de 5cm.

Capacidad de cambio catiónica efectiva. Es la suma de las bases de cambio en NH_4 OAC más ácidos de cambio en KCL 1M.

Calcáreas. Se aplica a materiales edáficos que presentan fuerte efervescencia con HCl al 10%, o que contienen más del 2 por ciento de carbonato de calcio equivalente.

Calcárico. Es una propiedad de diagnóstico que se refiere a suelos que son calcáreos en la profundidad de 20 a 50 cm.

Consistencia autónoma. Este término se usa con relación a los Andosoles, y se refiere al material del suelo que es tixotrópico.

Crómico. Del gr. *chromos*, color; connotativo de suelos con colores brillantes (propiedad).

Cumúlica. Del Lat. *cumulare*, acumular; connotativo de acumulación de sedimentos (propiedad).

Croma. Significa intensidad de un color.

Districo. Del gr. *dys*, malo, desnutrido; infértil; connotativo de baja saturación de bases.

Depósitos Tefríticos. Del gr. *Tephra*, ceniza. Connotativo de materiales piroclásticos (>60%) que han sido re trabajados y mezclados con materiales de otra fuente (<40%). Se denominan, también, materiales aluviales vulcanogénicos

Eútrico. Del gr. *eu*, bueno, nutritivo, fértil; connotativo de alta saturación de bases (propiedad).

Encharcamiento. Término empleado por Hole (1961) para referirse a los procesos por los cuales el suelo es, físicamente, mezclado.

Estagnica. Del Lat. *stagnare*, inundar; connotativo de encharcamiento superficial (propiedad).

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Fases. Son rasgos del suelo que son significativos para su uso y manejo.

Fase autigénica. Indica suelos que presenten propiedades estagnicas como consecuencia de un encharcamiento asociado con el riego continuo y prolongado. (Suelo Padi).

Fase capilática. Hace referencia a materiales del suelo que constan, en un 40% en volumen, como mínimo, de fragmentos gruesos (>2 mm). Esta fase se localiza dentro de los primeros 25 cm. de profundidad.

Fase freática. Es una capa freática que se presenta dentro de una profundidad de 5 m a partir de la superficie.

Fase gipsi. Es el microrelieve típico, de los suelos arcillosos, principalmente vertisoles, que tienen un alto coeficiente de expansión, con diferentes cambios estacionales en el contenido de humedad.

Ferrosóles. (suelo). Del Lat. *ferrium* y *alumen*; connotativo de un elevado contenido en sesquióxidos.

Ferrioso. Del Lat. *ferrium* y *alumen*; connotativo de elevado contenido en sesquióxidos (propiedad).

Férrico. Del Lat. *ferrium*, hierro; connotativo de manchas de hierro o de su acumulación (propiedad).

Ferrominoso. Del Lat. *ferrium*, hierro; connotativo de una acumulación de hierro reducido (propiedad).

Fibrico. Del Lat. *fibra*, fibra; connotativo de material orgánico poco descompuesto (propiedad).

Folico. Del Lat. *folium*, hoja; connotativo de material orgánico sin descomponer (propiedad).

Fraccionamiento hímico. Material del suelo que tiene más de 1.4g. de carbono orgánico por 100g. de suelo. Su cálculo presupone una densidad aparente de 1.5g/cm³ (1.5 Mg/m³).

Gélico. Del gr. *geraios*, viejo; connotativo de fuerte meteorización (propiedad).

Gléico. Del ruso *gley*; masa de suelo pastosa.

Háplico. Del gr. *haplos*, simple; connotativo de suelos con una secuencia de horizontes simple y normal. (propiedad).

Horizonte andico. Es una capa de suelo en que la mineralogía está dominado por minerales de rango corto (amorfos). Este horizonte se denomina *Vitr-andico* cuando presenta más de 60% de vidrio volcánico, *Sil-andico*, cuando el horizonte muestra aluminio intercambiable en cantidades menores a 2 meq/100 gramos de suelo (<2 cmol⁺/kg de suelo) y *Alu-andico*, cuando presenta contenidos mayores de 2 meq/100g de aluminio intercambiable.

Horizonte B Ferrático. Tiene textura media o fina y un espesor mínimo de 30 cm. Su C.I.C.T. es igual o menor de 16 meq/100g de arcilla ($\leq 16 \text{ cmol}^{+1} \text{ kg}^{-1}$), o una capacidad de cambio catiónica efectiva igual o inferior a 12 meq/100g. de arcilla ($\leq 12 \text{ cmol}^{+1} \text{ kg}^{-1}$).

Horizonte de diagnóstico. Es aquel horizonte del suelo que tiene una serie de propiedades, que son utilizadas para la identificación de unidades de suelos.

Horizonte sulfúrico. Se forma como resultado de un drenaje artificial y oxidación de los materiales minerales o orgánicos, rico en sulfuros. Tiene como mínimo 15 cm de espesor, un pH menor de 3.5 (1:1 en agua) y manchas de jarosita.

Húmico. Del Lat. *humus*; tierra; rico en materia orgánica (propiedad).

Hue. Significa matiz.

ISSS. International Society of Soil Science.

ISRIC. International Soil Reference and Information Centre.

Integrado. (Suelo intergradado). Es un tercer nivel taxonómico para subdividir a un suelo como unidad. Este tercer nivel intenta relacionar entre sí a dos unidades de suelos, tanto por una característica morfológica, como química ó genética. Con frecuencia los suelos del trópico llegan a presentar más de una intergradación. Ejemplo: Nitisoles, alumi-andi-districos. Son Nitisoles districos con propiedades andicas y con una saturación de aluminio del 50% en algún subhorizonte.

Lateralización. Es el proceso por el cual los óxidos de hierro son acumulados en los materiales del suelo. Esta adición se propicia através de la iluvación del hierro en solución, principalmente en forma reducida (Fe II) el cual una vez oxidado y precipitado tiende a acumularse, formando un material "laterítico".

Laterización. En este proceso se considera que la sílice y las bases han sido solvadas, quedando Fe, Al y Ti, en forma de óxidos que llegan a formar minerales como la caolinita después de un lavado intenso y de una compleja transformación de los minerales.

Leymiales. (suelo). Del gr. *legios*, delgado; connotativo de suelos poco profundos.

Lessivage. Término utilizado por Duchaufour (1982) para indicar el desplazamiento mecánico de materiales en solución, y en un sentido más estricto, el movimiento de arcillas en suspensión. (Lavado).

Lítico. Del gr. *lithos*, roca; connotativo de suelos muy poco profundos (propiedad o fase).

Lixiviales. (suelo). Del Lat. *lixivia*, lavado; connotativo de acumulación de arcilla y meteorización fuerte.

Luyviales. (suelo). Del Lat. *luere*, lavar, "Lessiver"; connotativo de acumulación de arcilla.

Material amorfo. Es un material coloidal que incluye al alofano y que tiene todas o muchas de las propiedades del alofano. Si el material amorfo domina el complejo de intercambio, las siguientes condiciones son satisfechas:

- 1.- La C.I.C.T. en la fracción arcilla a pH 8.2 es > 150 meq/100g arcilla (> 150 cmol⁺/K⁺ arcilla).
- 2.- A una presión de 15 bars (1500 kPa) el contenido de agua es > 20%.
- 3.- El pH es una solución de 1g de suelo en 50 ml 1M NaF es > 9.4 después de 2 minutos.
- 4.- La relación agua retenida (15 bars): Arcilla es > 1.0
- 5.- El contenido de carbono orgánico > 0.6%.
- 6.- La densidad aparente en el suelo es <0.85 g/cm³ a 0.33 bars.

Materiales espúlicos. Del inglés *spalic*; Connotativo de suelos formados por rellenos de basura industrial.

Materiales gúrbicos. Del inglés *gurbic*; Connotativo de suelos formados por rellenos de basura orgánica.

Materiales sulfúricos. Son materiales orgánicos o minerales que contienen 0.75% como mínimo de azufre (peso en seco), la mayor parte en forma de sulfuros. Estos materiales siempre tienen menos del triple de carbonato (en equivalentes de CaCO₃) que de azufre, y su pH es mayor de 3.5.

Minerales áfricos. Del gr. *tephra*, ceniza. Connotativo para indicar una acumulación in situ de piroclásticos no alterados.

Minerales ábricos. Del inglés, *urbic*. Connotativo de suelos formados por rellenos de basura con materiales para construcción.

Minerales alterables. Son aquellos que se muestran inestables en un clima húmedo, respecto al cuarzo y arcillas 1:1, y que cuando se alteran liberan nutrientes para las plantas, además, de hierro y aluminio.

Níctales. (suelo). Del Lat. *nitidus*, brillante; connotativo de superficies brillantes de los pedo.

pH de KCl. Se refiere a pH en KCl menos pH en H₂O.

Pedio. Es el plural de ped, y significa "unidad estructural del suelo".

Péfrica. Del Lat. *petra*, piedra; connotativo de la presencia de una capa dura a escasa profundidad (propiedad o fase).

Píntesoles. Del gr. *plinthos*, ladrillo; connotativo de materiales arcillosos abigarrados que se endurecen cuando se exponen a la intemperie.

Plintón. Es una mezcla, rica en hierro y pobre en materia orgánica, de arcilla con cuarzo y otros diluyentes que aparece como manchas rojas, normalmente de forma laminar, poligonal o reticular, y que se transforma irreversiblemente en una costra endurecida o en agregados irregulares cuando está expuesta a repetidos ciclos de humectación y desecación.

Propiedades áfricas. Se definen con base en las siguientes características: (a) CICT. (por IM NH₄OAc) igual o mayor de 24 mg/100g de arcilla (24 cmol⁺kg⁻¹ de arcilla); (b) una reserva total de bases (RTB = minerales intercambiables + Ca, Mg, K, Na) en arcilla que es 80 por ciento superior al RTB del suelo total; (c) una relación limo: arcilla de 0.60 ó menor; (d) un pH (KCl) de 4.0 ó menor; (e) Un contenido de Al extraíble en KCl de 12 mg/100g de arcilla ó mayor; y (f) una saturación de aluminio (Al/CICT x 100) de 60 por ciento ó mayor.

Propiedades de disgregación. Son características del suelo que no constituyen horizontes definidos, pero tienen importancia para la clasificación de suelos.

Propiedades férricas. Se refiere a suelos que presentan una o más de las siguientes características: (a) manchas gruesas con matrices más rojas que 7.5 YR, o intensidades superiores a 5 ó ambas; (b) nódulos discretos, de hasta 2 cm de diámetro, cuya parte externa está enriquecida y débilmente cementada con hierro y tiene matices más rojos o intensidades más fuertes que en el interior de los nódulos.

Propiedades férricas. Se usa con relación a suelos que tienen una C.I.C.T. (en NH₄OAc) menor de 24 mg/100g de arcilla (<24 cmol⁺kg⁻¹ de arcilla) o menor a 4 mg/100g de suelo (<4 cmol⁺kg⁻¹ de suelo) en por lo menos algún subhorizonte del B cámbico, o del subhorizonte situado, inmediatamente, debajo del horizonte A.

Propiedades férricas. Se refiere a sedimentos fluviales, marinos y lacustres que tienen las siguientes características: (1) un contenido en carbono orgánico que decrece irregularmente con la profundidad, o que permanece por encima del 0.20% a una profundidad de 125 cm; (2) extratificación en al menos el 25% del volumen del suelo, dentro de una profundidad de 125 cm a partir de la superficie.

Propiedades pétricas. Se refiere a materiales edáficos que tienen una de las siguientes características: 1.5 mg/100g de suelo (1.5 cmol⁺kg⁻¹ de suelo) o menos, de bases de cambio (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K, Na) más Al extraíble en KCl IM no tamponado, o un delta pH de +0.1 como mínimo.

Propiedades pétricas y estigmicas. Se refieren a materiales edáficos que están saturados con agua en algún período del año, o todo el año, en la mayoría de los años, y que muestran señales evidentes de procesos de reducción y segregación de hierro. Esta reducción se pone de manifiesto por la siguiente característica: Un valor de rH-eH (mV)29+2pH<19.

Propiedades nícticas. La estructura del suelo que presenta estas propiedades está asociada con la presencia de cantidades significativas de óxidos de hierro activos, así como con un elevado almacenamiento de humedad y propiedades favorables de adsorción-desorción de fosfatos. El hierro determinado con oxalato ácido en horizontes con propiedades nícticas tienen más del 0.2% de este elemento.

Propiedades sílicas. Se refiere a una conductividad eléctrica del extracto saturado mayor de 15 mhos/cm (15 dS m⁻¹) a 25°C, en alguna época del año, dentro de una profundidad de 30 cm, si el pH es superior a 8.5

Propiedades sódicas. Se refiere a una saturación en el complejo de cambio del 15%, como mínimo, de sodio de cambio, o del 50% o más, de sodio más magnesio de cambio.

Propiedades vérricas. Se usa en relación con suelos arcillosos que, en alguna época del año, muestran uno o más de los siguientes rasgos: (a) fisuras y/o grietas, (b) slickensides; (c) agregados estructurales paralelepípicos o en forma de cuña, y (d) gilgai. Estas características no son suficientemente netas para calificar los suelos como vertisoles.

Rendicia. Del polaco *rzedzic*, connotativo del ruido que hace el arado cuando se labran suelos pedregosos (propiedad)

Ródica. Del gr. *Rhodon*, rosa, connotativo de suelos de color rojo (propiedad).

Sección de control de humedad del suelo. El límite superior de esta sección es la profundidad a la cual un suelo seco (Tensión de > 15 bars ó 1500 Kpa) será humedecido por 2.5 cm de agua en 24 horas. El límite inferior es la profundidad a la cual un suelo seco será humedecido por 7.5 cm de agua en 48 horas.

Seguen. Es la combinación del horizonte aluvial asociado al horizonte iluvial.

Sistemas Taxonómicos y Sistemas Interpretativos. Según Seymour (1989), los sistemas taxonómicos se basan en las características naturales del objeto a clasificar. En el caso del suelo, se incluyen propiedades como textura, color, estructura, mineralogía, temperatura y humedad del suelo, capacidad de intercambio catiónico y saturación de bases, entre otras. Estas clasificaciones se basan en las características morfológicas que distinguen a un suelo. En el caso de los sistemas interpretativos, con frecuencia no se toman en cuenta todas estas características.

Sistema Internacional de Unidades. Se dan las correlaciones más importantes para los suelos, entre el Sistema Internacional (SI) y el Sistema Métrico, utilizado hasta 1985 (SM).

Cantidad	Unidad	Símbolo	Definición	Unidades SI	Unidades SM
Sustancia	Mol	Mol	6.03×10^{23}	1 cmol (+) Kg ⁻¹	1 meg/100g
Cvductancia	Siemens	S	Ω ⁻¹	1dS m ⁻¹	1mmhos/cm
Presión	Pascal	Pa	Nm ⁻²	33Pa = 1/3 bar	
Concentración	Moles por volumen	M	mol L ⁻¹	1M = 1N	
Longitud	Metro	m		1 m = 1	
Masa	Kilogramo	Kg		1 mg Kg ⁻¹	1 ppm
				1 Mg m ⁻³	1g/cm ³

Solubilación. Este proceso ha sido definido por Jackson (1964) como la solubilidad y el lavado de constituyentes del suelo, sin que intervengan fenómenos de quelación ó de óxido-reducción.

Sulfidización. Es el proceso por el cual los sulfuros se acumulan, en ocasiones constituyendo parte del material parental del suelo.

Sulfurización. Según Carson et al. (1982), éste es el proceso por el cual los materiales que contienen sulfuros son oxidados, con la formación de ácido sulfúrico. Por ejemplo: $FeS_2 + O_2 + H_2O \rightarrow Fe(II)SO_4 + H_2SO_4$ = Oxidación de Pirita + Sulfato ferroso + Ácido Sulfúrico.

Térreo. Del Lat. *Terra*. Tierra, connotativo de materiales orgánicos bien descompuestos y humificados (propiedad).

Tiánico. Del gr. *Theion*. azufre, que denota la presencia de materiales sulfurosos (propiedad u horizonte).

Tiempo seco. Se considera como el momento en que un suelo inicia su desarrollo, después de que algún evento catastrófico ha destruido al suelo preexistente.

Tamaño de partículas. Se refiere a la distribución del tamaño de partículas de todo el suelo, y no es lo mismo que textura, la cual se refiere a la fracción de tierra fina.

Valor. Significa intensidad de un color.

Vértica. Del Lat. *vertens*. invertir, connotativo de movimientos de la superficie del suelo (propiedad).

Vitrific. Del Lat. *vitrum*. vidrio; connotativo de suelos ricos en material vitrificado (propiedad).

WBBSR. World References Base for Soil Resources.

Xántico. Del gr. *xanthos*, amarillo, connotativo de suelos de color amarillo (propiedad).

PERFILES DE SUELOS

FIGURA	Nivel 3 Grupo de Suelos	Propiedades de Diagnóstica	Fase Limitante	Familia Clase Edafoclimática	Soil Taxonomy (1990)	FAO-UNESCO (1988)	WRBIS (1994)	Localidad	
								Geográfica	
1	I.1.1. Suelos de Aporte Aluvial (Saa)	- Flúvicas	Inúndica	- Isohipertrmico - Udic	Typic Udifluvents	Fluvisol eútrico	Eutric Fluvisols	18° 33' 95° 30'	
2	I.1.2. Suelos de Aporte Coluvial (Saa)		(Ocasional) Rúdica	- Isohipertrmico - Udic	Typic Ustipsamment	Regosol eútrico	Eutric Regosols	19° 00' 96° 00'	
3	I.1.3. Suelos de Aporte Eóico (Saa)	- Suelo Policiclito	Fréatica	- Isohipertrmico - Ustico-Udic	Ustic- Quartzipsamment	Arenosol hápico	Haplic Arenosols	18° 39' 92° 26'	
4	I.1.4. Suelos de Aporte Volcánico (Sav)	- Material Téfrico		- Isohipertrmico - Udic	Vitrandic Udorthent	Regosol eútrico	Tephric Regosols	15° 00' 92° 15'	
5	I.1.5. Suelos de Aporte Marino (Sam)	- Sódicas - Sálidas (Frecuente)	- Sódica - Sálida - Inúndica	- Isohipertrmico - Udic	Tropaeuodic Quartzipsamment	Regosol eútrico y/o Arenosol hápico	Haplic Arenosols	15° 45' 96° 38'	
6	I.2.1. Leptosuelos (La)	- Roca dura continua	- Lítica	- Isohipertrmico - Udic	Grupos líticos	Leptosol districo	Dystric Leptosols	18° 15' 103° 00'	
7	I.2.2. Suelos Regolíticos Residuales (Srr)	- Húmico		- Hipertérnico - Udic	Húmi y Sombritropepts	Regosol Umbrico	Arenic Umbrisols	19° 00' 104° 00'	
8	I.2.3. Suelos Regolíticos Residuales (Srr)	- Gliceras (Ocasional)		- Isohipertrmico - Udic-Per-údic	Aquic- Tropopsamment	Arenosol cámbico	Cambic Arenosols	19° 58' 105° 18'	
9	I.3.1. Suelos de Origen Antropico y/o Tecnogenico (At)	- Antropización	(Ocasional) Antraquica	- Isohipertrmico- Hipertérnico - Ustico-Udic	Subórdenes, Grupos y Subgrupos, Entisoles e Inceptisoles	Antrosol cumúlico	Cumilic Anthrosols	18° 07' 94° 27'	

PERFILES DE SUELOS

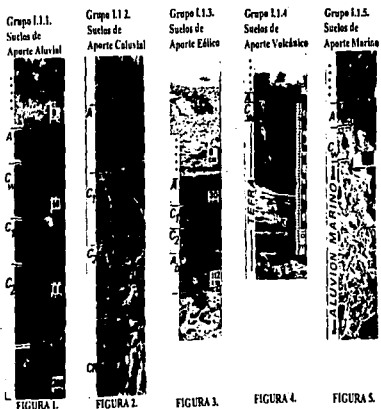
10	II.1.1. Rendzinas Negras Típicas (Rst)	- Calcáreo - Calcárico		- Hipertérnico - Ustico-Udic	Typic Rendoll	Leptosol réndico	Rendzic Leptosols	21° 03' 89° 00'	
11	II.1.2. Rendzinas Pardas (Rnp)	- Calcáreo - Calcárico	(Susceptibilidad) Descarbonatación	- Hipertérnico - Udic	Lithic Eutrochrept	Leptosol réndico	Rendzic Leptosols	20° 05' 99° 09'	
12	II.1.3. Rendzinas Rojas Ferrocarbonadas (Rrd)	- Calcárico	Descarbonatación	- Hipertérnico - Udic - Perúdic	Lithic Eutrochrept	Leptosol réndico	Rendzic Leptosols	19° 30' 88° 15'	
13	II.2.1. Suelos Empardecidos Calcáricos (Saac)	- Calcárico - Minerales Alterables		- Isohipertérnico - Ustico-Udic	Typic Eutrochrepts	Cambisol calcárico	Calcic Cambisols	18° 00' 90° 00'	
14	II.2.2. Suelos Empardecidos Calcáricos (SaeK)	- Calcáreo		- Isohipertérnico - Ustico	Entic Haplustolls	Phasezem calcárico	Haplic Phasezems	21° 30' 98° 03'	
15	II.2.3. Suelos Sialíticos Empardecidos acidificados (Saaa)	- Ferrálicas		- Hipertérnico - Udic	Typic Dystrorpepts	Cambisol districo	Dystric Cambisols	18° 47' 97° 22'	
16	II.2.4. Suelos Sialíticos Empardecidos Verticos (Savv)	- Váricas - Slickensides	- Gilgai	- Hipertérnico - Ustico-Udic	Vertic Rendollic Eutrochrepts	Cambisol vértico	Vertic Cambisols	18° 02' 93° 00'	
17	II.3.1. Vertisoles Típicos (Vrt)	- Slickensides	- Gilgai	- Isohipertérnico - Ustico	Typic Pelluserts	Vertisol eútrico	Haplic Vertisols	21° 30' 105° 07'	
18	II.3.2. Vertisoles Cámbicos (Vrc)	- Slickensides	- Gilgai	- Hipertérnico - Udic	Typic Pelluserts	Vertisol eútrico	Haplic Vertisols	17° 03' 106° 11'	
19	II.3.3. Vertisoles Calcáricos (Vrk)	- Calcáreo - Slickensides	- Gilgai	- Hipertérnico - Ustico-Udic	Typic Pelluserts	Vertisol cálcico	Calcic Vertisols	20° 07' 88° 55'	

FERTILES DE SUELOS

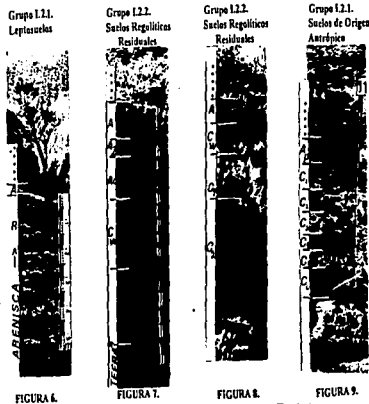
20	II.3.4. Vertisoles Ferruginos Livivados (Vrfl).	- Slickensides	- Gilgai	- Hipertérmico - Udic-perudico	Typic Chromuderts	Vertisol districo	Chromic Vertisols	18° 03' 95° 00'
21	II.3.6. Vertisoles con Gley (Vrg).	- Slickensides - Estagnicas	- Inundica - Sállica	- Hipertérmico ó Iso - Perudico	Grupos Typic	Gleysol eutrico	- Haplic Vertisols	18° 37' 93° 03'
22	II.4.1. Suelos con Propiedades Vérticas (Spv).	- Vérticas - Slickensides	- Gilgai	- Hipertérmico ó Iso - Ustico-Udico	Grupos Vertic	Suelos con propiedades vérticas	Suelos con propiedades vérticas	18° 55' 90° 00'
23	II.4.3. Suelos Vérticos Degradados por Hidromorfia (Svph).	- Vérticos - Gleicas - Estagnicas	- Inundica	- Hipertérmico ó Iso - Udico-Acuica	Vertic Haploquept	Gleysol eutrico	Haplic Gleysols	21° 50' 105° 25'
24	III.1.1.3. Andisoles Víttricos, Ustico-Típicos (Avut).	- Minerales alterables - Andicas - Horizonte ándico.	Material Férrico	- Hipertérmico ó Iso - Udico-Ustico	Lepthic - Udivitrands	Andosol víttrico	Vitric Andosols	19° 59' 97° 18'
25	III.1.1.2. Andisoles Víttricos Ustico-Umbricos (Avum).	- Minerales alterables - Andicas - Horizonte ándico.	Material Férrico	- Hipertérmico ó Iso - Udico	Typic Udivitrands	Andosol víttrico	Vitric Andosols	19° 03' 90° 12'
26	III.2.1.9. Andisoles Usticos Típicos-Oéricos (Aut).	- Mimetables alterables - Andicas - Horizonte ándico.	-	- Hipertérmico ó Iso - Ustico	Typic Eutrandept	Andosol háptico	Silic Andosols	20° 05' 97° 19'
27	III.2.1.8. Andisoles Usticos Típicos-Umbricos (Autu).	- Andicas - Horizonte ándico.	-	- Hipertérmico ó Iso - Ustico	Umbric Haplustands	Andosol úmbrico	Silic Andosols	20° 06' 97° 20'
28	III.3.1.5. Andisoles Udicos con RH alta. Eutricos (Auh).	- Andicas - Horizonte ándico.	sil-andic	- Hipertérmico ó Iso - Udico	Eutric Hydrudans	Andosol háptico	Hydric Andosols	18° 31' 95° 00'
29	III.3.1.1. Andisoles Udicos con RH alta. Usticos (Auhu).	- Andicas - Horizonte ándico.	alu-andic	- Hishipertérmico - Udico-perudico	Ultic Hydrudans	Andosol háptico	Hydric Andosol	18° 15' 94° 50'
30	III.3.2.8. Andisoles Udicos Típicos-Districos (Aust).	- Andicas - Horizonte ándico.	alu-andic	- Isohipertérmico - Udico-perudico	Typic Hapludans	Andosol háptico	Alic Andosols	19° 57' 97° 41'
31	III.3.2.4. Andisoles Udicos Típicos Acruoalicos (Aut).	- Andicas - Oxidicas - Horizonte ándico.	-	- Isohipertérmico - Udico-perudico	Acruoalic Hapludans	Andosol Háptico	-	20° 10' 97° 25'
32	IV.1.1.3. Suelos STB* con drenaje muy pobre (STBO).	- Plintita - Oxidicas - Saqui-esqueleto	- Aluminio activo	- Isohipertérmico - Acuico	Plinthaquits	Plintisol	Stagnic sesquisol	18° 00' 95° 22'
33	IV.1.2. Suelos STB* Eutróficos (STB).	- Horizonte cámbico	-	- Isohipertérmico - Ustico-Udico	Typic Eutropept	Cambisol Crómico	Chromic Cambisols	18° 00' 92° 00'
34	IV.1.3.1. Suelos STB* Udico-Districos (STBu).	- Horizonte cámbico	-	- Hipertérmico - Udico	Typic Dystropept	Cambisol Districo	Dystric Cambisols	17° 33' 92° 20'
35	IV.1.3.2. Suelos STB* con propiedades flúvicas (STBPdr).	- Flúvicas - Horizonte cámbico	- Caracter districo	- Hipertérmico - Udico	Typic Dystropept	Cambisol Districo	Fluvic Cambisols	17° 50' 92° 52'
36	IV.1.3.4. Suelos STB* Oxidicos (STBPdr).	- Ferrálicas - H. cámbico	- Caracter districo	- Hipertérmico - Udico-perudico	Oxic Dystropepts	Cambisol Férrico	Ferralic Cambisols	15° 40' 96° 18'
37	IV.2.1.1. Suelos STA* Típicos (STAq).	- H. Albico - Cambio Textural - Gleicas	- Caracter Districo	- Hipertérmico - Udico	Typic Albaqualf	Planosol	Dystric Planosol	18° 05' 96° 07'
38	IV.2.2.1. Suelos STAq* Típicos (STAq).	- H. Argico - H. Plintico	- Caracter Districo	- Hipertérmico - Udico	Plinthudults	Acrisol	Plinthic Acrisols	17° 10' 95° 32'
39	IV.2.2.1. Suelos STAus* Típicos (STAust).	- H. Argico - H. Férrico	-	- Hipertérmico - Udico-Ustico	Plinthustalfs	Luvisol	Ferric Luvisols	17° 02' 91° 33'
40	IV.2.6.2. Suelos STAud* con Plintita (STAuds).	- H. Albico - H. Argico - H. Plintico	- Caracter Eutrofico	- Hipertérmico - Ustico	Grupos Kanhapl	Lixisol Albico	Albic Lixisols	16° 40' 90° 15'
41	IV.2.7.4. Suelos STAus* con Propiedades Nítricas (STAun).	- H. Nítico - H. Umbrico	-	- Hipertérmico - Udico	Plinthudults	Nitisol	Rhodic Nitisols	21° 37' 105° 03'
42	V.1.1. Suelos FEMh-Lateri	- H. Ferrálico - MODAL	- Caracter Lateri	- Hipertérmico - Udico	Petroferric Acruodox	Ferralsol Plintico	Plinthic Ferralsols	15° 24' 49° 15' W
43	V.1.1.4. Suelos FEMh-Acer	- H. Ferrálico - MODAL	- Caracter Districo	- Hipertérmico - Udico	Sombrodox	Ferralsol húmico	Humic Ferralsols	17° 20' 49° 15' W
44	V.2.1.2. Suelos FEBu* GERICO	- H. Ferrálico - GERICO	- Propiedad Posi	- Hipertérmico - Udico	Acruodox	Ferralsol	Geric Ferralsols	10° 00' 70° 00'
45	V.3.1.1. Suelos FEI-eutricos	- H. Ferrálico - INTERGRADUADO	- Caracter Eutrico	- Hipertérmico - Udico	Eutrodox	Ferralsol eutrico	Eutric Ferralsols	18° 00' 92° 00'

SUELOS DEL TROPICO Y SUBTROPICO MEXICANO

CLASE I. SUELOS MINERALES POCO EVOLUCIONADOS SUBCLASE Y.1. SUELOS MINERALES ALOCTONOS NO CLIMATICOS



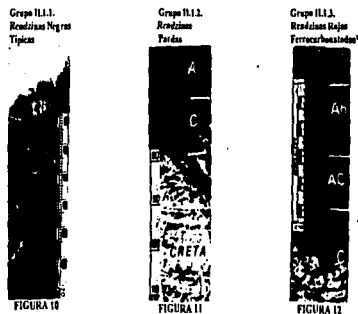
SUBCLASE I.2. SUELOS MINERALES AUTIGENOS NO CLIMATICOS



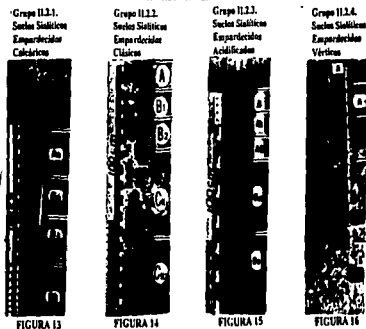
SUBCLASE I.3. SUELOS DE ORIGEN ANTROPICO

CLASE II. SUELOS ARCILLOSOS SIALITICOS NEUTRO-ALCALINOS: SUELOS CALCIMAGNESICOS.

SUBCLASE II.1. SUELOS SIALITICOS CARBONATADOS



SUBCLASE II.2. SUELOS SIALITICOS DESCARBONATADOS EMPAQUEADOS.



SUELOS DEL TROPICO Y SUBTROPICO MEXICANO

SUBCLASE II.3. SUELOS MONTMORILLONITICOS SLITICOS: VERTISOLES.

Grupo II.3.1.
Vertisoles
Típicos



FIGURA 17

Grupo II.3.2.
Vertisoles
Cámbicos



FIGURA 18

Grupo II.3.3.
Vertisoles
Cláicos



FIGURA 19

Grupo II.3.4.
Vertisoles
Ferruginosos



FIGURA 20

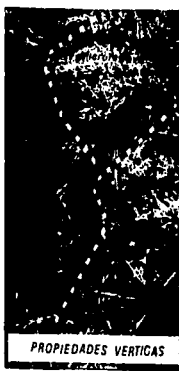
Grupo II.3.5.
Vertisoles
con Clay



FIGURA 21

SUBCLASE II.4. SUELOS VERTICOS

Grupo II.4.1. Suelos con Propiedades Verticas



PROPIEDADES VERTICAS

FIGURA 22

Grupo II.4.3. Suelos Verticos Degradados



FIGURA 23

CLASE III. SUELOS CON PROPIEDADES ANDICAS DIAGNOSTICAS: ANDISOLES.

SUBCLASE III.1. ANDISOLES VITRICOS
CON DRP LIMITADO

Grupo III.1.1.1.
Andisoles Vitricos
Ústicos-Típicos



FIGURA 24

Grupo III.1.1.2.
Andisoles Vitricos
Ústicos-Umbricos



FIGURA 25

SUBCLASE III.2. ANDISOLES ÚSTICOS
CON DRP MODERADO

Grupo III.2.1.1.
Andisoles Ústicos
Típicos-Ocricos



FIGURA 26

Grupo III.2.1.2.
Andisoles Ústicos
Típicos-Umbricos



FIGURA 27

SUBCLASE III.3. ANDISOLES ÚDICOS CON DRP MODERADO A ALTO

Grupo III.3.1.5.
Andisoles Údicos
con RH alta.
Eútricos



FIGURA 28

Grupo III.3.1.6.
Andisoles Údicos
con RH alta.
Útricos



FIGURA 29

Grupo III.3.2.1.
Andisoles Údicos
Típicos-Diútricos



FIGURA 30

Grupo III.3.2.2.
Andisoles Údicos
Típicos-Acródicos



FIGURA 31