

2 00369



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

GENESIS, DEGRADACION Y DINAMICA DE
SUELOS SALINOS SODICOS EN NEXTLALPAN,
ESTADO DE MEXICO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS (EDAFOLOGIA)

P R E S E N T A :

YOLANDA GIRON RIOS

DIRECTOR DE TESIS: DR. JORGE ENRIQUE GAMA CASTRO

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2002



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

ESTA TESIS LA DEDICO
CON MUCHO CARIÑO Y AGRADECIMIENTO A
MIS PADRES, HERMANOS, Y A MI TIA
CECILIA. †

A MI HERMANO
FRANCISCO †
POR CAMINAR JUNTOS.

México, 2002.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Facultad de Ciencias y al Instituto de Geología, departamento de Edafología por permitirme continuar con mis estudios a nivel de posgrado.

Al Dr. Jorge Enrique Gama Castro por haber dirigido acertadamente esta tesis.

A la Dra. Elizabeth Solleiro Rebolledo por sus acertadas observaciones comentarios y sugerencias, durante la realización de este trabajo.

A los doctores David Flores Román, Miguel Ortiz Olguín, y a los maestros Ernestina Vallejo Gómez, María de Lourdes Flores Delgadillo y Alma Socorro Velásquez Rodríguez por la revisión y sugerencias realizadas para mejorar este trabajo y por formar parte del comité dictaminador de tesis.

A la Lic. Rosario Flores Ramos por el apoyo y la preparación del material de esta tesis.

A mis amigos del departamento de Edafología por su ayuda y amistad; Dr. María Eugenia Miranda Martínez y Biól Lidia Flores por su apoyo y cariño.

Muy especialmente a mi hijo José Francisco por llenarme la vida de alegría y amor.

PROLOGO	viii
RESUMEN	ix
1. INTRODUCCION.	1
• JUSTIFICACION.	3
• OBJETIVOS.	4
• HIPOTESIS.	4
2. MARCO HISTORICO.	5
3. MARCO TEORICO.	8
3.1 ORIGEN Y OCURRENCIAS DE LAS SALES EN LOS SUELOS.	8
3.1.1 Salinidad y/o Sodicidad Primarias.	8
• Clima.	8
• Edafoclima.	8
• Adiciones por agentes externos	8
• Drenaje interno del suelo	8
• Presencia de capas impermeables en el subsuelo	9
• Geoformas.	9
• Manto freático y corrientes subterráneas.	9
• Presencia de sales fósiles.	9
• Intemperismo de los minerales	9
3.1.2 Salinidad y/o Sodicidad Secundarias	11
• Irrigación.	11
• Cambio en el uso del suelo o en la vegetación.	12
• Otros factores inducidos.	12
3.2 CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS SALINOS, SODICOS Y ALCALINOS.	12
3.2.1 Suelos Salinos.	12
3.2.2 Suelos Sódicos.	13
3.2.3 Suelos Alcalinos.	13
3.3 CLASIFICACION DE LOS SUELOS AFECTADOS POR SALES.	13
3.3.1 Suelos Clasificados como Salinos.	14
3.3.2 Suelos Clasificados como Sódicos-Salinos	14
3.3.3 Suelos Clasificados como Sódicos no Salinos.	14
3.4 OTRAS CLASIFICACIONES PROPUESTAS PARA LOS SUELOS SALINOS.	15
3.4.1 Categoría 1: Suelos clorados.	15
3.4.2 Categoría 2: Suelos sulfatados	15
3.4.3 Categoría 3: Suelos carbonatados	15
3.5 FACTORES QUE MODIFICAN EL EFECTO DE SODIO INTERCAMBIABLE EN LOS SUELOS	16
3.6 EFECTO DE LAS SALES EN EL SUELO Y LAS PLANTAS	16

3.7 USO Y RECUPERACION DE SUELOS SALINOS-SODICOS Y ALCALINOS.	17
3.7.1 Remoción.	18
3.7.2 Conversión.	18
3.7.3 Control.	19
3.8 PROCESOS, DINAMICA, INTERGRADACIONES Y EVOLUCION DE LOS SUELOS QUE ACUMULAN SALES.	19
4. DETERMINACION Y LOCALIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO.	21
4.1 CARACTERISTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO.	21
4.2 GEOLOGIA.	21
4.3 HIDROLOGIA.	22
4.4 CLIMA.	22
4.5 VEGETACION.	26
5. METODOLOGIA.	27
5.1 COPIACION DE LA INFORMACION BASICA.	27
5.2 FOTOIDENTIFICACION Y LOCALIZACION DE LOS SITIOS DE MUESTREO.	27
5.3 TRABAJO PRELEMINAR DE CAMPO.	27
5.4 TRABAJO DE CAMPO.	29
5.5 TRABAJO DE LABORATORIO.	29
5.5.1 Procedimiento para la Preparación de las Muestras.	29
5.5.2 Técnicas de Análisis Empleadas	29
5.5.2.1 Análisis físicos.	29
a. Textura	29
b. Color.	31
c. Densidad aparente.	31
d. Densidad real.	31
e. Porosidad.	31
f. Porcentaje de humedad y factor de humedad.	31
g. Agua retenida (presión-extracción)	31
h. Permeabilidad del suelo.	31
i. Drenaje interno del suelo.	31
j. Estabilidad de los agregados	32
k. Separación de los apartados del suelo para determinar el Factor K	32
5.5.2.2 Análisis químicos.	32
a. Reacción del suelo (pH 1: 2.5)	32
b. Materia orgánica	32
c. Capacidad de intercambio catiónico (CIC).	32
d. Conductividad eléctrica.	32
e. Calcio y Magnesio intercambiables	32

f. Sodio y potasio intercambiables.	32
g. Nitrógeno total.	32
h. Cloruros.	33
i. Carbonatos y bicarbonatos.	33
j. Sulfatos.	33
k. Nitratos.	33
l. Relación de adsorción de sodio (RAS).	33
m. Porcentaje de sodio intercambiable (PSI).	33
n. Porcentaje de saturación de bases.	33
o. Porcentaje de sodio más magnesio.	33
p. Suma de bases.	33
5.6 ANALISIS MULTIELEMENTAL DEL SUELO POR TECNICAS DE ORIGEN NUCLEAR.	33
5.7 DETERMINACION DEL FACTOR K DE ERODABILIDAD DE LOS SUELOS.	34
6. RESULTADOS.	35
6.1 SUELOS.	35
6.1.1 Morfología de los Suelos.	35
6.1.1.2 Descripción morfológica.	36
• Perfil 1A.	36
• Perfil 2A.	38
• Perfil 3A.	40
• Perfil 4A.	42
• Perfil 5A.	44
• Perfil 6A.	47
6.2 PROPIEDADES DIAGNÓSTICAS DE LOS SUELOS.	50
• Perfil 1A y 1B.	50
• Perfil 2A y 2B.	54
• Perfil 3A y 3B.	59
• Perfil 4A y 4B.	63
• Perfil 5A y 5B.	69
• Perfil 6A y 6B.	74
7. DISCUSION.	79
7.1 GENESIS Y DINAMICA.	79
7.1.1 Origen del Material Parental.	79
7.1.2 Evolución y Dinámica del Material Parental.	84
7.1.3 Génesis Evolución y Procesos Característicos de los Suelos Estudiados	85
7.1.3.1 Suelos que se desarrollan sin limitantes físicas ni químicas	85
7.1.3.2 Evolución de suelos en un medio con drenaje confinado pero libre de sales.	85
7.1.3.3 Suelos confinados en profundidad y drenaje que además reciben adiciones de sales	86
7.2 TEMPORALIDAD Y VARIACIONES FISICAS Y QUIMICAS DE LOS SUELOS.	88
7.2.1 Propiedades Físicas.	88
7.2.2 Propiedades Químicas	89
7.2.3 Análisis Mutielemental por Retrodispersion de Rutherford (RBS) en los Horizontes de los Suelos Salinos-Sódicos.	91
8. CONCLUSIONES.	95

ANEXOS.

Anexo 1

Diagrama para determinar el factor K de edrodabilidad de los suelos

Anexo 2

Descripción de horizontes de diagnóstico.

Anexo 3

Glosario de términos.

INDICE DE FIGURAS

Capítulo 1. Introducción	
Figura 1. Distribución geográfica de los suelos afectados por sales.	2
Capítulo 2. Marco Histórico.	
Figura 2. Mapa topográfico de la cuenca de México.	6
Capítulo 4. Determinación y Localización de la zona de Estudio	
Figura 3. Localización de pozos y canales de monitoreo.	24
Figura 4. Clima y balance del agua en el suelo.	25
Capítulo 5. Metodología	
Figura 5. Fotografía aérea de la zona de estudio.	28
Figura 6. Mapa Topográfico de Nextlalpan, Edo. de México INEGI, escala 1:150000 (localización de los sitios de muestreo).	30
Figura 7. Distribución espacial idealizada de los suelos.	31a
Capítulo 6. Resultados	
Figura 8. Diagnóstico de las propiedades de los perfiles 1A y 1B.	51
Figura 9. Diagnóstico de las propiedades de los perfiles 2A y 2B.	58
Figura 10. Diagnóstico de las propiedades de los perfiles 3A y 3B.	62
Figura 11. Diagnóstico de las propiedades de los perfiles 4A y 4B.	68
Figura 12. Diagnóstico de las propiedades de los perfiles 5A y 5B.	73
Figura 13. Diagnóstico de las propiedades de los perfiles 6A y 6B.	78
Figura 14. Origen y características del material parental.	80
Figura 15. Evolución de los suelos aluviales (Fluvisol) en un medio no confinado, libre de sales.	81
Figura 16. Evolución de los suelos en un medio confinado por drenaje libre de sales.	82
Figura 17. Diagrama de la secuencia de salinización, solonización y solodización.	83
Figura 18. Relaciones elementales de horizontes nátricos.	92
Figura 19. Relaciones elementales de horizontes álbicos.	92
Figura 20. Relaciones elementales de horizontes sálicos.	92
Figura 21. Formación de carbonatos.	92

INDICE DE TABLAS

Capitulo 4. Determinación y Localización de la Zona de Estudio.	
Tabla 1 Estratigrafía y litología de las unidades de rocas y sedimentos que constituyen el subsuelo del area de estudio.	23
Capitulo 6. Resultados	
Tabla 2 Resultados de los análisis de laboratorio correspondientes al primer perfil en el período de Lluvia de un suelo Fluvisol eútrico (P1A).	52
Tabla 3. Resultados de los análisis de laboratorio correspondientes al segundo perfil en el período de lluvia de un suelo Fluvisol eútrico (P1B).	53
Tabla 4. Resultados de los análisis de laboratorio correspondientes al tercer perfil en el período de lluvia de un Suelo Vertisol eútrico (P2A).	55
Tabla 5. Resultados de los análisis de laboratorio correspondientes al cuarto perfil en el período de lluvia de un suelo Vertisol eútrico (P2B).	56
Tabla 6 Resultados de los análisis de laboratorio correspondientes al quinto perfil en el período de lluvia de un suelo Cambisol eútrico(P3A).	60
Tabla 7. Resultados de los análisis de laboratorio correspondientes al sexto perfil en el período de lluvia de un suelo Cambisol eútrico (P3B).	61
Tabla 8. Resultados de los análisis de laboratorio correspondientes al séptimo perfil en el período de lluvia de un suelo Solonchak órtico (P4A).	64
Tabla 9. Resultados de los análisis de laboratorio correspondientes al octavo perfil en el período de lluvia de un suelo Solonchak órtico (P4B).	66
Tabla 10. Resultados de los análisis de laboratorio correspondientes al noveno perfil en el período de lluvia de un suelo Solonetz órtico (P5A)	70
Tabla 11. Resultados de los análisis de laboratorio correspondientes al décimo perfil en el período de lluvia de un suelo Solonetz órtico (P5B).	71
Tabla 12. Resultados de los análisis de laboratorio correspondientes al onceavo perfil en el período de lluvia de un suelo Solod (P6A)	75
Tabla 13. Resultados de los análisis de laboratorio correspondientes al doceavo perfil en el período de lluvia de un suelo Solod (P6B)	76

Tabla 14. Relaciones Elementales, W.R.B, (1998).	93
Tabla 15 Análisis de las Muestras por RBS.	93
Tabla 16. Análisis de elementos Pesados determinados por RBS	94

PROLOGO

En todos los países del mundo, la salinidad y sódicidad en el suelo son uno de los principales fenómenos responsables de su deterioro. Esto implica una consecuente reducción en su potencial agrícola, por lo que existen numerosos trabajos relacionados con el tema que abarcan tanto propiedades físicas y químicas que afectan al suelo, como los procesos que se llevan a cabo en estas unidades de suelos y las clasificaciones taxonómicas que se les atribuyen, entre otros estudios. Sin embargo, las metodologías y los procesos que se emplean para estudiar los problemas de salinidad en estos suelos, suelen ser en su mayoría sumamente cualitativos y aproximados siguiendo con frecuencia patrones que muchas veces responden a modelos de otras regiones con características diferentes que no se apegan a la realidad de un área determinada. Así, grandes áreas de suelos que son afectados por problemas de salinidad y sódicidad se ven incrementadas por no tener soluciones prácticas de manejo y conservación. La prevención y predicción de la salinidad de los suelos no solo requiere de estudios que incluyan condiciones climáticas sino que también se incorporen estudios referentes a las técnicas de manejo (irrigación), presencia de mantos freáticos, origen del suelo, que influyan principalmente en su desarrollo y que afecten sus propiedades y su fertilidad. Lo anterior con el fin de tener un mejor manejo de los recursos naturales con los que se cuentan. México no es la excepción, en el país existe la necesidad de un estudio completo sobre la génesis y dinámica de las sales en numerosas áreas determinadas que ayuden a explicar las características propias del suelo que se encuentra afectado por la presencia de sales, lo cual es una base para incrementar su productividad y sustentabilidad.

RESUMEN

Debido a las condiciones de clima árido y semiárido que prevalecen gran parte de México así como al tipo de geofoma confinada en donde se desarrollan muchos suelos, su utilización y manejo han provocado que extensas regiones puedan ser afectadas por condiciones de salinidad, o de acumulación de sodio o ambos en exceso, alterando las características morfológicas, físicas y químicas de los suelos. Nextlalpan localidad del municipio de Zumpango, Estado de México se encuentra afectado por fenómenos de salinidad y sodicidad en sus suelos, inherentemente debido a su origen geológico y condiciones climáticas que imperan en la región, así como las actividades agrícolas como la irrigación con aguas de mala calidad que se aplican. En este trabajo fue llevado a cabo un estudio sobre la génesis y dinámica de los suelos salinos y/o sodicos presentes en esta área, así como la estimación de su degradación física (compactación, encostramiento y empelmazamiento) y de su degradación química como es el incremento de sales y de sodio en el suelo. Para mostrar la dinámica de las sales en el suelo fue efectuado un muestreo multitemporal, el cual se realizó en dos periodos del año en época de sequía y en la época de lluvia. Las muestras obtenidas fueron sometidas a las técnicas de rutina para su evaluación de sus propiedades físicas y químicas, como también a las técnicas de origen nuclear con el fin de estimar algunos índices relativos a la composición química de los suelos. Para explicar la génesis de los procesos que se llevan a cabo en el área de estudio se relacionó los suelos estudiados con la tendencia evolutiva sugerida por Gedroits (1927) y Kellog (1934-1936), Fanning (1989) y WRB, (1998) en donde se muestran procesos de salinización, solonización y sodificación. En la mayoría de los suelos estudiados fueron detectados horizontes salinos según la definición de USDA (1998) y solamente en escasos sitios se detectaron la presencia de horizontes B nátricos (Btn). Por lo que muchos de los suelos muestreados de acuerdo FAO-UNESCO (1994), se ubican principalmente en los suelos denominados Solonchak y Solonetz. Estos suelos se han formado en lo que fuera parte de la cuenca del gran lago de Tenochitlan y es posible concluir que la distribución de estos suelos está íntimamente ligada a origen del material parental, geofomas, drenaje confinado y manto freático fluctuante que caracterizan la zona de estudio.

1. INTRODUCCION

Se sabe de modo axiomático, que los suelos afectados por sales ocupan áreas extensas a nivel mundial, de acuerdo a la FAO-UNESCO (Soil Map of the World, 1984-1994), la extensión de estos suelos ha sido estimada en 901.4×10^6 ha, (Gutpa y Abrol, *cit.* por Stewart, 1990).

Según Chapman y Szabolcs (citados por Stewart, 1990) la distribución global de los suelos afectados por sales (Figura 1) es la siguiente:

En norte América existen 6,191,000 ha de suelos salinos, mientras que los suelos alcalinos ocupan una superficie de 9,564,000 ha. En México y centro América, según estiman Gupta y Abrol (*cit.* por Stewart, 1990), dichos suelos abarcan 1,965,000 ha, no siendo estimada la superficie de los suelos afectados por condiciones alcalinas. En el sur de América existen 69,410,000 ha de suelos afectados por sales y 59,573,000 ha por condiciones alcalinas. En el sur de Asia los valores son de 83,312,000 ha y 1,798,000 ha respectivamente. En el norte y centro de Asia también existen grandes zonas con problemas de salinidad, abarcando respectivamente, una superficie de 91,162,000 y 120,065,000 ha. En la región del suroeste de Asia el problema de la salinidad abarca 19,983,000 ha. En Australia el área de suelos ocupada por sales se estima en 17,359,000 ha y la de suelos alcalinos en 339,971,000 ha. La extensión de suelos afectados por sales en Europa es de 508,000 ha.

Más recientemente, la World Research Data Base (W.R.B., 1994-1998) menciona que existe más del 10% de la superficie terrestre esta cubierta por diferentes unidades de suelos afectados por sales.

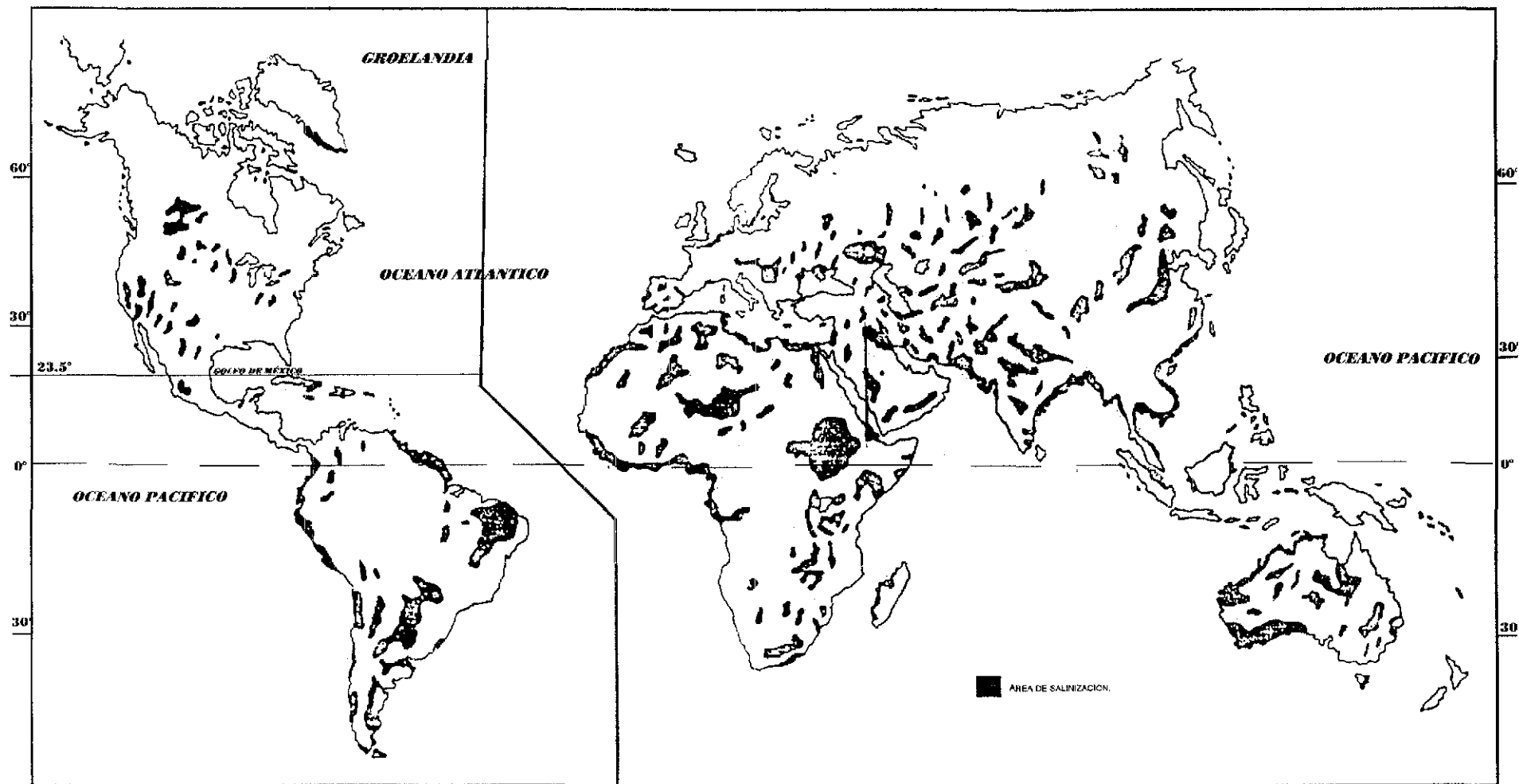
De acuerdo con FAO-PNUMA (1980), la salinización de los suelos puede obedecer a procesos tanto naturales, como inducidos por el hombre y su tecnología. Desafortunadamente, en México ambos procesos existen y ocupan áreas considerables del territorio nacional (Aguilera, 1989, Gama *et al.*, 1992).

En México se han registrado pérdidas de suelos por salinidad en varios estados del norte del país, donde se encuentran comprendidas las zonas áridas y semiáridas. Dichas áreas ocupan, aproximadamente, $800,000 \text{ km}^2$, presentándose también problemas de salinidad y sodicidad en la región Lagunera, en la región del Bajío, en los estados de Tamaulipas, Oaxaca, Tlaxcala y San Luis Potosí. En la Cuenca de México también existen zonas afectadas por salinidad.

Se ha estimado que de los 86 distritos de riego que existen en todo el país, con una superficie aproximada de 443,985 ha, todos presentan diferentes grados de salinidad y sodicidad (Arita, 1976).

Los problemas de salinidad debido a la irrigación, también son particularmente serios en Argentina, Egipto, India, Irak, Irán y Siria. Las pérdidas de cosechas por salinización fueron estimadas, recientemente, en 300 millones de dólares anuales (FAO, 1984).

Por otra parte, en la India, el 35% de las tierras irrigadas son salinas. En Pakistán, donde el 80% de toda la tierra dedicada a la agricultura es irrigada, una tercera parte de ésta, (cerca de 6 millones de hectáreas) presenta severos problemas de sales y el 16% es amenazada por salinización al incrementarse el uso de agua de mala calidad para el riego (Rhoades, *citado* por Goudie, 1990)



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 1. Distribución geográfica de los suelos afectados por sales.

JUSTIFICACION.

Como puede observarse, el problema de la salinidad y/o sodicidad de los suelos, tanto de origen natural como inducida, es de alcance mundial y tiende a incrementarse año con año. Consecuentemente, en esta misma tasa, los suelos agrícolas o con potencial agrícola disminuyen en proporción directa (FAO, 1984).

La acción de este fenómeno definido como “la acumulación de sales en el suelo”, no sólo afecta las características inherentes al suelo sino que, también, su calidad y sustentabilidad como recurso productor de insumos vitales al hombre.

En países como México, donde el índice de natalidad aún es alto (1.6%), la demanda de alimentos e insumos se incrementa día con día. Consecuentemente, la salinización y/o sodificación de los suelos representa una amenaza real para la calidad de vida de su población, tanto actual como futura (INEGI, 1998).

Por otra parte, existe la falacia de que los trabajos e investigaciones sobre el origen, dinámica, interacciones y consecuencias de la acumulación de sales en el suelo, son muy extensos, confiables y completos. Esto carece de fundamentos si se consideran los siguientes hechos:

- La salinidad de los suelos se incrementa de modo más rápido que las medidas tomadas para su rehabilitación (FAO-PNUMA, 1980; W.R.B., 1998).
- La salinidad tiene diferentes orígenes y se presenta en diferentes zonas ecológicas, con una dinámica y efectos particulares en cada una (FAO, 1984-1996).
- La mayoría de las investigaciones sobre la salinidad y/o sodicidad, así como su rehabilitación, se han realizado principalmente en zonas áridas o en zonas sometidas a riego. Consecuentemente, la investigación sobre este fenómeno no ha sido agotada, principalmente para aquellas áreas comprendidas en zonas templadas, semitropicales y tropicales, como es el caso de muchas regiones de México (Gama, 1996).
- La dinámica de las sales, su concentración, localización y efectos sobre las plantas y el suelo es diferente durante el año. Esto significa que las sales no son estáticas a través del tiempo y, consecuentemente, que un solo muestreo de los suelos que acumulan sales es insuficiente para dar una diagnosis adecuada o alternativas de solución (Ortiz, 1999).
- Según FAO-UNESCO (1994) y W.R.B. (1998), existen a nivel mundial más de 150 subunidades de suelos, de las cuales, más de 130 están presentes en México. Cada subunidad tiene su propia aptitud natural de uso y, teóricamente, su propia dinámica y capacidad de amortiguamiento ante los factores adversos que tienden a su degradación. Esto hace casi imposible de creer que se conoce, en su totalidad, la dinámica de respuesta y efectos de las sales para un número tan considerable de suelos (Gama *et al.*, 1992).

Sin duda, una de las áreas templadas de México, afectada por estos fenómenos de salinidad y sodicidad, que más se conoce desde el punto de vista histórico y geográfico, tanto a nivel nacional como internacional, es la Cuenca de México (Bassols, 1983).

Esta cuenca según D.G.C.O.H. (1981), no sólo representa el área de mayor concentración poblacional del país, sino que además es la región geográfica del territorio nacional que más

insumos, energía y alimentos demanda diariamente (INEGI, 1991-1994-1998). En consecuencia, se considera como una entidad prioritaria para la investigación tanto básica como aplicada, dentro de la temática de los suelos salinos y/o sódicos.

Con base en todo lo anteriormente expuesto y con apoyo en el marco teórico que se presenta en esta tesis, los objetivos fueron:

OBJETIVO GENERAL.

Establecer la génesis, degradación y dinámica de los suelos salinos sódicos que caracterizan el área de Nextlalpan, Estado de México, con base en las características ambientales que actualmente predominan en ella.

Objetivos Específicos.

1. A través de análisis físicos y químicos selectos, caracterizar a los suelos estudiados en morfología, propiedades físicas y químicas, así como determinar sus fases limitantes.
2. Establecer la génesis de las sales que se presentan en estos suelos.
3. Clasificar a los suelos con base en FAO-UNESCO (1994) y correlacionarlos con la clasificación de la Soil Taxonomy, (1998) y W.R.B. (1994-1998).

HIPOTESIS

1. Los procesos de aluvionamiento acumulación y estratificación, activamente presentes durante gran parte del Pleistoceno-Holoceno en la Cuenca de México son responsables de la formación del material parental que originó a los suelos estudiados.
2. Las clasificaciones taxonómicas actuales, aún no pueden establecer, ni con frecuencia diferenciar, el número de intergradaciones que se pueden presentar. Esta deficiencia en las clasificaciones separa de modo artificial, un *continuum* de unidades diferentes de suelos.
3. Actualmente, la génesis, evolución y formación de intergradaciones, en los suelos estudiados, así como la distribución de éstas, obedece principalmente a factores como: el relieve, drenaje externo e interno del suelo, presencia de capas compactadas en el subsuelo, adiciones naturales de sales y adiciones de origen antropogénico, así como a la presencia de mantos freáticos fluctuantes.

2. MARCO HISTORICO.

La Cuenca de México es una unidad hidrológica cerrada, aunque actualmente drenada artificialmente. La Cuenca ocupa, aproximadamente, un área de 7000 km². Su parte más baja está constituida por una planicie lacustre con una elevación promedio de 2240 msnm (INEGI, 1998) y está circundada en tres de sus lados, por una sucesión de sierras volcánicas de más de 3500 m de altitud (Figura 2). Pertenece a la provincia fisiográfica de la Faja Volcánica Transmexicana la, Cuenca se encuentra dentro de la subprovincia de lagos y volcanes del Anáhuatl, (Mosser, 1987).

Con la conquista, las ciudades localizadas en la cuenca fueron rediseñadas, según la traza de los pueblos españoles. Así, la superficie lacustre comenzó a ser considerada incompatible con el nuevo estilo de edificación y el uso de la tierra.

La escasa altura de algunas montañas al norte de la cuenca, y la existencia de pasos casi a nivel entre algunas de estas lagunas, llevaron al gobierno colonial a planear el drenaje de dicha cuenca hacia al norte, desde los alrededores del lago de Zumpango hacia el área de Huehuetoca. El primer canal de drenaje tenía 15 km de longitud, de los cuales 6 km formaban una galería subterránea en Nochistongo. En el año de 1608, este canal abrió por primera vez la cuenca de México hacia el Golfo a través de la cuenca del Río Tula, en el actual Estado de Hidalgo (Lara, 1988).

A partir del siglo XVII, comenzaron a construirse obras de drenaje con tamaño y complejidad crecientes, con el objeto de librar a la Ciudad de México del riesgo de inundaciones y también, con el objeto de secar el lodoso subsuelo del fondo del lago (Figura 2). Estas obras produjeron, poco a poco, cambios en el medio ambiente de la cuenca (Ezcurra, 1991). Sin embargo, esto no funcionó adecuadamente y el continuo azolvamiento obligó al virreinato a abrir, más tarde, un canal profundo a cielo abierto conocido como el "Tajo de Nochistongo".

Antes del surgimiento del imperio azteca, aproximadamente en el año 1000 de nuestra Era, el sistema lacustre del fondo de esta cuenca cubría aproximadamente 1500 km² y estaba formado por cinco lagos someros encadenados de norte a sur: Texcoco, Chalco y Xochimilco y los del norte: Zumpango y Xaltocan. Estos dos lagos eran algo más elevados que los anteriores y sus aguas escurrían hacia el cuerpo de agua central más bajo: Texcoco, donde la escorrentía se acumulaba antes de evaporarse a la atmósfera. El agua de escorrentía, en su camino de las laderas de los cerros hacia las partes bajas de la cuenca, disolvía, y aún sigue disolviendo, sales minerales de las partículas de suelo y de las rocas que encuentra a su paso (Ezcurra, *op cit*). Estas sales, tendían a acumularse en las distintas lagunas antes mencionadas.

Las obras del drenaje continuaron sólo como un vertedero del exceso de agua de la cuenca, pero con la construcción del canal de Guadalupe en 1796 se conectó con el Lago de Texcoco y las áreas lacustres de la cuenca comenzaron nuevamente a inundarse rápidamente (Trabulse, 1983 *cit.* por Ezcurra, 1991).

De acuerdo con varios autores, entre los que pueden citarse a Bassols (1983), Sala (1986) y Ezcurra (1991), las obras desarrolladas durante la colonia, no sólo no lograron su objetivo principal, sino que propiciaron una catástrofe en la red hidrológica de la Cuenca de México.

A esta catástrofe, se sumaron otros errores como fueron: (a) la deforestación intensa de las sierras aledañas a la Cuenca, (b) la desecación de ciénegas, (c) la apertura masiva de pozos artesianos que abatieron los mantos de agua dulce y permitieron su contaminación con aguas salobres, (d) el empleo de esta agua en la agricultura, (e) la destrucción de diques que separaban las aguas dulces de

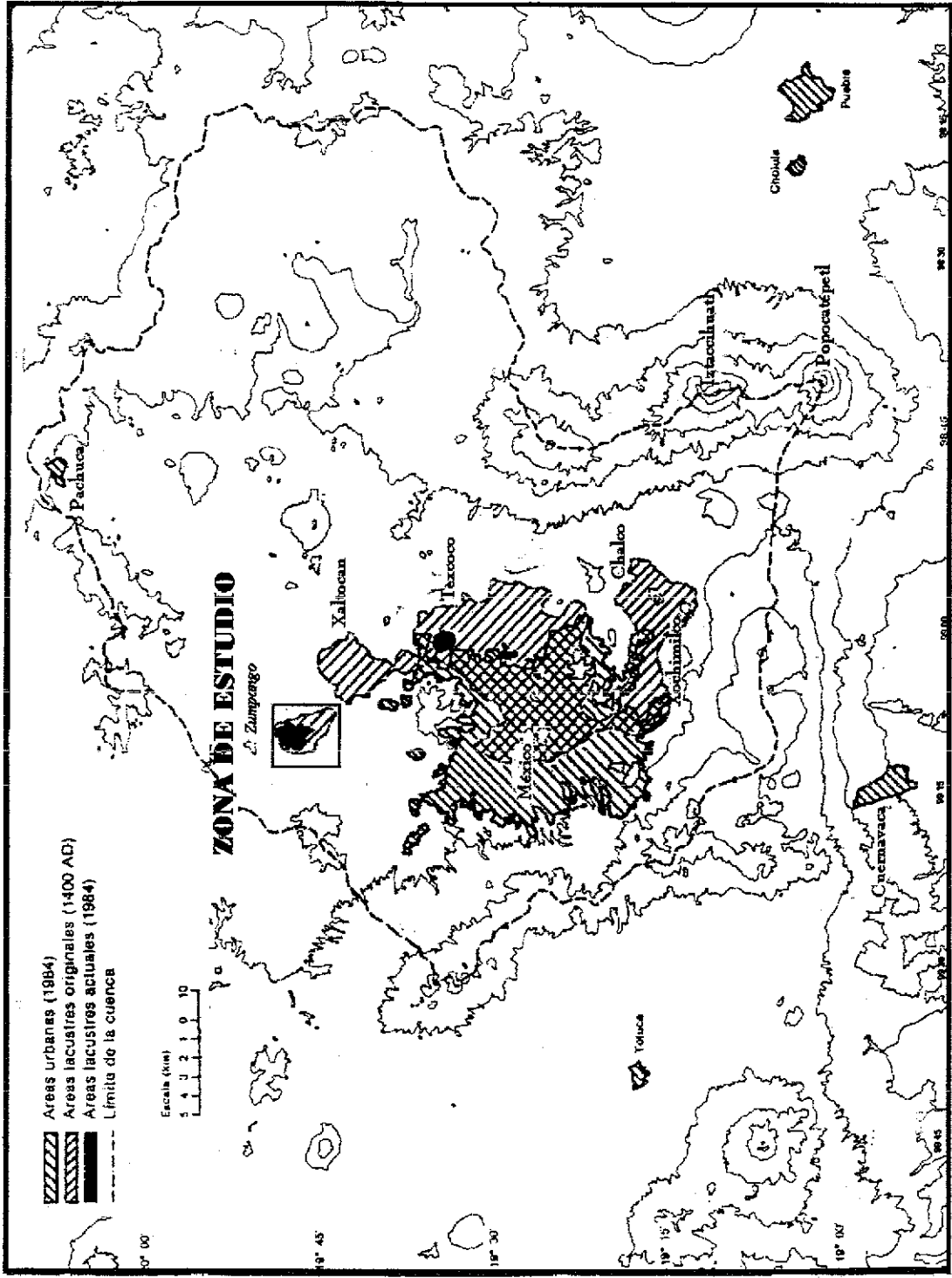


Figura 2. Mapa topográfico de la Cuenca de México.

las saladas y (f) la contaminación de las aguas y mantos por efectos de drenaje urbano, como lo atestiguan los trabajos de investigación realizados por Villalpando (1998), entre otros.

Al mismo tiempo que se propiciaba esta degradación, de origen antropogénico, se incrementaba la severidad de varios factores naturales que contribuyeron, notablemente, a aumentar la acumulación de las sales en una extensión considerable de los suelos de la Cuenca de México.

Entre otros procesos, se incrementó la escorrentía por hidroerosión, la eolización, que hasta fechas recientes continuo, el abatimiento de mantos freáticos potables, la desecación de cuerpos de agua y la evaporación y evapotranspiración, que dieron lugar a una mayor iluviación de sales de las capas más profundas hasta la superficie, convirtiendo el lecho de esos lagos en un erial (Ortega, 1987).

Hasta ahora todas las medidas adoptadas para la rehabilitación de estos lechos lacustres y suelos, o han fracasado, o sus alcances han sido limitados, no obstante las grandes inversiones realizadas en su recuperación.

3. MARCO TEORICO

3.1 ORIGEN Y OCURRENCIA DE LAS SALES EN LOS SUELOS.

La mayoría de los autores e instituciones de investigación sobre la salinidad de los suelos, en las que se incluyen: FAO-UNESCO, FAO-PNUMA, W.R.B. y USDA-SCS, coinciden al afirmar que existen dos tipos principales de fenómenos que originan la salinidad-sodicidad de los suelos, incluyendo en varios casos la alcalinidad de los mismos. Estos fenómenos, según Bresler y colaboradores (1982) son:

- **Primarios** (salinidad primaria). Se consideran como fenómenos naturales, totalmente ajenos a la acción del hombre o de su tecnología.
- **Secundarios** (salinidad secundaria). Se consideran como fenómenos inducidos por el hombre y su tecnología.

La extensión y severidad de ambos tipos de fenómenos dependen del uso del suelo, vegetación, geología, suelos, clima, hidrología y fuentes de sales (Szabolcs, 1979). Cada uno de esos factores afecta la tasa de recarga de los suelos, lo que directamente influye en la tasa de descarga en un área. Recarga es un término usado cuando los poros del suelo están saturados con agua, causando un exceso que debe percolarse dentro de la zona saturada del suelo, o en el manto freático (USDA-SCS, Soil Glossary, 1998).

3.1.1. Salinidad y/o Sodicidad Primarias.

Los principales factores que propician una degradación natural del suelo por salinidad y/o sodicidad son:

- **Clima.** Donde la precipitación anual (PA) es insuficiente para satisfacer las necesidades de evapotranspiración de los vegetales (Et), por lo tanto donde $Pa < Et$. Esto es común, aunque no privativo de zonas semiáridas y áridas (Bresler, *et al*, 1982).
- **Edafoclima.** Los suelos que presentan regímenes de humedad-temperatura incluidos en las clases ácuico y peracuico donde existen condiciones de drenaje deficiente, o edafoclima arídico o tórrido o donde $Pa < Et$, siempre presentan riesgos altos de salinidad-sodicidad (USDA, 1998). Estos regímenes del suelo pueden ser independientes y contrastantes con las características del clima. Por ejemplo: los suelos salinos de zonas semitropicales y tropicales (Gama, 1996).
- **Adiciones por agentes externos.** La eolización, la precipitación pluvial y la escorrentía son factores que pueden adicionar grandes cantidades de sales a los suelos. Por ejemplo varias zonas costeras del mundo, la lluvia puede depositar más de 60 kg de sales/ha/año (Bresler *et al*, 1982).
- **Drenaje interno del suelo.** Los suelos que muestran clases de drenaje lento y deficiente son susceptibles a la salinización y/o sodificación, principalmente si el subsuelo presenta tipos texturales como franco arcilloso limoso o arcilloso (USDA-USSL, 1996).

- **Presencia de capas impermeables en el subsuelo.** Estas pueden dividirse en:
 - Líticas.** Son capas de origen geológico que se caracterizan por ser duras, continuas y coherentes. Incluyen rocas volcánicas, sedimentarias y metamórficas (W.R.B., 1998). En general, representan un impedimento al paso del agua, lo cual en zonas planas o cóncavas, facilita la acumulación de sales. La evapotranspiración puede provocar la eluviación de estas sales a la zona radical, afectando el crecimiento de las plantas.
 - Paralíticas.** Incluyen las siguientes capas: (a) duripán, (b) fragipán, (c) densipán, (d) claypán y (e) esquelética. Su acción es similar a las de las capas líticas (FAO-UNESCO, 1994 y Flores y col. 1994).

- **Geoformas.** Cualquier geoforma, con drenaje deficiente, que actúe como una cuenca receptora, siempre muestra un riesgo significativo para acumular sales (Bergama, 1990). Este riesgo es especialmente alto cuando: (a) $E_t > EP$, (b) existe un clima estacional con períodos de sequía y humedad bien marcados, (c) las adiciones externas de sales son continuas; y (d) existen capas impermeables o manto freático alto (Birkeland, 1994).

- **Manto freático y corrientes subterráneas.** Algunos investigadores como Bresler *et al* (1982), consideran que la presencia de mantos freáticos salinos, o corrientes próximas a los dos metros de profundidad del suelo, siempre representa potencialmente, un riesgo alto de salinización y/o sodificación. Estos autores estiman que durante la época de lluvias, muchas sales son disueltas, eluviadas y con frecuencia drenadas al manto freático aumentando su concentración de sales.

Al incrementarse la recarga del suelo por efecto de las lluvias, el volumen de agua excedente se descarga en el manto freático, incrementando su volumen (Buckman y Brady, 1985). Consecuentemente, el manto freático asciende, en ocasiones, alcanzando la superficie del suelo, donde permanece por un tiempo definido. Durante este tiempo, las sales solubles contenidas en el manto freático, permanecen en la matriz del suelo. Al presentarse el período de sequía, el manto desciende paulatinamente, arrastrando una gran cantidad de sales. Sin embargo, una cantidad significativa de éstas queda depositada en las diferentes estructuras presentes en la matriz del suelo (Buol y col., 1986). Como este fenómeno es cíclico, la concentración de sales tiende a incrementarse, paulatinamente, durante cada ciclo.

- **Presencia de sales fósiles.** Según Fassbender (1988), las sales fósiles aportan un índice alto de salinidad y/o sodicidad al agua del subsuelo. Normalmente, dichas sales afectan mantos o corrientes profundas (fase freática profunda: $>5m$). Sin embargo, estas sales llegan a ser dañinas para los cultivos, en aquellas zonas donde existe riego a través de pozos artesianos que al excavar se ponen en contacto las sales con el agua destinada al riego. Existen varios ejemplos a nivel mundial y nacional, por ejemplo el proyecto de riego Werllton-Mohwk de Arizona, donde las aguas saturadas de sales fósiles, contenidas en el subsuelo, fueron descargadas al río Gila, afectando gravemente la zona de cultivo de Mexicali (ICAMEX-SEDRAGO, 1993).

- **Intemperismo de los minerales.** A nivel mundial, las investigaciones sobre el intemperismo de los minerales como causa natural de la presencia y acumulación de sales en los suelos, ha tenido un gran auge.

concentración de bióxido de carbono en la solución, provoca la transformación de carbonatos a bicarbonatos, el cual es un proceso reversible. Esto ocurre cuando la actividad de los microorganismos es lenta y el contenido de materia orgánica bajo.

3.1.2 Salinidad o Sodicidad Secundarias.

Como se mencionó anteriormente, se trata de fenómenos inducidos tanto por causas antropogénicas como tecnogénicas (USDA-SCS, 1993; Gama, 1996). Las prácticas más comunes que pueden originar esta degradación son:

- **Irrigación.**

La salinidad y/o sodicidad generadas por la irrigación con aguas de mala calidad, es similar en sus caracteres y procesos a la de origen natural, con excepción de que la dinámica de los mantos freáticos esta, principalmente, generada por el agua de riego, más que por la lluvia (Kovda, 1973).

El empleo de agua salobre en la irrigación, si bien es cierto que permite la agricultura en ambientes desérticos, normalmente provoca la salinización y/o sodificación de los suelos y agua freática (D.G.E., 1972). Esto es, porque el agua de irrigación trae sales adicionales y libera las sales inmovilizadas en la solución del suelo.

La salinidad y/o sodicidad por irrigación, se refiere a una acumulación de sales en la zona de crecimiento radical o en la superficie del suelo. Esto, comúnmente, resulta cuando el manto freático salino alcanza una profundidad de dos metros, o menor, a partir de la superficie.

El problema se presenta cuando el volumen de agua para riego excede la evaporación y transpiración de las plantas (Rhoades, 1972-1988, *cit.* por Goudie, 1990). El exceso de agua que se percola en el manto freático (recarga) causa que éste ascienda. Cuando este sube los primeros dos metros de profundidad tiene gran influencia en el suelo, principalmente en la zona radical por efecto de la acción capilar. Si la ascensión del manto freático continúa, el agua cargada de sales disueltas, puede aflorar en la superficie y la evaporación genera que esas sales se acumulen (Millar *et al.*, 1985). Dichas sales son solubles y pueden afectar el crecimiento de las plantas a través de dos condiciones:

- Las sales son hidrófilas y compiten con las plantas para tomar agua del suelo (presión osmótica). Esto reduce el vigor y crecimiento de las plantas.
- Las sales solubles contienen iones como sodio, cloruros y boratos que pueden ser tóxicos a los cultivos. Además, algunos de esos iones también son responsables de incrementar el pH, lo cual tiene un resultado directo sobre la disponibilidad de algunos nutrimentos como son el hierro, los fosfatos, el zinc y el manganeso, los cuales ya no son disponibles para las plantas (Rhoades, 1972-1988, *cit.* por Goudie, 1990; Ortiz, 1999).

Por otra parte, los suelos con riego al ir incrementando su concentración de sodio, están sujetos a la dispersión y, consecuentemente, son más erodables. Otro impacto asociado incluye el deterioro de la calidad del agua y muerte de la vegetación nativa (Richards *et al.*, 1985).

- **Cambio en el uso del suelo o en la vegetación.**

Con frecuencia, la substitución de una vegetación natural por una vegetación inducida provoca cambios en los procesos hidrológicos, los cuales a su vez pueden propiciar, indirectamente, la acumulación de sales en el suelo (Goudie, 1990). Por ejemplo, al sustituir una vegetación natural que muestra un uso consuntivo de agua alto, por una vegetación inducida, como es el caso de algunos pastizales con bajo uso consuntivo, el exceso de agua que resulta tiende a incrementar la recarga en el suelo y se percola al manto freático, causando que éste ascienda. Los procesos que continúan con esta dinámica son exactamente los mismos que fueron descritos para los suelos con exceso de riego.

- **Otros factores inducidos.**

Las actividades humanas, como la explotación de zonas petroleras, minería, turismo intensivo, ubicación de desperdicios y fertilización de cultivos, también pueden aportar cantidades considerables de sales solubles en áreas localizadas. La explotación de lugares afectados por mareas o que, con anterioridad fueron parte del lecho marino, también pueden presentar problemas de salinidad y/o sodicidad debido a la intrusión de agua salada, especialmente cuando el uso de agua dulce es insuficiente para remover el agua de mar. Con frecuencia, las actividades humanas disminuyen el flujo de agua dulce hacia el mar.

3.2 CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS SALINOS, SODICOS Y ALCALINOS.

3.2.1 Suelos Salinos.

Los suelos salinos se reconocen por la presencia de costras de sales blancas en la superficie, las cuales están principalmente constituidas por cloruros y sulfatos de Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} (USDA-SCS, Soil Glossary, 1998). Los suelos con sales neutras, generalmente presentan un $\text{pH} < 8.2$. La conductividad eléctrica (C.E.) en el extracto de saturación de los suelos salinos es, comunmente mayor de 4 dsm^{-1} [(Sistema Internacional de Unidades (S.I.)) a 25°C . Cuando los cloruros y los sulfatos de Ca^{2+} y Mg^{2+} son las sales predominantes, la reacción de la absorción del sodio (SAR) en la solución del suelo es usualmente menor que 15 (Robinson, 1977; Gupta y Abrol *cit. por* Stewart, 1990).

En estos suelos, los nitratos pueden estar presentes y también pequeñas cantidades de bicarbonatos. Con frecuencia, algunas sales relativamente solubles, como el CaSO_4 y el CaCO_3 también suelen encontrarse entre los cationes, el Na^+ rara vez llega a ser más de la mitad de los cationes solubles y no es adsorbido en cantidad apreciable sobre la fracción coloidal del suelo (Millar *et al.*, 1975).

Los valores de C.E. mayor a 1 dSm^{-1} son encontrados típicamente en suelos de zonas áridas, donde el régimen climático produce una tasa de evaporación que excede a la tasa de precipitación anual (Gillman, 1980). Los iones relacionados en la solución del suelo por intemperismo mineral, o introducidos por mantos freáticos salinos, tienden a acumularse como minerales secundarios en los suelos. Los minerales secundarios incluyen: mineral arcilloso, carbonatos, sulfatos y cloratos. Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} son relativamente fáciles de ser lavados en la solución del suelo (Garrison, 1989).

3.2.2 Suelos Sódicos.

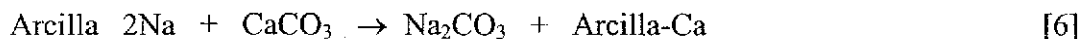
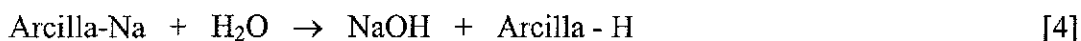
Los suelos sódicos, según el Glosario de la Ciencia del Suelo, USDA (1998), son suelos que acumulan sodio intercambiable dentro de sus primeros 100 cm de profundidad. Este sodio, intercambiable, representa al menos el 15% de la capacidad de Intercambio Cationico de un suelo (Porcentaje de Sodio Intercambiable = PSI). Los suelos sódicos, aunque existen en estado natural (Salinidad Primaria) se desarrollan comúnmente como resultado del riego.

Debido al estado disperso de los coloides, por efecto del sodio, son difíciles de labrar y presentan baja permeabilidad. Después de un periodo prolongado, la arcilla dispersada por el sodio puede emigrar hacia horizontes profundos del suelo, formando una capa muy densa con una estructura prismática y/o columnar (B nátrico). En estos suelos, la solución presente contiene sólo pequeñas cantidades de Ca^{2+} y Mg^{2+} pero grandes cantidades de Na^+ . Los aniones incluyen sulfatos, cloruros, bicarbonatos, y generalmente pequeñas cantidades de carbonatos. En algunas áreas también está presente una cantidad apreciable de sales de K^+ (Millar *et al.*, 1985).

3.2.3 Suelos Alcalinos.

Los suelos alcalinos ($\text{pH} > 8.4$) contienen un exceso de Na^+ intercambiable constituido químicamente como NaCO_3 . Estos suelos se caracterizan por presentar costras salinas en su superficie, un pH mayor de 8.4 y una relación de Na/Cl mayor que 1 (USDA-SSC, Soil Glossary, 1998). Cuando los suelos contienen sulfatos en cantidades pequeñas, la relación $\text{Na}/(\text{Cl} + \text{SO}_4)$ es mayor que 1, lo que puede indicar la presencia de NaCO_3 . Muchos suelos que contienen carbonatos solubles muestran un porcentaje de Na intercambiable mayor de 15, un pH mayor de 8.2 y una C.E. en pasta de saturación, usualmente, mayor de 4dSm^{-1} a 25°C . (Gupta y Abrol *cit por Stewart*, 1990).

Cuando existe reemplazo del Ca^{2+} por el Na^+ , la concentración de las demás sales en el suelo es suficientemente baja para permitir la hidrólisis de la arcilla sódica (Lowe, 1986). Así, el NaCO_3 puede formarse tanto por la arcilla sódica que reacciona con el CaCO_3 , como por la acción de anhídrido carbonico con el hidróxido sódico liberado por hidrólisis, en una reacción química similar a la que se presenta a continuación:



El carbonato sódico así formado, debe ser considerado como consecuencia de la alcalinización, más que como uno de los caracteres distintivos de un suelo alcalino (Robinson, 1977).

3.3 CLASIFICACION DE LOS SUELOS AFECTADOS POR SALES.

El Laboratorio de Salinidad del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos USDA-SCS (1996), así como W.R.B., (1994-1998) han propuesto una clasificación de los

suelos que comprende tres grandes categorías basadas en sus propiedades químicas: suelos salinos, sódicos-salinos y sódicos no salinos. Dichas categorías conducen a cierta información con respecto al problema de salinidad.

Los suelos están clasificados en salinos y no salinos de acuerdo con la conductividad eléctrica del extracto de saturación. El criterio en que se basa esta determinación es que la conductividad de la corriente eléctrica está en relación con el contenido de sales presentes en el extracto, así como de la energía libre del agua. La otra propiedad empleada es el porcentaje de saturación con sodio del complejo intercambiable. Este porcentaje provee un índice de dispersión de las partículas del suelo, así como ciertas condiciones referentes a la nutrición de plantas, ya sea que existan de hecho en el suelo o bien que se desarrollen como resultado de la eliminación de sales solubles (Ortiz, 1999).

3.3.1 Suelos Clasificados como Salinos.

El término se aplica a suelos con CE mayor que 4dSm^{-1} a 25°C , con un porcentaje de sodio intercambiable (PSI) menor que 15 y, generalmente, un pH mayor que 8.5 (USDA-SSC, Soil Glossary, 1998). Dichas características corresponden con los Solonchak (FAO-UNESCO, 1994). En éstos suelos, teóricamente el establecimiento de un drenaje adecuado permite eliminar por lavado las sales solubles, volviendo a ser suelos normales. En campo, se reconocen por la presencia de costras blancas de sal en su superficie (Richards, 1954).

En estos suelos el sodio rara vez representa más de la mitad del total de los cationes solubles y por lo tanto, no es adsorbido en forma importante. Las cantidades relativas de calcio y magnesio presentes en la solución del suelo y en el complejo de intercambio, varían considerablemente. Tanto el potasio soluble como el intercambiable son constituyentes mayores (Richards, 1985).

3.3.2 Suelos Clasificados como Sódicos-Salinos.

En los suelos sódicos-salinos la C.E. es mayor que 4dSm^{-1} a 25°C y el PSI mayor que 15. Cuando estos suelos contienen un exceso de sales, su apariencia y propiedades son similares a las de los suelos salinos; sin embargo raramente el pH es mayor que 8.5 y las partículas del suelo permanecen floculadas (USDA SSC, Soil Glossary, 1998). Si el exceso de sales solubles es lavado, las propiedades de estos suelos pueden cambiar notablemente, siendo idénticas a las de los suelos sódicos no salinos. A medida que la concentración de sales disminuye en la solución, parte del sodio intercambiable se hidroliza para formar hidróxido de Na^+ , que a su vez, puede cambiar a carbonato de sodio. En cualquier caso, el lavado de este tipo de suelo puede hacerlo mucho más alcalino ($\text{pH} > 8.5$). Así, las partículas se dispersan y el suelo se vuelve desfavorable para la absorción de agua y para las labores de labranza (Richards, 1985).

3.3.3 Suelos Clasificados como Sódicos no Salinos.

En los suelos sódicos no salinos, la C.E. es menor que 4dSm^{-1} a 25°C , el PSI igual o mayor de 15, y el pH puede tener valores de 8.5 a 10 características de los Solonetz (FAO-UNESCO, 1994). La materia orgánica al estar dispersa y disuelta en el solum, puede moverse,

acumularse y depositarse en la superficie, causando un oscurecimiento del suelo. Al aumentar la proporción de Na^+ intercambiable, el suelo tiende a ser más disperso y el pH aumenta hasta 10. En la solución del suelo, los aniones presentes consisten en su mayor parte de cloruros, sulfatos y bicarbonatos, presentando también pequeñas cantidades de carbonatos. A pH alto y en presencia de iones carbonato, el Ca^{2+} y el Mg^{2+} se precipitan, de manera que usualmente solo pequeñas cantidades de potasio intercambiable y soluble pueden presentarse en algunos de estos suelos (Richards, 1985).

3.4 OTRAS CLASIFICACIONES PROPUESTAS PARA LOS SUELOS SALINOS.

Recientemente, la World Reference Data for Soil Resources, (W.R.B.,1994-1998) auspiciada, principalmente por FAO-UNESCO, ISRIC y SSS, propuso, a un nivel esquemático, una clasificación para los suelos afectados por sales.

El marco teórico de dicha clasificación se basa en que “la salinidad de un suelo se mide principalmente por la concentración de la sal, expresada por un valor mínimo en la conductividad eléctrica”. Dependiendo de la concentración de sales presentes, los suelos salinos se pueden agrupar en tres categorías: suelos clorhídricos, suelos sulfatos y suelos carbonatos.

3.4.1 Categoría 1: Suelos clorados. Son suelos que pueden presentar pH ácido o neutro, donde el ion cloro destaca por sus porcentajes y compuestos que constituye que forma con otros elementos. La presencia de sulfatos en estos suelos también es común. Dentro de esta categoría se proponen dos tipos:

- Suelos cloro-ácidos.
- Suelos neutros cloro-sulfatos.

3.4.2 Categoría 2: Suelos sulfatados. También son suelos que muestran pH ácido o neutro. Como su nombre lo indica, son suelos que acumulan compuestos ricos en sulfatos. Se proponen dos tipos:

- Suelos neutro-sulfatos.
- Suelos sulfato-ácidos.

3.4.3 Categoría 3: Suelos carbonatados. Son suelos con pH que oscila de alcalino a fuertemente alcalino. Son ricos en carbonatos, bicarbonatos y sulfatos. Se reconocen dos tipos:

- Suelos alcalinos bicarbonatos-sulfatos.
- Suelos fuertemente alcalinos-carbonatos.

Observaciones: La revisión bibliográfica realizada para esta tesis, indicó que aún no se cuenta con datos disponibles que especifiquen, adecuadamente las características de las categorías y tipos propuestos por W.R.B., (1994 -1998).

3.5 FACTORES QUE MODIFICAN EL EFECTO DEL SODIO INTERCAMBIABLE EN LOS SUELOS.

Los suelos sódicos pueden variar considerablemente en sus propiedades físicas, en su capacidad para producir cosechas y en su respuesta a las prácticas de manejo, incluyendo la aplicación de mejoradores. Aunque no han sido bien comprendidas las causas del diferente comportamiento de los suelos sódicos, la experiencia y los datos de que se dispone actualmente, indican que el efecto del sodio intercambiable puede ser modificado por algunas características del suelo. La determinación de ellas es, frecuentemente, de mucha utilidad en la investigación de los suelos salinos (Richards, 1985).

En general, las propiedades físicas de los suelos de textura fina son afectadas con mayor intensidad, para un valor determinado de PSI, que las de los suelos de textura gruesa (Richards, 1985).

Se puede considerar que algunas de las partículas del suelo tienen una superficie externa y otra interna, por ejemplo, los minerales primarios tales como el cuarzo y los feldspatos y los minerales arcillosos como la caolinita e illita, tienen únicamente superficies externas. Los minerales arcillosos con estructura expandible, como la montmorillonita, que presenta expansión interlamilar, tienen superficies externas e internas. El área superficial externa de las partículas de los suelos, está directamente relacionada con su textura, mientras que la superficie interna se relaciona con el contenido de minerales que exhiben expansión interlamilar (Besoain, 1985).

En general, las superficies específicas externas de casi todas las partículas de los suelos varían desde 10 hasta 50 m², en tanto que la superficie interna varía considerablemente, llegando a ser muy limitada en suelos que no contienen minerales expandibles, o tan grande como 900 m²/gr o mayor, en suelos con alto contenido de este tipo de minerales (Besoain, 1985).

Han sido estudiados varios suelos alcalinos con altas concentraciones de potasio y silicatos solubles, cuya textura va desde media hasta fina, habiéndose encontrado que son mucho más permeables de lo que ordinariamente se esperaría, si se tomara como base su elevado porcentaje de sodio intercambiable (Palmer, 1980). En ciertos casos, la permeabilidad es tal, que los suelos realmente pueden ser lavados rápidamente con grandes cantidades de agua de riego, eliminándose el exceso de sodio intercambiable sin recurrir a la aplicación de mejoradores.

La saturación de la montmorillonita y de los suelos ricos en potasio, cuando va seguida de un secado, hace disminuir la expansión interlamilar. Existe una indicación definida de que los suelos alcalinos que contienen cantidades muy altas de potasio y silicatos solubles, son menos susceptibles al desarrollo de condiciones físicas adversas (Baver, 1992).

3.6 EFECTO DE LAS SALES SOBRE EL SUELO Y LAS PLANTAS.

El contenido de sal en el suelo incrementa la presión osmótica de la solución del suelo y, consecuentemente, disminuye el crecimiento de la planta. Ciertos cultivos son más tolerantes que otros a las sales; incluso, la acumulación ligera de sales puede evitar, en algunos casos, el desarrollo de ciertas plantas.

El agua salina utilizada para riego por aspersión, provoca una absorción rápida de las sales por las hojas más que por la raíz, causando quemaduras en las hojas más jóvenes. Se ha determinado que más del 12 ó 15 % del Na^+ intercambiable, reduce la permeabilidad del suelo y con más del 50% de Na^+ , dificulta la adsorción de Ca^{2+} (León, 1992).

Las plantas que crecen en los suelos salinos son, por lo general, pequeñas y su follaje presenta un color azul verdoso oscuro. Este color es consecuencia de un alto contenido de clorofila y un grosor exagerado de la capa de grasa en las paredes celulares. Resultados experimentales parecen indicar que este efecto es debido a deficiencias en la absorción del agua, provocada por las propiedades osmóticas de las sales solubles. La velocidad de absorción del agua disminuye considerablemente, a medida que aumenta la concentración de sales (Ortiz, 1999).

En condiciones fuertemente alcalinas, la materia orgánica disuelta da un color negro oscuro y la textura del suelo se encuentra defloculada. Consecuentemente, existe un descenso en el espacio poroso como resultado en el cambio de la estructura (Baver, 1992).

Experimentalmente, se ha encontrado que manteniendo constante la energía libre del agua y variando la composición de las sales, su efecto es distinto. Se reporta el efecto específico sobre el detrimento del magnesio comparado con el sodio y el calcio, efecto que se ha explicado por una deficiencia de este último, inducida por una exclusión parcial de este catión en la planta, en presencia de un exceso de magnesio (Fassbender, 1988).

Sin embargo, la preponderancia de unos iones sobre otros es difícil de definir, ya que existen evidencias de que el efecto de las sales sobre el crecimiento de las plantas no puede, en todos los casos, ser expresado como función única de la energía libre en el medio de nutrimentos. Se infiere que ciertas sales o iones tienen efectos secundarios, o más bien adicionales, más allá de su influencia sobre el problema específico de la asimilabilidad del agua, ya que muchas veces se presentan signos y síntomas en el follaje que difieren considerablemente del color azul verdoso característico del “efecto salino” (Ortiz, 1999).

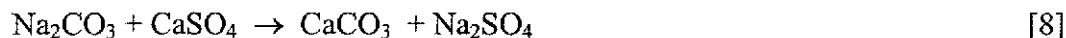
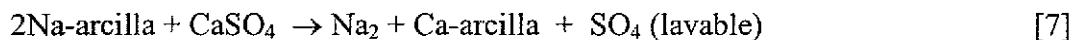
El efecto marcado del sodio en el aumento del esponjamiento y dispersión del suelo, se puede explicar bajo las bases de que el grado de disociación de las partículas del suelo es mayor con el sodio que con el calcio. Conforme aumenta la saturación con sodio aumenta la velocidad de migración de la fracción coloidal (Ortiz, 1999).

3.7 USO Y RECUPERACIÓN DE SUELOS SALINOS - SÓDICOS Y ALCALINOS.

Teóricamente, el lavado de suelos sódicos y salinos con agua de buena calidad, generalmente resulta en una desalinización y desodificación. Sin embargo, presenta un valor limitado como práctica en la recuperación de suelos sódicos-salinos con baja permeabilidad, textura fina y en suelos minerales ricos en arcillas 2:1 (Gupta y Abrol *cit.* por Stewart, 1990).

También de modo teórico, se considera que para eliminar el exceso de sales de Na^+ intercambiable de los suelos sódicos, es necesario que este elemento sea primero sustituido por

otro catión y posteriormente lixiviado. Esto se logra utilizando CaSO_4 , si abunda relativamente el Ca^{2+} intercambiable. Las reacciones esperadas con el yeso son:



En esta reacción se observa que el yeso convierte al suelo sódico en suelo cálcico, provocando un descenso de pH y una mejoría en las propiedades física del suelo.

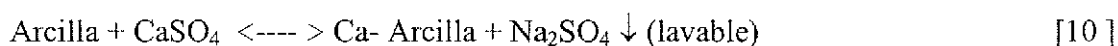
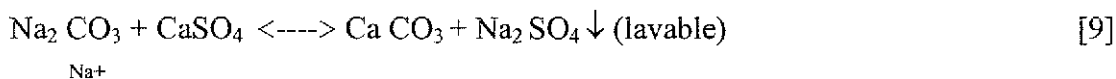
Se puede utilizar azufre para reducir la alcalinidad. Al adicionar azufre sobre el suelo, éste es oxidado por microorganismos para formar ácido sulfúrico, que convierte al Na_2CO_3 en NaSO_4 y en presencia de CaCO_3 , forma $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. El Ca^{2+} sustituye al sodio y el NaSO_4 formado es eliminado por lixiviación. La incorporación de materia orgánica ayuda a que disminuya el pH (León, 1992).

En cuanto a los suelos salinos y alcalinos, Buckman y Brady (1985), mencionan que hay tres métodos generales en que pueden utilizarse, evitando parcialmente los efectos desfavorables para las plantas:

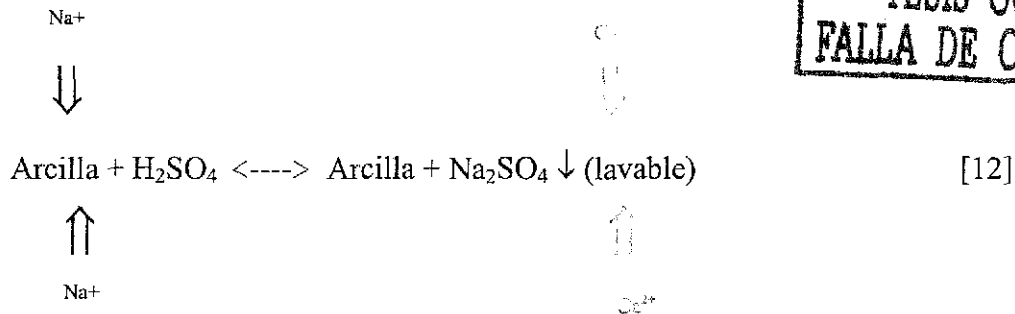
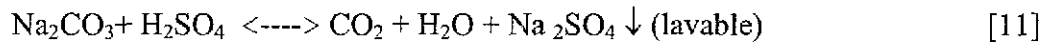
3.7.1 Remoción. Se eliminan las sales para disminuir su toxicidad sobre el suelo. Los métodos más comunes son: drenaje, lavado o inundación y separación. La remoción es apropiada cuando se inunda y posteriormente se drena (con tubos). En regiones irrigadas pueden hacerse abundantes y repetidas aplicaciones de agua. Las sales que se solubilizan son lavadas del solum y desaguadas a través de los tubos de drenaje. El método de lavado es empleado en suelos salinos permeables, cuyas sales solubles son neutras y ricas en Ca^{2+} y Mg^{2+} . Al tratar simplemente con agua a los suelos salinos y salino-alcalinos, se puede intensificar su alcalinidad por remoción de las sales neutras solubles.

3.7.2 Conversión. Se emplean mejoradores químicos; se convierte el carbonato y bicarbonato sódico (tóxicos) en sulfato sódico, por previo tratamiento del suelo con aplicaciones de yeso o azufre. El suelo debe mantenerse húmedo para acelerar la reacción, colocando el yeso en la superficie y sin arar.

El tratamiento puede ser completado, más tarde, por el lavado del suelo por riego con agua de buena calidad, a fin de dejarlo libre de alguna cantidad de sulfato sódico. El yeso reacciona con el carbonato sódico y con el sodio absorbido, de la siguiente manera:



El azufre es útil en suelos salinos cuando abunda el carbonato sódico. El azufre después de oxidarse produce ácido sulfúrico. Las reacciones del H_2SO_4 con compuestos de Na^+ se representan de la siguiente manera:



En estos casos, no todo el carbonato sódico cambia a sulfato, pero el radical sulfato puede quedar eliminado totalmente.

3.7.3 Control. Es uno de los métodos que evita la evaporación del suelo, lo cual conserva la humedad y retarda la transformación de las sales solubles en la zona radical. Cuando se practica un riego debe evitarse el exceso de agua, a menos que se intente liberar al suelo de sales solubles.

3.8 PROCESOS, DINAMICA, INTEGRACIONES Y EVOLUCION DE LOS SUELOS QUE ACUMULAN SALES.

La salinización, solonización y solodización han sido considerados como los tres procesos sucesivos en la formación de suelos salinos, sódicos y alcalinos (Fanning y Fanning, 1989). Las ideas clásicas de esos procesos le son acreditadas al ruso K.K. Gedroits (1927), las cuales fueron modificadas por Kellogg en 1934 y 1936. Estos procesos han sido definidos brevemente de la siguiente manera:

- La Salinización: incremento de sales más solubles que el yeso a 25°C.
- La Solonización: acumulación de sales y formación de un horizonte E, con un pH neutro o ácido que sobreyace a un horizonte argílico rico en sodio.
- La Solodización: lavado de la parte superior del suelo, comienza a ser más ácido o al menos el Na^+ se pierde, y un horizonte A o E se desarrolla, la zona de arcillas y materia orgánica dispersas (horizonte nátrico) se profundiza en el suelo por eluviación-iluviación.

La dinámica de esta secuencia generalmente está favorecida principalmente por los siguientes procesos:

1. Lixiviación de sales es un proceso de deslave de materiales solubles del solum y se divide en dos subprocesos; eluviación e iluviación característicos de los suelos Solonchak.
2. Alcanización que corresponde con el proceso de incremento en el pH a través del año y principalmente durante la estación de sequía. Se observa más frecuentemente en aquellos suelos salinos o sódicos que muestran acumulación de carbonato de sodio (NaCO_3) y carbonato de magnesio (MgCO_3).
3. Dispersión y floculación de arcillas es la presencia de sodio soluble e intercambiable en varios de los suelos propicia inicialmente la dispersión de las arcillas y consecuentemente su migración dentro del perfil (principio de agilización). Esta misma inmigración de las arcillas por efecto del sodio es responsable de la estructura columnar en varios suelos principalmente en los que están en proceso de Solonización, sin embargo, al aumentar la concentración de sodio, las arcillas pueden flocularse y dar una textura grumosa que caracterizan a los Solonetz negros.
4. El lavado de capas superiores y la acumulación de bases y sales en el subsuelo, este se da a través del tiempo cuando existe suficiente lluvia para lavar las bases superficiales, que se acumulan en el subsuelo o en los horizontes menos permeables, este es un proceso común en los suelos que por sus características de estabilidad se consideran suelos antiguos.

Teóricamente, esta sucesión de procesos da origen a una secuencia intergradada de suelos. Dicha secuencia, se inicia a partir de cualquier suelo normal, es decir no sódico, no salino y no alcalino (Por ejemplo: Fluvisol, Regosol, Cambisol). El proceso evolutivo se puede sintetizar según Gedroits (1927) de la siguiente forma: (a) Suelo normal + salinización = Solonchak + solonización = Solonetz + solodización = Solod (Kellogg, 1936).

4.0 DETERMINACION Y LOCALIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

Con base en la compilación de datos realizada, en consultas directas y con apoyo en documentos cartográficos y teledetección (imagen y fotografías aéreas), se determinó que las características de color (zonas blancas), textura y vegetación observadas en las fotografías aéreas representaban condiciones representativas salino-sódicas típicas de zona templada, y que correspondía con la parte de la cuenca del lago de Zumpango.

Esta área además, resultó ideal porque se pudieron reconocer y estudiar cuatro vías evolutivas de los suelos: 1) evolución del material parental, (2) evolución de los suelos que no muestran restricciones ni físicas ni químicas, (3) evolución de los suelos con restricciones físicas pero no químicas y (4) evolución de los suelos con restricciones físicas y químicas.

4.1 CARACTERISTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO

Geográficamente, el área de estudio se localiza en los 19°44' latitud norte y 99°04' longitud oeste. Su altitud media es de 2240 m (INEGI, 1991). Se ubica al norte del Distrito Federal y se encuentra comprendida en el Estado de México, dentro de la localidad de Zumpango de Ocampo. Sus límites son: al norte colinda con el municipio de Jaltenco, al este con el municipio de Tecamac, al sur con el municipio de Tultepec y con el municipio de Melchor Ocampo al oeste. La principal vía de comunicación es la autopista México-Querétaro, tomando la desviación a Cuatitlán y siguiendo la ruta que pasa por Melchor Ocampo. Existen, no obstante, otras alternativas de acceso desde la autopista México-Querétaro, hacia Coyotepec, Cuatitlán o Huehuetoca. También se logra el acceso tomando la carretera México-Pachuca. El área de estudio comprende aproximadamente 1240 ha.

4.2 GEOLOGIA.

El área de estudio queda comprendida dentro de la Provincia Fisiográfica de la Faja Volcánica Transmexicana (INEGI, 1991). La zona constituye parte del gran vaso lacustre que se formó durante el Plioceno, por el mismo vulcanismo que dio origen a la sierra del Ajusco. El drenaje de la zona que descargaba hacia el sur, quedó bloqueado por el vulcanismo, transformando la región en una cuenca endorreica. A esto se debe la abundancia de lagos que existieron en dicha región, aunque actualmente su decremento en área es considerable (Escrura, 1991).

El relieve actual se compone de planicies, cuyas geoformas han recibido aportes sedimentarios, principalmente recientes, de carácter aluvial. Tales aportes han sepultado suelos preexistentes. Los relieves que se encuentran en la zona norte, descargan parte de sus aguas hacia las zonas planas del sur.

Antes de que el vulcanismo del Plioceno cerrara la cuenca, gran parte de la zona funcionaba como cuenca de sedimentación fluvial, dando origen a las "sedimentitas" (arenisca y tobas). Por su parte, la existencia de varios vasos lacustres ha determinado que las geoformas dominantes de la región, sean las planicies. Sin embargo, existen afloramientos de rocas volcánicas y levantamientos de carácter tectónico asociados. El paisaje, en general, mantiene aún un carácter

volcánicas y levantamientos de carácter tectónico asociados. El paisaje, en general, mantiene aún un carácter juvenil; tanto las planicies aluvial-lacustres como los relieves que son respectivamente heredados de los procesos geomorfológicos del vulcanismo y de la sedimentación.

Los procesos geomorfológicos actuales han ejercido una considerable influencia sobre los suelos de la región. En las zonas lacustres, muchos de los suelos presentan altos contenidos de sales y sodio. En las zonas de aporte aluvial reciente, los perfiles de suelos han sido rejuvenecidos rápidamente, dando lugar a perfiles complejos (Tabla 1).

La presencia de rocas volcánicas en la zona es abundante, aunque constituyen el subsuelo de muy pequeñas áreas. Sin embargo, su influencia es grande, ya que el origen de gran parte del material detrítico de los sedimentos y rocas sedimentarias de la región, derivó de rocas volcánicas. Si bien, la edad de los basaltos y otras rocas volcánicas asociadas ha sido atribuida al Terciario, es evidente la presencia de materiales téfricos del Pleistoceno (lluvia de cenizas), en los depósitos lacustres más recientes. Las areniscas tobáceas constituyen el subsuelo de importantes superficies.

4.3 HIDROLOGIA.

El área queda comprendida en la región hidrológica No. 26 del "Alto Panuco" (INEGI, 1991). Las aguas superficiales se desalojan por corrientes efímeras hacia los ríos Cuatitlán, Salado y "Las avenidas de Pachuca". En realidad, la escorrentía es superficial y sólo se presenta intermitentemente, durante los dos o tres meses de mayor pluviosidad del año, gran parte de su curso del río Cuatitlán ha sido canalizado, hacia el gran canal de desagüe. Así, varios ríos se han transformado en corrientes de aguas negras con elevada demanda bioquímica de oxígeno. El río Cuatitlán recoge las aguas provenientes del Distrito Federal y el río Salado recoge procedentes del río Las Avenidas de Pachuca. Este último tiene aguas negras que provienen del Estado de Hidalgo. Los ríos mencionados se han transformado en corrientes de aguas negras, parte de ellas son vertidas a la laguna de Zumpango.

Por otra parte, es importante mencionar que existen en la región varios pozos para extracción de agua potable, cuya profundidad oscila entre los 150-200 m (Figura 3).

4.4 CLIMA.

El clima de la región se ha clasificado B₂W₂B₁'a de acuerdo al segundo sistema de Thornthwaite (1984). Pertenece al grupo de climas ligeramente húmedo (con gran deficiencia de agua invernal, semi-frío, con baja concentración de calor), con lluvias de verano y con porcentaje de lluvia invernal menor de 5. La temperatura media anual fluctúa entre 12 y 16° C, mientras que las precipitaciones oscilan entre 600 y 800 mm. Los meses de junio y julio son los de mayor precipitación (120 a 150 mm). El mes más cálido es mayo, con una temperatura media entre 16 y 18°C. Enero y diciembre son los meses más fríos, con temperatura media entre 11 y 12°C. La dinámica del balance de agua en esta zona se muestra en la Figura 4.

TABLA 1. ESTRATIGRAFIA Y LITOLOGIA DE LAS UNIDADES DE ROCA Y SEDIMENTOS QUE CONSTITUYEN EL SUBSUELO DEL AREA DE ESTUDIO

SEDIMENTOS Y ROCAS	EDAD	LITOLOGIA
Sedimentos lacustres.	Cuaternario (Holoceno).	Depósitos friables, arcillo limoso, tabulares con frecuentes intercalaciones de arenas finas con estructuras cruzadas y de depósitos cineríticos. Los que han dado lugar por alteración en ambiente subácuo, a niveles de bentonita. Presencia de fósiles de grandes mamíferos.
Sedimentos aluviales.	Cuaternario (Pleistoceno Holoceno).	Predominan arenas finas y medias, con algunas intercalaciones de conglomerados. Presentan estructuras cruzadas (ondolitas) y aparecen en algunos perfiles estructuras de canales de corte y relleno. Los depósitos no están litificados, son friables.
Areniscas tobáceas.	Terciario	Areniscas consolidadas, de granulometría variable, predominando el grano fino, con intercalaciones abundantes de tobas. Es frecuente la presencia de conglomerados. Niveles de caliche se intercalan sistemáticamente en toda la secuencia.
Basalto.	Terciario.	Basaltos amigdaloides o vasculares de grano fino, de disposición tabular (coladas).
Calizas.	Cretácico.	Calizas blancas y grises duras, recristalizadas.

FUENTE: ICAMEX-SEDAGRO, 1993.

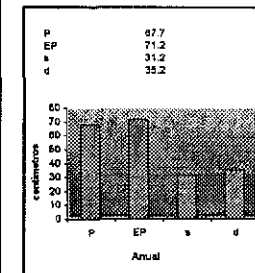
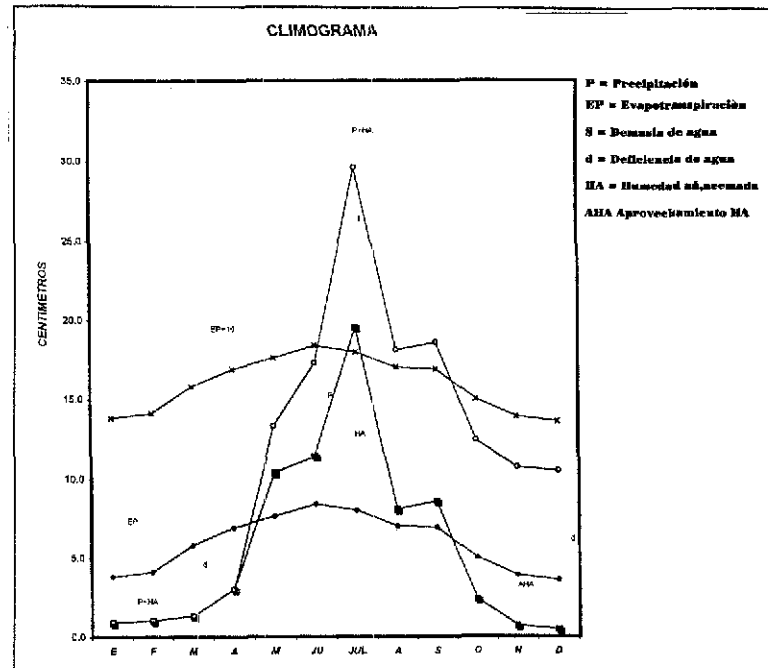
No.	Concepto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic	anuales	medias
1	T (°C)	11.5	12.6	14.5	16.2	16.3	17.8	16.9	15.7	16.4	13.4	11.92	11.1	174.27	14.5
2	P (cm)	0.9	1.0	1.3	3.0	10.4	11.4	19.6	8.1	8.6	2.4	0.7	0.5	67.682	5.6
3	i	3.5	4.0	5.0	5.9	6.0	6.9	6.3	5.7	6.1	4.5	3.7	3.3	60.9	9.8
4	EP' (cm)	4.0	4.6	5.7	6.6	6.7	7.6	7.0	6.3	6.8	5.0	4.2	3.8	68.3	5.7
5	F	1.0	0.9	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	12.3	1.0
6	EP (cm)	3.8	4.1	5.8	6.9	7.6	8.4	8.0	7.0	6.9	5.0	3.9	3.6	71.2	5.9
7	MHS (cm)	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	3.0	4.2	1.1	1.7	0.0	0.0	0.0	12.90	1.0
8	HA (cm)	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	5.9	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	68.8	5.7
9	s (cm)	2.9	3.1	4.5	3.9	0.1	0.0	7.4	0.0	0.0	2.6	3.2	3.6	31.2	2.6
10	d (cm)	2.9	3.1	4.5	3.9	0.9	0.8	0.1	0.7	0.1	7.4	3.8	6.9	35.2	2.9
11	EPR (cm)	0.9	1.0	1.3	3.0	6.7	7.6	7.0	6.3	6.8	12.4	10.7	10.5	74.2	6.2
12	E (cm)	1.5	2.3	3.4	3.6	1.9	0.9	4.2	2.1	1.0	1.8	2.5	3.1	28.2	2.3
13	RP	-0.77	-0.75	-0.78	-0.56	0.36	0.35	1.45	0.15	0.24	-0.52	-0.82	-0.86	-2.51	-0.21
14	ih=100 sa/EPa=			43.878027											
15	la=100 da/EPa=			49.385918										0.9661336	
16	Im=ih-0.6la=			14.246476											
17	S=100 oEPn/EPa=			32.3											

FORMULA DEL CLIMA

B₂w₂B₁a

Ligeramente húmedo, con gran deficiencia de agua invernal. Semi-Frío, con baja concentración de calor.

Estación Zumpango
 Latitud 19°48'25"
 Longitud 99°06'35"
 Altitud 2250 m
 Periodo de observación 1981-1990 años



TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Figura 4. Clima y balance del agua en el suelo.

Como puede observarse, con excepción de los meses de junio y julio, la mayor parte del año existe deficiencia de humedad y, en general, la evapotranspiración es mayor que la precipitación. Esto favorece la acumulación de sales en los suelos.

4.5 VEGETACION.

La vegetación natural de la zona está muy perturbada como consecuencia del uso agrícola de gran parte de la superficie, lo cual ha determinado que el área de bosque natural, que existía en ciertas partes de la región, haya desaparecido. Actualmente existen en algunas áreas, asociaciones de cactáceas, matorrales espinosos. El árbol dominante de la región es *Schinus molle* conocido como pirúl, el cual podría ser considerado una maleza arbórea por su gran adaptabilidad. Crece en los linderos, entre parcelas, como también en forma espontánea.

La vegetación halófila domina actualmente en algunas de las partes de la cuenca la cual se encuentra amenazada por la irrigación con aguas negras. Existen dos gramíneas dominantes que se multiplican por estolones: *Distichlis spicata* y *Eragrostis obtusiflora*. También se encuentran arbustos bajos como *Atriplex spp.* (chamizo) *Suaeda nigra* (romerito). Se desarrolla también una comunidad de pastizal en la que dominan gramíneas anuales: *Aristida adscencionis* y *Bouteloua simplex* y *Opuntia spp.* (nopal). Las gramíneas que se utilizan como pastura son: *Festuca sulcate* y *Artemisia maritima incana* (Escurre, 1991).

En la vegetación acuática se observan tulares, dominados por: *Typha latifolia* (tulé) y *Scirpus validus*, que eran utilizados para la extracción de fibras. Finalmente, *Lemma spp.* y *Azolla spp.* (lentejillas de agua) que forman comunidades flotantes en espejos de agua tranquilos. Actualmente, han sido invadidos por una especie introducida de Sudamérica: *Eichhornia crassipes* (huachinango o lirio de agua) que se propaga en forma vegetativa y llega a cubrir los cuerpos de agua, modificando las condiciones de aireación e iluminación del Lago de Zumpango (Escurre, 1991).

5.0 METODOLOGIA.

Con base en las teoría establecida por Gedroits (1927), ampliadas por Kellogg (1934, 1936). sobre la génesis de los suelos formados por salinización-solonización-solodización, se eligió el área lacustre de Zumpango de Ocampo localizada en Nextlapan, Estado de México por ser la más adecuada debido a que predominan los suelos con procesos de Salinización-Solonización-Solodización, dado que permite cumplir con los objetivos de investigación propuestos. Los procedimientos metodológicos y técnicas empleadas, se citan a continuación.

5.1 COMPILACION DE LA INFORMACION BASICA.

Esta etapa consistió en la búsqueda, análisis y selección de la información disponible, tanto, escrita como cartográfica. Esta búsqueda se centro, principalmente, en los suelos salinos y/o sódicos de México que pudieran presentar características similares a las requeridas en los objetivos de este estudio. De modo especial, se abordaron temas relativos a la geología, clima, vegetación, hidrología, topografía e historia de uso del suelo; debido a que son factores que inciden, de modo importante, sobre los procesos establecidos por Gedroits (1927) y Kellogg (1936).

5.2 FOTOIDENTIFICACION Y LOCALIZACION DE LOS SITIOS DE MUESTREO.

Con base en la información compilada, principalmente la disponible en el Banco de Datos de INEGI (1998-2000); fotografías aéreas, escala 1:25,000, obtenidas en un vuelo realizado en 1994; e imágenes satelitales Landsat 2, (Figura 5) se establecieron los puntos para el muestreo de los suelos, siguiendo los criterios geomorfológicos establecidos por Lugo (1990), así como criterios fotointerpretativos que consistieron, en el uso de tono, textura fotográfica, así como patrones de drenaje evidentes en las fotografías aéreas (Bergama, 1990).

5.3 TRABAJO PRELIMINAR DE CAMPO.

El área fue físicamente reconocida en varias salidas de campo, en donde se determinaron diferentes patrones espectrales de uso de suelo, fases, suelos, vegetación y presencia de sales. Esto último, fue complementado a través de criterios visuales establecidos por FAO-PNUMA (1980). Estos patrones, posteriormente se emplearon para proponer límites cartográficos en las fotografías aéreas y establecer el número adecuado de puntos de muestreo (A.S.P., 1985). El muestreo se realizó conforme a las normas establecidas USDA-SCS, 1998, manual 18. En tanto que la clasificación de los suelos fue hecha de acuerdo con W.R.B., 1994-1998. La terminología utilizada en la diagnóstico de los perfiles es la que esta señalada por el Soil Glossary, en USDA-SCS. (1996).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

1. En tonos rojo oscuro, la vegetación forestal
2. En tonos ojo o rosa, las áreas de cultivo de riego en lugares planos.
3. En color azul tenue, las grandes localidades urbanas en la sección del centro se aprecia la ciudad de México
4. En color negro, las presas y lagos cuando son profundos y transparentes, cuando no lo son, aparecen en tonos azul.



Figura 5. Fotografía aérea de la zona de estudio.

El espacio mapa esta hecho a partir de imágenes Landsat TM (mapeador temático tomadas en el año 1993) con una combinación de falso color normal que permite distinguir los colores.

5.4 TRABAJO DE CAMPO.

Con base en lo establecido en los puntos metodológicos 5.2 y 5.3, se realizó la apertura, y muestreo de doce perfiles de suelos (Figura 6). Como se mencionó, seis perfiles fueron muestreados durante el período de sequía (abril) y otros seis a dos metros de distancia de los primeros, muestreados después del período de lluvias (octubre).

Las dimensiones de apertura de los pozos fueron las siguientes: 2.00 m de largo por 1.00 m de ancho y 2.00 m de profundidad, o hasta alcanzar el tepetate y/o el manto freático. Los perfiles fueron descritos, empleando la metodología del Soil Survey Staff (1998) modificada para las condiciones de México. La clasificación taxonómica de los suelos fue hecha de acuerdo a FAO-UNESCO, (1994) y con base a W.R.B. (1994-1998).

Fueron realizadas 50 barrenaciones para establecer los tipos de horizontes y las posibles relaciones de intergradación entre los suelos, así como la estratigrafía entre las capas lacustre s (Figura 7).

5.5 TRABAJO DE LABORATORIO.

5.5.1 Procedimiento para la Preparación de las Muestras.

Las muestras recolectadas, se sometieron tanto a los análisis de rutina como a análisis selectivos de laboratorio. El número de repeticiones efectuadas para cada una de las muestras fué de dos (American Society for Testing and Materials, 1970). El número total de muestras recolectadas fue de 70. Es importante mencionar, que los análisis efectuados se sometieron a un control de calidad a través del análisis de varias muestras de suelo al azar. Para la realización de algunos análisis, se contó con la ayuda de los laboratorios del Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI).

Para realizar los procedimientos necesarios, fueron utilizados los criterios establecidos por USDA-SSS, (1996) y el Manual 493 RSTPNUS, (1995).

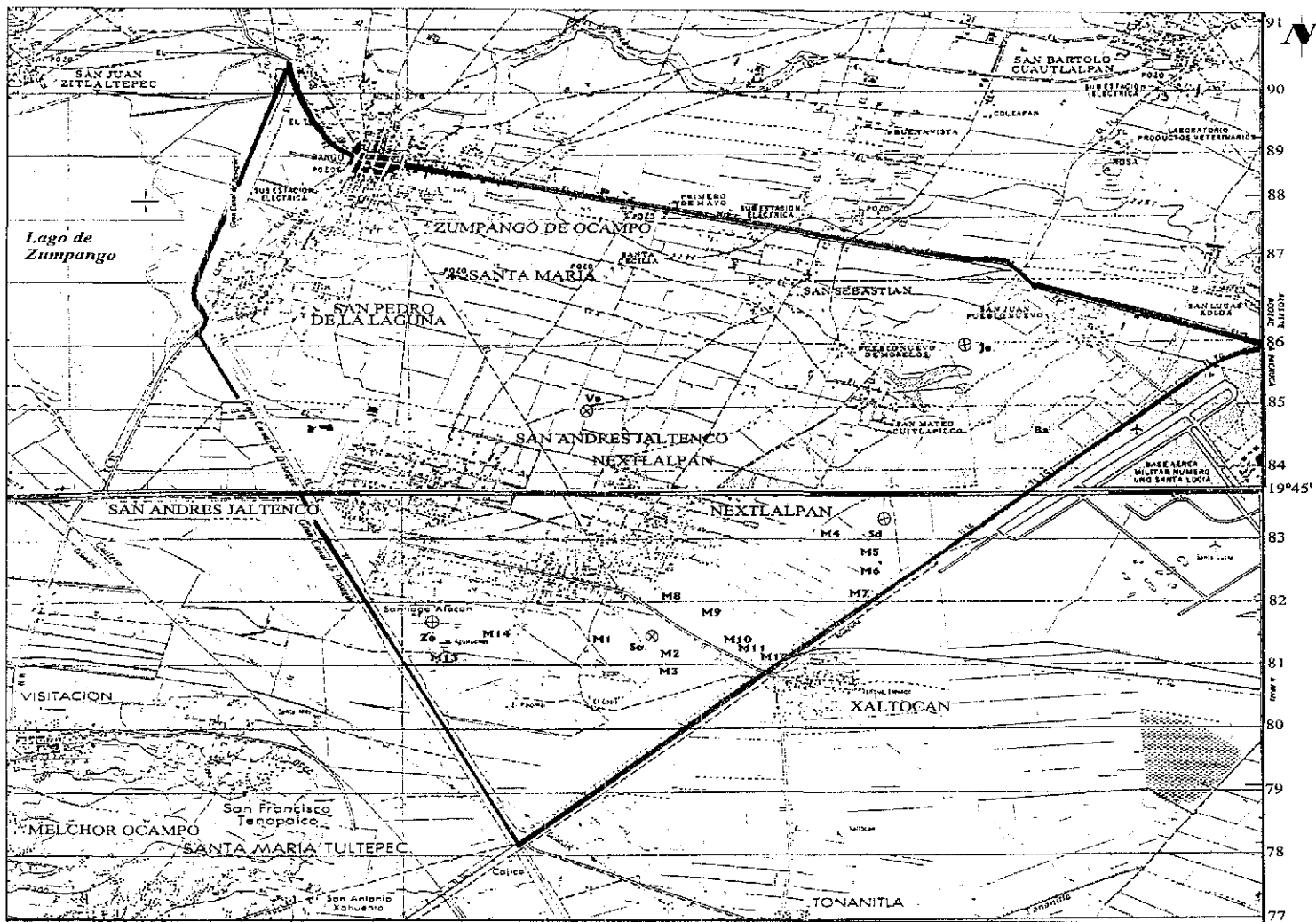
De cada uno de los pozos estudiados, se procedió a tomar muestras compuestas de sus horizontes y/o capas; con el fin de obtener una muestra representativa, con un peso aproximado de 2 kg se colocó en una bolsa de plástico previamente etiquetada. La cual se dividió en dos partes equivalentes en peso (1 kg cada una). Una parte fue colocada en el refrigerador a una temperatura $< 5^{\circ}\text{C}$, la otra parte fue secada al aire en el invernadero, a una temperatura de 30 a 35°C . Para separar los fragmentos gruesos (líticos) de los fragmentos de suelo fino, se utilizó un tamiz de malla de 2 mm.

5.5.2 Técnicas de Análisis Empleadas.

Las muestras recolectadas se sometieron a los análisis de rutina de laboratorio, siguiendo las técnicas que se citan a continuación:

5.5.2.1 Análisis físicos.

- a. **Textura.** Se realizó por el método de Bouyoucos (1955), modificado por Villegas, y colaboradores (1978).



- ⊕ Perfiles (Sequit-Lluvia)
 - Je Fluvisol eutrico.
 - Ba Cambisol eutrico.
 - Vc Vertisol eutrico.
 - Zo Solonchak ortico.
 - So Solonetz ortico.
 - Sd Solod.
- Verificación:
- M1 Nátrico
 - M2 Nátrico
 - M3 Nátrico
 - M4 Albico
 - M5 Albico
 - M6 Albico
 - M7 Albico
 - M8 Sálco
 - M9 Sálco
 - M10 Sálco
 - M11 Sálco
 - M12 Sálco
 - M13 Sálco
 - M14 Sálco

Figura 6. Mapa topográfico de Nextlalpan, Edo. de México. INEGI, Escala 1: 150 000.
(Localización de los sitios de muestreo).

**TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN**

- b. **Color.** Se determinó en seco (1500kPa) y en húmedo (33kPa) por comparación con las tablas Munsell (MORC, 1990).
- c. **Densidad aparente.** Se realizó por dos métodos: (1) con una probeta de 10 ml relacionando peso y volumen del suelo (Agricultural Experiment Station of Connecticut, 1995) y (2) en campo, excavando un pequeño pozo, recubriéndolo con plástico. La tierra extraída fue pesada y posteriormente, el pozo recubierto con el plástico fue rellenado con un volumen conocido de agua. Así, se obtuvieron la masa y el volumen para cada capa del suelo seleccionado (Cavazos y Rodríguez, 1992).
- d. **Densidad real.** Se utilizó el método del picnómetro, relacionando la masa total de partículas (Ms) sólidas con su volumen (Vs) (Black et al, 1966 y USDA-SSS, 1996)
Se utilizó la siguiente fórmula:

$$P_s = M_s / V_s \text{ (gr/cm}^3\text{)} \quad (13)$$

- e. **Porosidad.** Es el índice de espacios en un volumen dado del suelo. Se obtuvo con base a los datos obtenidos de densidad real (dr) y aparente.(da) (Vomocil, 1966).

$$P = (d_a/d_r - 1) \times 100 \quad (14)$$

- f. **Porcentaje de humedad y factor de humedad.** Se colocaron 5 gr de suelo secado al aire en cada crisol (3 repeticiones) y luego se pesaron con precisión. Posteriormente, fueron colocados en la estufa, previamente estabilizada a 110 °C, por un periodo de 10 horas. Al terminar este lapso, los crisoles, debidamente tapados, se dejaron enfriar en un desecador que contenía sulfato de calcio. Finalmente, se determinó el factor de humedad, el cual resultó de dividir el peso del suelo secado en la estufa (Pss), entre la cantidad inicial de suelo secado al aire (Psa) y se utilizó para obtener el peso del suelo secado a la estufa. La fórmula empleada fue la siguiente:

$$\text{Factor de humedad} = FH = \frac{(P_{ss} + TARA) - (TARA)}{(P_{sa} + TARA) - (TARA)} \quad (15)$$

El porcentaje de humedad (Pw) se cuantificó con el suelo secado a la estufa, utilizando la siguiente fórmula:

$$P_w = \frac{(P_{sa} - 1)}{P_{ss}} \times 100 \quad (16)$$

- g. **Agua retenida (presión-extracción).** Se determinó por dos métodos: (1) 33 kPa (0.33 kg/cm²) mediante la técnica de olla de presión y (2) 1500 kPa (0.150kg/cm²) mediante la técnica de presión con membrana Visking "Diafragma". Richards y Brown (1985).
- h. **Permeabilidad del suelo.** Se determinó siguiendo el método propuesto por Richards y Brown (1985) modificado por USDA-SSS (1996).
- i. **Drenaje interno del suelo.** Con base en el Manual CNA-USDA (1989).

- j. **Estabilidad de agregados.** En el campo, se evaluó dicha estabilidad depositando, aproximadamente, 10 agregados de diámetro entre 1 a 3 mm, en una cápsula de porcelana y saturándolos con agua. Tras hacer rotar suavemente, durante 30 segundos, la cápsula en la palma de la mano, se evaluó porcentualmente, el grado de ruptura y colapsamiento de los agregados, según Schlichting y Blume (1966).
- k. **Separación de los apartados del suelo para determinar el Factor K.** Se realizó en los laboratorios de INEGI, según la metodología propuesta por USDA-USSL (1996), y consistió en:
1. Separar a través del tamiz, malla 300 (0.047 mm) las fracciones de arena muy gruesa + arena media + arena fina.
 2. Los porcentajes de arena muy fina + limo + arcilla fueron determinados por el método de Bouyoucos, modificado por Villegas y colaboradores (1978). Con la finalidad de establecer un control de calidad de este análisis, algunas muestras fueron, además, cuantificadas a través del método de pipeta (3A1 del Soil Conservation Service, 1996).

5.5.2.2 Análisis químicos.

Se efectuaron los siguientes:

- a. **Reacción del suelo (pH 1:2.5).** En agua destilada utilizando el potenciómetro Corning modelo 7, Richards y Brown (1985), modificado por USDA-USSL (1996).
- b. **Materia orgánica.** Se determinó por el método de Walkley y Black (1935 y 1947 *in* USDA-USSL (1996), que consiste en una oxidación de la materia orgánica, por digestión húmeda con ácido crómico (dicromato de potasio y ácido sulfúrico), titulando el exceso de ácido con una solución reductora de sulfato ferroso (FeSO_4) (Black, 1975 2ª parte).
- c. **Capacidad de intercambio catiónico (CIC).** Se determinó por el método de percolación que consiste en saturar el suelo con acetato de amonio a pH 7, eliminando el exceso de amonio mediante lavados con alcohol etílico y saturando de nuevo con NaCl 1N pH 7. Se tituló con versenato (EDTA) 0.02 (Jackson, 1956-1965, modificado por Ross, 1995).
- d. **Conductividad eléctrica.** Por puente de lectura directa, de acuerdo al método de Richards y Brown (1985), modificado por USDA-USSL (1996).
- e. **Calcio y magnesio intercambiables.** Se obtuvieron por centrifugación extrayendo con acetato de amonio 1N pH 7. El calcio y el magnesio se titularon por el método del Versenato, usando como indicadores murexida y negro de ericromo T (Jackson, 1982; Agricultural Experiment Station of Connecticut, 1995)
- f. **Sodio y potasio intercambiables:** Por flamometría, usando acetato de amonio 1N a pH 7. Para su determinación se empleó un flamómetro Corning 400, fotómetro de flama Perkin-Elmer.
- g. **Nitrógeno total.** Por el método de la batería de digestión y destilación Kjeldahl Procedimiento Semi- micro Kjeldahl descrito por Griffin (1995).

- b. **Cloruros.** Por titulación con nitrato de plata, siguiendo el método de Richards y Brown (1985), modificado por USDA-USSL (1996).
- i. **Carbonatos y bicarbonatos.** Por titulación con ácido sulfúrico de acuerdo al método Richards y Brown (1985) y modificado por USDA-USSL (1996).
- j. **Sulfatos.** Por precipitación como sulfato de bario, siguiendo el método Richards y Brown (1985) modificado por USDA-USSL (1996).
- k. **Nitratos.** Por titulación con ácido fenoldisulfónico, siguiendo el método 15 (Richards y Brown, 1985) modificado por Griffin (1995).
- l. **Relación de adsorción de sodio (RAS).** Obtenida de la ecuación:

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\text{Ca} + \text{Mg}}} \quad (17)$$

Donde Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} se expresan en mmol L^{-1}

- m. **Porcentaje de sodio intercambiable (PSI).** Obtenido a partir de la ecuación:

$$\text{PSI} = (\text{Na}^+ / \text{CIC}) \times 100 \quad (18)$$

- n. **Porcentaje de saturación de bases.** Obtenido a partir de la ecuación:

$$(\sum \text{Bases} / \text{CIC}) \times 100 \quad (19)$$

- o. **Porcentaje de sodio más magnesio.** Obtenido a partir de la ecuación:

$$(\sum \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ \text{ intercambiable}) / \text{CIC} \quad (20)$$

- p. **Suma de bases.** Obtenido a partir de la ecuación:

$$(\sum \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+) \times 100 \quad (21)$$

5.6 ANALISIS MULTIELEMENTAL DEL SUELO POR TECNICAS DE ORIGEN NUCLEAR.

Se realizó un análisis mutielemental de los horizontes de los suelos muestreados, con el fin de estimar varios índices relativos a la composición química total del suelo. Entre estos destacan: (a) relación Na:Ca, Na + Mg:Ca y Ca + Mg/k y (d) presencia de carbonatos y contaminantes inorgánicos (metales pesados).

Este tipo de análisis, permite cuantificar además de elementos esenciales, elementos trazas y elementos pesados con un margen de error confiable y en forma rápida, un análisis multielemental de las muestras de los suelos recolectados. Este análisis, además debería ser lo

suficientemente sensitivo para determinar la presencia de metales pesados y de oligoelementos. Al revisar la literatura concerniente (Johansson y Campebell 1988, Maxwell *et al* 1995 y Andrade 1999), se encontró que una buena solución sería el empleo de Técnicas de Origen Nuclear (TAON). Estas técnicas se utilizan, comúnmente, en el Instituto de Física, Torre I, UNAM para el análisis de sedimentos.

Así, mediante el uso del Acelerador de Partículas Van de Graaff 5.5 Mev, se analizó la composición elemental de 16 muestras de suelo y los índices, antes citados. En todos los casos, se utilizaron patrones de análisis certificados y específicos para suelos. Para la determinación de los índices, los datos de los elementos detectados fueron transformados, mediante cálculos, a óxidos totales, con la finalidad de estimar los índices antes mencionados.

La interpretación de estos datos, se realizó a través del programa de cómputo denominado "RUMP", empleando, además, la técnica de Retrodispersión de Rutherford (RBS) para determinar elementos ligeros.

5.7 DETERMINACION DEL FACTOR K DE ERODABILIDAD DE LOS SUELOS.

Con base a los resultados obtenidos; tanto de los análisis físicos como de los químicos, se establecieron los parámetros necesarios, que de acuerdo con Wischemeier (1976) se utilizan para evaluar, a través de su nomograma, el valor de K (Anexo 1).

6.0 RESULTADOS.

6.1 SUELOS.

El área de estudio está constituida, principalmente, por seis unidades de suelos, que de acuerdo a la frecuencia con que se presentan son: *Fluvisoles*, *Cambisoles*, *Vertisoles*, *Solonchak*, *Solonetz* y *Solod*. Estos dos últimos, aunque se presentan en el área de estudio, se consideran escasos como suelos típicos, es decir; como suelos que cubren todos los requisitos taxonómicos requeridos para considerarse como un típico Solonetz y Solod.

Sin embargo, existen muchos suelos intergradados a las unidades antes citadas. Por ejemplo, algunos Vertisoles que muestran fases nátricas, han desarrollado estructuras de tipo columnar, similares a los Solonetz. Casos semejantes se presentan en algunos Cambisoles de textura fina, que además de presentar fase sódica, muestran evidencias de fases lúvicas.

6.1.1 Morfología de los Suelos.

En general, el estudio de las intergradaciones en los suelos salino-sódicos es un fenómeno común el área de estudio. Dichas intergradaciones y procesos asociados, a ellas, serán discutidas en el apartado sobre la génesis, procesos y evolución de los suelos estudiados

Las características morfológicas de los suelos, así muestreados, no variaron de manera significativa, en propiedades como color, espesor y dureza de los agregados. Por esta razón, se juzgó innecesario presentar en esta tesis, la descripción morfológica de los suelos en los dos períodos de colecta, ya que son prácticamente iguales. La descripción morfológica que se presenta corresponden a la obtenida durante el período de lluvias.

En contraste, las propiedades físicas y químicas de los suelos, sí presentaron numerosos e importantes cambios entre los dos períodos. Consecuentemente, se incluyen los datos físicos y químicos de los suelos, como un estudio comparativo entre los dos períodos de recolecta.

6.1.2 DESCRIPCIÓN MORFOLOGICA.

- **Perfil 1A**

Localización: 200 m al este de Pueblo Nuevo Morelos.

Altitud: 2250 msnm.

Vegetación: Pastizal

no halófito-matorral-arbóreas (escasas).

Uso del suelo: Agrícola de temporal.

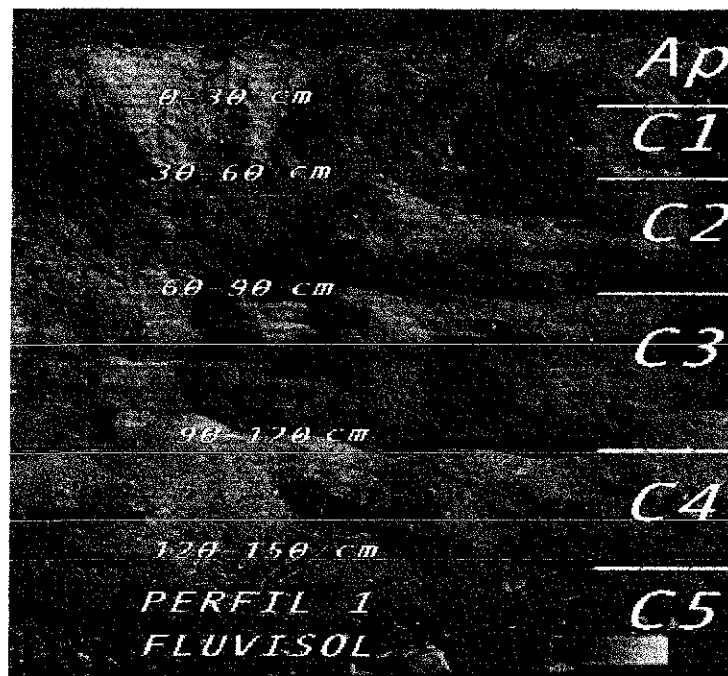
Relieve: Plano (0-2.0%).

Material Parental: Aluvión reciente.

Clasificación: Fluvisol eútrico.

Fecha de colecta: 20-10-96

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



MORFOLOGIA:

Ap 0-30 cm

Color 10YR 4/4 en húmedo; textura franca; estructura en bloques angulares y de grano suelto. Los bloques son de tamaño fino y medio, débil a moderadamente desarrollados. Su consistencia en seco es blanda y en húmedo friable; muy ligeramente adhesivos, no plásticos, porosos, con permeabilidad moderada a rápida. Drenaje eficiente. Las raíces finas son abundantes y en menor cantidad muestra raíces medias. Su límite es plano y claro. Reacción ligera a moderada al ácido clorhídrico.

C₂ 60-90 cm

Presenta las mismas características que C₁. Su límite con la siguiente capa es plano y claro. Reacción ligera al ácido clorhídrico.

C₃ 90-120 cm

Muestra un color en húmedo de 10YR 6/6, una estructura franco arenosa y una estructura que varía de laminar a masiva e incluso de grano suelto. Su consistencia en seco varía de suelta a moderadamente dura, aunque siempre es friable en húmedo, y no es adhesiva, ni plástica. Su permeabilidad en general es alta, así como eficiente su drenaje. Los poros medios y gruesos son comunes. Reacción débil al ácido clorhídrico.

C₄ 120-150 cm

Esta capa también muestra características similares a la capa C₃.

Dentro de C₃ y C₄, es frecuente encontrar inclusiones de cerámica prehispánica (fragmentos) así como pequeñas conchas de moluscos. Las raíces en general son escasas. Reacción débil al ácido clorhídrico.

C₅ > 150 cm

Color 7.5 YR 5/4; textura franco arenosa, sin estructura; de consistencia ligeramente dura en seco, friable en húmedo y ligeramente compactada. No es adhesiva ni plástica, porosa, permeable y con buen drenaje en la mayor parte del horizonte. No presenta raíces. Reacción débil al ácido clorhídrico.

- **Perfil 2A.**

Localización: 500 m al norte de San Andrés
Jaltenco.

Altitud: 2250 msnm.

Vegetación: Pasto no halófito, matorral.
(Opuntia y Agave), arbóreas: pirul.

Uso del suelo: Agrícola de temporal.

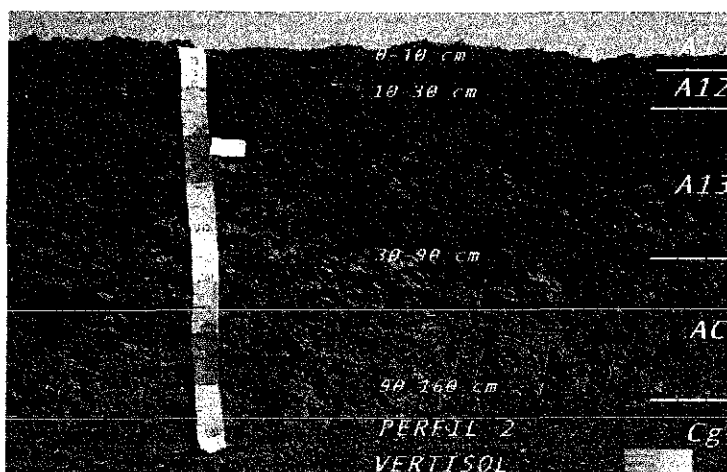
Relieve: Casi plano (1.0-2.0%).

Material Parental: Aluvión retrabajado
(Aluvión vulcanogénico).

Clasificación en campo: Vertisol eútrico.

Fecha de colecta: 27-10-96

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



MORFOLOGIA:

A₁₁ 0-10 cm

Color 10YR 2/1 en húmedo; textura arcilla; estructura migajosa, en ocasiones granular, de tamaño fino y medio, de débil a moderadamente desarrollada. Consistencia muy dura en seco y firme en húmedo, que muestra adhesividad y plasticidad. La porosidad es moderadamente alta, en tanto que la permeabilidad es lenta. Muestra un drenaje imperfecto que en ocasiones facilita el encharcamiento. Las raíces finas son frecuentes y existen algunas raíces medias en cantidad baja. No obstante estar húmedo, se observan algunas fisuras, así como la presencia de facetas de fricción. Reacción moderada al ácido clorhídrico. Presenta un límite gradual e irregular con la capa que le subyace.

A₁₂ 10-30 cm

Color 10YR 3/2 en húmedo; textura arcilla; estructura aparente en bloques angulares que rompe en un ángulo de 45°. Estos bloques son de tamaño predominantemente medio, con un desarrollo aparente de moderado a fuerte. Su consistencia en seco es muy dura y firme en húmedo, son adhesivos y plásticos y muestran una porosidad moderada, en donde predominan

los poros finos. Su permeabilidad es lenta; y su drenaje se clasifica como imperfecto. Las raíces finas son comunes, en tanto que las raíces medias son escasas. Presenta un límite gradual e irregular con el horizonte que le subyace. Una característica peculiar es la presencia de facetas de fricción-presión y fisuras. En este caso también se presenta una reacción moderada al ácido clorhídrico.

A₁₃ 30-90 cm

Color 10YR 3/2 en húmedo; textura franco arcilloso; con una estructura aparente en bloques angulares de tamaño grueso, bien desarrollada. Estos bloques rompen con un ángulo de 45° y muestran sobre sus caras facetas de fricción- presión, así como de algunas fisuras. Las grietas sólo se presentan después de los 50 cm de profundidad; la consistencia es, en general, dura a muy dura pero oscila de friable a casi firme. Es muy adhesivo y muy plástico, poroso; la permeabilidad es lenta; en tanto que el drenaje es imperfecto, presentándose algunas evidencias de hidromorfismo (moteado de color 2.5Y 7/8). Las raíces finas se presentan en cantidad escasa; presenta un límite abrupto y casi plano. Reacción moderada al ácido clorhídrico.

AC 90-160 cm

Color 10YR 5/1 en húmedo; textura limosa; estructura bloques angular, media, moderadamente desarrollada, de consistencia ligeramente dura en seco, aunque friable en húmedo; no es adhesivo ni plástico. Su porosidad es moderada; en tanto que su permeabilidad es lenta. El drenaje de esta capa clasifica como moderadamente bien drenado. No muestra raíces, su límite es claro aunque irregular. Reacción que varía de ligera a moderada, en presencia del ácido clorhídrico.

Cg 160-220 cm

Color 2.5Y 5/2 en húmedo; textura franco arenosa. Con estructura en bloques subangulares y en ocasiones estructura laminar, fina, débilmente desarrollada. Su consistencia es blanda en seco y muy friable en húmedo, no muestra adhesividad ni plasticidad. Su porosidad, tanto como su permeabilidad son moderadas. Su drenaje interno clasifica como moderadamente bien drenado. No se presentan raíces y su límite es claro y ligeramente irregular con la capa que le subyace. Reacción muy ligera a nula con ácido clorhídrico.

2Cd > 220 cm

Capa compactada (2Cd) de color 2.5Y 7/6 en húmedo que oscila en húmedo a 2.5Y 6/4. Textura gruesa de tipo arenosa, con fragmentos líticos muy alterados. Masiva a laminar, no adhesiva, ni plástica casi impermeable, muy poco porosa. Dura a muy dura en seco, firme en húmedo. Sólo presenta huellas de raíces y algunas películas de materia orgánica y manganeso que recubren, parcialmente, csas huellas.

- **Perfil 3A.**

Localización: 600 m al este de San Mateo Acuitlapilco

Altitud: 2250 msnm.

Vegetación: Pastizal-Matorral-Arbóreas.

Uso del suelo: Agrícola con riego de auxilio.

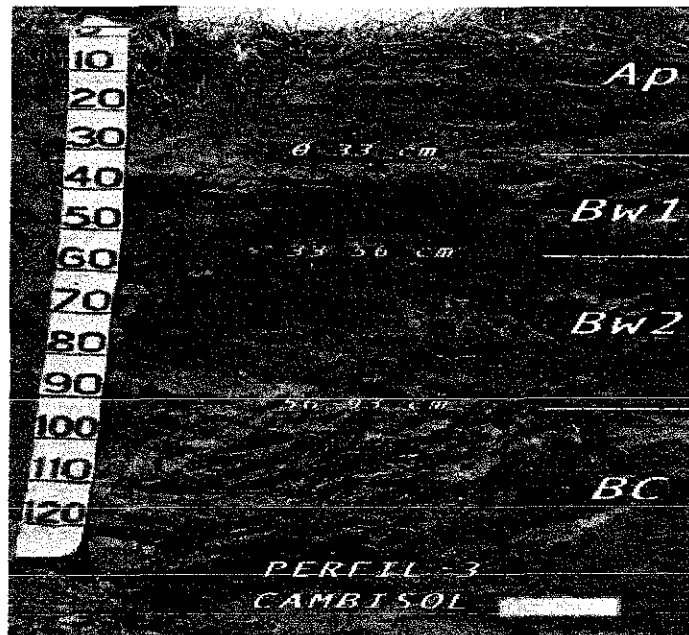
Relieve: Plano a ligeramente ondulado
(0.5-5.0%).

Material Parental: Aluvión vulcanogénico.

Clasificación en campo: Cambisol eútrico.

Fecha de colecta: 27-10-96

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



MORFOLOGIA:

Ap 0-33 cm

Color 10YR 5/4 en húmedo; textura arcillosa; estructura en bloques angulares finos y medios, moderadamente desarrollados. Su consistencia en seco varía de blanda a ligeramente dura y es friable en húmedo; es ligeramente adhesivo y ligeramente plástico, moderado o poco poroso; con una permeabilidad lenta. Moderadamente bien drenado. Las raíces finas y medias son comunes; su límite es gradual e irregular con el horizonte que le subyace. Reacción ligera a moderada a el ácido clorhídrico.

Bw₁ 33-56 cm

Bw₁ 33-56 cm

Color en húmedo 10YR 4/6; textura arcillosa; estructura en bloques subangulares que gradualmente cambian a bloques angulares, con la profundidad. En general, son de tamaño fino a medio y de desarrollo moderado. Su consistencia varía, en seco, de blanda a ligeramente dura y de friable a casi firme en húmedo, siendo ligeramente adhesivo y ligeramente plástico; con una porosidad moderada y una permeabilidad moderadamente lenta. En general, presenta un drenaje interno moderadamente bueno y las raíces finas son comunes. Presenta un límite gradual e irregular. Reacción ligera a moderada con el ácido clorhídrico.

Bw₂ 56-93 cm

Color 10YR 3/6 en húmedo; textura arcillosa; estructura en bloques angulares finos y medios con desarrollo moderado; de consistencia ligeramente dura, aunque friables en húmedo; son ligeramente adhesivos y moderadamente plásticos. Con una porosidad moderada y una permeabilidad moderadamente lenta; imperfectamente drenado; con presencia de raíces finas en cantidad escasa. Su límite es claro en, ocasiones abrupto, aunque irregular. Reacción moderada a fuerte con el ácido clorhídrico.

BC 93-151 cm

Color 10YR 6/2 en húmedo; textura franco arenosa; una estructura en bloques subangulares finos y medios, débilmente desarrollados; ligeramente adhesivos pero no plásticos. Poroso, permeabilidad moderadamente lenta; moderadamente bien drenado; no presenta raíces. El límite es gradual e irregular. En esta ocasión se presentó un exceso de humedad a profundidad de >100 cm. Este horizonte, con la profundidad adquiere tonos más claros (10YR 7/1) aunque de forma gradual, incrementando su contenido de arena. Reacción ligera al ácido clorhídrico.

2Cd >151 cm

Capa compactada de color 10YR 7/1 en húmedo que gradualmente pasa a 2.5Y 7/6 con la profundidad. Debido a que se encuentra mezclado en su parte superior con parte del horizonte BC (bioturbación) su textura varía en cortas distancias (< 8 cm de long.) entre franco arenoso y arenoso. Es masivo, muy duro en seco; firme en húmedo; no adhesivo, ni plástico poco permeable, con drenaje imperfecto a casi nulo. Se presentan algunas huellas de raíces, moteado fino, escaso, de color 10YR 8/8 y algunas películas de manganeso.

- **Perfil 4A.**

Localización. 200 m al sur de Santiago Atocan.

Altitud: 2240 msnm.

Vegetación: Pastizal-Erial (Bouteloua).

Uso del suelo: Pecuario (Ocasional) Caprino.

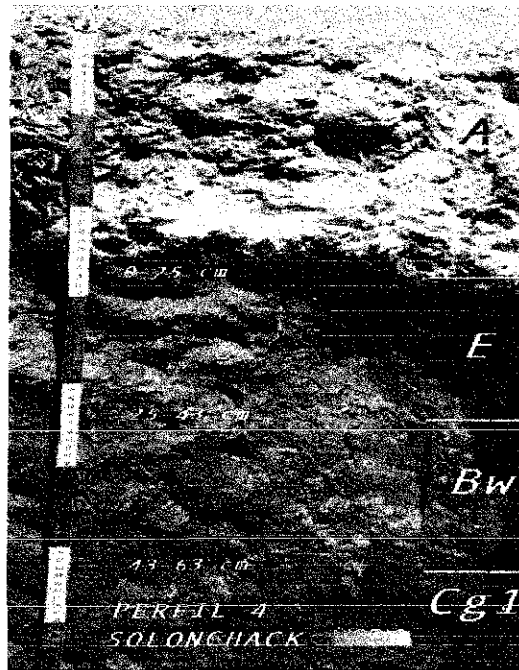
Relieve: Plano (0-2%).

Material Parental: Aluvión detrítico y aluvión vulcanogénico.

Clasificación en campo: Solonchak órtico.

Fecha de colecta. 27-10-96

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



MORFOLOGIA:

A 0-25 cm

Color en húmedo 7.5YR 5/0; textura franco arenosa con pobres contenidos de arcilla; estructura subangular fina y media con desarrollo débil a moderado; consistencia dura en seco, pero friable en húmedo, no adhesivo ni plástico, moderadamente poroso. Permeabilidad moderadamente lenta, drenaje moderado. Raíces finas en cantidad muy escasa; ligera reacción al ácido clorhídrico. Límite con la siguiente capa claro y plano.

E 25-43 cm

Color en húmedo 7.5YR 8/0; textura franco limosa; estructura masiva en húmedo pero casi suelta en seco; consistencia en seco ligeramente dura, pero muy friable en húmedo, no adhesivo ni plástico, moderadamente poroso. Permeabilidad moderada; drenaje rápido en esta capa, pero impedido en profundidad por la presencia de un B estructural muy arcilloso. Esto

origina que el horizonte E muestre drenaje lateral. Sin reacción al ácido clorhídrico. Raíces finas en cantidad muy escasa. Límite abrupto y plano con el horizonte subyacente.

Bw 43-63 cm

Color en húmedo 10YR 5/3; textura arcillosa; con estructura en bloques angulares y subangulares de tamaño medio y grueso, de desarrollo moderado, muy duro en seco, moderadamente firme en húmedo, adhesivo y moderadamente plástico. Los poros son escasos, presentando predominantemente poros finos; (<0.5 mm de diámetro), la permeabilidad lenta y el drenaje interno en esta capa es deficiente. En la parte inferior de la capa se muestran evidencias de hidromorfismo (condiciones reductomórficas). Reacción ligera al ácido clorhídrico. Las raíces están ausentes en este horizonte. Límite claro, pero irregular con la siguiente capa.

Cg₁ 63-120 cm

Color en húmedo 5GY 6/1; textura franco arcillo limosa; estructura masiva que cuando está seca rompe a pseudoestructura de bloques de apariencia angular y subangular de tamaño fino, medio y grueso, que evidentemente no muestra desarrollo. Su consistencia es dura en seco pero friable en húmedo, es adhesiva y moderadamente plástica; su porosidad oscila de pobre a moderada, dependiendo de los "lentes" de arcilla que se presentan en esta capa. La permeabilidad es lenta. El drenaje interno es deficiente; no existen raíces. Su límite con la capa que le subyace es claro y plano. Las características hidromórficas y reductomórficas, en esta capa están representadas por la presencia de moteado de color 2.5Y 6/6 de forma redondeada e irregular y de tamaño fino y medio. Presencia de algunas concreciones y nódulos de hierro y manganeso en cantidad escasa. Reacción muy leve al ácido clorhídrico.

Cg₂ 120 -150 cm

Color en húmedo 5GY 5/1; textura franca; estructura masiva y en algunas partes laminar fina, débilmente desarrollada. Consistencia ligeramente adhesiva, no plástica, ligeramente dura en seco pero friable en húmedo. Su porosidad es moderada y su permeabilidad moderadamente lenta. El drenaje interno es deficiente; no existen raíces. El límite con la capa que le subyace, no fue posible determinarlo con precisión, debido al exceso de humedad. Presenta evidencias de condiciones reductomórficas por hidromorfismo. Reacción muy leve a nula al ácido clorhídrico.

2Cd >_ 150 cm

Capa compactada y ocasiones, cementada de color 2.5Y 7/6 que oscila a 2.5Y 7/8. Textura gruesa de franco arenoso. Masiva no adhesiva ni plástica, poco permeable y poco porosa. Dura a muy dura en seco, ligeramente firme en húmedo. Sólo se observan huellas de raíces. Presenta concreciones dendríticas de Mn⁺⁺. A esta capa, localmente le denominan "tepetate".

Observaciones: *A partir de 43 cm de profundidad, las capas gradualmente, muestran consolidación y compactación fuertes, debidas probablemente a procesos de hidroconsolidación.*

- Perfil 5A.

Localización: 1 km al noreste de Xaltocan.

Altitud: 2240 msnm.

Uso del suelo: Sin uso.

Vegetación: Pastizal-Erial (Bouteolua).

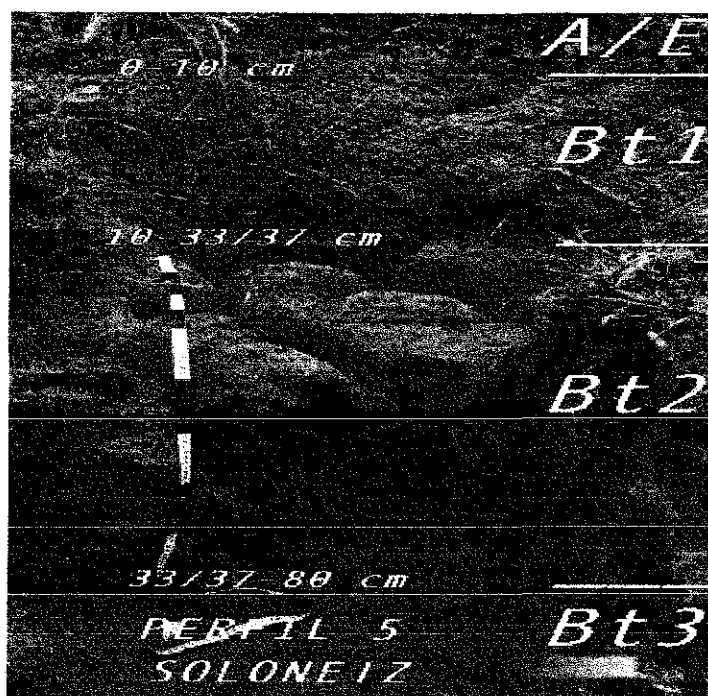
Relieve: Plano (0.5-2.0%).

Material Parental: Aluvión vulcanogénico (Fluvial y lacustre).

Clasificación en campo: Solonetz órtico.

Fecha de colecta: 27-10-96

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



MORFOLOGIA:

A/E 0-10 cm.

Color 10YR 7/1 a 7.5YR 7/0 en húmedo; textura franca; con estructura en bloques subangulares finos y medios, de débil a moderadamente desarrollados; su consistencia en seco es ligeramente dura, pero es friable a muy friable en húmedo; ligeramente adhesivo y no plástico. La porosidad es alta, predominan los poros finos. Permeabilidad moderada. Drenaje moderadamente eficiente. Raíces finas y medias en cantidad muy escasa; moteado de tamaño >2 mm, disperso, escaso, de color 2.5Y 7/8. Reacción leve al ácido clorhídrico. Límite claro pero irregular con el horizonte que le subyace.

B₁ 10 - 33/37 cm

Color en húmedo 2.5Y 5/4; textura franco arcillosa; estructura en bloques subangulares de tamaño moderado y desarrollo moderado, duros en seco y ligeramente firmes en húmedo; moderadamente adhesivos y moderadamente plásticos. Su porosidad es moderada, aunque su permeabilidad es moderadamente lenta. Los agregados estructurales presentan comúnmente películas verticales de arcilla con un espesor de moderado a grueso. Se observa también una aparente acumulación de sodio así como de películas probablemente de materia orgánica y manganeso (2.5Y 3/2 a 2.5Y 2/0). El drenaje es imperfectamente drenado. La presencia de raíces es muy escasa. Reacción al ácido clorhídrico. Su límite es claro pero irregular con el horizonte que le subyace.

B₂ 33/37 - 80 cm

El color en la parte superior de los agregados de este horizonte es 2.5Y 6/0; en tanto que los colores en húmedo en la parte inferior de los agregados es 2.5Y 4/4; la textura es franca arcillosa y en algunos sitios oscila a arcillosa. La estructura tiende a ser columnar y en ocasiones prismática, con un tamaño moderado a grueso y un desarrollo general moderado. Entre las paredes de algunos prismas se observan acumulaciones de materia orgánica muy descompuesta de color 2.5Y 3/2 que, sin embargo, aún es posible de reconocer como material vegetal. La consistencia es dura a moderada en seco y normalmente firme en húmedo; es adhesivo con frecuencia plástico. La porosidad es baja y la permeabilidad es moderadamente lenta y el drenaje es imperfectamente drenado. Sobre la estructura se observan películas verticales y horizontales (incluso en poros) de naturaleza arcillosa. En general esas películas son gruesas. Las raíces sólo se presentan en tamaño fino y en cantidad muy escasa. En la parte inferior de este horizonte se presentan algunas evidencias de hidromorfismo (moteado de color 2.5Y 7/8). Reacción nula al ácido clorhídrico. Su límite con el horizonte que le subyace es claro e irregular.

B₃ 80-150 cm

Color en húmedo 2.5Y 5/4; textura franco arcillo arenosa. Estructura en bloques angulares de tamaño fino y medio que, en ocasiones, se encuentran intrusionados por la estructura columnar del horizonte B₂. Su desarrollo en general, oscila de moderado a fuerte. Su consistencia es dura a muy dura en seco, aunque friable o ligeramente firme en húmedo. Su porosidad es moderada, representada principalmente por poros finos; su permeabilidad es moderadamente lenta. Con un drenaje moderadamente eficiente. No existen raíces. En la parte inferior de este horizonte se muestra moteado fino y medio de color 2.5 Y 7/8 y algunas concreciones de manganeso, así como algunas películas probablemente de manganeso-hierro y materia orgánica. La presencia de moteado ocre-amarillo (2.5Y 7/8) sugiere la formación de jarosita. Reacción muy ligera al ácido clorhídrico. Su límite es gradual e irregular.

C 150-220 cm

Color 2.5Y 6/8 en húmedo; textura franco arcillo arenosa y una estructura laminar fina, en algunos sitios masiva, en ocasiones difíciles de distinguir por efecto de edafoturbación (hidro y

argiloturbación). Esta estructura presenta un desarrollo que oscila de débil a moderado con una consistencia en seco que varía de ligeramente dura a casi suelta, la cual es muy friable en húmedo. Es ligeramente adhesivo pero no plástico. Su porosidad es moderada aunque su permeabilidad es moderadamente lenta. Su drenaje es muy pobre y se encuentra limitado por la presencia de una capa lacustre que propicia, en algunos casos, la presencia de drenaje lateral. Reacción nula al ácido clorhídrico. Límite claro y casi plano.

2Cd >_220 cm

Capa compactada de color en húmedo es 2.5Y 7/6 a 2.5Y 7/8; Textura gruesa que oscila de franco arenoso a arenosa. Masiva, en algunas partes estratificada, no adhesiva ni plástica, muy poco permeable y poco porosa. Dura a extremadamente dura en seco, firme a ligeramente firme en húmedo. Sólo presenta huellas de raíces, algunas de ellas con depósitos de películas de manganeso.

- Perfil 6A

Localización: 1 km al norte de Xaltocan.

Altitud: 2240 msnm.

Vegetación: Pastizal (Bouteloua)

Matorral (Opuntia).

Uso del suelo: Agrícola
(manual estacional).

Relieve: Plano a ligeramente cóncavo
(0.5-5.0-1.0%)

Material Parental: Aluvión vulcanogénico
(Fluvial y lacustre).

Clasificación en campo: Solod.

Fecha de colecta: 27-10-96

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



MORFOLOGIA.

A₀ 0 - 5 cm

Color 10YR 2/1 en húmedo, constituido en tres cuartas partes por material orgánico poco descompuesto (adiciones antropogénicas), algunos fragmentos líticos de tamaño grava gruesa, media, y suelo (<2.0 mm). Los fragmentos orgánicos no incluyen raíces vivas y son retenidos en la malla 100 (0.15mm). Todos ellos son reconocidos al microscopio de disección (10 X), como parte de la estructura de diversas plantas. Los fragmentos de plantas menores a 2 cm, en sección transversal, están tan descompuestos que pueden ser destruidos y molidos entre los dedos. Contacto gradual e irregular con la capa subyacente. Reacción ligera al ácido clorhídrico.

A₁ 5 - 12 cm

Color 10YR 3/1 en húmedo, rico en materiales orgánicos que muestran una descomposición moderada a fuerte que con frecuencia, impide identificar la estructura vegetal de la que provienen. La estructura es muy variable, ya que se presenta estructura migajosa, granular e incluso en bloques angulares y subangulares, todas ellas de tamaño fino y desarrollo moderado, ligeramente dura en seco pero friable en húmedo. La textura al tacto, oscila de limo a limo francosa y cambia, gradualmente, con la profundidad a limo arenosa (fina). No es adhesivo ni plástico, ni calcáreo. Las raíces son finas y en cantidad escasa. No muestra esqueleto. Entre el contacto de este horizonte con el horizonte subyacente, se presentan algunos indicios de materiales humilúvicos representados por la presencia (no confinada) de cutanes orgánicos (organds). Contacto abrupto e irregular. Reacción nula al ácido clorhídrico.

E₁₂ - 45/60 cm

Color 10YR 6/1 a 10YR 7/1 en húmedo, textura areno limosa, a francamente arenosa fina, rica en granos no recubiertos por productos eluviados, salvo en algunas áreas de este horizonte donde se observan precipitaciones de hierro férrico (5YR 3/3) y de material orgánico muy descompuesto (10YR 2/1). La estructura es masiva y pasa, gradualmente, con la profundidad a poliédrica gruesa de consistencia ligeramente dura en seco, pero friable en húmedo, no presenta adhesividad ni plasticidad, así como tampoco material calcáreo. Se caracteriza por presentar penetraciones verticales de material albico entre los pedio del horizonte subyacente. Estas penetraciones, comúnmente, tienen una profundidad de 15 cm y un ancho de < 1 cm y presencia de cuarzo, de tamaño limo, en dichas estructuras, también es común. Ocasionalmente se observan algunas concreciones ferro-magnésicas y dendritas de manganeso sobre los pedio. Las raíces, en general, son muy escasas, de igual modo que la actividad animal. Contacto claro irregular. Reacción nula al ácido clorhídrico.

E/Btn 45/60-71 cm

El color del horizonte en su parte superior (45/60-67 cm) es gris claro (10YR 7/2) y, gradualmente, con la profundidad, pasa a gris oscuro (10YR 4/1). La textura también cambia de areno limosa a franca y franco arcillosa en su parte más profunda (67-71 cm). La dureza, adhesividad y plasticidad, también se incrementan del mismo modo. La estructura, aparentemente, tiende a ser columnar, de tamaño grueso y desarrollo moderado. La parte superior de estas columnas está blanqueada por lessivage y drenaje lateral y rompe preferentemente a bloques finos y material pulverulento. Las raíces no se presentan, aunque existen huellas (impresiones de éstas, ocasionalmente, se presentan en las caras de los pedio), dendritas de manganeso de color 7.5 YR 2/0. Contacto claro e irregular. Reacción nula al ácido clorhídrico.

Btn 71-122 cm

Color en húmedo 10YR 2/1, de textura franco arcillosa que pasa a arcilla con la profundidad. Estructura columnar, media, bien formada, con algunos revestimientos probables de manganeso, hierro y materia orgánica, localizados en forma dispersa sobre los pedio.

Muestra fisuración vertical, la cual ocasionalmente esta rellena de materia albica (10YR 8/1). La estructura es dura a muy dura en seco, firme en húmedo, pero friable en condición de saturación. Es adhesivo y plástico. Con frecuencia, se presentan algunos cristales de halita sobre los pedio. No existen de modo abundante, facetas de presión o fricción, aunque algunas están presentes. Las películas de arcilla son evidentes en este horizonte, e incrementan su porcentaje y espesor entre los 89 a 110 cm, para disminuir gradualmente con la profundidad. Las raíces no están presentes, aunque es posible encontrar algunas huellas de éstas sobre y dentro de los pedio. Contacto gradual e irregular. Reacción ligera al ácido clorhídrico.

C 122-169 cm

Color en húmedo 10YR 6/3, de textura migajón arcillo arenoso en su parte más profunda (>150 cm de profundidad). La estructura es masiva en casi todo su volumen y rompe en terrones de forma angular y subangular de diversos tamaños. Es muy dura en seco, firme en húmedo, pero friable a saturación. Es adhesiva y plástica y muestra evidencias de facetas de presión fricción, así como algunas películas de arcilla, en cantidad escasa, delgadas y verticales. En la parte inferior de este horizonte, se observa una capa de eluviación, formada por drenaje lateral, debido a la presencia de una capa subyante, muy compactada, casi impermeable y poco alterada (tepetate). Reacción ligera al ácido clorhídrico.

2Cd >_169 cm

Capa compactada de color que oscila de 2.5Y 7/6 a 2.5Y 7/8 en húmedo. Textura que oscila de franco arenosa a arena francosa. Masiva, aunque se presentan evidencias de estratificación. No es adhesiva ni plástica, casi impermeable, poco porosa, compactada, muy dura en seco, firme en húmedo, pero friable cuando se satura por inmersión. Presenta huellas de raíces recubiertas por algunas películas de manganeso.

Observaciones: *En este suelo, según informe de algunos campesinos de la región, se practicaba una labranza mínima. Así mismo, la casi totalidad del material orgánico que se encuentra en la superficie del suelo, son adiciones hechas por el hombre, a través de un tiempo no determinado, sobre una superficie de menos de media hectárea. Estas adiciones están constituidas, principalmente, por lodos ricos en materia orgánica que fueron extraídos de algunos canales, así como "tierra de monte", rastrojo, y estiércol.*

De acuerdo con productores, esta práctica se utilizaba frecuentemente, años atrás, para hacer una "tierra fuerte" útil para el cultivo (clasificación campesina) "Se dejaba pasar un tiempo y luego se sembraba casi a ras, porque si no la semilla se quemaba".

Otra técnica interesante para suelos de esta zona, es el uso de plástico, el cual se entierra "para impedir el paso del salitre". Actualmente, la práctica más común, que según los productores "da buenos resultados" es el riego con aguas negras que transporta el Gran Canal ya que da un aporte significativo de materia orgánica.

6.2 Propiedades Diagnósticas de los Suelos.

Con base en la leyenda de la FAO-UNESCO (1991 y 1994) los perfiles estudiados y analizados para su interpretación en esta tesis, muestran las siguientes características:

PERFILES 1A Y 1B

- **HORIZONTES DE DIAGNOSTICO.**

Se trata de suelos jóvenes de origen aluvial, que no muestran más que un horizonte **A ócrico** que subyace a una serie de capas arenosas, de naturaleza heterogénea (Figura 8).

Como puede observarse en las Tablas 2 y 3, la estratificación de las capas resulta muy obvia si se consideran los siguientes aspectos: (a) cambios bruscos en el color de las capas y (b) distribución caótica de la materia orgánica en el perfil. Sin embargo, existen algunas evidencias de que este suelo tiende a organizarse, desde el punto de vista edafológico, hacia una horizontalización. Tales evidencias son: (a) una disminución gradual y ordenada de los contenidos de Ca^{2+} y Mg^{2+} , con la profundidad (Tablas 2 y 3), (b) una eluviación evidente de los cationes más solubles como el Na^+ y el K^+ , (c) una suma de bases y CIC que disminuye, gradualmente pero de forma ordenada con la profundidad y (d) una evidente redistribución en el suelo de los cationes solubles. Todos ellos son procesos previos a la formación de un horizonte B cámbico (Bw).

- **CARACTERÍSTICAS DE DIAGNOSTICO.**

Estos suelos, teóricamente, representan una de las primeras etapas del proceso de evolución de suelos en el área de estudio. Como puede observarse en las Tablas 2 y 3, el PSI tiende, claramente, a incrementarse con la profundidad, del mismo modo que el sodio soluble. Esta tasa de incremento persiste durante todo el año, aunque con ligeras oscilaciones estacionales.

También son características las siguientes propiedades:

1. Flúvicas. Se refiere a que estos suelos recibieron, regularmente, tanto depósitos lacustres como fluviales, que muestran las siguientes propiedades:
 - a. Los contenidos de materia orgánica decrecen irregularmente con la profundidad del suelo.
 - b. Se presenta estratificación en más del 50% del volumen del suelo.

- **FASES.**

Estos suelos, presentan 2 fases: freática, y sódica. De modo menos común, pueden presentar fase rídica (Anexo 2), la cual se refiere a la presencia de gravas o piedras en las capas superficiales. Estas dificultan el uso de maquinaria agrícola (Figura 8).

Perfil 1A

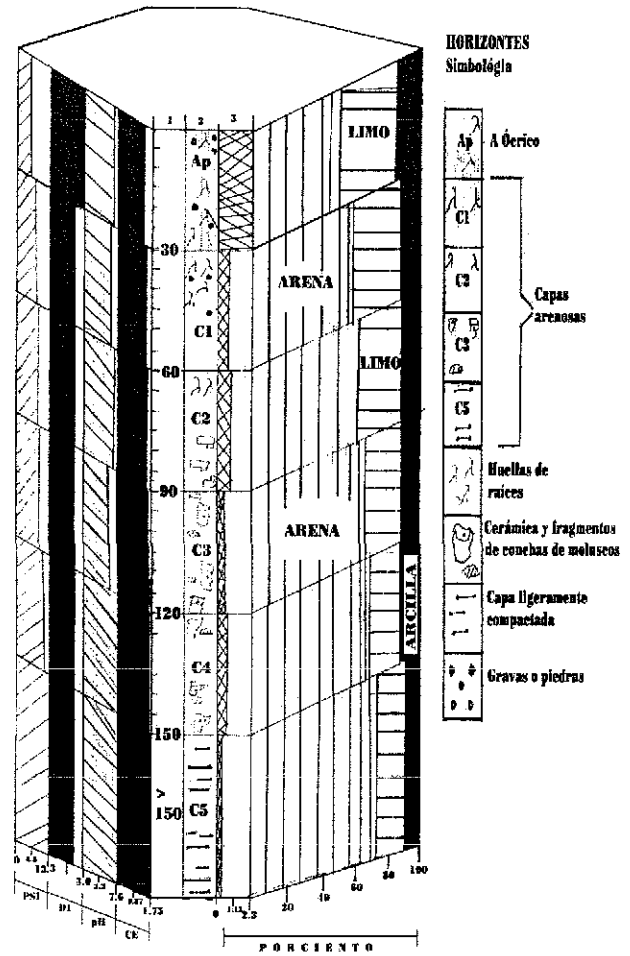
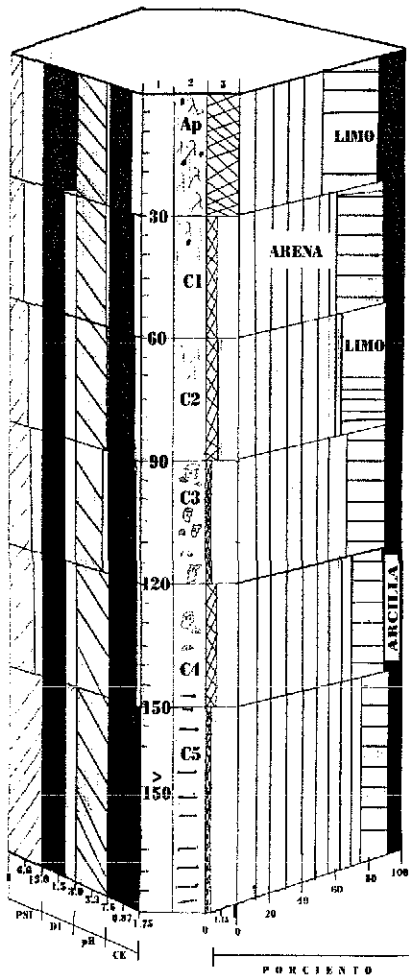
Clasificación: Fluvisol eutrico.

Período: Lluvia.

Perfil 1B

Clasificación: Fluvisol eutrico.

Período: Sequía.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Simbología:

1. Profundidad en cm.

3. Porcentaje de materia orgánica.

pH; potencial de H⁺

2. Horizonte.

PSI; Por ciento de Na⁺ intercambiable.

CE; Conductividad eléctrica.

Figura 8. Diagnósis de las propiedades de los perfiles 1A y 1B.

P1A: ANALISIS FISICOS

PROFUNDIDA cm	HORIZONTE USDA 1998	COLOR Húmedo	TAMAÑO Y DIAMETRO DE PARTICULA (mm)				CLASE TEXTURAL USDA 1998	DENSIDAD		POROSIDAD (%)	FH g.sol/g.suelo	PW (%)	PS cm/hr	AGUA CONTENIDA		FACTOR K RODABILIDA USDA 1998	DI USDA 1998
			ARENA (%)	*ARENA MUY FINA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)		APARENTE g/cm ³	REAL g/cm ³					33 kPa	1500 kPa		
0 - 30	Ap	10YR4/4	52.0	11.0	33.0	15.0	F	1.2	2.62	54.2	0.86	11.6	4.7	12.2	4.1	0.39	3
30 - 60	C ₁	7.5YR5/8	60.0	14.0	28.0	12.0	Fa	1.3	2.65	51.0	0.92	8.70	4.9	9.3	3.7	...	2
60 - 90	C ₂	7.5YR5/8	63.0	14.0	26.0	11.0	Fa	1.3	2.65	51.0	0.92	8.70	5.1	9.3	3.7	....	2
90 - 120	C ₃	10YR6/6	67.0	17.0	22.0	11.0	Fa	1.3	2.65	51.0	0.92	8.70	5.0	9.3	3.5	...	2
120 - 150	C ₄	10YR6/6	70.0	17.0	18.0	12.0	Fa	1.4	2.65	47.0	0.94	6.40	4.7	7.7	3.2	...	2
>150	C ₅	7.5YR5/4	75.0	Nd	17.0	8.0	Fa	1.4	2.65	47.0	0.94	6.40	4.6	5.2	2.3	....	2

P1A: ANALISIS QUIMICOS I

PROFUNDIDA cm	HORIZONTE USDA 1998	M.O. %	Ct %	Nt %	C/N	PORCENTAJE DE BASES INTERCAMBIABLES cmol (+) Kg				REL. Ca ⁺⁺ /Mg ⁺⁺	SUMA DE BASES	CIC cmol(+)/Kg suelo	SATURACION BASES (%)	PORCEN. Mg ⁺⁺ + Na INTERCAMBIABLE	PSI (%)	pH H ₂ O 1:2.5
						Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺							
0 - 30	Ap	2.3	1.80	0.17	10.6	13.5	3.1	1.1	0.7	4.35	18.40	22.5	81.77	18.66	4.88	7.5
30 - 60	C ₁	0.7	0.60	0.40	6.60	11.7	2.8	1.1	0.8	4.18	16.40	17.3	94.22	22.54	6.36	7.4
60 - 90	C ₂	0.9	0.03	Nd	Nd	9.2	2.8	1.2	0.8	3.28	14.00	14.0	100.0	28.57	8.57	7.5
90 - 120	C ₃	0.4	0.03	Nd	Nd	8.3	2.2	1.2	0.8	3.77	12.50	12.5	100.0	27.20	9.60	7.3
120 - 150	C ₄	0.5	Nd	Nd	Nd	7.0	1.8	1.1	0.8	3.88	10.70	11.3	94.69	25.66	9.73	7.6
>150	C ₅	0.3	Nd	Nd	Nd	6.1	1.1	1.2	0.8	5.54	9.20	9.20	100.0	25.00	13.0	7.6

P1A: ANALISIS QUIMICOS II

PROFUNDIDA cm	HORIZONTE USDA 1998	CE dSm ⁻¹	CATIONES SOLUBLES cmol (+) L(-)				ANIONES SOLUBLES cmol (+) L(-)				RAS m.e./lt	
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻		Cl ⁻
0 - 30	Ap	1.25	1.70	1.70	33.7	3.5	8.3	Nd	0.6	1.3	3.0	25.92
30 - 60	C ₁	1.37	2.10	1.65	41.2	3.0	6.2	Nd	0.7	1.5	3.1	30.09
60 - 90	C ₂	1.42	2.00	1.80	47.3	4.0	6.9	Nd	0.7	1.5	2.9	34.32
90 - 120	C ₃	1.45	2.20	1.95	51.0	4.0	6.4	Nd	0.7	1.4	3.3	35.41
120 - 150	C ₄	1.52	2.50	2.20	53.0	4.2	6.7	Nd	0.8	1.6	3.3	33.33
>150	C ₅	1.75	3.75	2.30	65.3	4.3	6.9	Nd	0.9	1.8	3.5	37.74

F franco
 Fa franco arenoso
 M.O.: materia orgánica.
 Ct: carbono total.
 Nt: nitrógeno tota.
 P: fósforo.
 FH: factor de humedad.
 PW: porcentaje de humedad.
 PS: permeabilidad del suelo.
 Factor K: erodabilidad.
 DI: drenaje interno
 $RAS = Na^+ / (Ca^{++} + Mg^{++})^{0.5}$
 CIC: capacidad de intercambio cationico
 *Los porcentajes de arena muy fina se
 obtuvieron a través de tamices a partir
 del porcentaje de arena total (fracción 0.10-0.05 mm).
 Nd: no determinado

Drenaje: Clase
 1. Muy excesivamente drenado
 2. Excesivamente drenado.
 3. Bien drenado.
 4. Moderadamente bien drenado.
 5. Imperfectamente drenado.
 6. Pobremente drenado.
 7. Muy pobremente drenado.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Tabla 2. Resultados de los análisis de laboratorio correspondientes al primer perfil en el periodo de lluvia de un suelo Fluvisol Eútrico (P1A).

P1B: ANALISIS FISICOS

PROFUNDIDA cm	HORIZONTE USDA 1998	COLOR Sbco	TAMAÑO Y DIAMETRO (mm)				CLASE TEXTURAL USDA 1998	DENSIDAD		POROSIDAD (%)	FH g.sol/g.suelo	PW (%)	PS cm/hr	AGUA CONTENIDA		FACTOR K RODABILIDA USDA 1998	DI 1998
			ARENA (%)	*ARENA MUY FINA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)		APARENTE g/cm ³	REAL g/cm ³					33 kPa	1500 kPa		
0 - 30	Ap	10YR4/6	55.0	10.1	35.0	10.0	F	1.25	2.62	52.83	0.92	8.70	4.7	11.7	4.0	0.48	3
30 - 60	C ₁	7.5YR5/8	59.0	12.3	32.0	9.00	Fa	1.35	2.65	49.05	0.92	8.70	4.9	8.9	3.5	...	2
60 - 90	C ₂	7.5YR5/8	62.5	12.9	27.5	10.0	Fa	1.35	2.65	49.05	0.92	8.70	5.1	8.9	3.5	...	2
90 - 120	C ₃	10YR6/8	67.3	13.2	23.0	9.70	Fa	1.40	2.65	47.16	0.94	6.40	5.0	9.0	3.5	...	2
120 - 150	C ₄	10YR6/8	71.5	15.1	18.5	10.0	Fa	1.40	2.65	47.16	0.94	6.40	4.7	7.5	3.0	...	2
>150	C ₅	7.5YR5/4	74.9	15.7	16.0	9.10	Fa	1.45	2.65	47.16	0.94	6.40	4.6	5.1	2.3	...	2

P1B: ANALISIS QUIMICOS I

PROFUNDIDA cm	HORIZONTE USDA 1998	M.O. %	Ct %	Nt %	C/N	PORCENTAJE DE BASES INTERCAMBIABLES cmol (+) Kg				REL: Ca ⁺⁺ /Mg ⁺⁺	SUMA DE BASES	CIC cmol(+)Kg suelo	SATURACION BASES (%)	PORCEN. Mg ⁺⁺ + Na INTERCAMBIABLE	PSI (%)	pH H ₂ O
						Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺							
0 - 30	Ap	1.85	0.93	0.11	9.75	13.9	3.5	1.3	0.8	3.97	19.50	21.0	92.85	22.85	6.19	7.6
30 - 60	C ₁	0.55	0.22	0.03	10.63	12.8	3.1	1.5	0.8	4.19	18.20	18.2	100.0	25.27	8.24	7.6
60 - 90	C ₂	0.85	0.41	0.05	9.86	10.1	3.3	1.6	0.8	3.06	15.90	16.0	99.37	30.62	10.00	7.6
90 - 120	C ₃	0.40	0.11	0.03	7.73	8.7	2.5	1.6	0.9	3.48	13.70	13.7	100.0	29.62	11.67	7.6
120 - 150	C ₄	0.55	0.13	0.04	7.97	7.5	1.8	1.5	0.9	4.16	11.70	12.0	97.50	27.50	12.50	7.8
>150	C ₅	0.35	0.08	0.02	10.15	6.4	1.4	1.4	0.9	4.57	10.10	10.5	96.19	26.66	13.33	7.9

P1B: ANALISIS QUIMICOS II

PROFUNDIDA cm	HORIZONTE USDA 1998	CE dSm ⁻¹	CATIONES SOLUBLES cmol (+) L(-)				ANIONES SOLUBLES cmol (+) L(-)				RAS m.e./lit	
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻		Cl ⁻
0 - 30	Ap	1.75	2.20	2.30	42.5	3.9	9.4	Nd	0.9	1.7	3.1	14.45
30 - 60	C ₁	1.83	2.40	2.20	51.2	3.3	7.0	Nd	0.9	1.9	3.1	18.22
60 - 90	C ₂	1.95	2.40	2.20	55.3	4.2	7.4	Nd	0.9	1.9	3.0	21.43
90 - 120	C ₃	2.20	2.50	2.20	60.1	4.3	7.2	Nd	1.1	1.7	3.5	25.46
120 - 150	C ₄	2.50	3.10	3.00	65.0	4.5	7.2	Nd	1.1	1.9	3.6	30.23
>150	C ₅	2.65	3.85	7.20	72.0	4.6	7.4	Nd	1.2	2.1	3.8	36.54

F franco

Fa franco arenoso

M.O.: materia orgánica.

Ct: carbono total.

Nt: nitrógeno total.

P: fósforo.

FH: factor de humedad.

PW: porcentaje de humedad

PS: permeabilidad del suelo.

Factor K; erodabilidad.

DI: drenaje interno.

RAS = Na⁺ / (Ca⁺⁺ + Mg⁺⁺)^{0.5}

CIC: capacidad de intercambio catiónico

*Los porcentajes de arena muy fina se obtuvieron a través de tamices a partir del porcentaje de arena total (tracción 0.10-0.05 mm).

Nd; no determinado

Drenaje: Clase

1. Muy excesivamente drenado
2. Excesivamente drenado.
3. Bien drenado.
4. Moderadamente bien drenado.
5. Imperfectamente drenado.
6. Pobremente drenado.
7. Muy pobremente drenado.

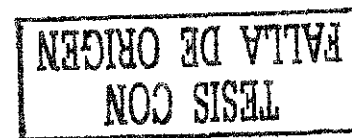


Tabla 3. Resultados de los análisis de laboratorio correspondientes al segundo perfil en el periodo de sequia de un suelo Fluvisol Eútrico (P1B).

PERFILES 2A Y 2B

• HORIZONTES DE DIAGNOSTICO.

Estos suelos presentan un horizonte A de gran espesor (90 cm), que puede ser subdividido fácilmente, dada su morfología, en tres subhorizontes (Tablas 4 y 5). Dicha facilidad radica, a nivel de campo, en que la textura y el color son claramente diferentes entre ellos. En general, los colores son oscuros (Tabla 4) y las texturas varían de arcilla a franco arcilloso. Los contenidos de materia orgánica son altos en todos los subhorizontes, así como el porcentaje de bases (Tablas 4 y 5).

Sin embargo, como se observa en la descripción morfológica del perfil (pág.38-39), la consistencia de los agregados estructurales es muy dura en seco. Esta última característica, elimina la posibilidad de considerar a estos horizontes A como Mólicos o Umbricos; pero se plantea otro problema, los colores de este horizonte A, son tan oscuros (Tabla 4) que no permiten clasificarlo como un **ócrico**.

Lo anterior, representa un caso donde una deficiencia en la metodología taxonómica, impide dar una nomenclatura adecuada a un horizonte.

Estos suelos carecen de un horizonte Bss (Anexo 3) de acuerdo a la diagnosis de Wilding (1996), así, el horizonte que normalmente subyace a estos subhorizontes A, es un horizonte AC que generalmente muestra escasas características vérticas (Anexo 2)

• PROPIEDADES DE DIAGNOSTICO.

Se caracterizan por presentar:

- a. Cambio textural abrupto. Como se observa en la Tabla 4, la textura cambia abruptamente, de franco arcilloso (horizonte A₁₃) a franco limoso (horizonte AC) lo que en algunos suelos similares propicia un drenaje lateral.
- b. Horizontes calcáricos. La mayoría de estos suelos muestran algunos materiales calcáreos (Anexo2) que tienden a distribuirse entre los 30 y 90 cm de profundidad (Tabla 4). Estos materiales son identificados en campo por su reacción, modera a fuerte con HCl al 10%.
- c. Propiedades estagnicas. Esto se refiere a los materiales del suelo que están saturados con agua en algún período del año. En el caso de algunos de estos suelos, dichas propiedades se hacen evidentes a partir de los 30 cm, incrementándose con la profundidad (Tabla 4), hasta ser muy evidentes en los horizonte Cg y 2Cd. Estas propiedades se identificaron en campo, como presencia de moteado, películas de manganeso-hierro localizadas en poros y canales, así como por la presencia de algunas concreciones de manganeso.
- d. Slickensides. Están representados por facetas de presión-fricción (Anexo 2) (Figura 9) frecuentes en suelos monmorilloníticos (suelos expansivos). Con excepción de los horizontes AC, Cg y 2Cd, estas facetas son comunes en el perfil (Tabla 4 y Anexo 2).
- e. Propiedades vérticas. Están fuertemente representadas en estos suelos a través de la presencia de grietas, facetas y agregados estructurales en forma de cuña. Dichas estructuras son particularmente características de los horizontes A₁₁, A₁₂ y A₁₃ (Tabla 4 y Anexo 2).

P2A: ANALISIS FISICOS

PROFUNDIDAD cm	HORIZONT USDA 1998	COLOR		TAMAÑO Y DIAMETRO DE PARTICULA (mm)				CLASE TEXTURAL USDA 1998	DENSIDAD		POROSIDAD (%)	FH g sol/g suelo	PW (%)	PS cm/hr	AGUA CONTENIDA		FACTOR K ERODABILIDA USDA 1998	DI 1998
		UMEDO	SECO	ARENA (%)	*ARENA MUY FINA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)		APARENTE g/cm ³	REAL g/cm ³					33 kPa	1500 kPa		
0 - 10	A ₁₁	10YR 2/1	10YR3/1	17.0	8.5	40.0	43.0	R	1.30	2.65	50.94	0.72	39.0	0.20	27.0	15.7	0.15	5
10 - 30	A ₁₂	10YR 3/2	10YR3/3	20.0	9.0	40.0	40.0	R	1.30	2.65	50.94	0.70	43.0	0.25	29.0	16.3	...	5
30 - 90	A ₁₃	10YR 3/2	10YR3/3	21.0	7.1	42.0	37.0	Fr	1.30	2.65	50.94	0.70	43.0	0.35	25.0	14.7	...	5
90 - 160	AC	10YR5/1	10YR6/1	40.0	14.0	50.0	10.0	FI	1.20	2.50	52.00	0.86	16.3	0.50	15.7	7.3	...	4
160 - 220	C ₉	2.5Y5/2	2.5Y6/2	70.0	22.0	20.0	10.0	Fa	1.20	2.50	52.00	0.94	6.4	1.55	12.1	4.2	Nd	4
>220	2Cd	2.5Y8/4	2.5Y7/6	6.5	Nd	27.0	8.0	Fa	1.70	2.65	35.84	0.95	5.0	0.11	7.1	1.5	Nd	6

P2A: ANALISIS QUIMICOS I

PROFUNDIDAD cm	HORIZONT USDA 1998	M.O. %	Ct %	Nt %	C/N	PORCENTAJE DE BASES INTERCAMBIABLES cmol(+)Kg(-)				REL: Ca ⁺⁺ /Mg ⁺⁺	SUMA DE BASES	CIC cmol(+)Kg suelo	SATURACION BASES (%)	PORCEN. Mg ⁺⁺ + Na ⁺ INTERCAMBIABLE	PSI (%)	pH H ₂ O 1:2.5
						Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺							
0 - 10	A ₁₁	5.11	2.97	0.23	12.97	26.0	22.4	1.7	0.85	1.16	50.95	57.0	89.56	42.80	2.98	6.7
10 - 30	A ₁₂	2.00	1.18	0.07	15.53	28.0	22.6	2.8	0.25	1.23	53.65	58.0	93.06	43.79	4.82	6.8
30 - 90	A ₁₃	2.17	1.26	0.06	21.36	29.5	22.7	5.0	0.17	1.29	57.37	59.0	97.42	46.95	8.47	6.9
90 - 160	AC	0.58	0.34	0.35	8.95	18.0	16.0	3.8	0.09	1.12	37.89	39.0	97.25	50.76	9.74	7.2
160 - 220	C ₉	Nd	0.1	Nd	Nd	5.5	5.2	1.5	0.06	1.05	12.26	14.0	87.71	47.85	10.71	7.5
>220	2Cd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd

P2A: ANIONES Y CATIONES SOLUBLES, COMBINADOS CON SALES, % DEL PESO SECADO AL HORNO

PROFUNDIDAD cm	HORIZONTE USDA 1998	CE dSm ⁻¹	CaSO ₄	CaCl ₂	MgSO ₄	MgCl ₂	KCl	Na ₂ SO ₄	NaCl	NaHCO ₃	TOTAL
0 - 10	A ₁₁	1.75	0.009	0.010	0.005	<0.01	0.006	0.020	0.031	0.015	0.106
10 - 30	A ₁₂	1.90	0.012	0.009	0.004	<0.01	0.005	0.025	0.079	0.023	0.167
30 - 90	A ₁₃	2.15	0.012	0.012	0.005	<0.01	0.002	0.029	0.13	0.038	0.238
90 - 160	AC	3.50	0.015	0.015	0.005	<0.01	0.009	0.035	0.170	0.039	0.296
160 - 220	C ₉	2.50	0.017	0.015	0.010	<0.01	0.009	0.033	0.175	0.039	0.308
>220	2Cd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd

Fl franco limoso

Fa franco arenoso

M.O.; materia orgánica.

Ct; carbono total.

Nt; nitrógeno total.

P; fósforo.

FH; factor de humedad.

PW; porcentaje de humedad.

PS; permeabilidad del suelo.

Factor K; erodabilidad.

DI; drenaje interno.

RAS=Na⁺ / (Ca²⁺ + Mg²⁺)^{0.5}

CIC; capacidad de intercambio catiónico

*Los porcentajes de arena muy fina se

obtuvieron a través de tamices a partir

del porcentaje de arena total (fracción 0.10-0.05 mm).

Nd; no determinado

Drenaje: Clase

1. Muy excesivamente drenado.
2. Excesivamente drenado.
3. Bien drenado.
4. Moderadamente bien drenado.
5. Imperfectamente drenado.
6. Pobremente drenado.
7. Muy pobremente drenado.

FALTA DE ORIGEN
TESIS CON

Tabla 4. Resultados de los análisis de laboratorio correspondientes al tercer perfil en el período de lluvia de un suelo Vertisol (P2A).

P2B: ANALISIS FISICOS

PROFUNDIDAD	HORIZONTE	COLOR		TAMAÑO Y DIAMETRO DE PARTICULA (mm)				CLASE	DENSIDAD		POROSIDAD	FH	PW	PS	AGUA CONTENIDA		FACTOR K	DI
		USDA	HUMEDO	SECO	ARENA (%)	*ARENA MUY FINA (%)	LIMO (%)		ARCILLA (%)	TEXTURAL USDA 1998					APARENTE g/cm ³	REAL g/cm ³			(%)	g.sal/g.suelo	(%)	cm/hr	33 kPa	1500 kPa	ERODABILIDAD USDA 1998	USDA 1998
0 - 12	A ₁₁	10YR 3/1	10YR 3/1	20.0	8.0	40.0	39.0	R	1.30	2.65	50.44	0.70	43.0	0.25	29.5	17.1	0.27	5
12 - 30	A ₁₂	10YR 3/2	10YR 3/3	22.0	8.0	41.0	38.0	Fr	1.40	2.65	47.16	0.70	43.0	0.25	33.2	18.7	...	5
30 - 88	A ₁₃	10YR 3/2	10YR 3/3	22.0	7.5	40.0	38.0	Fr	1.40	2.65	47.16	0.70	43.0	0.35	27.0	16.4	...	5
88 - 157	AC	10YR5/1	10YR6/1	40.0	15.0	50.0	10.0	Fa	1.30	2.55	49.01	0.86	16.3	0.60	15.4	6.8	...	4
157 - 220	C _g	2.5Y5/2	2.5Y6/2	70.0	23.0	20.0	10.0	FI	1.20	2.50	52.00	0.92	8.7	1.70	12.8	4.9	Nd	4
>200	2Cd	2.5Y5/2	2.5Y6/2	66.0	Nd	27.0	7.0	Fa	1.75	2.65	43.39	Nd	Nd	0.09	6.2	1.3	Nd	6

P2B: ANALISIS QUIMICOS I

PROFUNDIDAD	HORIZONTE	M.O.	Ct	Nt	C/N	PORCENTAJE DE BASES INTERCAMBIABLES cmol(+)/Kg(-)				REL: Ca ⁺⁺ /Mg ⁺⁺	SUMA DE BASES	CIC	SATURACION BASES (%)	PORCEN. Mg ⁺⁺ + Na ⁺ INTERCAMBIABLE (%)	PSI (%)	pH H ₂ O
						Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺							
0 - 12	A ₁₁	4.3	2.00	0.17	11.76	22.0	21.0	3.3	0.80	1.04	47.10	57.5	82.06	24.3	12.0	6.9
12 - 30	A ₁₂	1.7	1.00	0.03	33.33	25.0	20.0	5.3	0.17	1.25	50.47	58.0	87.27	25.3	9.13	7.3
30 - 88	A ₁₃	1.7	1.00	0.04	25.00	26.0	21.0	8.5	0.15	1.23	55.65	60.1	92.74	29.5	14.14	7.5
88 - 157	AC	0.4	0.02	0.17	Nd	15.0	12.0	6.6	0.10	1.25	35.70	39.5	90.37	20.6	21.77	8.0
157 - 200	C _g	Nd	0.08	Nd	Nd	5.0	4.0	6.1	0.10	1.25	15.20	15.0	100.0	10.1	40.66	8.2
>200	2Cd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd

P2A: ANIONES Y CATIONES SOLUBLES, COMBINADOS CON SALES, % DEL PESO SECADO AL HORNO

PROFUNDIDAD	HORIZONTE	CE	CaSO ₄	CaCl ₂	MgSO ₄	MgCl ₂	KCl	Na ₂ SO ₄	NaCl	NaHCO ₃	TOTAL
cm	USDA	dSm ⁻¹									
0 - 12	A ₁₁	1.98	0.012	0.013	0.007	0.011	0.008	0.027	0.039	0.02	0.137
12 - 30	A ₁₂	2.10	0.015	0.012	0.007	0.013	0.008	0.031	0.099	0.026	0.211
30 - 88	A ₁₃	2.20	0.017	0.015	0.009	0.013	0.007	0.035	0.175	0.041	0.312
88 - 157	AC	3.90	0.019	0.015	0.009	0.013	0.009	0.037	0.191	0.043	0.336
157 - 200	C _g	4.10	0.019	0.017	0.011	0.015	0.009	0.039	0.21	0.045	0.365
>200	2Cd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd

R arcilla
 Fr franco arcilloso
 Fa franco arenoso
 Fl franco limoso
 M.O.: materia orgánica
 Ct: carbono total
 Nt: nitrógeno total
 P: fósforo
 FH: factor de humedad
 PW: porcentaje de humedad
 PS: permeabilidad del suelo
 Factor K: erodabilidad
 DI: drenaje interno
 $RAS = Na^+ / (Ca^{2+} + Mg^{2+}) / 2^{0.5}$
 CIC: capacidad de intercambio catiónico
 *Los porcentajes de arena muy fina se obtuvieron a través de tamices a partir del porcentaje de arena total (fracción 0.10-0.05 mm).
 Nd: no determinado

Drenaje: Clase
 1. Muy excesivamente drenado
 2. Excesivamente drenado.
 3. Bien drenado.
 4. Moderadamente bien drenado.
 5. Imperfectamente drenado.
 6. Pobremente drenado.
 7. Muy pobremente drenado.

Tabla 5. Resultados de los análisis de laboratorio correspondientes al cuarto perfil en el período de sequía de un suelo Vertisol (P2B).

- **FASES.**

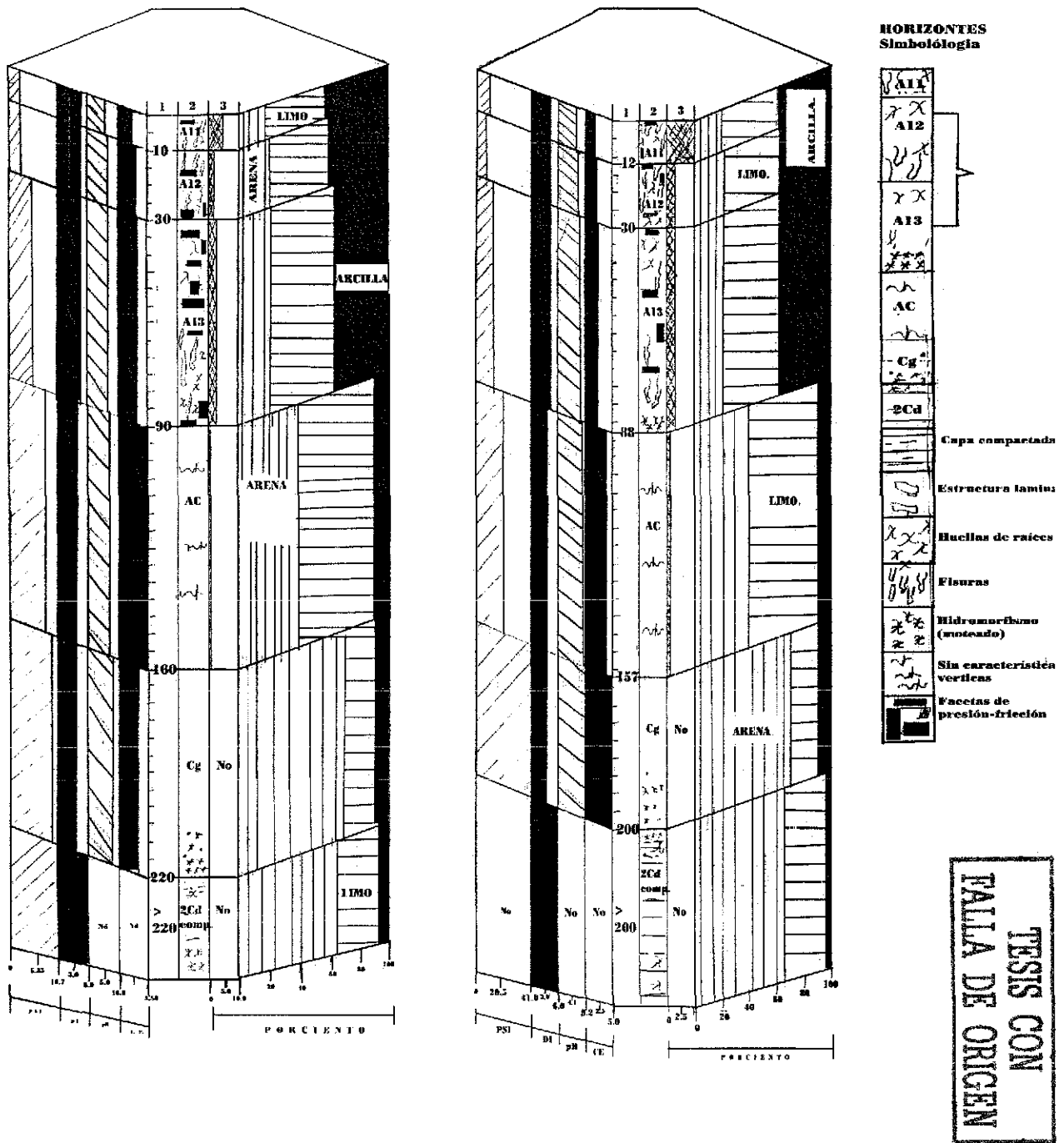
1. La fase freática es la más común en estos suelos. Ocasionalmente, llegan a presentar fase inúndica (Anexo 2).

Estos suelos también están limitados en su profundidad por una capa muy compactada.

2. La fase más demeritante que, comúnmente, presentan estos suelos es la fase sódica. Esta fase indica que los suelos muestran una saturación con sodio intercambiable de al menos 6%, pero no igual o mayor al 15% (período de lluvia). Esta saturación de sodio, siempre se presenta dentro de los 100 cm superficiales (Tabla 4 y Anexo 2).

Perfil 2A.
 Clasificación: Vertisol eutrico.
 Período: Lluvia.

Perfil 2B
 Clasificación: Vertisol eutrico.
 Período: Sequía.



Simbología:
 1. Profundidad en cm.
 3. Porcentaje de materia orgánica .
 pH; Potencial de H+.

2. Horizonte.
 PSI; Por ciento de Na+ intercambiable.
 CE; Conductividad electrica y DI; drenaje interno.

Figura 9. Diagnósis de las propiedades de los perfiles 2A y 2B.

PERFILES 3A Y 3B

- **HORIZONTES DE DIAGNOSTICO.**

Estos suelos localmente muestran, un horizonte A con un espesor mayor de 25 cm. Su color, tanto en seco como en húmedo, es claro, no obstante que sus contenidos de materia orgánica son altos (Tablas 6 y 7). Su consistencia, generalmente es blanda a ligeramente dura, en seco. Su contenido de bases es alto y su agregación estructural eficiente. Sin embargo, los colores tan claros que presentan, limitan que pueda considerarse como un A mólico, razón por la cual se clasifica como **A ócrico**.

Subyaciendo a este horizonte se encuentra un horizonte de iluviación que, aunque poco desarrollado, cumple con las especificaciones señaladas por FAO-UNESCO (1994) para considerarlo como un **B cámbico**. Dichas especificaciones son similares a las que se discutirán para los perfiles 4A y 4B. Este horizonte B cámbico (Bw) está constituido por dos subhorizontes denominados como Bw₁ y Bw₂.

- **PROPIEDADES DE DIAGNOSTICO.**

Estos suelos, se caracterizan por presentar un número considerable de propiedades, tanto físicas como químicas y ambientales que les son diagnósticas, las principales son:

- a. Cambio textural abrupto. Como se observa en la Tabla 6, este cambio se presenta de modo evidente entre los horizontes Bw₂ y Bc (Figura 10). Así mismo, se muestra entre el horizonte BC y la capa compactada (2Cd) que le subyace.
- b. Propiedades flúvicas. Se observó en campo, que algunos de estos suelos, todavía muestran algunas evidencias de estratificación en la parte más profunda de su perfil (>100 cm). Sin embargo, se consideran como casos particulares, ya que la mayoría de estos suelos muestra procesos de horizontalización (Tablas 6 y 7, Anexo 2).
- c. Propiedades estagnéicas. Sólo se presentan después de los 150 cm de profundidad. Dichas propiedades son evidentes en la capa compactada (2Cd), que subyace a estos suelos, siendo el moteado y las películas de hierro y manganeso, las características más diagnósticas.
- d. Slickensides. Algunos de estos suelos llegan a presentar facetas de presión, en el horizonte Bw₂.

- **FASES.**

A diferencia de los perfiles antes discutidos, estos suelos rara vez presentan fase inúndica. Sus principales fases son:

- 1 Fase freática (Anexo 2).
- 2 Fase sálica. Los datos de laboratorio (Tabla 6) indican que esta fase sólo se presenta durante el período de sequía, donde la conductividad eléctrica en el extracto de saturación es mayor de 4 dSm⁻¹ a 25°C.
3. Fase sódica. Como se observa en las Tablas 6 y 7, el porcentaje de sodio intercambiable es en estos suelos mayor a 6%, durante todo el año

P3A: ANALISIS FISICOS

PROFUNDIDA	HORIZONTE	COLOR	TAMAÑO Y DIAMETRO DE PARTICULA (mm)				CLASE	DENSIDAD		POROSIDAD	FH	PW	PS	AGUA CONTENIDA		FACTOR K	DI
			ARENA	*ARENA	LIMO	ARCILLA		APARENTE	REAL					33	1500		
cm	USDA	Húmedo	(%)	MUY FINA (%)	(%)	(%)	TEXTURAL	g/cm ³	g/cm ³	(%)	g.sol/g.suelo	(%)	cm/hr	kPa	kPa	ERODABILIDAD	USDA
	1998						USDA 1998									USDA 1998	1998
0 - 33	Ap	10YR5/4	17.0	5.0	35.0	48.0	R	1.10	2.35	53.19	0.84	19.05	0.50	16.3	6.5	0.15	4
33 - 56	Bw ₁	10YR4/6	19.7	11.0	30.0	40.3	R	1.25	2.35	36.17	0.86	16.28	0.70	18.4	10.1	...	4
56 - 93	Bw ₂	10YR3/6	20.0	12.0	28.0	52.0	R	1.30	2.35	44.68	0.78	28.21	0.70	18.5	10.2	...	5
93 - 151	Bc	10YR6/2	52.0	22.0	29.0	19.0	Fa	1.15	2.60	55.76	0.90	11.11	0.60	10.0	4.7	...	4
>151	2Cd	2.5Y7/1	67.0	Nd	30.0	3.0	Fa	1.73	2.60	33.46	Nd	Nd	0.10	Nd	Nd	...	6

P3A: ANALISIS QUIMICOS I

PROFUNDIDA	HORIZONTE	M.O.	Cl	Ni	C/N	PORCENTAJE DE BASES INTERCAMBIABLES cmol (+) Kg				REL:	SUMA	CIC	SATURACION	PORCEN. Mg ⁺⁺ + Na ⁺	PSI	pH H ₂ O
						Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺							
cm	USDA	%	%	%		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺ /Mg ⁺⁺	DE BASES	cmol(+)/Kg suelo	BASES (%)	INTERCAMBIABLE	(%)	1:2.5
	1998															
0 - 33	Ap	3.9	2.1	0.19	11.05	13.7	11.6	2.5	1.0	1.18	28.80	33.1	87.00	42.60	7.55	8.2
33 - 56	Bw ₁	2.2	1.3	0.11	11.81	13.9	8.5	3.1	1.1	1.63	26.60	30.5	84.44	38.03	9.84	8.4
56 - 93	Bw ₂	1.4	0.7	0.05	14.00	19.3	9.1	3.9	1.3	2.12	33.60	39.6	87.04	33.70	10.1	8.4
93 - 151	Bc	0.9	0.4	0.02	20.00	10.7	9.2	2.9	1.3	1.18	24.10	27.1	88.92	44.60	10.7	7.9
>151	2Cd	0.1	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd

P3A: ANALISIS QUIMICOS II

PROFUNDIDAD	HORIZONTE	CE	CATIONES SOLUBLES cmol (+)/L(-)				ANIONES SOLUBLES cmol (+)/L(-)				RAS					
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻						
cm	USDA	dSm ⁻¹														m.e./lt
	1998															
0 - 33	Ap	1.5	2.0	1.9	41.1	4.0	10.2	Nd	0.8	1.7	3.2	29.56				
33 - 56	Bw ₁	1.7	2.3	1.4	40.0	3.2	10.4	Nd	0.8	1.7	3.1	29.41				
56 - 93	Bw ₂	1.4	2.3	1.7	39.7	3.0	6.4	Nd	0.7	1.5	3.3	28.15				
93 - 151	Bc	2.1	5.5	2.7	43.5	1.7	5.2	Nd	0.6	1.4	3.4	25.30				
>151	2Cd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd				

R arcilla

Fa franco arenoso

M.O.; materia orgánica.

Cl; carbono total.

Ni; nitrógeno total

P; fósforo.

FH; factor de humedad.

PW; porcentaje de humedad

PS; permeabilidad del suelo.

Factor K; erodabilidad.

DI; drenaje interno.

RAS=Na⁺ / (Ca²⁺ + Mg²⁺) y² ^{0.5}

CIC; capacidad de intercambio catiónico

*Los porcentajes de arena muy fina se

obtuvieron a través de tamices a partir

del porcentaje de arena total (tracción 0 10-0.05 mm).

Nd; no determinado

Drenaje: Clase

1. Muy excesivamente drenado
2. Excesivamente drenado.
3. Bien drenado.
4. Moderadamente bien drenado.
5. Imperfectamente drenado.
6. Pobrememente drenado.
7. Muy pobrememente drenado.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Tabla 6. Resultados de los análisis de laboratorio correspondientes al quinto perfil en período de lluvia de un suelo Cambisol (P3A).

P3B: ANALISIS FISICOS

PROFUNDIDAD	HORIZONTE	COLOR	TAMAÑO Y DIAMETRO DE PARTICULA (mm)				CLASE	DENSIDAD		POROSIDAD (%)	FH	PW	PS	AGUA CONTENIDA		FACTOR K	DI
			ARENA (%)	*ARENA MUJY FINA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)		APARENTE g/cm ³	REAL g/cm ³					S3 kPa	1500 kPa		
cm	USDA	Húmedo					TEXTURAL										
	1998		(%)	MUJY FINA (%)	(%)	(%)	USDA 1998	g/cm ³	g/cm ³	(%)	g sol/g.suelo	(%)	cm/hr	S3	1500	ERODABILIDAD	USDA
0 - 31	Ap	10YR6/4	19.5	6.0	37.0	43.5	R	1.25	2.35	36.17	0.80	25.0	0.45	15.7	6.2	0.18	4
31 - 50	Bw ₁	10YR5/4	21.3	11.0	31.3	47.4	R	1.35	2.35	42.55	0.82	22.0	0.50	17.3	9.5	....	5
50 - 95	Bw ₂	10YR4/4	23.0	13.0	31.0	46.0	R	1.35	2.35	42.55	0.76	31.6	0.60	17.5	9.5	....	4
95 - 154	Bc	10YR7/2	54.8	21.0	31.6	13.6	Fa	1.20	2.60	53.84	0.88	13.6	0.60	9.3	4.1	....	4
>154	2Cd	2.5 Y7/1	69.0	Nd	28.0	3.0	Fa	1.75	2.6	32.69	Nd	Nd	0.10	Nd	Nd	....	6

P3B: ANALISIS QUIMICOS I

PROFUNDIDAD	HORIZONTE	M.O. %	Ct %	Nt %	C/N	PORCENTAJE DE BASES INTERCAMBIABLES cmol (+) Kg				REL: Ca ⁺⁺ /Mg ⁺⁺	SUMA DE BASES cmol(+)/Kg suelo	CIC	SATURACION BASES (%)	PORCEN. Mg ⁺⁺ + Na ⁺ INTERCAMBIABLE (%)	PSI (%)	pHH ₂ O
						Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺							
cm	USDA	%	%	%												
	1998															
0 - 31	Ap	3.1	2.0	0.11	18.18	14.5	12.7	3.7	1.1	1.14	32.0	33.5	95.52	48.95	11.04	8.5
31 - 50	Bw ₁	1.9	1.1	0.09	12.22	15.1	9.89	4.5	1.1	1.53	30.59	32.7	91.74	44.00	13.76	8.6
50 - 95	Bw ₂	1.0	0.4	0.05	8.00	22.0	10.0	5.0	1.7	2.20	38.70	39.0	99.23	38.46	12.82	8.6
95 - 154	Bc	0.7	0.2	0.01	20.00	12.0	11.0	4.0	1.7	1.09	28.70	29.0	98.96	51.72	13.79	8.1
>154	2Cd	0.1	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd

P3B: ANALISIS QUIMICOS II

PROFUNDIDAD	HORIZONTE	CE dSm ⁻¹	CATIONES SOLUBLES cmol (+)/L(-)				ANIONES SOLUBLES cmol (+)/L(-)					RAS m.e./lt		
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	SO ₄ ⁼⁼	NO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻			
cm	USDA													
	1998													
0 - 31	Ap	4.5	2.4	2.0	52.0	5.5	11.5	Nd	0.9	2.1	3.7	35.13		
31 - 50	Bw ₁	5.1	2.9	1.8	50.0	3.7	12.0	Nd	0.9	2.2	3.7	32.67		
50 - 95	Bw ₂	5.7	2.5	2.0	50.0	3.1	8.9	Nd	0.8	1.8	4.4	33.33		
95 - 154	Bc	6.3	7.2	3.1	65.0	2.3	7.0	Nd	0.7	1.8	4.6	28.76		
>154	2Cd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd		

R arcilloso

Fa franco arenoso

M.O.; materia orgánica.

Ct; carbono total.

Nt; nitrógeno total.

P; pasloro.

FH; factor de humedad.

PW; porcentaje de humedad.

PS; permeabilidad del suelo.

Factor K; erodabilidad.

DI; drenaje interno.

RAS=Na⁺ / (Ca²⁺ + Mg²⁺)^{0.5}

CIC; capacidad de intercambio catiónico

*Los porcentajes de arena muy fina se obtuvieron a través de tamices a partir del porcentaje de arena total (fracción 0.10-0.05 mm).

Nd; no determinado

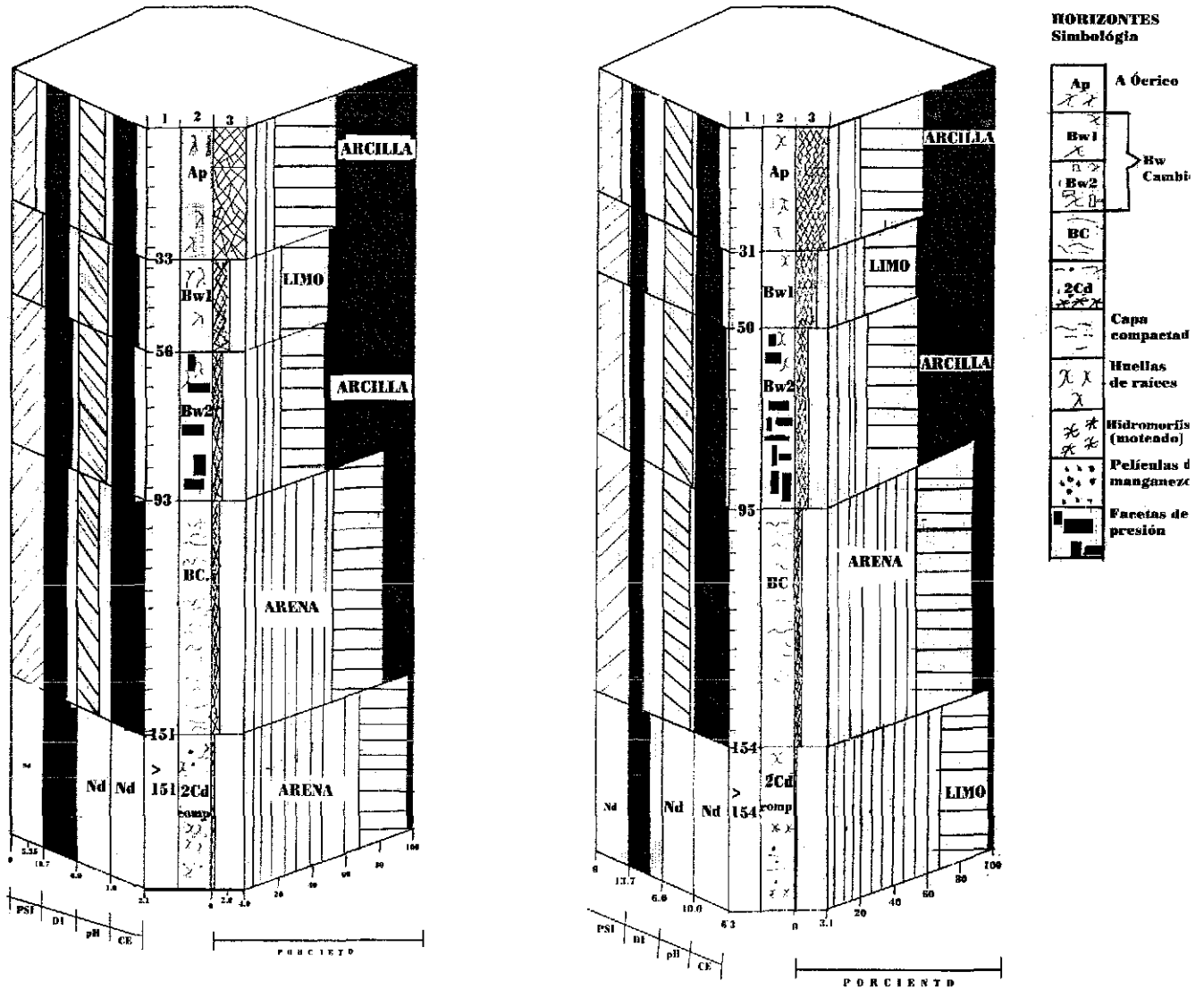
Drenate: Clase

1. Muy excesivamente drenado
2. Excesivamente drenado.
3. Bien drenado.
4. Moderadamente bien drenado.
5. Imperfectamente drenado.
6. Pobremente drenado.
7. Muy pobremente drenado.

Tabla 7. Resultados de los análisis de laboratorio correspondientes al sexto perfil en el periodo de sequia de un suelo Cambisol (P3B).

Perfil 3A
 Clasificación: Cambisol eutrico.
 Período: Lluvia.

Perfil 3B
 Clasificación: Cambisol eutrico.
 Período: Sequía.



Simbología:
 1. Profundidad en cm.
 3. Porcentaje de materia orgánica.
 pH; Potencial de H+.

2. Horizonte.
 PSI; Porciento de Na+ intercambiabile.
 CE; Conductividad eléctrica y DI; Drenaje interno.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Figura 10. Diagnósis de las propiedades de los perfiles 3A y 3B.

PERFILES 4A y 4B

• HORIZONTES DE DIAGNOSTICO.

Estos suelos muestran un horizonte superficial (0-22-25 cm de espesor) que tiene un color, en seco, claro (7.5YR), una intensidad de color (chroma) alta para ser considerado mólico ó umbrico, no obstante que presenta buenos contenidos de materia orgánica (Tabla 8) y un espesor adecuado (Tabla 8). Además, su consistencia en seco es dura y su estructura débil. Sin embargo, debido a que no presenta estratificación, califica como un **A ócrico** (Anexo 2).

El horizonte que le subyace, (25-40-43 cm de profundidad), es un horizonte en el que la arcilla (Tabla 8) y los óxidos han sido segregados lo cual justifica la presencia de colores más claros en la matriz del suelo, ya que en campo se observo que la presencia de óxidos y arcillas que tendían a acumularse entre los 43-63 cm de profundidad. El análisis al microscopio estereoscópico (80X) muestra que el color, tan claro, de este horizonte está determinado por el color de las partículas primarias de arena y limo (Tabla 8) más que por los revestimientos sobre ellas. En este horizonte, la pureza (value) de color es mucho mayor de 4 (Tabla 8). Todas estas características resultan diagnósticas e indicativas de la presencia de un horizonte **E álbico** formado principalmente por lavado lateral (Anexo 2).

A una profundidad comprendida entre 43-63 cm, se localiza un horizonte de textura fina (Tabla 8) que muestra las siguientes propiedades:

- a. Textura de arcilla con un contenido de 62% en la fracción de tierra fina (<2.0 mm de diámetro) (Tabla 8).
- b. Un espesor de 20 cm, con la base a 63 cm por debajo de la superficie del suelo.
- c. Una estructura de suelo moderadamente desarrollada, en casi todo el volumen del horizonte.
- d. Evidencias de alteración representadas por las siguientes características:
 - d.1 Intensidad de color más fuerte que el horizonte subyacente..
 - d.2 Mayor contenido de arcilla que el horizonte subyacente.
 - d.3 Estructura de suelo y ausencia de estructura de roca.
 - d.4 No existe cementación, endurecimiento o consistencia quebradiza en húmedo.

Por todas sus características, según FAO-UNESCO, (1991-1994) este horizonte cumple con los requisitos de un horizonte **B cámbico** (Anexo 2).

P4A: ANALISIS FISICOS

PROFUNDIDAD	HORIZONTE	COLOR	TAMAÑO Y DIAMETRO DE PARTICULA (mm)				CLASE	DENSIDAD			POROSIDAD (%)	FH	PW	PS	AGUA CONTENIDA		FACTOR K	DI
			ARENA (%)	*ARENA MUY FINA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)		TEXTURAL USDA 1998	APARENTE g/cm ³	REAL g/cm ³					33 kPa	1500 kPa			ERODABILIDAD USDA 1998	USDA 1998
0 - 25	A	7.5YR 5/0	61.0	27.0	30.0	9.0	Fa	1.2	2.65	54.72	0.96	4.16	1.00	15.0	5.1	0.49	4	
25 - 43	E	7.5YR 8/0	25.0	12.0	60.0	15.0	FI	1.1	2.30	52.17	0.95	5.71	2.65	11.3	4.2	....	3
43 - 63	Bw	10YR 5/3	18.0	7.0	20.0	62.0	R	1.7	2.65	35.85	0.78	28.20	0.30	26.7	13.5	....	5
63 - 120	Cg ₁	5GY 6/1	5.0	1.5	60.0	35.0	Frl	1.5	2.65	43.40	0.84	19.04	0.70	22.4	12.7	....	5
120 - 150	Cg ₂	5GY 5/1	45.0	15.0	40.0	15.0	F	1.3	2.65	50.94	0.90	11.11	1.33	12.0	6.1	....	5
>150	2Cd	2.5Y 7/6	60.0	Nd	35.0	5.0	Fa	1.7	2.60	34.61	Nd	Nd	0.10	Nd	Nd	Nd	6	

P4A: ANALISIS QUIMICOS I

PROFUNDIDAD	HORIZONTE	M.O. %	Ct %	Nt %	C/N	PORCENTAJE DE BASES INTERCAMBIABLES cmol(+)Kg(-)				REL: Ca ⁺⁺ /Mg ⁺⁺	SUMA DE BASES	CIC cmol(+)Kg suelo	SATURACION BASES (%)	PORCEN. Mg ⁺⁺ + Na ⁺ INTERCAMBIABLE (%)	PSI (%)	pH H ₂ O
						Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺							
0 - 25	A	1.3	0.754	0.08	9.42	7.0	6.9	2.9	0.7	1.00	17.5	17.5	100.0	56.00	16.57	7.7
25 - 43	E	0.5	0.290	0.03	9.66	6.9	7.2	1.8	0.5	0.90	16.4	20.0	82.0	45.00	9.00	7.3
43 - 63	Bw	1.1	0.638	0.06	10.63	16.7	10	8.9	1.7	1.67	37.3	37.3	100.0	50.67	23.86	9.1
63 - 120	Cg ₁	0.3	0.174	0.02	8.70	12.4	7.2	5.0	1.4	1.72	26.0	26.0	100.0	46.92	19.23	8.2
120 - 150	Cg ₂	0.1	0.058	0.01	5.80	6.9	6.6	2.8	0.6	1.04	16.9	16.9	100.0	55.62	16.57	7.8
>150	2Cd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd

P4A: ANALISIS QUIMICOS II

PROFUNDIDAD	HORIZONTE	CE dSm ⁻¹	CATIONES SOLUBLES cmol (+)L(-)				ANIONES SOLUBLES cmol (+)L(-)					RAS m.e/lt
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	
0 - 25	A	17.1	17.5	62.7	84.5	3.1	150.2	0.2	0	5.3	14.7	13.34
25 - 43	E	12.3	15.7	45.3	64.7	1.1	112.2	0.1	0	5.1	8.9	11.72
43 - 63	Bw	23.7	2.30	1.70	230.1	2.2	180.3	1.1	6.1	12.5	27.3	162.7
63 - 120	Cg ₁	23.5	22.5	94.0	115.0	2.5	173.9	0.7	0.7	11.3	50.4	16.96
120 - 150	Cg ₂	18.5	22.7	69.4	93.5	3.0	159.1	0.9	0	9.0	18.0	15.87
>150	2Cd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd

F franco
 Fa franco arenoso
 FI franco limoso
 R arcilloso
 Frl franco arcillo limoso
 M.O.; materia orgánica
 Ct, carbono total
 Nt, nitrógeno total
 P; fósforo.
 FH; factor de humedad.
 PW; porcentaje de humedad.
 PS; permeabilidad del suelo.
 Factor K; erodabilidad.
 DI; drenaje interno.
 RAS=Na⁺ / (Ca⁺⁺ + Mg⁺⁺)^{0.5}
 CIC; capacidad de intercambio catiónico
 *Los porcentajes de arena muy fina se obtuvieron a través de tamices a partir del porcentaje de arena total (fracción 0.10-0.05 mm).
 Nd, no determinado

Drenaje: Clase
 1. Muy excesivamente drenado
 2. Excesivamente drenado.
 3. Bien drenado.
 4. Moderadamente bien drenado.
 5. Imperfectamente drenado.
 6. Pobrememente drenado.
 7. Muy pobrememente drenado.

Tabla 8. Resultados de los análisis de laboratorio correspondientes al séptimo perfil en el período de lluvia de un suelo Solonchak (P4A).

• **PROPIEDADES DE DIAGNOSTICO:**

Estos suelos se caracterizan en el área de estudio, por que siempre presentan en su perfil un cambio textural abrupto, reflejado por un aumento significativo de arcilla entre dos capas (E vs A y E vs Bw) que tiene lugar en una distancia menor de 5 cm (Anexo 2).

Así el horizonte Bw presenta las siguientes características con respecto al horizonte E álbico:

- a. Un contenido de arcilla que cuadruplica la cantidad de arcilla del horizonte E (Tabla 8) y
- b. Un incremento de arcilla mayor del 20% con respecto a la capa que le subyace.

Además de presentar un cambio textural abrupto, son diagnósticas de este suelo las siguientes propiedades:

1. **Minerales alterables.** La observación al microscopio estereoscópico (80X) de la fracción de suelo comprendida ente arena media a arena muy fina, indicó la presencia, abundante, en todos los horizontes y capas de este suelo, de minerales inestables en un clima húmedo, con respecto a otros minerales, como cuarzo y arcillas de tipo 1:1. Estos minerales alterables incluyen: feldespatos y feldespatoides, vidrio volcánico, ferromagnesianos, minerales opacos y micas, principalmente (Anexo 2).
2. **Propiedades estagnicas y gleicas.** En estos suelos, ambas propiedades, o una de ellas, aparecen a profundidades que oscilan de los 40 a 65 cm. Estas propiedades están relacionadas con un exceso de humedad debido, principalmente, a dos causas: (1) sobresaturación de humedad ocasionada por la presencia de un drenaje nulo o muy deficiente debido a la presencia en el perfil de una capa impermeable, como es el caso de la capa 2Cd (Tabla 8), y (2) saturación con agua procedente de la fluctuación de la capa fréatica (Anexo 2).

El proceso de reducción en este suelo, se manifiesta por las siguientes características:

- a. Colores verdosos, grisáceos y azules en toda la matriz del suelo, como es el caso de los horizontes Cg_1 y Cg_2 .
 - b. Presencia de moteado que se presenta sobre la cara de los agregados y en los canales de raíces y de animales.
 - c. Presencia de concreciones ferromangánicas en los horizontes Cg_1 y Cg_2 .
- 3 **Propiedades sálicas.** Se refieren a que la conductividad eléctrica que presenta este suelo, en su extracto saturado, es mayor en varios de sus horizontes a 15 dS m^{-1} durante todo el año (Tablas 8 y 9 y Anexo 2). Esto incluye al horizonte A y a los horizontes Bw, Cg_1 y Cg_2 donde, como es el caso del horizonte Bw, el pH en agua es superior a 8.5.
 - 4 **Propiedades sódicas.** Como puede observarse en la Tabla 8, con excepción del horizonte E, el porcentaje de saturación de sodio en el complejo de cambio es mayor al 15% y en el

P4B: ANALISIS FISICOS

PROFUNDIDAD cm	HORIZONTE USDA 1998	COLOR HUMEDO	TAMAÑO Y DIAMETRO DE PARTICULA (mm)				CLASE TEXTURAL USDA 1998	DENSIDAD		POROSIDAD (%)	FH g.solo/g.suelo	PW (%)	PS cm/hr	AGUA CONTENIDA		FACTOR K ERODABILIDA USDA 1998	DI USDA 1998
			ARENA (%)	* ARENA MUY FINA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)		APARENTE g/cm ³	REAL g/cm ³					33 kPa	1500 kPa		
0 - 22	A	7.5YR8/0	63.0	25.0	30.0	7.0	Fa	1.3	2.65	50.94	0.95	5.71	0.77	13.2	4.1	0.41	4
22 - 40	E	7.5YR8/0	25.0	10.0	65.0	10.0	FI	1.2	2.35	48.93	0.94	6.84	2.55	10.5	3.9	...	5
40 - 61	Bw	10YR5/4	20.0	5.0	20.0	60.0	R	1.7	2.65	35.84	0.75	33.33	0.20	24.0	12.0	....	5
61 - 120	Cg ₁	5GY6/1	7.0	2.0	63.0	30.0	Fh	1.6	2.65	37.73	0.82	21.95	0.50	20.0	12.0	....	5
120 - 152	Cg ₂	5GY5/1	43.0	42.0	42.0	15.0	F	1.4	2.65	47.16	0.88	13.12	1.25	11.0	5.8	....	5
>152	2Cd	2.5Y7/6	63.0	Nd	35.0	2.0	Fa	1.7	2.60	34.61	Nd	Nd	0.10	Nd	Nd	Nd	6

P4B: ANALISIS QUIMICOS I

PROFUNDIDAD cm	HORIZONTE USDA 1998	M.O. %	Ct %	Nt %	C/N	PORCENTAJE DE BASES INTERCAMBIABLES cmol(+)/Kg(-)				REL: Ca ⁺⁺ /Mg ⁺⁺	SUMA DE BASES	CIC cmol(+)/Kg suelo	SATURACION BASES (%)	PORCEN. Mg ⁺⁺ + Na ⁺ INTERCAMBIABLE	PSI (%)	pH H ₂ O 1:2.5
						Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺							
0 - 22	A	0.9	0.65	0.050	13.00	9.0	4.8	3.1	0.5	1.87	17.4	17.9	97.20	44.13	17.31	7.9
22 - 40	E	0.3	0.11	0.003	3.66	7.9	5.2	2.5	0.7	1.51	16.30	21.2	76.88	36.32	11.79	7.9
40 - 61	Bw	0.8	0.45	0.004	11.25	18.0	8.0	9.9	1.5	2.25	37.40	39.1	95.65	47.96	25.31	9.3
61 - 120	Cg ₁	0.1	Tz	Tz	Nd	12.8	6.5	6.0	0.7	1.96	26.00	26.2	99.23	47.70	22.90	8.5
120 - 152	Cg ₂	0.1	Tz	Tz	Nd	6.9	6.1	3.3	0.5	1.13	16.80	17.3	97.10	54.33	19.07	8.1
>152	2Cd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd

P4B: ANALISIS QUIMICOS II

PROFUNDIDAD cm	HORIZONTE USDA 1998	CE dSm ⁻¹	CATIONES SOLUBLES cmol (+)/L(-)				ANIONES SOLUBLES cmol (+)/L(-)				RAS m.e/lt	
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻		
0 - 22	A	20.5	19.5	65.9	89.5	3.7	165.7	0.3	2.1	9.1	25.0	13.70
22 - 40	E	17.0	17.3	60.5	78.9	2.9	147.5	0.2	0	5.5	15.2	12.66
40 - 61	Bw	26.1	3.3	1.5	285.0	2.1	195.7	1.2	6.7	13.7	30.1	185.06
61 - 120	Cg ₁	24.3	24.7	100.1	129.0	2.2	180.3	0.5	0.5	12.7	55.1	16.34
120 - 152	Cg ₂	17.4	21.7	70.3	87.9	2.5	165.2	0.7	0	10.3	19.7	12.96
>152	2Cd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd

Fa franco arenoso

Franco limoso

R arcilloso

Franco arcilloso limoso

Franco

M.O.; materia orgánica.

Ct; carbono total.

Nt; nitrógeno total.

P; fósforo.

FH; factor de humedad.

PW; porcentaje de humedad.

PS; permeabilidad del suelo.

Factor K; erodabilidad.

DI; drenaje interno.

RAS=Na⁺ / (Ca²⁺ + Mg²⁺)^{0.5}

CIC; capacidad de intercambio catiónico

*Los porcentajes de arena muy fina se

obtuvieron a través de tamices a partir

del porcentaje de arena total (fracción 0.10-0.05 mm).

Nd; no determinado

Drenaje: Clase

1. Muy excesivamente drenado

2. Excesivamente drenado.

3. Bien drenado.

4. Moderadamente bien drenado.

5. Imperfectamente drenado.

6. Pobremente drenado.

7. Muy pobremente drenado.

Tabla 9. Resultados de los análisis de laboratorio correspondientes al octavo perfil en el periodo de sequia de un suelo Solonchak (P4B).

caso de los horizontes A, Bw y Cg₂, los porcentajes de sodio + magnesio, rebasan el 50% de saturación en el complejo de cambio, lo cual refuerza la afirmación de la presencia de propiedades sódicas (Anexo 2).

- 5 Otras propiedades diagnósticas. Algunos de estos suelos muestran reacción de efervescencia fuerte al HCl al 10% en la mayor parte de la tierra fina (propiedades calcáricas) y también, en pocos casos llegan a presentar slickensides y/o propiedades vérticas, representadas por rasgos como: fisuras, slickensides, agregados en forma de cuña o agregados estructurales (Anexo 2).

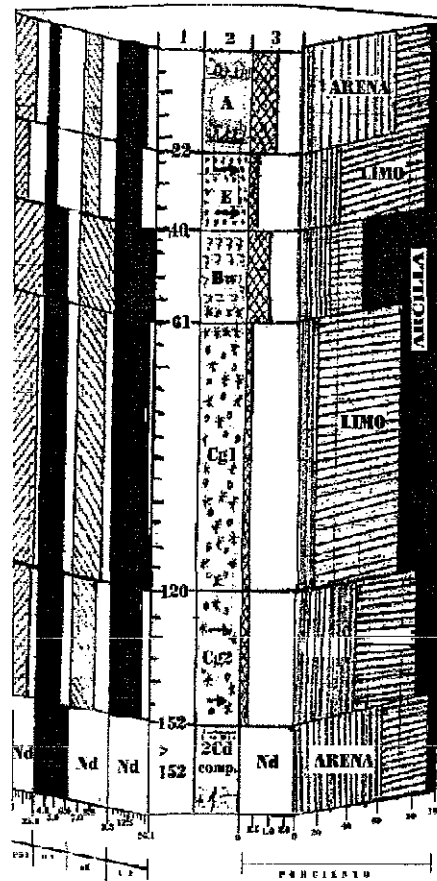
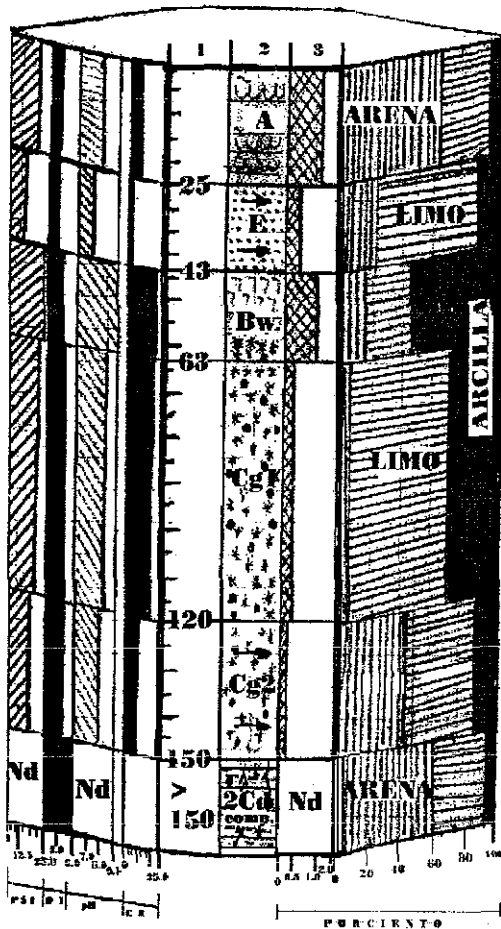
- **FASES.**

De acuerdo con las observaciones de campo, esta unidad de suelos muestra frecuentemente las siguientes fases:

1. Fase freática. Se refiere a la presencia de una capa freática dentro de una profundidad de 5 m. a partir de la superficie del suelo. Sin embargo, solamente es importante cuando esta capa se eleva durante el período de lluvias y permanece durante algún tiempo en contacto con el suelo (Anexo 2).
2. Fase inúndica. Algunos de estos suelos que se presentan en geoformas planas o ligeramente cóncavas, en ocasiones muestran agua estática sobre la superficie del suelo, durante más de 10 días, en el periodo de crecimiento de las plantas (Anexo 2).
3. Capa compactada ("Densic Materials", USDA, 1998). Capa relativamente poco alterada, de origen vulcanogénico-aluvial, no cementada, con alta densidad aparente (Tabla 8), casi impermeable al paso del agua y de raíces. Casi siempre se localizó fuera de la sección de control de los suelos estudiados (tepetate) como se muestra en la Figura 11.

Perfil 4A
 Clasificación: Solonchak órtico.
 Período: Lluvia.

Perfil 4B
 Clasificación: Solonchak órtico.
 Período: Sequía.



HORIZONTES Simbología

A	A Oerico
Capa orgánica	
E	E Albles
B	B Cambico
Tepetate	
Concreciones	
Cristales de sales	
Drenaje lateral	
Huellas de raíces	
Partículas de arena y limo	
Partículas de arcilla	
Hidromorfismo (moteado)	
Capa compactada	

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Simbología:
 1. Profundidad en cm.
 3. Porcentaje de materia orgánica.
 pH; Potencial de H+.

2. Horizonte
 PSI; Por ciento de Na+ intercambiable.
 CE; Conductividad eléctrica y DI; Drenaje interno.

Figura 11. Diagnósis de las propiedades de los perfiles 4A y 4B.

PERFILES 5A Y 5B

• HORIZONTES DE DIAGNOSTICO.

Estos suelos muestran un horizonte superficial muy delgado (Tabla 10 y 11), de color muy claro en húmedo (10YR 7/1–7.5YR 7/0), de consistencia ligeramente dura. No obstante que muestran buenos contenidos de arcilla, el desarrollo de agregados oscila de débil a moderado (Tabla 10). Debido a estas características y a que no presenta evidencias de estratificación, este horizonte, según FAO-UNESCO (1994), cumple los requisitos para un **A ócrico**. Frecuentemente, un horizonte **E álbico** puede presentarse de modo zonal (horizontes A/E, Tabla 10).

El horizonte que subyace al **A ócrico**, en ambos suelos (perfiles 5A y 5B), se caracteriza por presentar las siguientes propiedades (Tabla 10):

- a. Una diferencia notable en el contenido de arcilla con respecto al horizonte que le sobreyace. Dicha acumulación de arcilla es resultado de un proceso de iluviación en el suelo. Este proceso está evidenciado por la presencia de revestimientos y películas de arcilla, óxidos y materiales orgánicos (Figura 12), depositados por iluviación sobre los podio, fisuras, poros y canales.
- b. Su espesor es mayor a 7.5 cm.
- c. Su CIC es mayor que $16 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$.
- d. Su CE es menor de 15 dSM^{-1} .
- e. Las características estructurales (estructura columnar o prismática) son las de un horizonte **B nátrico** y cumple con las características de saturación por sodio (Anexo 2).
- f. Dada la gradual acumulación de arcilla, así como el incremento en películas arcillosas con la profundidad que existe en este horizonte, es posible separarlo en tres subhorizontes, designados como Btn_1 , Btn_2 y Btn_3 (Figura 12).

Según FAO-UNESCO, (1994) el conjunto de dichos subhorizontes, cumple con todos los requisitos para ser considerado como un horizonte **B nátrico**.

• PROPIEDADES DE DIAGNOSTICO.

Estos suelos se caracterizan, localmente, por presentar las siguientes propiedades:

- a. Cambio textural abrupto, entre los horizontes A/E y Bt (Tablas 10 y 11).
- b. Propiedades gléicas dentro de los primeros 100 cm de profundidad. Estas propiedades son evidentes debido a: (i) presencia de moteado de color 2.5Y; (ii) presencia de colores azules o verdosos en la matriz del suelo, (iii) presencia de concreciones de manganeso y (iv) presencia de películas de manganeso-hierro (Tabla 10).

P5A: ANALISIS FISICOS

PROFUNDIDAD	HORIZONTE	COLOR	TAMAÑO Y DIAMETRO DE PARTICULA (mm)				CLASE	DENSIDAD		POROSIDAD (%)	FH g.sol/g.suelo	PW (%)	PS cmv/hr	AGUA CONTENIDA		FACTOR K	DI
			ARENA (%)	*ARENA MUY FINA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)		TEXTURAL USDA 1998	APARENTE g/cm ³					REAL g/cm ³	33 kPa			1500 kPa	RODABILIDA USDA 1998	USDA 1998
0 - 10	A/E	10YR7/1	44.0	11.0	42.0	14.0	F	1.10	2.60	57.69	0.82	22.0	2.75	16.0	6.5	0.54	4
10 - 33/37	Bt ₁	2.5Y5/4	28.0	17.0	36.0	37.0	Fr	1.60	2.65	39.62	0.78	28.2	1.30	22.0	13.0	....	5
33/37 - 80	Bt ₂	2.5Y4/4	33.0	20.0	30.0	37.0	Fr	1.60	2.65	39.62	0.72	39.0	1.35	22.0	14.0	....	5
80 - 150	Bt ₃	2.5Y5/4	48.0	16.0	25.0	27.0	Fra	1.30	2.65	50.94	0.80	25.0	1.50	19.0	10.0	....	4
150 - 220	C	2.5Y6/8	52.0	16.0	27.0	21.0	Fra	1.30	2.65	50.94	0.88	13.6	1.50	16.0	7.9	....	5
>220	2Cd	2.5Y7/6	62.0	Nd	33.0	5.0	Fa	1.75	2.60	33.89	Nd	Nd	0.10	Nd	Nd	Nd	6

P5A: ANALISIS QUIMICOS I

PROFUNDIDAD	HORIZONTE	M.O. %	Ct %	Nt %	C/N	PORCENTAJE DE BASES INTERCAMBIABLES cmol(+)Kg(-)				REL: Ca ⁺⁺ /Mg ⁺⁺	SUMA DE BASES cmol(+)Kg/suelo	CIC cmol(+)Kg/suelo	SATURACION BASES (%)	PORCEN. Mg ⁺⁺ + Na %	PSI %	pH H ₂ O
						Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺							
0 - 10	A/E	4.3	2.82	0.17	16.6	3.5	3.1	1.9	0.8	1.12	8.4	9.3	100.0	53.76	20.43	7.3
10 - 33/37	Bt ₁	1.1	0.95	0.09	10.5	6.6	12.0	3.9	0.5	0.66	23.0	23.0	100.0	69.13	16.93	7.7
33/37 - 80	Bt ₂	1.0	0.90	0.09	10.0	8.4	13.5	4.2	0.9	0.70	27.0	27.0	100.0	65.55	15.55	8.1
80 - 150	Bt ₃	0.7	0.50	0.06	8.3	10.0	10.0	3.0	0.9	1.00	32.0	24.0	99.58	54.16	12.50	8.2
150 - 220	C	0.3	0.30	0.0	10.0	7.5	10.0	3.2	0.5	0.75	21.2	22.0	96.56	60.00	14.54	8.0
>220	2Cd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd

P5A: ANALISIS QUIMICOS II

PROFUNDIDAD	HORIZONTE	CE dSm ⁻¹	CATIONES SOLUBLES cmol (+)L(-)				ANIONES SOLUBLES cmol (+)L(-)				RAS m.e./ft	
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	SO ₄ ⁻²	NO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻		Cl ⁻
0 - 10	A/E	0.75	1.0	1.4	6.0	0.2	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz	4.20
10 - 33/37	Bt ₁	1.25	1.1	2.7	8.5	0.2	25.3	Nd	Nd	5.2	No	8.20
33/37 - 80	Bt ₂	3.00	8.3	10.2	17.8	0.4	28.7	Nd	Nd	7.8	No	5.85
80 - 150	Bt ₃	2.50	3.1	4.1	16.1	0.3	12.8	Nd	Nd	9.9	0.7	8.51
150 - 220	C	6.20	11.4	19.6	37.5	0.7	60.7	Nd	Nd	7.3	2.2	9.80
>220	2Cd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd

F franco
Fr franco arcilloso
Fra franco arcilloso arenoso
Fa franco arenoso
M.O.: materia orgánica.
Ct: carbono total.
Nt: nitrógeno total.
P: fósforo.
FH: factor de humedad.
PW: porcentaje de humedad.
PS: permeabilidad del suelo.
Factor K: erodabilidad.
DI: drenaje interno.
RAS=Na⁺ / (Ca⁺⁺ + Mg⁺⁺) / 2^{0.5}
CIC: capacidad de intercambio catiónico
*Los porcentajes de arena muy fina se obtuvieron a través de tamices a partir del porcentaje de arena total (fracción 0.10-0.05 mm).
Nd: no determinado

Drenaje: Clase
1. Muy excesivamente drenado.
2. Excesivamente drenado.
3. Bien drenado.
4. Moderadamente bien drenado.
5. Imperfectamente drenado.
6. Pobremente drenado.
7. Muy pobremente drenado.

Tabla 10. Resultados de los análisis de laboratorio correspondientes al noveno perfil en período de lluvia de un suelo Solonetz (P5A).

P5B: ANALISIS FISICOS

PROFUNDIDAD cm	HORIZONTE	COLOR	TAMAÑO Y DIAMETRO DE PARTICULA (mm)				CLASE	DENSIDAD		POROSIDAD (%)	FH g.sol/g.suelo	PW (%)	PS cm/hr	AGUA CONTENIDA		FACTOR K USDA 1998	DI USDA 1998
			ARENA (%)	*ARENA MUY FINA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)		APARENTE g/cm ³	REAL g/cm ³					33 kPa	1500 kPa		
0 - 7	A/E	10YR8/1	45.0	9.5	44.0	11.0	F	1.30	2.60	50.00	0.80	25.0	2.90	16.3	6.4	0.61	4
7 - 31/35	Bt ₁	2.5Y5/6	36.0	15.0	35.0	29.0	Fr	1.60	2.65	39.62	0.77	30.0	1.45	21.7	12.5	....	5
31/35 - 76	Bt ₂	2.5YR4/4	33.0	19.0	35.0	32.0	Fr	1.60	2.65	39.62	0.70	43.0	1.45	21.9	13.2	....	5
76 - 152	Bt ₃	2.5YR6/4	48.0	15.0	28.0	26.0	Fra	1.40	2.65	47.16	0.79	28.2	1.50	19.3	11.2	....	4
152 - 200	C	2.5YR6/8	52.0	14.0	29.0	19.0	Fa	1.40	2.65	47.16	0.86	14.9	1.50	15.1	7.7	....	4
>200	2Cd	2.5YR7/6	63.0	Nd	35.0	2.0	Fa	1.73	2.65	34.71	Nd	Nd	0.15	Nd	Nd	Nd	6

P5B: ANALISIS QUIMICOS II

PROFUNDIDAD cm	HORIZONTE	M.O. %	Ct %	Nt %	C/N	PORCENTAJE DE BASES INTERCAMBIABLES cmol(+)/Kg(-)				REL: Ca ⁺⁺ /Mg ⁺⁺	SUMA DE BASES	CIC cmol(+)/Kg suelo	SATURACION BASES (%)	PORCEN. Mg ⁺⁺ + Na %	PSI %	pH H ₂ O 1:2.5
						Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺							
0 - 7	A/E	3.9	2.5	0.11	22.7	3.8	2.6	2.2	0.7	1.46	32.7	9.4	98.9	51.06	23.40	7.5
7 - 31/35	Bt ₁	1.0	0.8	0.07	11.4	7.7	10.0	4.2	1.1	0.02	23.0	23.0	100.0	61.74	18.26	7.9
31/35 - 76	Bt ₂	0.9	0.8	0.05	18.0	8.7	13.0	4.5	0.8	0.75	27.0	27.0	100.0	64.81	16.66	8.3
76 - 152	Bt ₃	0.8	0.5	0.03	16.6	10.5	9.0	3.9	0.7	1.16	24.1	24.0	100.0	53.70	16.25	8.4
152 - 200	C	0.4	0.2	0.02	10.0	7.8	9.5	3.7	0.4	0.82	21.4	22.0	97.27	60.00	16.81	8.3
>200	2Cd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd

P5B: ANALISIS QUIMICOS II

PROFUNDIDAD cm	HORIZONTE	CE dSm ⁻¹	CATIONES SOLUBLES cmol (+)/L(-)				ANIONES SOLUBLES cmol (+)/L(-)					RAS m.e./lt
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	
0 - 7	A/E	3.20	8.4	10.3	19.1	0.2	27.9	Nd	Nd	7.5	1.1	13.5
7 - 31/35	Bt ₁	4.50	8.7	11.2	21.5	0.3	37.3	Nd	Nd	8.7	1.7	6.8
31/35 - 76	Bt ₂	4.35	7.9	10.3	18.3	0.4	42.1	Nd	Nd	8.9	1.5	6.1
76 - 152	Bt ₃	3.00	5.2	5.2	16.8	0.4	22.3	Nd	Nd	6.3	1.1	7.36
152 - 200	C	7.60	12.5	18.7	43.2	0.4	49.0	Nd	Nd	9.8	2.5	10.9
>200	2Cd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd

F franco

Fr franco arcilloso

Fra franco arcilloso arenoso

Fa franco arenoso

M.O.: materia orgánica.

Ct: carbono total.

Nt: nitrógeno total.

P: fósforo.

FH: factor de humedad

PW: porcentaje de humedad.

PS: permeabilidad del suelo.

Factor K: erodabilidad.

DI: drenaje interno.

RAS=Na⁺ / (Ca²⁺ + Mg²⁺)^{0.5}

CIC: capacidad de intercambio catiónico

*Los porcentajes de arena muy fina se obtuvieron a través de tamices a partir del porcentaje de arena total (fracción 0.10-0.05 mm).

Nd, no determinado

Drenaje: Clase

1. Muy excesivamente drenado

2. Excesivamente drenado.

3. Bien drenado.

4. Moderadamente bien drenado.

5. Imperfectamente drenado.

6. Pobremente drenado.

7. Muy pobremente drenado.

Tabla 11. Resultados de los análisis de laboratorio correspondientes al decimo perfil en periodo de sequía de un suelo Solonetz (P5B).

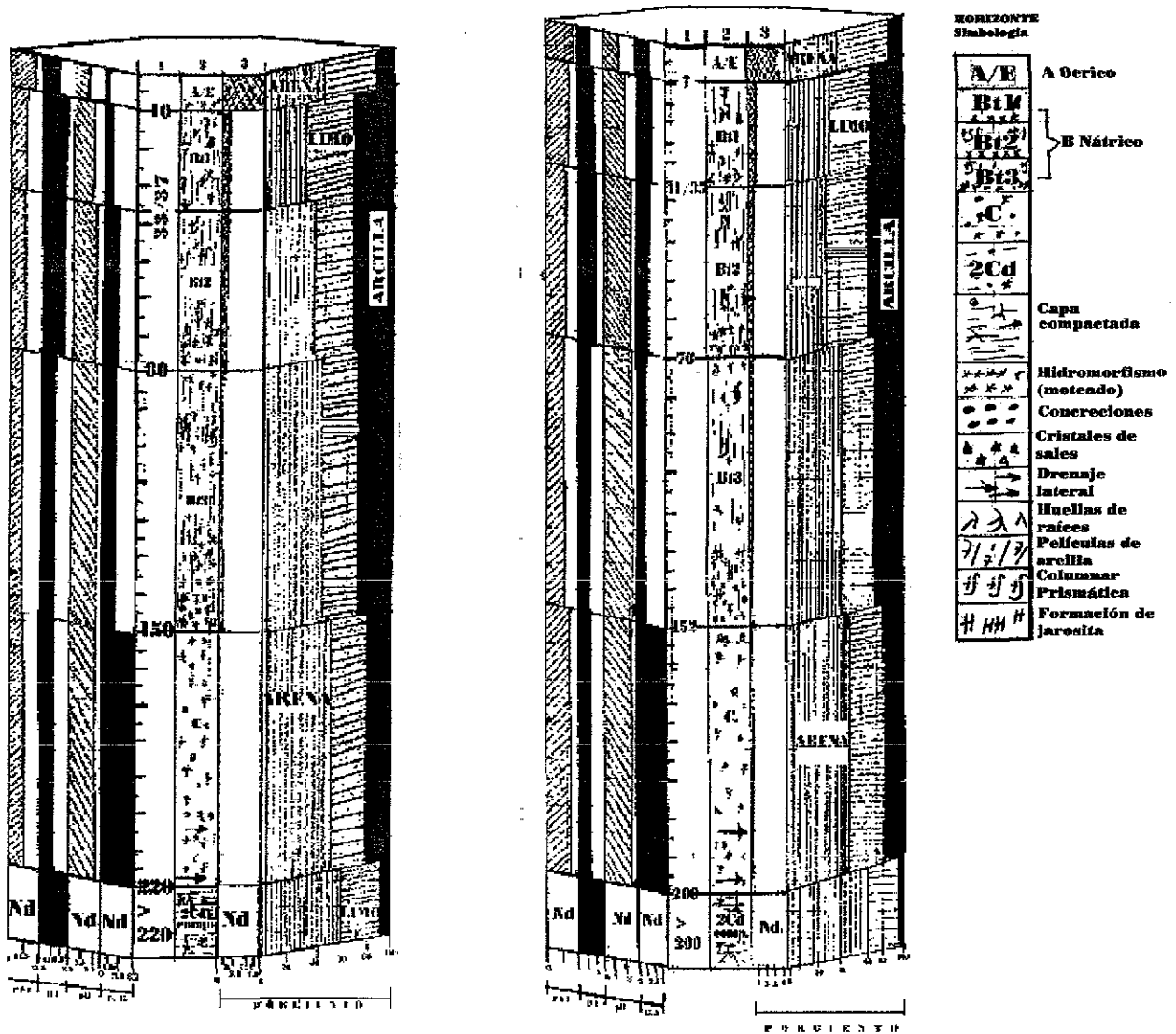
- c. Presencia de interdigitaciones (Anexo 2). Algunos de estos suelos muestran penetraciones del horizonte A/E álbico dentro del horizonte **B nátrico**.
- d. Presentan propiedades sódicas, representadas por un PSI mayor de 15% y un porcentaje de $Mg^{++} + Na^{+}$ mayor de 50% (Tabla 10).
- e. Otras propiedades diagnósticas. Según observaciones de campo, un número mínimo de estos suelos, presenta materiales sulfídicos y pH menor de 5.5 (Anexo 2).

- **FASES.**

Estos suelos muestran también, las mismas fases que los perfiles 4A y 4B. Aunque en este caso, la capa compactada se localiza a mayor profundidad.

Perfil 5A
 Clasificación: Solonetz órtico.
 Período: Lluvia.

Perfil 5B
 Clasificación: Solonetz órtico.
 Período: Sequía.



Simbología:

1. Profundidad en cm.
 2. Horizonte.
 3. Porcentaje de materia orgánica.
- pH; Potencial de H+

2. Horizonte.
- PSI; Por ciento de Na+ intercambiable.
 CE; Conductividad eléctrica y DI; Drenaje interno.

Figura 12. Diagnósis de las propiedades de los perfiles 5A y 5B

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

PERFILES 6A Y 6B

• HORIZONTES DE DIAGNÓSTICO.

En estos suelos, el horizonte A es de espesor muy delgado, de color oscuro, pobre en bases, pero muy rico en materiales orgánicos frescos, algunos de los cuales han sido adicionados por el hombre (Tablas 12 y 13).

Según las definiciones establecidas por FAO-UNESCO (1994) este horizonte podría ser análogo con el horizonte fímico (epipedón plaggen, epipedón antrópico (USDA.-SCS, 1998) pero no cumple con el requisito (40 cm) de espesor que es diagnóstico (Anexo 2). Por esta misma razón, tampoco puede ser considerado como un A umbrico, pero sí cumple con los requisitos necesarios para considerarse como un horizonte **A ócrico**.

Como puede observarse en las Tablas 12 y 13, a este horizonte A le subyace un horizonte eluvial de gran espesor (33 a 48 cm) que cumple con todos los requisitos señalados por FAO-UNESCO (1994), para ser considerado como un **E álbico**, ya discutidos en el caso del perfil 4A y 4B.

Subyaciendo a este horizonte E álbico, se localiza un horizonte de intergradación que muestra tanto características álbicas como árgicas, razón por la cual se denominó como E/Btn (Tabla 12).

El horizonte E/Btn sobreyace, a su vez, a un horizonte iluvial el cual se caracteriza por presentar la mayor acumulación de arcilla traslocada, lo cual se hace evidente por la presencia de argilanes y otros cutanes (Anexo 2). Dichas características permiten considerar a este horizonte iluvial como un B árgico (Bt) bien desarrollado (Figura 13, Anexo 2). Sin embargo, como puede observarse en la Tabla 13, los valores tan altos de PSI, así como la presencia de una estructura columnar bien desarrollada, sobre la que se acumulan tanto películas de materia orgánica, como de minerales eluviados de los horizontes superiores, indican la presencia de un horizonte nátrico (Btn). Su delimitación como horizonte Btn, se ve reforzada por la presencia de granos de limo y arena no recubiertos por películas, los cuales interdigitan dentro de este horizonte (Figura 13) Otra característica que consolida la presencia de un horizonte Btn, es el hecho de que la suma de $Mg^{2+} + Na^+$ intercambiables es mayor que los contenidos de Ca^{2+} presentes (Tabla. 12).

El horizonte Btn, como en el caso de los otros perfiles estudiados, sobreyace a un horizonte C, el cual muestra algunas propiedades vérticas. Debajo de este horizonte se presenta una capa muy compactada, similar a un densipan.

• PROPIEDADES DE DIAGNOSTICO.

Estos suelos representan una etapa muy evolucionada de un Solonetz que ha sido solodizado, a tal grado; que parte del horizonte Btn se degradó constituyendo un horizonte E/Btn. Aunque estos suelos son escasos en el área de estudio, se caracterizan por presentar las siguientes secuencias de horizontes: Ao, A, E, E/Btn, C y 2Cd ó bien: A, AE, AB, Btn, C y 2Cd (Figura 13).

P6A: ANALISIS FISICOS

PROFUNDIDAD cm	HORIZONTE	COLOR	TAMAÑO Y DIAMETRO DE PARTICULA (mm)				CLASE	DENSIDAD		POROSIDAD (%)	FH g.sol/g.suelo	PW (%)	PS cm/hr	AGUA CONTENIDA		FACTOR K ERODABILIDAD USDA 1998	DI USDA 1998
			ARENA (%)	*ARENA UY FINA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)		APARENTE g/cm ³	REAL g/cm ³					33 kPa	1500 kPa		
0 - 5	Ao	10YR2/1	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	0.30	Nd	Nd	50	100.00	6.80	45.0	18.5	Nd	2
5 - 12	A ₁	10YR 3/1	10.0	3.00	80.0	10.0	L	1.20	2.55	52.94	70	42.85	3.50	11.2	5.2	...	3
12 - 45/60	E	10YR 6/1	70.0	25.0	25.0	5.0	Fa	1.35	2.60	48.07	94	6.38	4.50	9.50	3.5	...	3
45/60 - 71	E/Btn	10YR4/1	50.0	27.0	35.0	15.0	Fa	1.35	2.60	48.07	86	16.28	4.80	9.50	3.8	...	3
71 - 122	Btn	10YR 2/1	35.0	12.0	20.0	45.0	R	1.50	2.60	42.30	80	25.00	0.75	27.5	11.0	...	5
122 - 169	C	10YR 8/3	30.0	8.0	35.0	35.0	Fr	1.40	2.60	46.15	84	19.00	1.15	20.0	8.5	...	6
> 169	2Cd	2.5Y7/6	75.0	28.0	20.0	5.0	Fa	1.70	2.50	32.00	96	4.16	0.90	10.5	3.8	...	6

P6A: ANALISIS QUIMICOS I

PROFUNDIDAD cm	HORIZONTE	M.O. %	Ct %	Nt %	C/N	PORCENTAJE DE BASES INTERCAMBIABLES cmol(+)/Kg.				REL: Ca ⁺⁺ /Mg ⁺⁺	SUMA DE BASES	CIC cmol(+)/Kg.suelo	SATURACION BASES (%)	PORCEN. Mg ⁺⁺ + Na INTERCAMBIABLE	PSI (%)	pH H ₂ O 1:2.5	pHKCl
						Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺								
0 - 5	Ao	10.7	1.60	0.09	33.51	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	23.1	Nd	Nd	Nd	6.2	5.3
5 - 12	A ₁	4.2	0.50	0.03	15.46	9.3	1.1	0.5	0.3	8.45	11.2	37.5	29.86	42.66	13.33	6.5	5.8
12 - 45/60	E	0.7	0.05	0.01	69.60	2.1	1.3	0.3	0.3	1.61	4.0	8.50	47.05	18.82	3.52	6.3	5.8
45/60 - 71	E/Btn	1.2	0.05	0.03	21.26	5.3	1.7	1.2	0.5	3.11	8.7	16.0	54.40	18.12	75.00	7.2	6.6
71 - 122	Btn	0.9	0.03	0.01	52.20	9.7	8.7	6.9	0.9	1.11	26.2	33.5	78.21	46.56	20.59	7.9	7.2
122 - 169	C	0.5	Nd	Nd	Nd	9.9	7.7	6.3	0.9	1.28	24.80	25.5	97.25	54.90	24.70	7.9	7.3
>169	2Cd	0.3	Nd	Nd	Nd	3.5	4.2	2.7	0.5	0.83	10.9	11.0	99.09	62.72	24.54	8.1	7.5

P6A: ANALISIS QUIMICOS II

PROFUNDIDAD cm	HORIZONTE	CE dSm ⁻¹	CATIONES SOLUBLES cmol (+)/L(-)				ANIONES SOLUBLES cmol (+)/L(-)					RAS m.e./lt
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	
0 - 5	Ao	0.50	2.90	1.90	8.0	2.1	5.5	Nd	0.8	0.9	1.1	5.19
5 - 12	A ₁	0.65	3.10	2.50	6.3	1.5	4.3	Nd	0.8	0.9	1.4	3.77
12 - 45/60	E	0.50	2.50	2.00	2.1	0.8	2.1	Nd	0.5	0.5	0.9	1.40
45/60 - 71	E/Btn	10.5	9.50	3.80	12.7	1.8	23.0	Nd	6.2	7.5	2.5	4.94
71 - 122	Btn	24.0	12.50	6.70	35.5	1.8	25.0	Nd	12.1	14.3	4.2	9.10
122 - 169	C	22.5	11.0	6.30	33.0	1.8	23.5	Nd	12.4	14.6	4.7	11.22
>169	2Cd	23.2	12.3	6.50	31.7	2.4	24.5	Nd	13.7	15.1	5.1	10.35

L limoso
Fa franco arenoso
F franco
R arcilloso
Fr franco arcilloso

M.O.: materia orgánica

Ct: carbono total.

Nt: nitrógeno total.

P: fósforo.

FH: factor de humedad.

PW: porcentaje de humedad.

PS: permeabilidad del suelo.

Factor K: erodabilidad.

DI: drenaje interno.

RAS=Na⁺ / (Ca⁺⁺ + Mg⁺⁺) / 2^{0.5}

CIC: capacidad de intercambio catiónico

*Los porcentajes de arena muy fina se obtuvieron a través de tamices a partir del porcentaje de arena total (fracción 0.10-0.05 mm).

Nd, no determinado

Drenaje: Clase

1. Muy excesivamente drenado
2. Excesivamente drenado.
3. Bien drenado.
4. Moderadamente bien drenado.
5. Imperfectamente drenado.
6. Pobremente drenado.
7. Muy pobremente drenado.

Tabla 12. Resultados de los análisis de laboratorio correspondientes al onceavo perfil en el período de lluvia de un auelo Solod (P6A).

P6B: ANALISIS FISICOS

PROFUNDIDAD	HORIZONTE	COLOR	TAMAÑO Y DIAMETRO DE PARTICULA (mm)				CLASE	DENSIDAD		POROSIDAD	FH	PW	PS	AGUA CONTENIDA		FACTOR K	DI
			ARENA (%)	*ARENA MUY FINA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)		APARENTE g/cm ³	REAL g/cm ³					33 kPa	1500 kPa		
cm	USDA	Humedo					USDA 1998										
	1998																
0 - 3	Ao	10YR2/1	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	0.35	Nd	Nd	0.56	78.57	6.90	40.0	17.5	Nd	2
3 - 11	A ₁	10YR3/1	13.0	2.00	82.0	5.0	L	1.25	2.50	50.0	0.74	35.13	3.85	10.3	4.9	....	3
11 - 43 /63	E	10YR 5/1	75.0	19.0	20.0	5.0	Fa	1.35	2.60	48.1	0.96	4.16	4.90	9.0	3.3	....	3
43 /63 - 70	E/Btn	10YR4/1	55.0	22.0	31.0	14.0	Fa	1.35	2.60	48.1	0.86	16.28	4.90	9.1	3.3	....	3
70 - 122	Btn	10YR 2/1	36.0	11.0	21.0	43.0	R	1.65	2.65	41.5	0.84	19.00	0.80	25.5	11.0	....	5
122 - 167	C	10YR 6/3	33.0	6.0	57.0	30.0	Frl	1.50	2.60	42.3	0.8	19.00	1.20	19.5	7.9	....	6
>167	2Cd	2.5Y7/6	78.0	23.0	20.0	2.0	Af	1.70	2.50	32.0	0.96	4.16	0.90	9.3	3.3	....	5

P6B: ANALISIS QUIMICOS I

PROFUNDIDAD	HORIZONTE	M.O.	Ct	Nt	C/N	PORCENTAJE DE BASES INTERCAMBIABLES cmol (+) Kg.				REL: Ca ⁺⁺ /Mg ⁺⁺	SUMA DE BASES	CIC cmol(+)/Kg suelo	SATURACION BASES (%)	PORCEN. Mg ⁺⁺ + Na	PSI (%)	pH H ₂ O	pHKCl
						Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺								
cm	USDA	%	%	%											1:2.5		
	1998																
0 - 3	Ao	5.2	1.55	0.06	103.43	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	23.5	Nd	Nd	Nd	6.3	5.5	
3 - 11	A ₁	0.8	0.45	0.02	121.80	9.7	1.3	0.7	0.3	7.46	12.00	37.3	32.17	5.36	1.87	6.9	
11 - 43 /63	E	1.2	0.04	0.01	40.60	2.5	1.5	0.5	0.4	1.66	4.90	8.1	60.40	24.69	6.17	6.8	
43 /63 - 70	E/Btn	1.1	Nd	Nd	Nd	5.5	1.9	1.3	0.4	2.89	9.10	15.8	57.59	20.25	8.22	7.9	
70 - 122	Btn	0.9	Nd	Nd	Nd	10.5	9.1	7.2	0.8	1.15	27.60	33.0	77.27	49.39	21.81	8.2	
122 - 167	C	0.7	Nd	Nd	Nd	10.5	7.8	6.5	0.7	1.34	25.50	25.4	100.0	56.29	25.59	8.2	
>167	2Cd	0.3	Nd	Nd	Nd	3.3	4.0	2.9	0.7	0.82	10.90	10.8	100.0	63.88	25.85	8.2	

P6B: ANALISIS QUIMICOS II

PROFUNDIDAD	HORIZONTE	CE	CATIONES SOLUBLES cmol (+)/L(-)				ANIONES SOLUBLES cmol (+)/L(-)				RAS					
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻		Cl ⁻				
cm	USDA	dSm ⁻¹														
	1998															
0 - 3	Ao	0.65	3.70	2.10	8.50	3.3	6.3	Nd	1.4	1.1	1.4	5.00				
3 - 11	A ₁	0.80	5.00	2.65	6.70	2.5	5.1	Nd	1.8	1.3	1.9	3.43				
11 - 43 /63	E	0.60	2.50	4.00	2.40	1.1	2.7	Nd	0.7	0.6	0.9	1.33				
43 /63 - 70	E/Btn	12.7	11.30	13.8	14.30	2.6	26.3	Nd	8.4	9.3	3.3	4.03				
70 - 122	Btn	30.4	13.40	7.20	39.50	2.7	29.4	Nd	14.0	15.5	5.8	12.34				
122 - 167	C	29.7	12.90	6.50	35.80	2.9	26.0	Nd	15.1	18.2	6.9	11.51				
>167	2Cd	25.0	13.80	6.90	33.50	3.5	25.7	Nd	16.4	18.5	6.1	10.43				

L limoso
Fa franco arenoso
F franco
R arcilloso
Frl franco arcillo limoso
Af arena franca

M.O.; materia orgánica.
Ct; carbono total.
Nt; nitrógeno total.
P; fósforo.
FH; factor de humedad.
PW; porcentaje de humedad.
PS; permeabilidad del suelo.

Factor K; erodabilidad.
DI; drenaje interno.
RAS=Na⁺ / (Ca⁺⁺ + Mg⁺⁺) / 2^{0.5}
CIC; capacidad de intercambio catiónico
*Los porcentajes de arena muy fina se obtuvieron a través de tamices a partir del porcentaje de arena total (fracción 0.10-0.05 mm).
Nd; no determinado

Drenaje: Clase
1. Muy excesivamente drenado
2. Excesivamente drenado.
3. Bien drenado.
4. Moderadamente bien drenado.
5. Imperfectamente drenado.
6. Pobrememente drenado.
7. Muy pobrememente drenado.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 13. Resultados de los análisis de laboratorio correspondientes al doceavo perfil en el período de sequía de un suelo Solod (P6B).

También son distintivas de estos suelos las siguientes propiedades:

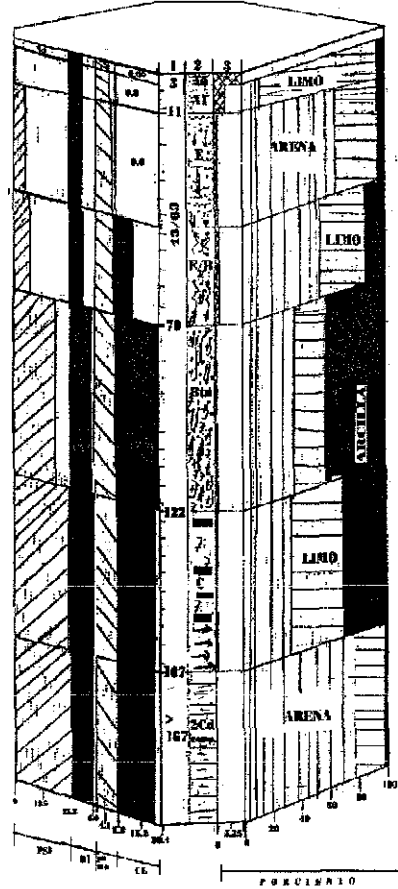
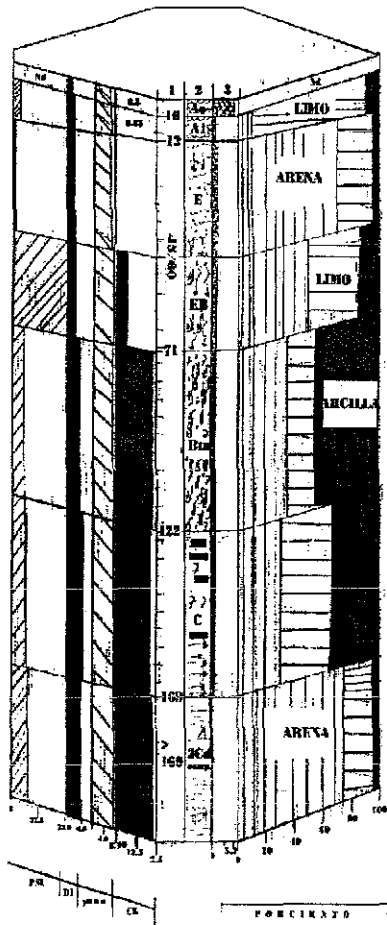
- a. Cambio textural abrupto. Se presenta en el horizonte E/Btn y Btn.
- b. Interdigitaciones. Comúnmente, se observan penetraciones del horizonte E álbico en la matriz del horizonte B nátrico. Dichas interdigitaciones están constituidas por esqueletanes (películas de limo y/o arena) de más de un milímetro de espesor, los cuales se localizan en las caras verticales de los podios (Figura 13).
- c. Propiedades sálicas. Estas están presentes durante todo el año, aunque no son diagnósticas para los criterios establecidos por FAO-UNESCO ya que dichas propiedades ($>15 \text{ dSm}^{-1}$ a 25°C) se presentan a más de 30 cm de profundidad (Tablas 12 y 13).
- d. Slickensides (facetas de presión-fricción). Sólo se presentan, comúnmente, en el horizonte C, esto debido, probablemente, a que dicho horizonte fluctúa, significativamente, en sus contenidos de humedad durante el año. De hecho, estos suelos presentan evidencias de hidromorfismo estacional, después de los 150 cm de profundidad (Tabla 12).
- e. Propiedades sódicas. Como se observa en las Tablas 12 y 13, los porcentajes de Na^+ intercambiable >15 , sólo se presentan después de los 71 cm de profundidad.

- **FASES.**

1. Freática. En el área de estudio existen mantos freáticos, algunos confinados, dentro de una profundidad de 5 m, a partir de la superficie.
2. Sálica y Sódica. Dentro de los primeros 100 cm de profundidad, estos suelos muestran, respectivamente, un valor de $\text{CE}>4\text{dSm}^{-1}$ y un $\text{PSI}>6\%$, por lo que ambas fases están presentes.

Perfil 6A
 Clasificación: Solod.
 Período: Lluvia.

Perfil 6B
 Clasificación: Solod.
 Período: Sequía.



HORIZONTES Simbología

AO	A óctico
AT	
E	E Ábico
E/B	E/B
E/Bn	E/Bn Nátrico
C	Subsuelo
2Ca	Discontinuidad litológica
	Capa compactada
	Capa orgánica
	Crustales de sales
	Drenaje
	Penetraciones
	Fisuras
	Leasivaje
	Precipitación hierro férrico
	Partículas de arena y limo
	Estructura columnar
	Partículas de arcilla
	Facetas de presión-fricción

Simbología:

1. Profundidad en cm
 2. Horizonte
 3. Porcentaje de materia orgánica
- pH; Potencial de H⁺

- PSI; Porciento de Na⁺ intercambiable
 CE; Conductividad eléctrica y DI; Drenaje interno.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Figura 13. Diagnósis de las propiedades de los perfiles 6A y 6B.

7.0 DISCUSION.

7.1 GENESIS Y DINAMICA.

Con el propósito de establecer la génesis, clasificación y dinámica de los suelos estudiados, así como el origen y cinética de las sales presentes en estos suelos (Tablas 2 a la 13) se propone un modelo evolutivo donde se incluye la siguiente temática.

1. Origen, características y dinámica del material parental a partir del cual se formaron los suelos (Figura 14).
2. Génesis, evolución y procesos formadores de los suelos, bajo tres modalidades conferidas por las características fisiográficas del área de estudio.
 - A. Suelos que se desarrollaron sin limitantes por profundidad, ni drenaje y que estuvieron libres de adiciones de sales (Figura 15).
 - B. Suelos que se desarrollaron con limitantes por profundidad y drenaje, pero libres de adiciones de sales (Figura 16).
 - C. Suelos que se desarrollaron con limitantes por profundidad y drenaje y que, además, recibieron adiciones importantes de sales (Figura 17).
3. El origen de las sales.

7.1.1 Origen del Material Parental.

Con base en la mineralogía que caracteriza a los diferentes horizontes C de los suelos estudiados, se pudo establecer que el material parental en todos los casos, cumple con las características diagnósticas de material flúvico (Anexo 2), establecido por la W.R.B. (1994-1998). Sin embargo, dicho material también se caracteriza por presentar sólidos derivados de tefras que han sido retrabajadas por la escorrentía y mezcladas con material aluvial de otras fuentes (aluvión vulcanogénico).

Se observó en todos los casos, que el material parental de los suelos estudiados se originó debido a fenómenos de erosión de los suelos y rocas localizados en las partes altas de la cuenca y al aluvionamiento en las partes bajas y planas (denudación-cumulación). Así, la cuenca de la zona lacustre de Zumpango, se fue rellenando paulatinamente con sedimentos de naturaleza química y mineralógica muy heterogénea. La mayoría de estos sedimentos, como se mencionó anteriormente, estaba constituida por materiales aluviales mezclados con productos volcánicos denominándose aluvión vulcanogénico (Gama, *et al*, 2000).

Algunas de estas capas, en varios sitios del área de estudio sufrieron procesos de consolidación (hidroconsolidación) y posteriormente de compactación e incluso cementación. La presencia de dichas capas se muestra en los Perfiles 2A, 2B, 3A, 3B, 4A, 4B, 5A, 5B y 6A 6B, (Tablas 4 a la 13) que localmente, se les denominan como tepetates. Estas capas compactadas resultan de gran importancia para la génesis, dinámica y propiedades de los

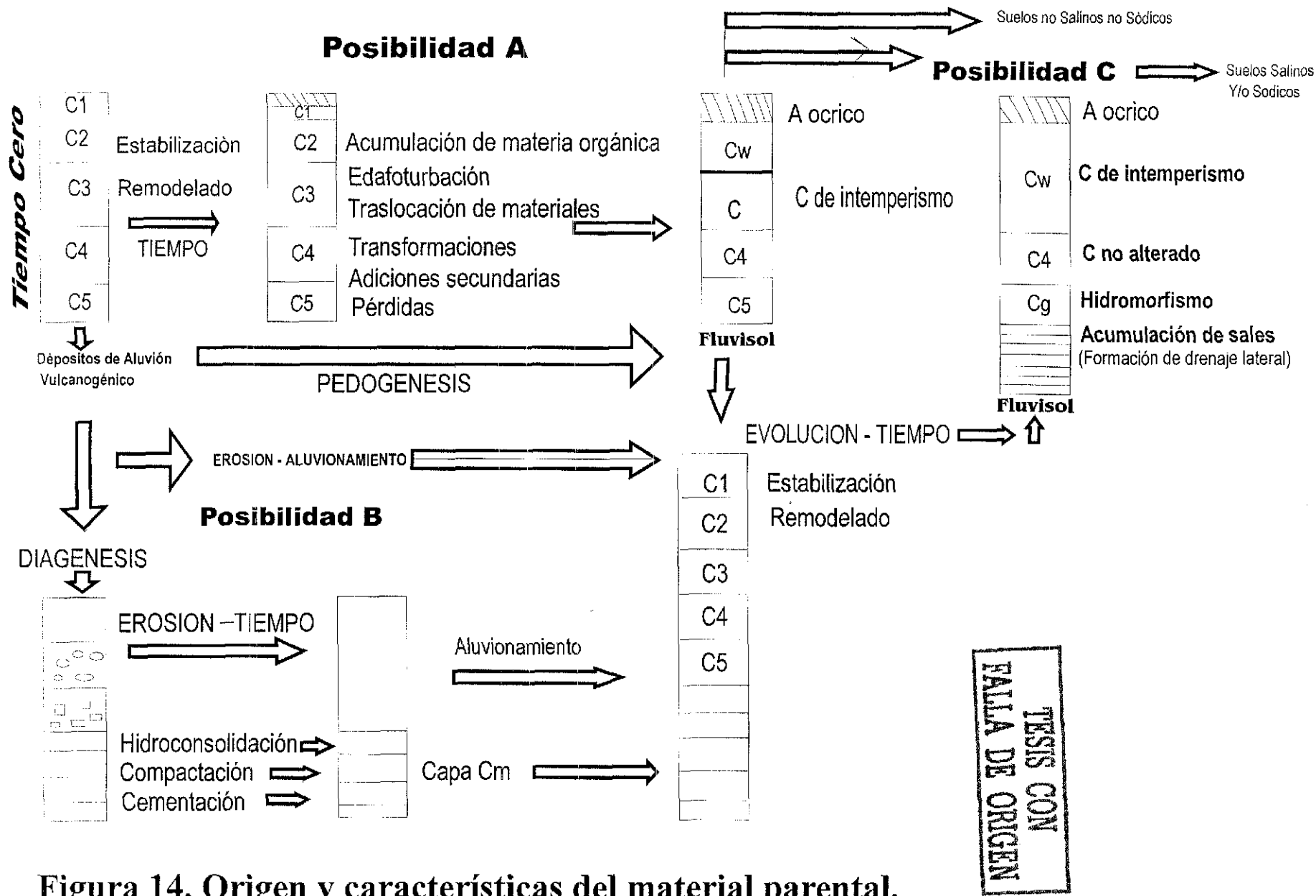


Figura 14. Origen y características del material parental.

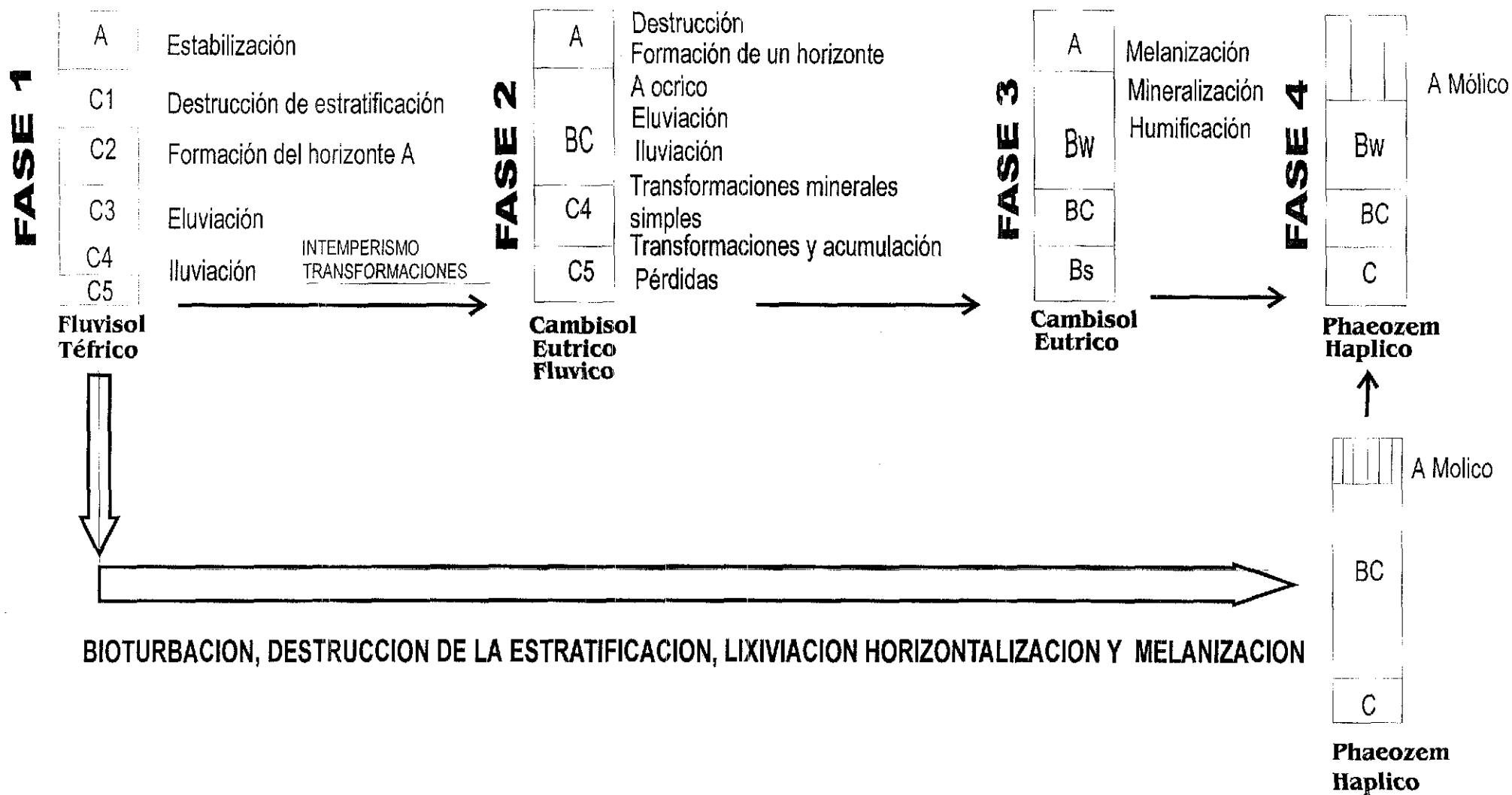


Figura 15. Evolución de los suelos aluviales (Fluvisol) en un medio no confinado.

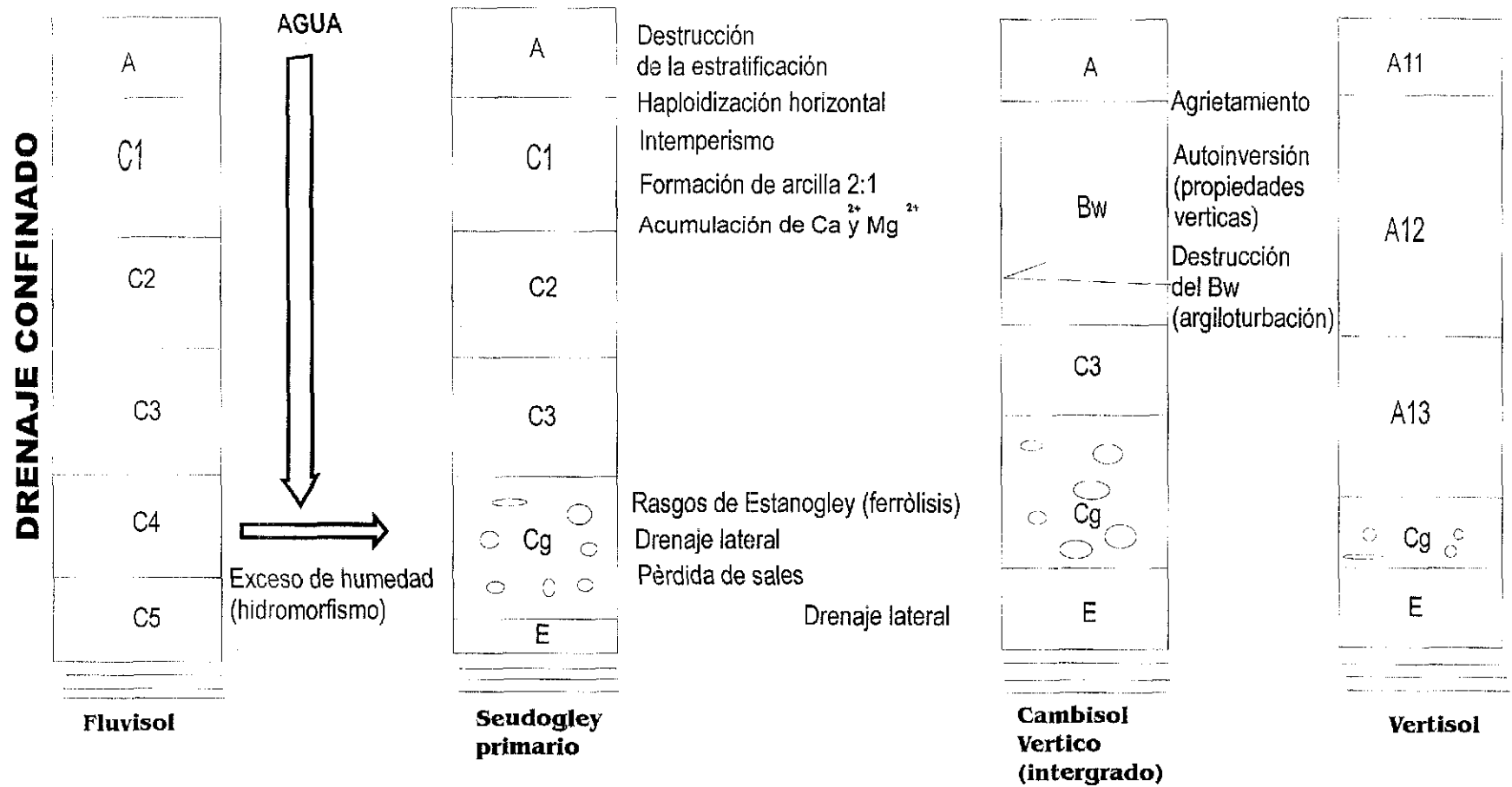


Figura 16. Evolución de los suelos en un medio confinado por drenaje libre de sales.

suelos estudiados, ya que afectan principalmente su drenaje interno, lo cual impide la eluviación de sales. La mayoría de los suelos que sobreyacen a esta capa se caracterizan por un drenaje deficiente, presencia excesiva de humedad (hidromorfismo) y acumulación de sales (Tabla 7 a la 13).

7.1.2 Evolución y Dinámica del Material Parental

Varias de las capas del aluvión vulcanogénico de donde se constituyó el material parental de los suelos, teóricamente presentaron los siguientes procesos para alcanzar su perfil evolutivo: (a) estabilización, (b) remodelación por los agentes erosivos del medio, (c) destrucción gradual de la estratificación por efecto de factores de edafoturbación (d) adiciones secundarias de materia orgánica y sales, (e) traslocación de la materia orgánica y sales por efecto de procesos de lixiviación, (f) transformaciones simples, tanto de la materia orgánica como de los minerales y (g) formación de un horizonte A ótrico (Figura 14).

Todos estos procesos culminaron, a través del tiempo, con la formación de un **Fluvisol** (FAO-UNESCO, 1994). Este suelo se considera como la unidad genética de la cual evolucionaron otros suelos (Figura 14). Sin embargo; otras capas no siguieron este modelo evolutivo debido, probablemente, a condiciones de estación como pudieron ser: (a) naturaleza química y mineral de la capa, (b) topografía y microrelieve, (c) drenaje y (d) presencia de mantos freáticos, entre otros.

Como puede observarse en la Figura 14 los depósitos de aluvión vulcanogénico una vez estabilizados y remodelados por los agentes del medio ambiente, inician el llamado "Tiempo cero" en su evolución. De acuerdo con lo observado en campo y con base en los datos obtenidos, se pudo interpretar que dichos depósitos tienen, al menos, tres posibilidades de evolución:

- A. Pedogénesis. Se lleva a efecto en un medio libre de restricciones físicas y químicas. Los factores tipogénicos de adición, traslocación, acumulación transformación (simple) y pérdida, están presentes aunque con una intensidad limitada. Bajo estas condiciones sólo es posible la formación de un Fluvisol (Figura 8) caracterizado por la presencia de un horizonte A ótrico y posteriormente la formación de un Cambisol (Figura 10).
- B. Diagénesis. Debido a condiciones medioambientales, entre las que se incluyen (a) alternancia contrastante en los porcentajes de humedad, que provoca inicialmente una hidroconsolidación de las partículas del aluvión y posteriormente su compactación, así como (b) adiciones naturales de agentes químicos cementantes varias capas profundas de los aluviones depositados, terminaron por constituir un horizonte C cementado con características similares a una toba (Figura 14).
- C. Mixto. En esta posibilidad se incluyen aquellos aluviones que inicialmente tuvieron cementación por diagénesis, para posteriormente sufrir erosión y finalmente soportar nuevos depósitos aluviales, los cuales evolucionaron hasta constituir un Fluvisol (suelo policíclico) (Figura 14).

Resulta muy importante mencionar que los Fluvisoles que no mostraron esta capa cementada tendieron a evolucionar hacia diferentes unidades de suelos no salinos ni sódicos

(Perfiles 1A, 1B, 2A, 2B y 3A, 3B). En contraste, los Fluvisoles limitados en su profundidad por estas capas cementadas, muestran una clara evolución hacia suelos salinos, y/o sódicos (Perfiles 4A, 4B, 5A, 5B 6A y 6B), debido en gran parte, al confinamiento del drenaje interno y a la acumulación excesiva de sales propiciados por esta limitante.

7.1.3. Génesis Evolución y Procesos Característicos de los Suelos Estudiados.

7.1.3.1 Suelos que se desarrollaron sin limitantes físicas ni químicas.

Son suelos que siguen un modelo de evolución tal como se indica en la Figura 14. Como se observa en la Figura 15 a medida que transcurre el tiempo, la destrucción de la estratificación en estos suelos (Fluvisoles), su haploidización (suelo intergrado: Fluvisol-Cambisol) y posteriormente su horizontalización (Cambisol) son los fenómenos característicos.

Así, los Fluvisoles tienden a evolucionar desarrollando un horizonte B de tipo estructural. A medida que avanzan los procesos de eluviación-iluviación y transformaciones, se empieza a constituir un verdadero horizonte B de intemperismo y acumulación (Bw) constituyéndose así un Cambisol (Figura 15). En la zona de estudio se observó que algunos Cambisoles presentaban en su horizonte A, características de los procesos de melanización, mineralización de materia orgánica y humificación, por lo que la formación de Phaeozem a partir de Cambisoles es un hecho observable en campo (Figura 15).

En algunas ocasiones, se observaron Fluvisoles que presentaban horizontes A mólicos. Esto indica la posibilidad de que algunos Phaeozem se formen directamente de los Fluvisoles y que en algunos casos carezcan de un horizonte B de alteración.

7.1.3.2 Evolución de suelos en un medio con drenaje confinado pero libre de sales.

En este modelo se incluyen los suelos del área de estudio que se caracterizan por presentar drenaje deficiente y limitación en profundidad, por presencia de capas cementadas, así como rasgos de hidromorfismo y presencia de estanogley. Debido a las geoformas que ocupan (terrazas altas), las sales que eventualmente son erosionadas y depositadas, tienden a ser lavadas tanto por drenaje interno lateral, como por escorrentía (fenómeno de pérdida). Esto ocurre principalmente con las sales de sodio, ya que el calcio y el magnesio tienden a acumularse en las capas (Tabla 4A, 4B, 5A y 5B). Así, la presencia de Fluvisoles calcáricos es común en estas áreas.

La evolución de los suelos, en este caso, también se inicia a partir de un Fluvisol, el cual, como se mencionó, presenta hidromorfismo acentuado en las capas próximas al material cementado. Con frecuencia entre los horizontes C del Fluvisol y las capas cementadas se llegan a constituir horizontes E álbicos, debido principalmente al drenaje lateral y lesivaje de los materiales. Este tipo de Fluvisoles, con alguna frecuencia presenta procesos de gleyización y ferrólisis, por lo que llega a constituir un seudomodelo de gley. Estos suelos, son comunes en topografía plana o ligeramente cóncava. El verdadero manto frático en realidad se presenta a una profundidad considerable.

De la superficie a los 50 cm de profundidad, estos suelos siempre están libres de agua o de humedad durante el período de invierno. Los científicos alemanes los denominan, como seudogleys primarios, debido a que la capa que limita el paso del agua es una capa cementada de textura gruesa. En el caso de suelos cuya limitante es una capa de arcilla o un horizonte argílico, los suelos reciben el nombre de seudogleys secundarios (Buckman, 1985).

Estos Fluvisoles además, se caracterizan por la presencia de pequeñas concreciones de fierro o manganeso, moteados con cromas altos y algunas acumulaciones y/o películas de material orgánico (rasgos de estanogley). Estos suelos no han sido bien ubicados taxonómicamente; en ocasiones se les ha considerado como suelos tipo Planosol y a medida que evolucionan e incrementan su porcentaje en arcilla, su posición taxonómica es mucho más compleja.

A partir de suelos como el descrito, la formación de Vertisoles topomórficos es completamente posible, dadas las condiciones de hidromorfismo, alcalinización y riqueza de calcio y magnesio que tienen los sedimentos.

En la Figura 16, se interpreta la evolución de los Fluvisoles hacia suelos con seudogleys primarios, Cambisoles Vérticos y Vertisoles.

7.1.3.3 Suelos confinados en profundidad y drenaje, que además reciben adiciones de sales.

Los suelos que constituyen este modelo se ajustan de modo muy significativo a las teorías de Gedroits (1927) y Kellogg (1936) sobre los procesos de Salinización, Solonización y Solodización. En el área de estudio, principalmente en aquellas zonas de menor altitud, planas o ligeramente cóncavas que actúan como cuenca receptora, los procesos antes mencionados pueden ser caracterizados en su totalidad.

El modelo que se ha conceptualizado al respecto es el siguiente:

El tiempo cero de la evolución de estos suelos se inicia a partir de la formación de un Fluvisol que tiende, a través del tiempo, a la acumulación de sales principalmente en los horizontes superiores. La disolución de estas sales y su lavado hacia capas profundas, ocurren durante el período de lluvias. Durante el período de sequía, al irse evaporando el agua, las sales tienden a redistribuirse en todo el perfil, propiciándose la precipitación de ellas dentro de poros, fisuras y vacuolas. A medida que dichas estructuras se van rellorando, empiezan a aparecer las fases y propiedades sálicas (Anexo 2), hasta que a través del tiempo, se constituye un verdadero horizonte sálico y el proceso de Salinización es dominante. Los iones depositados como sales pueden tener varios orígenes:

- a. Ser adicionados por el viento, la lluvia o la escorrentía.
- b. Ser liberados por el intemperismo de los minerales, por ejemplo: los sulfatos son producidos por la oxidación de los sulfitos.
- c. Tener un origen geológico.
- d. Como producto de lixiviación de rocas o materiales adyacentes a la cuenca.

- e. Por efecto de mantos freáticos y/o drenaje lateral.

Debido a las sales, los coloides presentes en estos suelos están normalmente floculados y los valores de pH (Tablas 8 y 9) tienden a ser menores que en suelos donde el NaCO_3 es dominante.

De acuerdo a los conceptos clásicos de Kellogg (1936), este suelo cumple ya con los requisitos de un Solonchak (Perfiles 4A y 4B) y además, es la etapa inicial para la formación de un Solonetz (Tablas 10 y 11). El Solonchak, así constituido, puede dar origen a un Solonetz por procesos de Solonización.

En los conceptos clásicos, un Solonchak que es drenado ya sea de forma natural y/o artificial, lixivia una gran cantidad de sales solubles, dejando el complejo de intercambio saturado con sodio (Tablas 8 y 9). Cuando las condiciones de humedad del suelo son propicias se producen fenómenos de hidrólisis de sodio retenido en el complejo de intercambio, presentándose incrementos significativos en el pH. Cuando el pH es muy alto, es casi seguro la presencia de NaCO_3 , el cual interactúa con la materia orgánica, dando a los suelos un color negro muy característico y mucha de la arcilla puede ser eluviada. Bajo esas condiciones, los fenómenos de iluviación-eluviación, han permitido la formación de un B nátrico (Anexo 2) muy característico por la estructura columnar que desarrolla (Figura 13). Estos suelos (Solonetz) se presentan en el área ocupando espacios reducidos. Observaciones de campo de esas áreas permitieron inferir que son sitios con drenaje sumamente pobre, por lo que la condición de restricción para el crecimiento de las plantas es mayor que en los Solonchak.

Una vez que el horizonte argílico (nátrico), así como la estructura columnar, han sido fuertemente desarrollados, se produce una diferencia de drenaje entre el horizonte A y el horizonte B argílico (nátrico). Esa diferencia propicia lo siguiente:

- a. Formación de un horizonte E álbico entre el horizonte A y el horizonte B argílico.
- b. Mayor lixiviación en el horizonte A, debido a la presencia del horizonte E que le subyace.
- c. Como consecuencia de esta lixiviación, se da una acumulación de sodio y materia orgánica sobre el límite del horizonte B.
- d. Con la acumulación de sodio, se propicia una mayor eluviación de arcilla dentro del horizonte B.
- e. Esta eluviación de arcilla permite que el espesor del horizonte E se incremente. Así se tiene la formación de un Solonetz Solodizado.

A partir de este Solonetz Solodizado, se constituye un Solod (Solodización), este Solod se caracteriza porque el drenaje lateral que se presenta entre el horizonte A y el horizonte B argílico, sigue incrementando el espesor del horizonte E álbico. Como puede apreciarse en la Tablas 12 y 13, un espesor considerable del Solod en la parte superior del perfil está libre de sales y de sodio (horizonte A y horizonte E), por lo que teóricamente, en esta parte del suelo puede haber desarrollo de vegetación. Sin embargo, con frecuencia la desecación del suelo puede propiciar la eluviación de las sales a la superficie.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

7.2 TEMPORALIDAD Y VARIACIONES FISICAS Y QUIMICAS DE LOS SUELOS.

7.2.1 Propiedades Físicas.

Como puede observarse en las Tablas 2 a la 13, las características físicas de los suelos estudiados aunque presentan variaciones en sus propiedades entre el período de lluvia y sequía, son mínimas y no representan un valor significativo. Las variaciones más importantes se presentan en color, densidad aparente y consecuentemente en porosidad, permeabilidad y retención de agua. Las variaciones en textura y densidad real son mínimas, en la mayoría de los casos.

En general, las variaciones más obvias se presentan siempre en las capas superiores (horizontes A), o en las capas más profundas. Esto es debido a dos fenómenos: (1) la oscilación del clima durante el período de lluvia y sequía y su efecto sobre el epipedón y (2) el efecto de acumulación de humedad y/o el efecto del manto freático, por ejemplo: en el caso del Solonetz los colores de los horizontes varían entre la temporada de lluvia y la temporada de sequía. Como puede observarse en las Tablas 10 y 11, durante el período de lluvia los colores son predominantemente de un medio de reducción (2.5Y), en tanto que en el período de sequía son de oxidación (2.5 YR).

Los cambios significativos en textura se presentan en los Vertisoles, esto se explica debido a los procesos de autoinversión del suelo que se dan durante el período de sequía. Durante este período, el suelo superficial cae a través de las grietas propiciando las variantes texturales detectables.

Con excepción de los Cambisoles y de los Vertisoles (Tablas de la 4 a la 7) se observa que en todos los demás suelos, los valores de retención de agua a 33 y 1500 kPa siempre son mayores durante el período de lluvia, que durante el período de sequía. En el caso del Vertisol y el Cambisol esto puede ser inicialmente explicado por el contenido y tipo de arcillas (motmorilloníticas) que los caracterizan, las cuales tienen una gran capacidad para retener el agua.

Finalmente, se puede observar en estas tablas (Tablas 2 a la 13), que en general la porosidad y la permeabilidad de los suelos tienden a disminuir durante el período de sequía. Esto es indicativo de que se propicia una consolidación de las partículas del suelo por pérdida de agua a través de la evapotranspiración, que es alta durante el período de sequía. Esta disminución de permeabilidad y porosidad origina que la erodabilidad (valor K) del suelo se incremente, lo cual resulta negativo, ya que al iniciarse nuevamente el período de lluvias el suelo presenta susceptibilidad a la erosión.

7.2.2 Propiedades Químicas

Como puede observarse en las Tablas 2 a la 13, las propiedades químicas de los suelos tienen una variación significativa durante el período de lluvia-sequía, las más importantes que se registraron fueron::

- Porcentaje de materia orgánica. En general, todos los suelos estudiados mostraron una disminución de la materia orgánica, no solo en el horizonte A sino en todos los horizontes que le subyacen. Cambios muy drásticos se observaron en los Fluvisoles y en los Solod (Tablas 2, 3, 12 y 13). La razón principal para explicar estas variaciones consiste en que la materia orgánica tiende a acumularse en los suelos durante el período de lluvia, pero se mineraliza muy rápidamente en el período de sequía (Coleman, 1989).
- En las Tablas 2 a la 13, con excepción de los Vertisoles (Tablas 4 y 5) y los Solonchak (Tablas 8 y 9), la saturación de bases tiende a incrementarse durante el período de sequía. Esto es debido principalmente, a que este período los cationes tienden a acumularse. En el caso del Vertisol y Solonchak donde la saturación de bases decrece, este fenómeno se debe, a los procesos de autoinversión que son características del Vertisol y que impiden la formación de un horizonte de acumulación y, en el caso del Solonchak a la presencia de drenaje lateral entre las capas del suelo, particularmente evidente en la época de lluvias, explica la ligera desbasificación en estos suelos. Como puede verse en las Tablas 8 y 9, el sodio es fijado en el complejo de intercambio (arcillas), por lo cual tiende a incrementarse durante el período de sequía. El potasio es uno de los elementos intercambiables que más se lixivia (Lowe, 1986).
- Capacidad de Intercambio Cationico (CIC). Con excepción del Solod (Tablas 12 y 13), la CIC tendió a incrementarse durante el período de sequía. Este incremento se debe a que durante el período de lluvias varios materiales orgánicos fueron transportados dentro del perfil donde sufrieron transformaciones simples. En el caso del Solod, la presencia de horizontes permeables como el A₀, A₁, E y E/Btn, sobre horizontes poco permeables como el Btn, propició que los materiales orgánicos transportados por eluviación fueron desalojados por efecto del drenaje lateral que se produce en el contacto de los horizontes E/Btn y Btn.
- Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) y pH. De acuerdo a las Tablas 2 a la 13, el PSI tiende a incrementarse durante el período de sequía en todos los suelos, con excepción del Solod. Así mismo, el pH de todos los suelos también se incrementó durante el período seco. En el caso del Solod (Tablas 12 y 13), el PSI disminuyó en el período de sequía en los horizontes A₀, A₁, E y E/Btn y se incrementó en los horizontes Btn, C y 2Cd. En este caso, se debe a la diferencia en permeabilidad que existe entre los cuatro primeros horizontes superiores y en el horizonte Btn. Esta diferencia está conferida por el tipo textural de los horizontes (Tablas 12 y 13). Como ya ha sido mencionada, dichas diferencias propician un lavado lateral del sodio en los primeros 70 cm de profundidad y una acumulación del mismo a partir de los 70 cm, debido a la gran cantidad de arcillas presentes en el horizonte Btn.

- Conductividad Eléctrica (CE) y Relación de Adsorción de Sodio (RAS). En el caso de la CE, en todos los suelos se incrementó durante el período de sequía (Tablas 2 a la 13). En el caso de RAS, los Vertisoles, Cambisoles, Solonchak y Solonetz incluyendo al Solod en sus capas que se encuentran a más de 70 cm de profundidad, incrementaron los valores del RAS. El hecho de que en el Fluvisol, así como en las capas del Solod no se incrementara el valor del RAS, se explica, fundamentalmente, por los siguientes dos factores: (1) el Fluvisol al igual que el Solod a los primeros 70 cm de profundidad, muestra una buena permeabilidad. Dicha permeabilidad permite que los cationes en solución sean lavados por drenaje vertical en el caso del Fluvisol y por drenaje lateral en el caso del Solod y (2) en el Fluvisol y el Solod, los porcentajes de arcillas presentes son bajos (Tablas 2, 3, 12 y 13). Consecuentemente, la retención de elementos catiónicos por saturación de arcillas también es baja. Esto indica, que durante el período de lluvias la mayoría de las sales que se acumularon en el período de sequía son lavadas fuera del perfil. En el caso de los otros suelos, cantidades significativas de sales solubles son retenidas durante el período de sequía y sólo parte de ellas es lavada durante el período de lluvia

7.2.3 ANALISIS MULTIELEMENTAL POR RETRODISPERSION DE RUTHERFORD (RBS) EN LOS HORIZONTES DE LOS SUELOS SALINOS-SODICOS.

Como puede observarse en las Figura 18, Tabla 14, las relaciones Na:Ca resultan muy elevadas en las muestras 1, 2 y 3. Estas relaciones son congruentes con la designación de horizontes nátricos que les fue conferida en campo, también se observa que en estas muestras existen relaciones anormales entre Ca y Mg, en teoría se esperarían relaciones del orden de 4, según W. R. B., (1998). Estas relaciones son diagnosticas para un horizonte natrico. En las relaciones $Ca^{2+}/Mg^{2+}/K^+$ en estas muestras indican una enorme deficiencia de K^+ , lo que resulta común en un suelo Salino-Sodico, para el área estudiada.

Las muestras 4, 5, 6 y 7, corresponden con horizontes álbicos, la muestra 4 corresponde con el E álbico de un Solod. Se observa en la Figura 19 y Tabla 14 que las relaciones Na:Ca son significativamente menores que las que presenta el horizonte natrico. Estas relaciones fluctúan de 1.82 hasta 6.96. De manera similar que en los horizontes nátricos, las relaciones Ca:Mg de acuerdo a W. R. B., (1998) son anormales del mismo modo que presentan una extrema pobreza en K^+ .

Las muestras restantes (8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14) corresponden con horizontes sálicos de los Solonchaks, sus relaciones Na:Ca son moderadas con relación a la de los horizontes nátricos, pero altas con relación a la de los horizontes álbicos. De modo similar a los casos anteriormente discutidos, la relación Ca:Mg es deficiente y indica la pobreza de K^+ (Figura 20).

Como puede observarse en la Tabla 15 el carbono y oxígeno presentes son abundantes, lo que en consecuencia, sugiere que es común la formación de carbonatos de Na, Ca y Mg. Esto explica los altos pH (Tablas 2-13) que se presentan en los perfiles estudiados, así como la extensa floculación de arcillas observada en los Solonetz. En la Figura 21 se observa que el Na y Mg siempre son porcentualmente más altos que el Ca, propiciando la alcalinización de los suelos.

La presencia de algunos metales pesados es también evidente, aunque se presentan en cantidades muy pequeñas, del orden de 1 a 2 ppm. Además de que dichos metales son escasos, los altos pH de estos suelos los inmovilizan completamente, por lo que actualmente no representan ningún riesgo a los cultivos, ni a la salud humana (Tabla 16).

Figura 18. Horizontes nátricos.

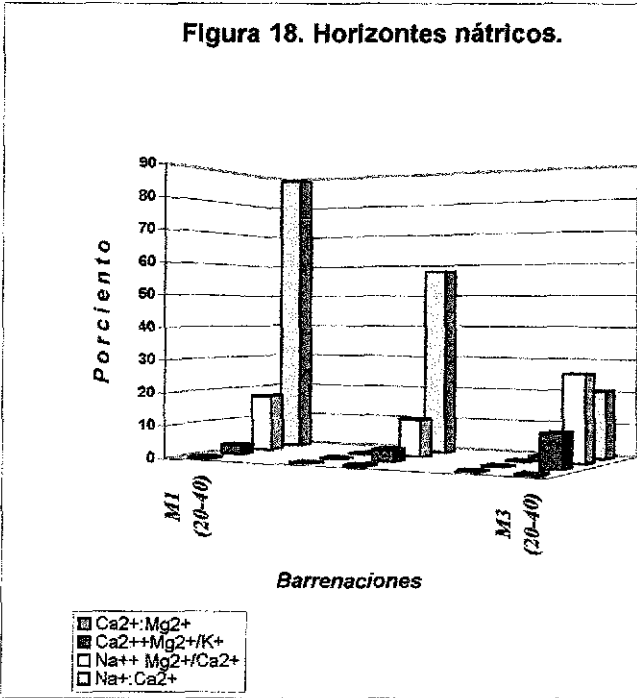


Figura 19. Horizontes albcos

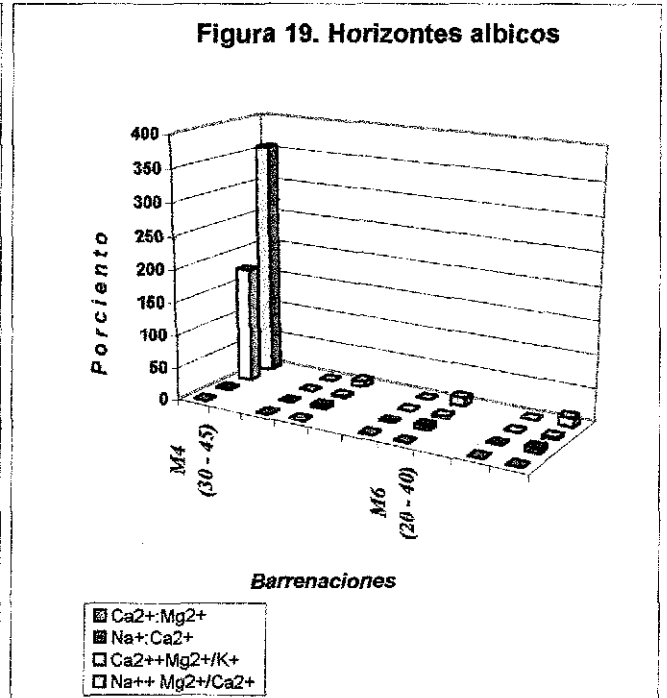


Figura 20. Horizontes salicos

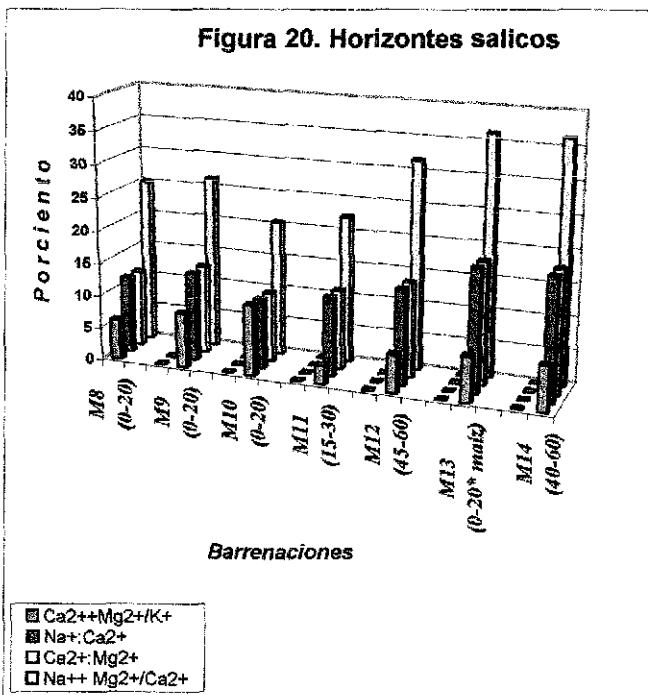
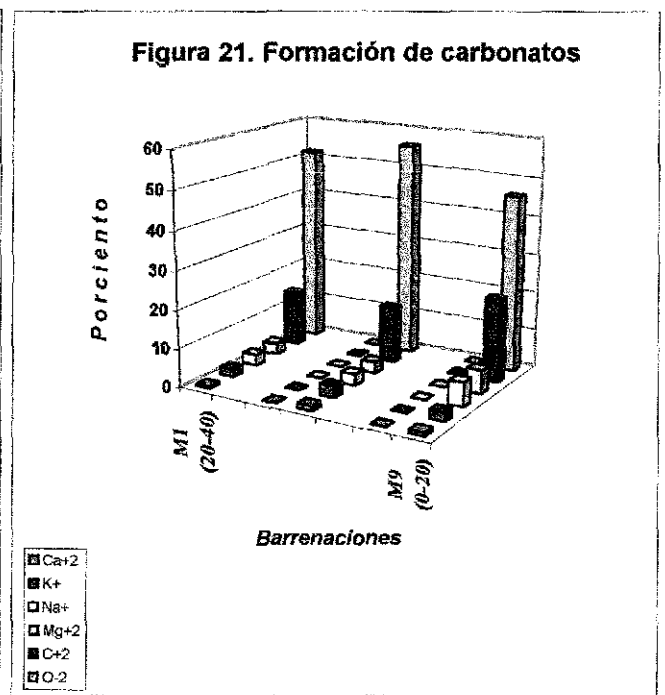


Figura 21. Formación de carbonatos



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Tabla 14. Relaciones elementales, W.R.B., (1998).

No. Muestra	Profundidad	Porcentaje Na ²⁺	Porcentaje Ca ²⁺	Porcentaje Mg ²⁺	Porcentaje K ⁺	Na ⁺ /Ca ²⁺	Ca ²⁺ /Mg ²⁺	Ca ²⁺ +Mg ²⁺ /K ⁺	Na ⁺ +Mg ²⁺ /Ca ²⁺
M1 Nátrico	20-40	0.124	0.014	0.119	0.051	88.57	0.117	2.60	17.35
M2 Nátrico	0-15	0.127	0.022	0.122	0.044	57.72	0.180	3.27	11.31
M3 Nátrico	20-40	0.432	0.021	0.121	0.014	20.57	0.173	10.14	26.33
M4 Albico	30 - 45	0.364	0.002	0.349	0.002	1.82	0.005	175.4	356.5
M5 Albico	0 - 20	0.127	0.029	0.122	0.071	4.38	0.237	2.15	8.580
M6 Albico	20 - 40	0.123	0.020	0.117	0.058	6.15	0.170	2.36	12.00
M7 Albico	0 - 20 costra	0.216	0.031	0.207	0.079	6.96	0.149	3.01	13.64
M8 Sállico	0-20	0.233	0.020	0.268	0.047	11.65	0.074	6.12	25.05
M9 Sállico	0-20	0.269	0.020	0.258	0.055	13.45	0.077	8.32	26.35
M10 Sállico	0-20	0.337	0.032	0.323	0.033	10.53	0.099	10.75	20.62
M11 Sállico	15-30	0.228	0.019	0.196	0.077	12.00	0.096	2.79	22.31
M12 Sállico	45-60	0.187	0.013	0.225	0.041	14.38	0.057	5.80	31.69
M13 Sállico	0-20* maíz	0.260	0.014	0.249	0.038	18.57	0.056	6.92	36.35
M14 Sállico	40-60	0.260	0.014	0.249	0.039	18.57	0.066	6.92	36.35

Tabla 15. Analisis de las muestras por R.B.S.

No. Muestra	Profundidad	Elementos Presentes (%)			
		O ⁻²	C ⁺²	Na ⁺	Mg ⁺²
M1 Nátrico	(20-40)	51.59	14.33	2.86	2.00
M5 Albico	(0-20)	55.89	14.70	2.94	2.94
M9 Sállico	(0-20)	45.85	21.57	6.20	2.16

Cuadro 16. Análisis de elementos pesados determinados por R.B.S.

No. Muestra	Elementos Presentes (ppm)									
	Zn	V	Ti	Cr	Ga	Co	Pb			
M1 Nátrico	20-40	0.28	0	0.17	0.014	0.0028	0			
M2 Nátrico	0-15	0.002	0.058	0.17	0.029	0	0			
M3 Nátrico	20-40	0.087	0.014	0.17	0.002	0.029	0			
M4 Albico	30-45	0.002	0	0	0.002	0	0			
M5 Albico	0-20	1.010	0.025	0.15	0.007	0	0			
M6 Albico	20-40	0.011	0.056	0.17	0.005	0	0			
M7 Albico	0-20 costra	0.031	0.018	0.19	0.031	0	0			
M8 Sállico	0-20	0.002	0.053	0.16	0.016	0	0			
M9 Sállico	0-20	0.016	0.080	0.16	0	0	0			
M10 Sállico	0-20	0.041	0.025	0	0	0	0			
M11 Sállico	15-30	0.005	0.026	0.15	0.002	0	0			
M12 Sállico	45-60	0.027	0.043	0.27	0.016	0	0			
M13 Sállico	0-20 maiz	0.029	0.047	0.17	0.017	0	0			
M14 Sállico	40-60	0.029	0.047	0.17	0.017	0	0			

8.0 CONCLUSIONES.

1. Los análisis realizados mostraron que los suelos estudiados son derivados de material parental aluvial, tipo vulcanoclástico y que se encuentran mezclados con detritos líticos y materiales orgánicos, debido principalmente a los procesos de aluvionamiento acumulación y estratificación presentes durante gran parte del Pleistoceno-Holoceno en esta Cuenca.
2. Por su morfología los suelos estudiados se presentan como una secuencia intergradativa de horizontes que evolucionan desde una capa aluvial (Fluvisol) hasta una compleja horizontalización, que incluye los horizontes A, E, Btn y Cg (Solod).
3. El estudio realizado permitió demostrar la presencia de tres catenas evolutivas en el área, las cuales son:
 - a) Suelos que se desarrollaron sin limitantes físicas ni químicas, en ellos se incluyen Fluvisoles, Cambisoles y Phaeozem.
 - b) Suelos que evolucionaron en un medio confinado pero libre de sales, quedan comprendidos los Vertisoles.
 - c) Suelos confinados en profundidad y drenaje que además reciben adiciones de sales y en ellos quedan incluidos los Solonchak, Solonetz y Solod.
4. Las principales fases físicas y químicas que limitan a estos suelos son:
 - a) Fase sálica, ésta se presenta principalmente en los Solonchak, pero puede presentarse de manera más atenuada en algunos Vertisoles y Cambisoles.
 - b) Fase sódica, es diagnóstica para los suelos Solonetz y Solod, pero se presenta principalmente a nivel de riesgo en las unidades de Vertisoles.
 - c) Fase dénsica, se presenta en todas las unidades de los suelos a diferentes profundidades.

5. El origen de las intergradaciones y de las sales en el área de estudio corresponde con el modelo Fanning y Fanning (1989), denominado topoforma; este modelo considera que el origen y dinámica de las sales en los suelos se debe principalmente a los siguientes factores:
 - a) Geoforma, en este caso se trata de una cuenca endorréica.
 - b) Material parental, el cual contiene sales más solubles que el yeso.
 - c) Drenaje que está limitado en todos los casos por la presencia de un densipán.
 - d) Presencia de capas compactadas.
 - e) Fluctuaciones del manto freático.
 - f) Evapotranspiración, la precipitación anual en esta área resulta menor que la evapotranspiración anual.
6. No se encontraron incongruencias taxonómicas entre las clasificaciones propuestas para los suelos estudiados.
7. Los principales procesos de degradación que se detectaron fueron; salinización, solodización, solonización y degradación física por compactación.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

LITERATURA CITADA.

Agricultural Experiment Stations of Connecticut, 1995. Recommended soil testing procedures for the Northeastern United States; 2nd Edition; Northeastern Regional Publication No. 493 p. 95.

Aguilera H., N., 1959. Suelos. *In*: Los Recursos Naturales del sureste y su aprovechamiento, Beltrán, E. (ed). Publ. Inst. Méx. 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. 222p.

American Society for Testing and Materials, 1970. Procedures for testing soils: Filadelfia, eds. ASTM., 200p.

Andrade, E., J.C., Pineda, 1999. Analysis and modification of materials using electrostatic accelerators at the Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

A.P.H.-W.W.A-W.P.C.F., 1986. Standard methods for the examination water & wester. Amer. Pub. Healt. H.A.L.T.H. Assoc. Wash. D.C. 1300 p.

A.S.P, 1985, Photographic Interpretation Manual: Menasha, Wisconsin, American Society of Photogrammetry, The George Banta publishing Company, 620 p.

Arita, A., 1976. Características de áreas con probabilidades potenciales de ensalitramiento y balance de sales. SRH. Dirección General del Distrito de Riego, Dirección Estadística y Estudios Económicos.

Bassols, B., 1983. Recursos naturales de México. Teoría, Conocimiento y Uso. Ed. Nuestro Tiempo 347 p.

Baver, L. D., 1992. Soil Physics. New York. John Wiley. 280.

Bergama, E., 1990. Aerialphoto-Intepretation foir soil erosion and conservation surveys. part I, soil erosion features: Edschede, Holanda, International Training Center, 220 p.

Bergama. J., 1990. Método fotointepretativo para evaluación del paisaje y sus recursos. Wageninging, Holanda. Universidad Wageninging ITC, 250 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 p.

Birkeland, P. W., 1994. Soils and Geomorphology: Osford University Press, 370 p.

- Black, C. A., D. B., Evans, J. L., White, L. E., Ensminger, F. E., Clark 1966. Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Number 9 in the Series Agronomy: American Society of Agronomy, inc., Publishes Madison, Wisconsin, USA. Pags. 770.
- Walkley, A., Black, I.A., 1975. An examination of the deghtharcff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid trititation method: Soil Science, V. 3, p. 29-38.
- Bouyoucos, G. J., 1955. Directions for making mechanical analysis of soils by the hidrometer method. Soil, Sci. Am. Proc. 42: 225-230.
- Bresler, E., D., Mcneal, I., Carter, 1982. Saline and sodic soils: Principles Dinamics Modeling. Berlin, Springer 236 p.
- Brown, G., G. W., Brindley, 1980. X-ray diffraction procedures for clay mineral identification. In: Brindley, G. W., Brown, G. (Eds.), Crystal Strutures of Clay Minerals and their X-ray Identification. Mineralogical Society, London, pp. 305-359.
- Buckman, O., C., Brady, 1985. Naturaleza y propiedades de los suelos: México, D.F., Ed. UTEHA, 590 p.
- Buol, S. W., F., Hole, R., MaCcraken, 1986. Génesis y clasificación de suelos. Ed. TRILLAS. México. 417 p.
- Canadian System of Soil Classification, 2000. The great groups of soil. Canadá, p 12. <http://quarles.unbc.ca/nres/soc/ggroup/ggroups.html>
- Cavazos, T., O., Rodríguez, 1992. Manual de prácticas de fisica de suelos. Escuela Superior de Agricultura, Hermanos Escobar. Ed. Trillas, México. 99 pp.
- Chapman, H., 1975. Distribución de suelos afectados por sales en el mundo. Ed. TRILLAS. México.
- Comisión Nacional del Agua (CNA), Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), 1989. Manual de clasificación, cartografía e interpretación de los suelos, con base en el sistema de taxonomía de suelos: Modificado para las condiciones de México. Primera versión, IMTA; p. 225.
- Coleman, D., 1989. Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems. Niftal Proje. Depar. Of Agronomy and Soil Science. College of tropical Agriculture and human Resources. University of Hawai. 249 p.

- Departamento del Distrito Federal, (D.D.F.), 1974. Plantas de tratamiento de aguas negras en la Ciudad de México, Departamento del Distrito Federal, Dirección General de Obras Hidráulicas. México. 12 p.
- Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, (D.G.C.O.H.), 1981. Sistema Hidráulico del D.F., y Dirección General de Construcción y Operación Hidráulicas, Departamento del Distrito Federal. México.
- Dirección General de Estudios, (D.G.E.), 1972. Dirección Agrología, Departamento de Estudios Especiales, Secretaria de Recursos Hidráulicos. Instructivo Para la Determinación del Clima de Acuerdo al Segundo Sistema de Thornthwaite.
- Díaz, R. R., S.C., Lozano, V.M., Davila, B., Vallejo, R., Giron, 1998. Physical, chemical and mineralogical properties of Mexico city sediments: a Geotechnical perspective. *Can. Geotech. J.* 35:600-610
- Ezcurra, E., 1991. De las Chinampas a la megalópolis, el medio ambiente en la Cuenca de México. Ed. CIENCIA, Edc. 1er. México. 119 p.
- Fanning, D. S., M.C., Fanning, 1989. Soil morphology, genesis and classification: John Wiley and Sons., 395 p.
- FAO, 1984. (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Prognosis of salinity and alkalinity, Report of an Expert Consultacion, Rome. *Soils Bulletin*, 31.
- FAO, 1996. (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Prognosis of salinity and alkalinity, Report of an Expert Consultacion, Rome. *Soils Bulletin*, 31.
- 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-ISRIC-ISS, 1994. *In*: Spaargaren, O.C. (Ed), World Refence Base for Soil Resources, Food and Agriculture Organization of the United nations Wageningen, FAO, Roma, 161 pp.
- FAO-UNESCO, 1991. Soil Map of the World. Revised Legend: Roma, Food an Agriculture Organization of the United Nations, United Nations Educational, Scientific and Culture Organization, e Internacional Soil Reference and Information Centre, World Soil Resource Report 60, FAO, Roma., 119 p.
- FAO-UNESCO, 1994. Soil Map of the World. Revised Legend: World Soil Resources Report 60, FAO, Roma., 190 p.

- Fassbender, H. W., 1988. Química de suelos: Turrialba, Costa Rica. Inst. Interam. Ciencias Agrícolas de la O.E.A., 398 p.
- Fernando, O. S., 1987. Geología de México Rev. Complementaria para la Carta Geológica escala 1:2000 000. Edt, Instituto De Geología UNAM. 65 p.
- Flores, R. D., M., Alcalá, J. R., V. A., González., C. J.E., Gama, 1994. Duripans *In* semiwarm and temperated subhumid climate in the transmexican Volcanic Belt. --The case of the north of state of Morelos, México: México, D.F., Univ. Nac. Autóm. De México, Instituto de Geología.
- Fournier, F., 1961. Clima et erosion la relation entre lérosion du sol par l'eau et les précipitations atmospheriques: París, Francia, Preses Universitaires de France, 201 p.
- Gama C. J. E., 1996. Los Suelos tropicales de México. I. Génesis, dinámica y degradación. Ph.D. Thesis, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gama C. J. E., G. E., Vallejo, M. S., Palacios, M. K., Shimada, 1992. Degradación de suelos (mapa de la Republica Mexicana): Univ. Nal. Autón. De México. Instituto de Geografía, Atlas nacional de México, hoja Visión Sinóptica de la Problemática de los Suelos, No. V. 2.7, escala 1:4 000 000.
- Gama, C. J. E., R. E., Solleiro, G. E., Vallejo, 2000. Weathered pumice influence on selected alluvial soil properties in west Nayarit, México. Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- García, E., 1965. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condicones de la República Mexicana): México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, 246 p.
- Garrison, S., 1989. The chemistry Of soils. Oxford University Press, New York, Osford. p. 226 p.
- Gedroits, K. K., 1927. Genetic soil classification based on the adsorptive soil complex and adsorbed soil cations. Trans. Form Russian by N. Kaner and edited by Hugo heimann. Israel. Program for Scientific translations Ltd. 1996, printed in Jerusalem and distributed by U.S. Dept. of Commence, Clearinghouse for Scientific and thechnical Informacion, Springfield, VA.
- Gillman, G. P., R. L., Fox, 1980. increases in the cation exchange capacity of variable charge soils following superphosphate applications: Soil Sci. Soc. Amer. J. 44, pp. 934-938.

Gillman, G.P., E.A., Sumpter, 1986. Modificaciones the compulsive exchange method for meassuring exchange characteristics of souils, Aust . J. Soil Res, 24, 61-66.

Goudie. A., 1990. Techiques for desert reclamation. Ed. John Willey y Sons. Ltd. Gran, Britain. p. 109.

Griffin, G., 1995. Recommended soil nitrate-N tests; University of Connecticut; *In* Recommended Soil Testing Procedures for the Nortehastern United States. Regional Publication No. 493. Chapter 4.

Hanz, L., 1991. México Tenochitlan ciudad lacustre. Ed. PORRUA, México. p. 21-35

Holtz, W. G., 1959. Expansive clays-proprietaties and problems: Quarterly of the Colorado School of Mines, Vol. 54., No. 4; pp. 175-225.

ICAMEX-SEDRAGO, 1993. Gobierno del Estado de México. Secretaria de Desarrollo Agropecuario. Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuario, Acuícola y Forestal, Estado de México. Estudio Agrológico Detallado. México. (SI).232 p.

INEGI, 1991. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Síntesis Geográfica del Estado de México.

INEGI, 1994. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Anuarios Estadístico del Estado de México.

INEGI, 1998. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Anuario Estadístico del Estado de México, Gobierno del Estado.

INEGI, 2000. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Anuario Estadístico del Estado de México, Gobierno del Estado.

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 Republica Mexicana, Escala 1:8 000 000; Univ. Nal. Autón. De México-Consejo de Recursos Minerales. (mapa de Provincias).

Jackson, M. L., 1956. 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. (edt.) Soil clay mineralogy. Univ. N. C., Press, Chapel Hill., pp. 245-294.

Jackson, M.L., 1982. Análisis químico de los suelos. Barcelona. Omega. 2ª edición 662p.

- Jiménez, R., 1978. Algunos estudios de los suelos dódico dalinos en el municipio de Abasolo Tamaulipas. Tesis., UNAM. México.
- Johansson, A. E., J. L., Campbell., 1988. Pixe: a novel technique for elemental analysis, John Wiley, Chichester, UK, pp. 229-236.
- Kellogg, C. E., 1934. Morphology and genesis of the solonetz soils of Western North Dakota. *Soil Sci.* 38:483-500.
- Kellogg, C. E., 1936. Development and significance of the great soil groups in the United States. U.S. Dept. Agric. Misc. Pub. 229.
- Kilmer, J., 1949, Eliminación de materia orgánica *in*: Investigación de suelos: México, D. F., Ed. Trillas, 90 p.
- Köppen, W., 1948, Climatología: (Versión directa de Grundriss der Klimatologie (1923) 1931 por Hendrich Pérez) Fondo de Cultura Económica. México-Buenos Aires, pp. 125.
- Kovda, V., FAO/UNESCO, 1973. Irrigacion, drainage and salinity. An International Source book. Ch 6 (155-176).
- Krauskopf, K. B., 1979. Introduction to geochemistry: Tokio, McGraw-Hill, Kogakusha; 617 pp.
- Lara, O., 1988. "El Agua en la Ciudad de México", *Gaceta UNAM.* 45 (15) 20-22.
- León, A., 1992. Nueva edafología. Regiones tropicales y áreas templadas de México. Ed. FONTAMARA. Edc. 2a. México. p. 295.
- Lenz, H., 1991. México Tenochitlan, Ciudad Lacustre, Edt. Porrúa, México. p 21-35.
- Lowe, D. J., 1986. Controls on the rates of weathering and clay mineral genesis in airfall tephras, In: Colman, S.M., Dethier, D.P. (Eds.), Rates of Chemical Weathering of Rocks and Minerals. Academic Press, Orlando, FL, pp 265-330.
- Lugo, H. J., Q.J., Aceves-Quesada, 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.
- Manual the Recommended Soil Testing Procedures for the Northeastern United States, Manual 493, (R.S.T.P.N.U.S.), 1995. Agriculture experiment stations of connecticut, Delaware. Maine, Maryland, Massachusetts, New Hampshire, New Jersey, New york, Pennsylvania, Rhode Island, Vermont and West Virginia. Ed. 2., Northeastern Regional publication No. 493.

- Maxwell, J. A., W.J., Teesdale, J.L., Campbell, 1995. The Guelph pixe software package II. Nucleat Instruments and Methods in Physics Research B 95, Elsevier Science 407-421 p.
- Mcjra, O P., M. L. Jakson, 1960. Iron oxide removal from soils and clays by a dithonite-citrate system buffered with sodioum bicarbonate, in Clays and clay minerals, Nomograph 5, Earth Science Series, p. 317-327.
- Millar, E., M., Turk, D., Foth, 1975. Fundamentos de la ciencia del suelo. Ed. CECSA, Edc. 5a. México. 452 p.
- Millar, E., M., Turk, D., Foth, 1985. Fundamentos de la ciencia del suelo. Ed. CECSA, México. 320 p.
- Mohr, E. C. J., F. A., Van Baren, 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.
- MORC, 1990. Munsell soil color chart: Baltimore, Maryland, Macheth Division of kollmorgen Corporation, 28 p.
- Mosser, F., 1987. "Geología", Garza, g. (Comp), Atlas de la Ciudad de México. D.D.F. y el Colegio de México, Méx. p 23-29.
- Nahon, D., A., Hadrover, J.S., Wiley, Incorporated, 1991. Introductions to the Petrology of Soils, and Chemical Weathering. 125 p.
- Ortega, S., 1987. Geología de México. Rev. Complementaria para la Carta Geológica escala 1:200 000. Ed. Instituto de Geología. UNAM. 65 p.
- Ortiz, O., 1999. Acumulación de iones y desarrollo de halofitas en suelos salinos-sodicos del Ex-Lago de Texcoco, México. Tesis de Doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Osher, L. J., S. W., Boul, 1998. Relationship of soil properties to parent material and landscape position in eastern Madre de Dios, Perú. Geoderma 83, 143-166.
- Palmer, R. G., 1980. Determinación de la permeabilidad, *In*: Investigación de suelos: México, D.F., Edi. TRILLAS, 90 p.
- Papadakis, S., 1980, El Suelo. referencia especial a los suelos de América Latina, Península Ibérica y ex colonias Ibéricas: Buenos Aires, República Argentina, Editorial Albatros; 346 pp.

Peech, M., L. T., Alexander, L. A., Dean., 1947. Methods of soil analysis for soil fertility investigations: U.S. Dept. Agr. C. 757: 25 p.

Recommended Soil Testing Procedures for the northeastern United States, 1985. Manual 493.

Remote Sensing Core Curriculum (RSCC), 1997. Air photo interpretation and photogrammetry. <http://grouchy.geog.ucsb.edu/rscc/vol1/lec2/2index.html>

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, L. A., L., Brown, 1985. Diagnóstico y rehabilitación de suelos Salino y sódicos. manual de Agricultura No. 60: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, de América. 5ª ed. Traducida al español, México, Editorial Cultura 170 p.

Robinson, W., 1961. Estudio científico del suelo, una introducción al estudio del crecimiento de las cosechas. Ed. AGUILAR. Edc. 5a. Madrid. p. 265.

Robinson, W., 1977. Los Suelos, su origen, constitución y clasificación. Introducción a la edafología. Ed. OMEGA. Edc. 2ad. Barcelona. p. 355-366.

Rojas, R., 1985. La Cosecha de agua en la Cuenca de México. Cuadernos de la Casa Chata. Núm. 16. México. 111 p.

Rojas, R., 1993. Agricultura chinampera, copilación histórica. Edc. 2a. Universidad de Chapingo, México. 320 p.

Ross, D., 1995. Recommended Methods for Determining Soil Cation Exchange Capacity; University of Vermont: *In* Agricultural Experiment Stations of Connecticut, 1995, Recommended Soil Testing procedures for the Northeastern United States

Rzedowski, J., 1986. La Vegetación de México: México, D.F., Ed. Limusa., 432 pp.

Sala, C., 1986. La localización de la capital de nueva España, como Problema Científico y Tecnológico, Quipu 3 p. 279-298.

Schlichting, E., H. P., Blume. 1966. Boden Kundliches Praktikum. Ed. Verlag Paul Parey, Hamburgo & Berlín, Alemania.

Smith, G. D., L.M., Arya, J., Stark, 1975. The densipan, a diagnostic horizon of Densiaquults for Soil Taxonomy. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 39 369-370.

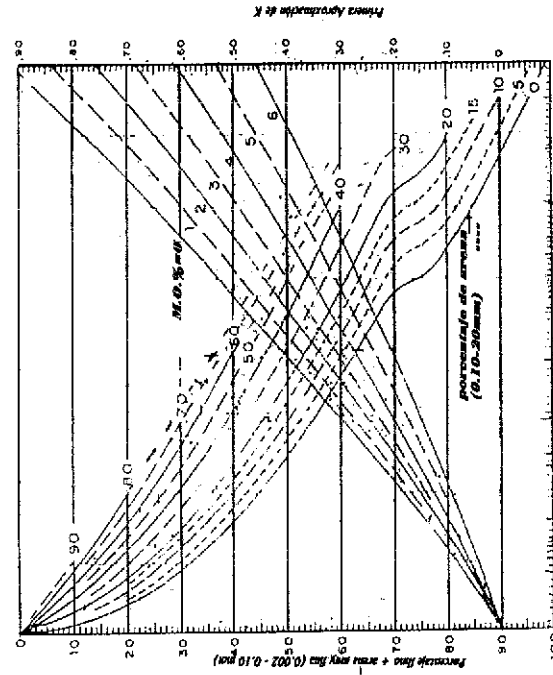
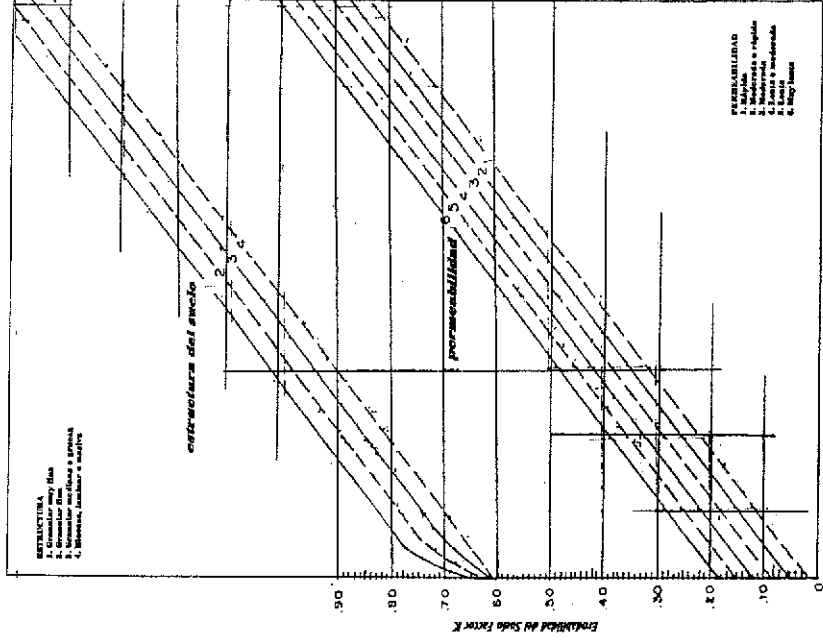
- Soil Conservation Service, 1996. Procedures for collecting soil samples and methods for analysis for soil survey. Soil Survey Investigations Report No. 1 (revised). US Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Washington, DC.
- Soil Taxonomy, 1998. Keys to soil taxonomy USDA . United States Department of Agriculture Natural Conservation Service, Eigth Ed. By Soil Survey Staff.
- Szabolcs, I., 1979. Review of research on salt affected soils. UNESCO. Printed in Francia. 129 p.
- Szabolcs, I. , 1989. Salt affected soil. USA CRC, PRESS. p. 274.
- Seymour, F., F., Balluff, 1989. Soil morfology, genésis and clasificación, EA. Wiley. UAM. 395 p.
- Stewart, A., 1990. Advances in soil science. soil degradation. Ed. SPRINGER VERLAG Volumen II. New York. 224-261 p.
- Tornthwaite, C. W., 1984. An Approach towards rational classification of climate: geographical Review. Vol. 38, 85-94 p.
- USDA-SCS, 1993. Anthrosols, *In*: Van Wambeke, 1993, Soils of the tropics; McGraw Hill, Co., pp. 253-264.
- USDA-SCS, 1996. Manual para el levantamiento de suelos y toma de muestras, Washington D:S. USDA. 625p.
- USDA-SCS, Soil Glossary 1998. Manual para el levantamiento de suelos y toma de muestras, Washington D:S. USDA. 750 p.
- USDA-SCS, 1998. Soil survey manual 18: Washington, D.C., U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service. 520 p.
- USDA-SSS, 1994. Keys to soil taxonomy, 5th Ed., SMSS Technical Monograph No. 19, Pocahontas Press, Blackburg, VA, 422 pp.
- USDA, SSS, 1996. Manual para el levantamiento de suelos y toma de muestras. Manual Técnico 18, Washington D.S. USDA. 385 p.
- USDA-SSS, 1998. Keys to soil taxonomy, 1th Ed., SMSS Technical Monograph No. 19, Pocahontas Press, Blackburg, VA, 422 pp.
- USDA-UNESCO-UIBS, 1989. Handbook of methods: Alabama; U.S. Department Conservation Service, 95 p.

- USDA-USSL, 1996. Soil survey laboratory methods manual. Soil survey investigations report No. 42, U. S. Department of Agriculture, National Resources Conservation Services, National Soil Survey Center.
- U.S.-EPA., 1984. Methods. for chemical analysis of water w. EPA. 16-74000. U.S. Environ. PROT. A. Wash. D.C.
- Vander, H. R.C., 1965. Elemental abalysis by X-ray emission spectrography, in: Methodos of soil anlysis. Momog. 9 2° vol. Amer. Soc. Agrom.; Wisconsing; p. 771-821.
- Van Zuidam, 1979. Terrain Analysis and classification using aerial photographs. ITC. Holanda. 188 p.
- Van Zuidam, R. A., 1990. Terrain analysis and classification using aerial photographs, a geomorphological approach: enschede, Holanda, International Training Ventre, 186 p.
- Velde, B., 1995. Origin and mineralogy of clays: Clays and the Enviroment. 1er edc., Springer-Verlang Berlin Heidelberg New York. 333 p.
- Villalpando, J. L., 1998. La Ciencia del suelo y su importancia en la arqueologia. Tesis de Maestria. Facultad de Ciencias, UNAM. 187 p.
- Villegas, S. M., H.N., Aguilera, D.L., Flores, 1978. Método simplificado de análisis para clasificación granulométrica de los minerales del suelo: Universidad Nacional Asutonoma de México, Instituto de Geología, Revista V.2, p. 188-193.
- Vomocil, L.K., 1966. *In* Christina Siebe, Reinhold Jahn, Karl Stahr. Manual para la descripción y evaluación ecologica de los suelos en el campo: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Publicación Especial 4.
- Walkley. A., 1947. Critical examination for determining organic carbon in soils, effect of variations in digestion conditions and of inorganic soils contituents. Soil Sci. 63: 251-263.
- Weinert, H. H., 1974. A climatic index of wethering and its application in read construction Geotechnique. 24 (4)., p. 478-488.
- Wilding, L. P., Drees, L. R. 1996. Spatial variability and pedology. Pedogenesis and Soil Taxonomy. I. Concepts and Interactions, Elsevier Science Publishers, B. V. Amsterdam pp. 83-116.
- Wischeimer, W. H., 1976. Use and minuse of the universal soil loss equation: Journal of Soil and Water Conservation, v. 31, p. 59.

World Reference Base for Soil Resources, (W.R.B.), 1994. Draft. Wageningen/Roma. Presentado en la reunión internacional de suelos, Acapulco, (1994); 160 p.

World Reference Base for Soil Resources, (W.R.B.), 1998. World Soil Resources Reports 84, Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome.

ANEXOS



MONOGRAMA DE HEDABILIDAD DEL SUELO.
(SISTEMA METRICO)

ELABORADO POR: J. C. GARCIA Y C. GARCIA (1971)

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

HORIZONTE A MOLICO.

Es un horizonte A, que, después de mezclar los 18 cm superficiales como por laboreo, presenta las siguientes propiedades:

1. La estructura del suelo es lo suficientemente fuerte como para que el horizonte no sea a la vez macizo y duro o muy duro cuando se seca. Los prismas muy gruesos (>30 cm de diámetro), se incluyen en el significado de macizo, si no hay estructura secundaria en el interior de los prismas.
2. Las muestras disgregadas y raspadas tienen colores con una intensidad (croma) menor de 3.5 en húmedo, una luminosidad (value) de color más oscura que 3.5 en húmedo y que 5.5, en seco; la luminosidad de color es por lo menos una unidad más oscura que la del horizonte C (tanto en seco como en húmedo) a no ser que el suelo es muy húmedo o derivado de una unidad oscura, en tal caso se renuncia al criterio de contraste en color. Si el horizonte C no está presente, la comparación se debe realizar con el horizonte situado inmediatamente debajo del horizonte A. Si hay más de un 40% de caliza fina, los límites de la luminosidad del color del suelo en seco no se tienen en cuenta, mientras que la luminosidad en húmedo, debe ser entonces igual o inferior a 5.
3. El grado de saturación (por NH_4OAc) es igual o superior al 50% (por el método del acetato amónico).
4. El contenido de carbono orgánico es, como mínimo, de 0.6% en todo el espesor del suelo mezclado, tal como se especifica más abajo. El contenido de carbono orgánico es, por lo menos, del 2.5%, si las exigencias de color no se tienen en cuenta como consecuencia de la existencia de caliza fina. El límite superior del contenido en carbono orgánico del horizonte A mólico es el límite inferior del horizonte H hístico.
5. El espesor es de 10 cm, o más, si descansa directamente sobre roca dura, un horizonte petrocálcio, un horizonte petrogypsico o un duripàn; el espesor del horizonte A debe ser, por lo menos, de 18 cm y superior a 1/3 del espesor del "solum", cuando éste tienen menos de 75 cm, y debe ser superior a 25 cm cuando el solum tienen más de 75 cm de espesor. La medida del espesor de un horizonte A mólico debe incluir el horizonte de transición en los que las características del horizonte A sean predominantes, por ejemplo, AB, AE o AC.
6. El contenido en P_2O_5 , soluble en ácido cítrico al 1% es menor de 250 mg kh de suelo. Se hace esta restricción para eliminar capas labradas de suelos de cultivo muy antiguos o "Kitchen middens". Sin embargo la restricción no se aplica si la cantidad de P_2O_5 soluble en ácido cítrico aumenta por debajo del horizonte A o cuando contiene nódulos de fosfato, como puede ocurrir en materiales de partida con un elevado contenido en fosfatos.

HORIZONTE A OCRICO.

Es un horizonte que tiene un color demasiado claro, una intensidad de color (chroma) demasiado alta, demasiado poco carbono orgánico o es demasiado delgado para ser mólico o úmbrico, o es duro y macizo a la vez cuando se seca. Los materiales finamente estratificados no se consideran como un horizonte A òcrico, como por ejemplo las capas superficiales de depósitos aluviales frescos.

HORIZONTE B ARGICO.

El horizonte B árgico es un horizonte subsuperficial que tienen un contenido en arcilla netamente mayor que el horizonte situado encima. La diferencia estructural puede ser debida a

una acumulación de arcilla iluvial o una destrucción de arcilla en el horizonte superficial o a una erosión superficial selectiva de arcilla, a actividad biológica o a una combinación de dos o más de estos procesos. La sedimentación de materiales superficiales, que son más gruesos que el horizonte subsuperficial puede incrementar una diferenciación textural edafogenética. Sin embargo una mera discontinuidad litológica, tal como puede ocurrir en los depósitos aluviales, no se califica como un horizonte B árgico. Cuando un horizonte B árgico está formado por iluviación de arcilla, las películas de arcilla (argilanes, cutanes de arcilla y arcillas con revestimientos) pueden encontrarse sobre la superficie de las unidades estructurales, en fisuras, en poros y en canales.

Para diagnosticar un horizonte B árgico, éste ha de cumplir los siguientes requerimientos:

1. Tener una textura que sea franco arenoso o más fina que tenga como mínimo un 8 por ciento de arcilla en la fracción tierra fina.
2. Carecer del conjunto de propiedades que caracterizan a los horizontes B ferrálicos.
3. Contener más arcilla total que un horizonte de textura más gruesa situado encima (excluyendo sólo las diferencias que resultan de una discontinuidad litológica).
 - a) Si el horizonte situado encima tiene menos de un 15% de arcilla total en la fracción tierra fina, el horizonte B árgico debe tener como mínimo un 3% más de arcilla (por ejemplo 17% frente a 14%).
 - b) Si el horizonte situado encima tienen 15% como mínimo y menos del 40% de arcilla total en la fracción tierra fina, la relación de la arcilla, en el horizonte B árgico, a la del horizonte situado encima debe ser de 1.2% o mayor (por ejemplo 36% frente 30%).
 - c) Si el horizonte situado encima tiene 40% como mínimo de arcilla total en la fracción tierra fina, el horizonte B árgico debe contener como mínimo un 8% más de arcilla (por ejemplo 50% frente 42%).
4. Si como mínimo, alguna parte del horizonte B árgico muestra películas de arcilla en un mínimo del 1% de las superficies de los agregados o poros, o muestra arcilla orientada en un mínimo del 1% de la sección transversal, el incremento en el contenido de arcilla debe alcanzar en una distancia vertical de 30 cm. Si se observa que menos de 1% o que no existen películas de arcilla o arcilla orientada, el incremento en el contenido de arcilla debe alcanzarse dentro de una distancia vertical de 15 cm.
5. El horizonte B árgico deberá tener como mínimo un décimo del espesor de la suma de todos los horizontes situados encima y debe ser por lo menos 7.5 cm de espesor. Si el horizonte B árgico está compuesto en toda su totalidad de lamelas, estas deberían tener un espesor combinado de 15 cm como mínimo.
6. Si no hay evidencias de una película de arcilla o compuestos de arcilla el horizonte de textura más gruesa que se superpone al horizonte B árgico, debe ser como mínimo de 18 cm de espesor después de mezclado, o de 5 cm, si la transición textural del horizonte B árgico es brusca. Si el horizonte sobrepuesto de textura gruesa ha sido erosionado o si hay una discontinuidad litológica encima o dentro del horizonte árgico B, o si solo la capa arable se sobrepone al horizonte árgico B, hay evidencia de películas de arcilla o arcilla orientada en por lo menos algunos subhorizontes del horizonte árgico B.
7. Faltan las características estructurales y de saturación en sodio del horizonte B nátrico.

La definición anterior es un intento para superar las dificultades experimentadas con la aplicación en el campo de los primitivos horizontes B argílicos y para tener en cuenta como un rasgo de diagnóstico la diferenciación textural neta, incluso cuando las películas de arcilla no pueden ser identificadas. Por otro lado, la acumulación de arcilla que puede ocurrir en los

Ferralsoles es excluida del horizonte B árgico teniendo en cuenta sus bajos valores en CCC, en arcilla dispersable en agua y en la relación limo/arcilla.

Se reconoce que las implicaciones de esta definición deberán ser comprobadas en el campo y que pueden ser necesarios ajustes posteriores. Los nuevos elementos de esta definición son: el límite textural, de franco arenoso a más fino y el límite más bajo para el contenido de arcilla (también adoptado para los horizontes B cámbico y ferrálico). De esta forma los suelos de textura más gruesa se agrupan en los Arenosoles (con una diferenciación entre las unidades lúvicas, cámbicas y ferrálicas) y otros suelos con muy bajo contenido en arcilla se incluyen en los Regosoles, que tienen una separación lógica tanto desde el punto de vista geográfico como de uso.

HORIZONTE B NATRICO.

El horizonte B nátrico tienen las propiedades 1 a 6 del horizonte B árgico, tal como se describieron anteriormente. Tiene además.

1. Una estructura columnar o prismática, en alguna parte del horizonte B, o una estructura en bloques, con lenguas de un horizonte eluvial, en el que hay granos de arena o limo, no recubiertos, que penetran más de 2.5 cm dentro del horizonte.
2. Una saturación con sodio de cambio mayor del 15% en los 40 cm superiores del horizonte; o más $Mg + Na$ de cambio que $Ca +$ acidez de cambio (a pH 8.9, en los 40 cm superiores del horizonte), si la saturación con Na de cambio es superior al 15% en algún subhorizonte dentro de una profundidad de 200 cm a partir de la superficie.

HORIZONTE B CAMBICO.

Es un horizonte de alteración que carece de las propiedades que satisfacen las exigencias de un horizonte B árgico, nátrico o espódico; no presenta colores oscuros, ni el contenido en materia orgánica y la estructura del horizonte H hístico, o de los horizontes A mólico y úmbrico; presentan las propiedades siguientes:

1. Una textura franco arenosa o más fina y, como mínimo, un 8% de arcilla en la fracción tierra fina.
2. Tienen como mínimo 15 cm de espesor, con su base 25 cm como mínimo por debajo de la superficie del suelo.
3. La estructura del suelo es, al menos, moderadamente desarrollada o no tienen estructura de roca en la mitad, como mínimo del volumen del horizonte.
4. Una capacidad de cambio de cationes de más de $16\text{cmol}(+) \text{Kg}^{-1}$ de arcilla, o un contenido igual o superior al 10% en minerales alterables en la fracción de 50 – 200 μm .
5. Evidencia de alteración en una de las formas siguientes:
 - a) Una intensidad (chroma) de color más fuerte o un matiz (huc) más rojo o un mayor contenido en arcilla que el horizonte subyacente.
 - b) Evidencia de eliminación de carbonatos, reflejada particularmente por un contenido de más bajo en carbonatos que el horizonte subyacente, de acumulación de carbonato cálcico; si todos los fragmentos gruesos de este horizonte están totalmente recubiertos por caliza, una cierta proporción de ellos, en el horizonte cámbico, debe estar libre de revestimientos; si los fragmentos gruesos en el horizonte que presenta acumulación de carbonato cálcico, están recubiertos sólo en la parte inferior, los del horizonte cámbico estarán libres de recubrimientos

- c) Si no existen carbonatos en el material de partida ni en el polvo que cae sobre el suelo, la evidencia de alteración necesaria queda satisfecha por la presencia de estructura del suelo y ausencia de estructura de la roca en más del 50% del horizonte.
6. No existe cementación, endurecimiento o consistencia quebradiza, en húmedo.

HORIZONTE E ALBICO.

Es un horizonte en el que la arcilla y los óxidos de hierro libres han sido eliminados o en el que los óxidos han sido segregados hasta el punto de que el color del horizonte viene determinado por el color de las partículas primarias de arena y limo, más que por los revestimientos sobre estas partículas.

El valor de color de un horizonte E álbico es igual o mayor de 4 en húmedo o mayor o igual a 5 en seco o cumple ambas condiciones a la vez. Si la pureza de color es de 7 o más en seco o de 6 o más en húmedo, la pureza de color es de 5 o 6 en seco o de 4 o 5 en húmedo la intensidad debe estar más cerca de 2 que de 3 tanto en seco como en húmedo. Si los materiales de partida tienen un matiz (hue) de 5YR o más rojo, se permite en el horizonte E álbico una intensidad de 3, en húmedo; esta intensidad se debe al color de los granos de arena o limo, sin revestimientos.

CALCAREO.

El término "calcáreo" se aplica a materiales edáficos que presentan fuerte efervescencia con HCL al 10% en la mayor parte de la tierra fina o que contienen más del 2% de carbonato cálcico equivalente.

CALCARICO.

El término "calcárico" se refiere a suelos que son calcáreos en la profundidad de 20 a 50 cm.



CAMBIO TEXTURAL BRUSCO.

Un cambio textural brusco es un aumento de arcilla entre dos capas, que tiene lugar en una distancia menor de 5 cm y en el que la capa inferior presenta las siguientes características:

1. Un contenido de arcilla que, como mínimo, es el doble que la cantidad de arcilla de la capa situada encima, si esta tiene menos del 20% de arcilla (por ejemplo 34% frente a 17%); y
2. Un incremento absoluto de arcilla del 20%, como mínimo, sobre la cantidad de arcilla de la capa situada encima si esta última tiene un 20 % de arcilla más (por ejemplo 50% frente a 30%).

INTERPENETRACION.

Consiste en la penetración de un horizonte E álbico dentro de un horizonte B árgico o nátrico subyacente, a lo largo de las caras de los agregados, principalmente las caras verticales. Las penetraciones no son suficientemente anchas para constituir lenguas, pero tornan esqueletanes continuos (revestimientos de los agregados por limos o arenas limpias, de más de 1 mm de espesor sobre las caras verticales de los agregados). Se exige un espesor total de más de 2 mm, si cada agregado tiene un revestimiento de más de 1 mm. Debido a que el cuarzo es un constituyente muy común de los suelos, los esqueletanes, normalmente, son blancos, cuando

están secos, y gris claro, en húmedo, pero su color vienen determinado por el color de la fracción arena o limo. Los esqueletanos constituyen más del 15% del volumen de cualquier subhorizonte en el cual se reconozca la interpenetración. Los esqueletanos son también lo suficientemente anchos como para que sean reconocibles por su color, incluso en húmedo. Los esqueletanos más delgados, que deben estar secos para que se vean como un polvo blanquecino sobre un agregado, no se consideran como interpenetraciones.

MINERALES ALTERABLES.

Los minerales que se incluyen en el significado de minerales alterables son aquellos que son inestables en un clima húmedo, respecto a otros minerales, tales como cuarzo y arcillas de tipo 1:1 y que, cuando se alteran, liberan nutrientes para las plantas y hierro o aluminio. Incluyen:

1. Minerales de la arcilla: todas las arcillas de tipo 2:1, excepto clorita aluminica interestratificada. La sepiolita, el talco y la glauconita, están también incluidas en el significado de este grupo de minerales de la arcilla alterables, aunque no son siempre del tamaño de la arcilla.
2. Minerales de tamaño limo y arena (0.002 a 0.2 mm de diámetro): fedespatos, fedespatoideos, minerales ferromagnesianos, vidrios, micas y zeolitas.

PROPIEDADES FLUVICAS.

El término “propiedades flúvicas” se refiere a los sedimentos fluviales, marinos y lacustres que reciben materiales frescos a intervalos regulares, o que los ha recibido en un período reciente, y que, tienen una, o ambas, de las propiedades siguientes:

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. Los estratos delgados de arenas pueden tener menos carbono orgánico si los sedimentos situados debajo, más finos, con exclusión de los horizontes enterrados, cumplen los requisitos.
2. Extratificación en al menos el 25% del volumen del suelo dentro de una profundidad de 125 cm a partir de la superficie.

PROPIEDADES GLEICAS Y ESTAGNICAS.

Los términos “propiedades gléicas y estágnicas” 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 oxidación o de reducción y segregación de hierro.

1. La reducción se pone de manifiesto por una o más de las siguientes características:
 - a) un valor de $rH = Eh (mV)/29 + 2pH < - 19$;
 - b) la aparición de un sólido color azul oscuro sobre una superficie de ruptura reciente de una muestra de suelo saturado en agua, después de haberla tratado con un spray de una solución acuosa de cianuro férrico potásico, $K_3Fe(III)(CN)_6$ al 1%.
1. Las propiedades gléicas relacionadas con la saturación por agua procedente de una capa freática se reflejan en por lo menos dos de las formas siguientes:
 - a) Condiciones de reducción tal como se definieron en 1 para una parte del año o para todo el año.

- b) en un tubo de acceso no revestido, el nivel de agua freática se encuentra a una profundidad tal que el frente capilar alcanza la superficie del suelo; el agua en el tubo se estanca y permanece coloreada cuando se le añade una sustancia de tinción;
 - c) colores blanco a negro (N), o azul a verde (Vam, AV, V o A) en más del 95% de la matriz del suelo; cuando existen moteados oxidados de alta intensidad de color, se presentan sobre las caras de los agregados o en los canales de raíces o animales.
1. Las propiedades estagnicas relacionadas con la saturación por agua superficial, se reflejan dentro de los primeros 50 cm del suelo, por lo siguiente:
 - a) Reducción tal como se define en 1 durante una parte del año.
 - b) Si existe moteado, aparece una intensidad de color (chroma) dominante en húmedo de 2 o menos sobre la superficie de los agregados y moteados de intensidad más elevada en su interior, o una intensidad dominante en húmedo, de 2 o menos en 1 matriz del suelo y moteados de mayor intensidad o concreciones ferromangánicas, o ambas cosas, en el interior del material edáfico.
 - c) Si no existe moteado, se tiene una intensidad dominante en húmedo de 1 o menos sobre las superficies de los agregados o en la matriz del suelo.
 - d) La intensidad dominante en húmedo sobre la superficie de los agregados y la matriz del suelo aumenta con la profundidad.
 4. Las exigencias de color anteriores no se aplican en aquellos suelos en los que el contenido en óxidos de hierro es muy bajo, o estos están presentes en tan grandes cantidades o son inertes o está tan bien cristalizados, que permanecen pardos o rojos incluso en condiciones reductoras. En los podsoles la ausencia de óxidos de hierro sobre los granos de arena y limo en el material propio del horizonte B espódico o inmediatamente debajo de él, refleja propiedades gléicas o estagnicas. Esto puede comprobarse por calcinación de una muestra; se vuelve grisácea, indica la ausencia de revestimientos de óxidos de hierro. En otros casos, especialmente en suelos con un alto contenido de óxidos de hierro, cuyo color no cambia claramente en condiciones de Eh y pH, los límites que indican reducción ya se dieron anteriormente. Puede también ser necesario aplicar este procedimiento a los Vertisoles, para los cuales todavía no se ha establecido una relación entre las condiciones reductoras que pueden presentarse en estos suelos y los tipos de color.

En la presente leyenda, los suelos que están influenciados por una capa freática a poca profundidad se clasifican en el primer nivel como Gleysoles o Fluvisoles. La influencia de la capa freática es dominante en los Gleysoles, y estos no tienen otros horizontes de diagnóstico más que un horizonte A o H, o un horizonte cálcico, sulfúrico, cámbico o gypico. Los suelos que manifiestan influencia de la capa freática a mayor profundidad constituyen las unidades "gléicas" del segundo nivel.

Los suelos que están influenciados por el estancamiento de agua superficial, se clasifican en el primer nivel como Planosoles o Plintosoles, o en el segundo nivel como unidades "estagnicas", la mayoría de los Vertisoles están sujetos a estancamiento superficial de agua en algún período del año. Sin embargo, no se ha distinguido ningún Vertisol estagnico por la ausencia de una información precisa sobre la incidencia, duración y localización de la reducción en estos suelo. Además, no se ha establecido una relación entre reducción y criterios visuales.

Los suelos que están sujetos a inundación o muestran reducción como resultado del riego, se identifican por las fases "inúndica" y "anátráica", respectivamente.

PROPIEDADES SALICAS.

El término “propiedades sálicas” se refiere a una conductividad eléctrica del extracto saturado mayor de 15 dS m^{-1} a 25°C en alguna época del año, dentro de una profundidad de 30 cm a partir de la superficie o mayor de 4 dS m^{-1} en una profundidad de 30 cm a partir de la superficie si el pH es superior a 8.5.

PROPIEDADES SODICAS.

El término “propiedades sodicas” se refiere a una saturación en el complejo de cambio del 15%, como mínimo, de sodio de cambio o de 50%, o más de sodio más magnesio de cambio.

PROPIEDADES VERTICAS.

El término “propiedades verticas” se usa en relación con suelos arcillosos que, en alguna época de la mayoría de los años, muestran uno o más de los siguientes rasgos: fisuras, slickensides, agregados estructurales paralelepípedicos en forma de cuña, que no están combinados o no son suficientemente netos para calificar los suelos como Vertisoles.

FASE FREÁTICA.

La “fase freática” se refiere a la presencia de una capa freática dentro de una profundidad de 5 m a partir de la superficie. La presencia de esta capa freática no se refleja en la morfología del suelo; por lo tanto, la fase freática no aparece, por ejemplo, en Fluvisoles o Gelysoles. Su presencia tiene importancia, especialmente en áreas áridas, donde, el regar, debe tenerse especial cuidado con el uso del agua efectiva y con el drenaje para evitar su salinización por efecto de la elevación de la capa freática.

FASE INUNDICA.

La fase inúndica se usa cuando se presenta agua estática o en movimiento sobre la superficie del suelo durante más de 10 días, en el período de crecimiento de los cultivos.

FASE SALICA.

La fase sálica indica suelos que, en algún horizonte, dentro de una profundidad de 100cm a partir de la superficie, muestran valores de la conductividad eléctrica del extracto saturado, mayores de 4 dS m^{-1} a 25°C . La fase sálica no se indica para los Solonchak, puesto que su definición implica ya un elevado contenido en sales. La salinidad en un suelo puede variar estacionalmente o puede fluctuar, como consecuencia de las prácticas de riego.

Aunque la fase sálica indica una salinización actual o potencial, se ha comprobado que las consecuencias de la salinidad varían mucho con el tipo de sales presentes, la permeabilidad del suelo, las condiciones climáticas y las especies cultivadas. Para mapas más detallados que el Mapa Mundial de Suelos será necesario realizar una subdivisión del grado de salinidad.

FASE SODICA.

La fase sódica indica suelos que tienen más del 6% de saturación con sodio de cambio en algún horizonte, dentro de una profundidad de 100 cm a partir de la superficie. La fase sódica no se indica para las unidades de suelos que tienen un horizonte B nátrico o que tienen propiedades sódicas, puesto que su definición implica ya un alto porcentaje de saturación en sodio.

GLOSARIO DE TERMINOS

- Acumulación: Adiciones eólicas e hidrológicas de partículas minerales a la superficie del solum del suelo.
- Argiloturbación: Mezcla de materiales de los suelos por los movimientos de desperdicios de masas de arcillas dilatables.
- Cambisol: Suelo que inicia el desarrollo de un horizonte B de alteración
- Edafoturbación: Es el proceso de mezclas en el suelo, por fauna (mezcla del suelo por animales tales como hormigas, lombrices de tierra, topes, roedores, y mezcla hecha por las plantas, en montículos y huecos).
- Eluviación: Movimiento de materiales de salida de una porción del suelo, como en los horizontes álbicos.
- Enriquecimiento: Término general para la adición de materiales.
- Fluvisol: Suelo de origen aluvial constituido por capas. Haploidización: Homogenización de capas.
- Horizonte Bss. Característico de vertisoles que presenta el mayor porcentaje de facetas de fricción-preción.
- Horizonte Umbrico: Característico de suelos ácidos con un porcentaje de bases inferior al 50%.
- Humificación: Etapa del proceso de descomposición de la materia orgánica.
- Horizonte Umbrico: Característico de suelos ácidos con un porcentaje de bases inferior al 50%.
- Iluviación: Entrada de materiales a una porción del perfil de suelos, como en un horizonte espódico o arcilloso
- Lavado: La migración mecánica de pequeñas partículas minerales del horizonte A al B de un suelo, produciendo en los horizontes B un enriquecimiento relativo de arcilla (horizontes arcillosos).
- Lixiviación: Término general para el deslave o la eluviación de materiales solubles del solum.
- Melanización: El oscurecimiento de los materiales iniciales y no consolidados, de color pálido, mediante la mezcla de materia orgánica (como en los horizontes mólicos, úmbricos o aluminicos oscuros).

- Mineralización: La liberación de óxidos sólidos mediante la descomposición de materia orgánica.
- Salinización: La acumulación de sales solubles, tales como sulfatos y cloruros de calcio, magnesio, sodio y potasio en horizontes sálicos.
- Slickensides: Superficies de un ped acanaladas y lustrosas, resultado de movimientos de una masa de suelo con otra, en forma de cuña o los agregados se muestran en una estructura paralipédica, que son elementos estructurales con uno o más lados con un ángulo de $>45^\circ$.
- Solod: Último estadio en el proceso de salinización, solonización y solodización propuesto por Gedroits, (1927).
- Solonchak. Es un suelo que de acuerdo con W.R.B. (1994), se define como un suelo que contiene apreciables cantidades de sales más solubles que el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$: $\log K_s 4.85$ °C) y pueden presentar un horizonte sálico* dentro de los 50 cm de la superficie del suelo y no tienen otro horizonte de diagnóstico que un hístico, un mólico, un ocrico, un cambico, un gypico un horizonte cálcico.
- Solonetz: Es un suelo que de acuerdo W.R.B. (1994), se define como un suelo que presenta un drenaje deficiente, un horizonte inferior afectado por sales, o el material parental de textura fina, muestra clara diferenciación de arcilla en la forma de una capa iluvial con una estructura típica columnar o prismática y un alto contenido de sodio y/o magnesio.
- Sales más solubles que el yeso: El valor de la solubilidad del yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) es de $\log K_s -4.85$ a $T. 25^\circ\text{C}$.
- Vertisol: Suelo arcilloso expansible rico en minerales de naturaleza motmorillonítica.