



**Universidad de Guadalajara**

**FACULTAD DE AGRONOMIA**

“ ESTUDIO AGROLOGICO ESPECIAL DE LOS  
MODULOS AGROPECUARIOS DE TLAHUAC,  
DISTRITO FEDERAL.

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO AGRONOMO**

**P R E S E N T A :**

Jacinto Guzmán Muñiz

Guadalajara, Jal.

1992



LA PRESENTE TESIS  
SE IMPRIMIO CON EL APOYO  
DE LA COMISION NACIONAL DEL AGUA



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

SECCION ESCOLARIDAD  
EXPEDIENTE \_\_\_\_\_  
NUMERO 0589/92

30 de Julio de 1992.

C. PROFESORES.

M.C. JESUS N. MARTIN DEL CAMPO M. DIRECTOR  
M.C. JESUS HERNANDEZ ALONSO, ASESOR  
M.C. AGUSTIN GALLEGOS RODRIGUEZ, ASESOR

Con toda atención me permito hacer de su conocimiento, que habiendo sido aprobado el Tema de Tesis:

" ESTUDIO AGROLOGICO ESPECIAL DE LOS MODULOS AGROPECUARIOS DE TLAHUAC, "D.F." "

presentado por el (los) PASANTE (ES) JACINTO QUIZAN NUNTZ

han sido ustedes designados Director y Asesores, respectivamente, para el desarrollo de la misma.

Ruego a ustedes se sirvan hacer del conocimiento de esta Dirección su dictamen en la revisión de la mencionada Tesis. Entre tanto me es grato reiterarles las seguridades de mi atenta y distinguida consideración.

ATENTAMENTE  
" PIENSA Y TRABAJA  
" AÑO DEL BICENTENARIO  
EL SECRETARIO

  
H.C. SALVADOR PEÑA NUNGUITA

Aut<sup>o</sup>

LAS ACUJAS,  
MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO



**UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA**

Sección ESCOLARIDAD

Expediente .....

Número 0589/92

30 de Julio de 1992.

ING. JOSE ANTONIO SANDOVAL MADRIGAL  
 DIRECTOR DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA  
 DE LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA  
 PRESENTE

Habiendo sido revisada la Tesis del (los) Pasante (es)

TACINTO, GUZMAN MIRIZ

titulada:

" ESTUDIO AGROLOGICO ESPECIAL DE LOS MODULOS AGROPECUARIOS DE  
 TLAHUAC, D.F."

Damos nuestra Aprobación para la Impresión de la misma.

DIRECTOR

M.C. JESUS N. MARTIN DEL CAMPO M.  
 ASESOR

ASESOR

M.C. JESUS HERNANDEZ ALONSO

M.C. AGUSTIN GALLEGOS RODRIGUEZ

srd'

Al contestar esta. Favor citar fecha y número

## AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Agronomía de la Universidad de Guadalajara.

Al C. M.C. Jesús N. Martín del Campo M. por sus orientaciones y sugerencias, en el desarrollo del presente trabajo.

A los C.C. M.C. Jesús Hernández Alonso y Agustín Gallegos Rodríguez, por su valiosa participación en la revisión y corrección del presente trabajo.

A todas aquellas personas; que de una manera u otra colaboraron en la realización del presente trabajo.

## DEDICATORIA

A mi madre; por su esfuerzo y abnegación.

A mi esposa; por su amor y comprensión.

A mis hermanos: Ricarda, Jerónimo, Emilia, Wenceslao, Gregoria y Silvia, por su apoyo y comprensión en los momentos difíciles.

A la memoria de mi padre Emilio y de mi hermana Alicia.

# C O N T E N I D O

	Pág.
INDICE DE TABLAS .....	iii
RESUMEN .....	iv
1.- INTRODUCCION .....	1
2.- REVISION DE LITERATURA .....	2
2.1. Clasificación taxonómica de suelos .....	2
2.2. Clasificación interpretativa de tierras .....	3
2.3. Densidad aparente .....	4
2.4. Velocidad de infiltración básica de los suelos ...	5
2.5. Conductividad hidráulica .....	10
2.6. Clasificación de aguas con fines de riego .....	12
2.6.1. Sistema del U.S. Salinity Laboratory de Riverside .....	13
2.6.2. Clasificación de Palacios y Aceves (1970) ..	13
3.- MATERIALES Y METODOS .....	16
3.1. Localización del área .....	16
3.1.1. Superficie y límites .....	16
3.1.2. Situación geográfica y política .....	16
3.1.3. Vías de comunicación .....	16
3.2. Recursos físicos del área .....	16
3.2.1. Geología superficial .....	16
3.2.2. Geomorfología .....	18
3.2.3. Clima .....	18
3.2.4. Hidrología .....	20
3.3. Equipo y método de trabajo .....	21
3.3.1. Equipo .....	21
3.3.2. Método de trabajo .....	22
3.3.2.1. Clasificación taxonómica .....	22
3.3.2.2. Clasificación interpretativa .....	23
3.3.2.3. Densidad aparente .....	27

3.3.2.4. Velocidad de infiltración de los suelos .....	28
3.3.2.5. Conductividad hidráulica .....	33
3.3.2.6. Clasificación de aguas con Fines de Riego.....	34
3.3.2.7. Clasificación de aguas por boro .....	36
3.3.2.8. Clasificación de aguas por bicarbonatos .....	36
4. RESULTADOS Y DISCUSION .....	38
4.1. Clasificación taxonómica .....	38
4.1.1. Descripción general de los suelos .....	38
4.1.2. Descripción de las series y fases de suelos	39
4.1.2.1. Serie Xico .....	39
4.1.2.2. Serie Zula .....	42
4.1.3. Superficies de series y fases de suelos ...	51
4.2. Clasificación interpretativa .....	51
4.2.1. Superficies por clase y subclase de tierras .....	52
4.3. Densidad aparente .....	56
4.4. Velocidad de infiltración básica .....	56
4.5. Conductividad hidráulica .....	57
4.6. Clasificación de aguas para riego .....	57
4.7. Clasificación de aguas por boro .....	59
4.8. Clasificación de aguas por bicarbonatos .....	59
5. CONCLUSIONES .....	61
6. RECOMENDACIONES .....	62
BIBLIOGRAFIA .....	63



## INDICE DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1.- DU BASRHONE ET ON LANGUE DOC (FRANCIA) .....	7
TABLA 2.- SPRINKLER IRRIGATION ASSOCIATION (EUR) .....	7
TABLA 3.- RAIN BIRD (EUR) .....	7
TABLA 4.- VELOCIDAD DE INFILTRACION DE LOS SUELOS O'NEAL Y UHLAN .....	7
TABLA 5.- CLASE HIDROLOGICA DE MUSGRAVE Y HOLTAN (1955).....	8
TABLA 6.- VELOCIDAD DE INFILTRACION DE AGUA CON RELACION A LAS CLASES DE TIERRAS. BUREAU OF RECLAMATION (1950) .....	8
TABLA 7.- REGIMEN DE VELOCIDAD DE INFILTRACION (CUBA) .....	8
TABLA 8.- CRITERIOS E INDICES DE CLASIFICACION DEL AGUA DE RIEGO .....	14
TABLA 9.- DATOS HIDROMETRICOS DEL RIO AMECA, ESTACION SAN LUIS AMECA .....	20
TABLA 10.- LIMITES PERMISIBLES DE BORO PARA AGUAS DE RIEGO .....	36
TABLA 11.- SUPERFICIES DE SERIES Y FASES DE SUELOS .....	51
TABLA 12.- SUPERFICIES DE CLASES Y SUBCLASES DE SUELOS .....	52
TABLA 13.- DENSIDAD APARENTE DE LOS SUELOS .....	57
TABLA 14.- VELOCIDAD DE INFILTRACION DE LOS SUELOS .....	57
TABLA 15.- CLASIFICACION DE AGUAS CON FINES DE RIEGO .....	60

## RESUMEN

Las tierras agrícolas localizadas entre Tláhuac y Xochimilco, presentan graves problemas por sales solubles y manto freático elevado, ocasionando el abandono de las tierras para su explotación agrícola. Lo anterior dio lugar al presente trabajo cuyos objetivos principales son determinar si las características físicas, químicas e hidrodinámicas de los suelos son adecuadas para la instalación de tres módulos agropecuarios y determinar las prácticas agrícolas más adecuadas para su mejor uso, manejo y conservación de las tierras, y aplicar estas experiencias en regiones con problemáticas similares.

Para lograr lo anterior, se abrieron 17 pozos agrológicos en donde se delimitaron 76 horizontes de suelos los cuales se describieron de acuerdo al "Instructivo Para La Descripción de Perfiles de Suelos" editado por la subdirección de agrología. Se realizó la Clasificación Taxonómica de los Suelos de acuerdo a las Unidades de Suelos de la FAO/UNESCO, delimitándose 2 series de suelos: la serie Xico con una superficie de 238 ha, cuyos suelos se clasificaron como Histosoles y la serie Zula con 112.3 ha los cuales se clasificaron como Regosoles.

La clasificación interpretativa con fines de riego se hizo de acuerdo al Bureau of Reclamation, delimitándose 127.3 ha como clase 2; 171.1 ha como clase 3; 47.9 ha como clase 4 y 3.75 ha como cuerpo de agua. Los principales factores limitantes son: Salinidad (A1), Manto freático (D2), Textura (S1), Permeabilidad (S3), Relieve (T2) y Sodicidad (A2).

Se determinó la densidad aparente en campo mediante el método del pozo, obteniéndose valores que variaron de 0.59 a 0.73 gr/ml para los suelos de la serie Xico y de 0.95 a 1.22 gr/ml para los suelos de la serie Zula.

Se realizaron 11 pruebas de campo para determinar la velocidad de infiltración de los suelos por el método del infiltrómetro de doble cilindro; los resultados obtenidos fueron de 2.2 a 19.8 cm/hora para los suelos de la serie Xico y de 2.5 a 8.2 cm/hora para los suelos de la serie Zula. Estos resultados se clasificaron de acuerdo a los parámetros de O'Neal y Uhlend resultando de moderada a muy rápida los primeros y de moderada a rápida los segundos.

Se llevaron a cabo 7 pruebas de campo para determinar la conductividad hidráulica de los suelos por el método de la barrena, obteniéndose valores de 1.3 a 4.3 m/día los cuales se clasificaron como moderados a muy rápidos de acuerdo a los parámetros de O'Neal y Uhlend.

Se tomaron un total de 18 muestras de aguas de diferente fuentes para su análisis físico y químico en laboratorio los cuales se clasificaron de acuerdo al Laboratorio de Riverside,

Cal. Las clase encontradas son: C2 S1 para el pozo profundo de San Juan Ixtayopan; C3 S1 para las aguas tratadas; de C3 S1 a C4 S2 para las aguas de los drenes y de C4 a S4 para las aguas de los mantos freáticos.

El principal problema de los suelos es su alto contenido de sales solubles, así como su elevado nivel en el manto freático.

De la superficie estudiada solamente el 31.7 % es susceptible de continuar cultivándose al mismo tiempo que se ejecuten prácticas de recuperación.

Para el 67.2 % restante será necesario efectuar estudios a más detalle como pudieran ser de drenaje, salinidad y de freatrimería, que nos permitan determinar las prácticas más adecuadas para incorporar al cultivo dichas áreas.

Se delimitaron dos series de suelos, la serie Xico que comprende un total de 238 ha y la serie Zula que abarca 112.3 ha.

Se encontraron 3 clases de suelos, 127.2 ha como clase 2, 171.1 ha como clase 3 y 47.9 ha como clase 4.

La velocidad de infiltración de los suelos varía de 2.2 a 19.8 cm/hora en los suelos de la serie Xico y de 2.5 a 8.2 en los suelos de la serie Zula.

La conductividad hidráulica varía de 1.3 a 4.3 m/día.

La mayor parte de las aguas analizadas son inútiles para uso agrícola a excepción de las pozo profundo de San Juan Ixtayopan.

## 1. INTRODUCCION

Las tierras agrícolas que se encuentran en la zona de Tláhuac- Xochimilco suman alrededor de 6500 ha, de las cuales cerca del 80 % presentan problemas por altos contenidos de sales solubles y en menor escala por mantos freáticos elevados SARH(1948). Lo anterior, ha ocasionado el abandono de tierras para su explotación agrícola, las pocas áreas que se dedican a la agricultura se explotan en forma rudimentaria, en algunos casos se riegan con aguas freáticas de muy mala calidad, contaminando al mismo tiempo plantas y suelos. Por lo anterior, el Departamento del Distrito federal y La SARH a partir de 1948, han venido realizando esfuerzos conjuntos para rehabilitar y recuperar tierras agrícolas en el área. Principalmente se ha considerado mejorar la productividad de las tierras con la aplicación de insumos y un manejo adecuado, introducir el riego con aguas tratadas, drenar tierras que así lo requieran por su elevado nivel de manto freático, lavar tierras con altos contenidos de sales solubles, implantar cultivos permanentes, instalar cortinas rompevientos que disminuyan la velocidad de los vientos, evitando la formación de tolvaneras y por lo tanto la polución ambiental.

Lo anterior, dio lugar a la elaboración del presente estudio agrológico especial en una superficie de 354.05 ha, como base inicial para la instalación de 3 módulos agropecuarios que servirán como áreas piloto, para llevar a cabo en cinco etapas, el programa que se detalla en el párrafo anterior y el cual tiene como finalidad primordial, mejorar las condiciones de vida, conservar los recursos de la tierra y mejorar el ambiente ecológico.

### OBJETIVOS

Tomando como base la problemática anterior, los principales objetivos de este estudio son:

#### A CORTO PLAZO

1.-determinar si las características físicas, químicas e hidrodinámicas de los suelos son las adecuadas para la instalación de los módulos agropecuarios.

2.-En base a lo anterior, determinar las prácticas agrícolas más adecuadas para el mejor uso, manejo y conservación de las tierras, dentro de los módulos agropecuarios.

#### A LARGO PLAZO

3.- Extrapolar hasta donde sea posible estas experiencias, para su aplicación en regiones de problemáticas similares.

## 2. REVISION DE LITERATURA

Los estudios de suelos en México se iniciaron en 1926 al crearse la Comisión Nacional de Irrigación, los cuales contenían una memoria técnica y uno o varios mapas agrológicos. Estos últimos correspondían principalmente a una clasificación en series y tipos de suelos (Taxonómica) y a una clasificación interpretativa en clases agrícolas para fines de riego (Klingebiel, 1977).

### 2.1. Clasificación taxonómica de suelos.

Estas clasificaciones también se denominan científicas o naturales y se basan en la génesis y morfología de los suelos. Su importancia radica en que agrupan suelos con propiedades semejantes, lo cual permite conocer sus características y diferenciarlos de otros agrupamientos (Flores, 1987).

Las categorías de las clasificaciones taxonómicas pueden ser grandes o pequeñas. Las primeras se denominan órdenes, subórdenes, grandes grupos, y subgrupos; mismas que se emplean para estudios de grandes superficies, a nivel nacional o regional. Actualmente existen varios sistemas taxonómicos, elaborados principalmente en países como: Estados Unidos, Canadá, Francia, Inglaterra, Rusia, etc.

En nuestro país se han realizado varios trabajos sobre clasificación taxonómica de suelos a nivel nacional y regional destacando los siguientes:

Grandes Grupos de Suelos a la escala de 1:5 000 000 (primer intento), según las unidades de Suelos FAO/UNESCO, elaborado en 1968 por la Dirección de Agrología de la SRH.

Grandes Grupos de Suelos a la escala de 1:5 000 000 (segundo intento), según las unidades de Suelos FAO/UNESCO, elaborado en 1971 por la Dirección de Agrología de la SRH.

Grandes Grupos de Suelos a la escala de 1:2 000 000 (tercer intento), según las unidades de Suelos FAO/UNESCO, elaborado en 1972 por la Dirección de Agrología de la SARH.

Asimismo, a nivel regional y estatal, la Subdirección de Agrología ha realizado trabajos en los estados de Veracruz, Chihuahua y Tlaxcala; en la cuenca del Papaloapan, Península de Yucatán y Cuenca de arroyo seco en el Estado de México.

Por lo que se refiere a las categorías pequeñas de la clasificación taxonómica de suelos, en México se emplean

principalmente las series, tipos, y fase de suelos; las cuales se utilizan en estudios de superficies relativamente pequeñas o sea para proyectos específicos de desarrollo agropecuario.

Generalmente, las categorías pequeñas se representan a escalas de 1:2 000 hasta 1:50 000 y se han utilizado desde 1926 por la Comisión Nacional de Irrigación, la Secretaría de Recursos Hidráulicos y la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Estas categorías constituyen la base de los estudios de suelos que se realizan para los proyectos de grande, mediana y pequeña irrigación.

En este aspecto, es indispensable tener un mejor conocimiento de las categorías pequeñas de suelos, ya que son importantes para definir el correcto uso, manejo y conservación de los suelos dentro de las actividades agrícolas, frutícolas, ganaderas y forestales.

## 2.2. Clasificación interpretativa de tierras.

Estas clasificaciones se denominan prácticas o aplicadas y su importancia radica en que agrupan suelos cuyas propiedades o características responden de manera semejante a un propósito específico o práctico. Es conveniente aclarar que para poder realizar las clasificaciones interpretativas, es necesario contar previamente con una clasificación taxonómica de suelos.

La diferencia entre estas dos clasificaciones radica en que la segunda, además de tomar en cuenta el recurso suelo, considera el clima, relieve, hidrología y vegetación; así como las condiciones socioeconómicas.

Las principales categorías que se emplean en la clasificación de tierras son la clase, la subclase y la unidad. Estas categorías son importantes debido a que la clase determina el grado de riesgo o limitación para un fin específico, la subclase proporciona información sobre el tipo de problema que existe para el uso de la tierra y la unidad determina el uso que se puede implantar, el manejo que se debe dar y la producción que se puede esperar.

Los principales sistemas de clasificación de tierras que se han empleado en México, son los siguientes:

1) Fines de riego en 6 clases del Bureau of Reclamation del Departamento del Interior de E.U.A. El cual ha sido empleado desde 1926 por la Comisión Nacional de Irrigación, la S.R.H. y la S.A.R.H., para los estudios de suelos en proyectos de riego. Este sistema es el más difundido en México y se basa en aspectos físicos y económicos para determinar el grado de aptitud de las tierras para establecer una agricultura de riego permanente.

2) Capacidad de uso de las tierras en 8 clases, del Servicio

de Conservación de suelos del Departamento de Agricultura de E.U.A. Este sistema se ha aplicado en México, pero no está muy difundido y se basa en los factores físicos para determinar el potencial de las tierras, las limitaciones para su uso y los problemas de manejo de los cultivos agrícolas, pastos, praderas, bosques y vida silvestre.

3) Esquema de Evaluación de tierras de la F.A.O. (1978). El cual es más reciente y se ha empleado en pocos estudios. Este sistema toma como base los factores físicos, sociales y económicos para determinar el potencial de la tierra para uno o varios usos posibles.

### 2.3. Densidad aparente.

La densidad aparente del suelo ( $D_a$ ) es la relación que existe entre la masa y el volumen macroscópico de las partículas del suelo, incluyendo los espacios porosos. La masa se determina después de secar la muestra de suelo a 105 grados centígrados hasta peso constante y el volumen corresponde al que tiene la muestra en condiciones de campo.

La densidad aparente es una medida en la cual el volumen total del suelo se toma en consideración, por lo tanto, los suelos que sean sueltos y porosos tendrán menor peso por unidad de volumen, es decir, menor densidad aparente, y los que sean más compactos tendrán valores más altos por lo tanto mayor densidad aparente (Aguilar, 1991).

La densidad aparente es un valor ampliamente usado. Se utiliza para convertir el porcentaje de agua por peso a contenido por volumen; así como para calcular la porosidad cuando se conoce la densidad real de las partículas y para estimar el peso de un volumen de suelo muy grande, por ejemplo, el peso de una hectárea a 30 cm de profundidad. El valor de la densidad aparente es variable aún para el mismo suelo. Varía con la condición estructural del suelo, particularmente con aquella relacionada con la compactación. Por esta razón, a menudo se usa como una medida de la estructura del suelo (Miramontes, 1978).

Entre los métodos más comunes para determinar la densidad aparente de los suelos, se encuentran el del cilindro, el del pozo y el del terrón o parafina; los cuales consisten esencialmente en el secado y pesado de un volumen conocido de suelo. Difieren principalmente en la forma en que se obtiene la muestra de suelo.

También existe el método de radiación, el cual emplea un principio diferente; en este se mide la radiación gamma transmitida o disipada y la densidad de los componentes líquidos-sólidos combinados, empleando una calibración adecuada para determinar la masa del suelo. Es necesario realizar una

corrección para eliminar el componente de la densidad que corresponde al líquido presente. El método de la radiación es un método para efectuarse in-situ.

#### 2.4. Velocidad de infiltración básica de los suelos.

El suelo está formado por material mineral y orgánico, así como por aire y agua; estos últimos alojándose en el espacio poroso. El contenido de agua está sujeto a fluctuaciones que dependen de las aportaciones de líquido al suelo y de las características hidrodinámicas de éste (Castañeda, 1977).

Una de tales características es la infiltración del agua a través de su superficie. Esta propiedad permite a los suelos aprovechar el agua de lluvia o el agua aplicada artificialmente mediante el riego, lo cual es básico para la vida de la cubierta vegetal y para la obtención de más y mejores productos agrícolas.

La velocidad de infiltración de los suelos se define de diversas maneras: a) Es la relación entre una lámina de agua que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo; b) El volumen de agua que penetra por la superficie del suelo en unidades de área y tiempo dadas; c) La capacidad del suelo para tomar el agua de riego por su superficie, durante el lapso de tiempo en que esta se aplica.

La diversidad de las definiciones se debe a los diferentes enfoques con que se ha estudiado esta característica de los suelos; así como a los diferentes autores que han realizado dichos trabajos.

En México, a partir de 1928 la Subdirección de Agrología empezó a analizar el concepto de velocidad de infiltración de los suelos. Posteriormente en 1955 la Dirección General de Distritos de Riego publicó el primer trabajo que hace referencia a esta característica de los suelos. En 1962 se realizó la traducción al español del manual núm 60 del USDR, "Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos", lo cual puso a disposición de los técnicos de México un documento en el que se hace referencia, en forma general, a la determinación de la infiltración de los suelos. Finalmente en 1983 la Subdirección de Agrología publicó el "Instructivo para la determinación de la Velocidad de Infiltración Básica de los Suelos", en el cual se describe básicamente el método de doble cilindro.

Utilidad. El conocimiento de los valores de la velocidad de infiltración básica son de gran utilidad para:

- Determinar la capacidad de un suelo para absorber el agua.
- Determinar la velocidad con que deberá ser aplicada el agua de riego.



- Determinar el método de riego más adecuado a utilizar.
- Conocer el rango permisible de aplicación de agua, sin provocar escurrimiento o encharcamiento utilizando un sistema de riego por aspersión.
- Evaluar la cantidad de lluvia que se infiltre en el suelo.

#### Aplicaciones.

1. Para determinar que volúmenes de agua hay que aplicar. Si se conoce el valor de la velocidad de infiltración básica ( $V_b$ ) en cm/hr y la cantidad de agua requerida ( $d$ ) en cm para que el suelo adquiera su capacidad de campo y no se salinice, se tiene que el tiempo ( $T$ ) durante el cual se aplica el agua es:  $T = d/V_b$

Si además se conoce el valor del gasto disponible ( $q$ ) en m<sup>3</sup>/seg o la superficie que se va a ser regada ( $a$ ) en hectáreas los valores conocidos pueden ajustarse para satisfacer las siguientes ecuaciones:

$$a = q * T / d \quad q = a * d / T$$

Mediante estas ecuaciones se puede conocer el valor de las variables ( $a$ ) o ( $q$ ) desconocidas, considerándose que la lámina de agua ( $d$ ) que debe aplicarse, es un valor fijo para cada situación y que el tiempo ( $T$ ) de aplicación del agua se fija de acuerdo al valor de la velocidad de infiltración básica y la lámina de agua. Las condiciones ideales de riego que se suponen, rara vez se encuentran en la práctica, pero el uso de este sistema propuesto puede mejorar mucho los métodos de riego.

2) Determinación de la conductividad hidráulica de manera indirecta. Según Rode (1965) la velocidad de infiltración básica es aproximadamente igual a la conductividad hidráulica; lo cual se puede ajustar utilizando la siguiente fórmula:

$$K = V_i P / P + H + H_k \quad \text{donde}$$

$K$  = Conductividad hidráulica (m/día)  
 $V_i$  = vel. infilt. básica det./mét. doble cilindro (m/día)  
 $P$  = Profundidad de humedecimiento (m)  
 $H$  = Tirante promedio del agua del infiltrómetro  
 $H_k$  = Presión capilar de acuerdo a Bindeman

3) Para seleccionar el método de riego más adecuado. El valor de la velocidad de infiltración nos permite seleccionar el sistema de riego más adecuado de acuerdo con las propuestas de algunos organismos internacionales los cuales se analizan en las Tablas 1, 2 y 3.

TABLA 1. DU BASRHONE ET ON LANGUE DOC (FRANCIA)

VELOCIDAD DE INFILTRACION BASICA(cm/h)	METODO DE RIEGO
menor de 0.36	No aspersión
mayor de 3.60	Aspersión

TABLA 2. SPRINKLER IRRIGATION ASSOCIATION (EUA)

VELOCIDAD DE INFILTRACION BASICA(cm/h)	METODO DE RIEGO
menor de 0.26	No aspersión
mayor de 3.60	Aspersión o subterráneo

TABLA 3. RAIN BIRD (EUA)

VELOCIDAD DE INFILTRACION BASICA(cm/h)	METODO DE RIEGO
menor de 1.27	Superficial
mayor de 7.62	Aspersión o subterráneo

Clasificación de la velocidad de infiltración básica. A continuación se presentan algunas clasificaciones de la velocidad de infiltración y su relación con el suelo (Tablas 4, 5, 6 y 7). Estas han surgido como una respuesta a los diferentes modelos propuestos por sus autores. Su validez está en función de la capacidad técnica y experimentación que los respalda.

TABLA 4. VELOCIDAD DE INFILTRACION DE LOS SUELOS O'NEAL Y UNLAND

CLASE	cm/hora
Extremadamente Lenta	menor de 0.125
Muy Lenta	0.125 - 0.500
Lenta	0.500 - 2.000
Moderada	2.000 - 6.250
Rápida	6.250 - 12.500
Muy rápida	12.500 - 25.000
Extremadamente rápida	mayor de 25.000

TABLA 5. CLASE HIDROLOGICA DE MUSGRAVE Y HOLTAN (1955)

GRUPO	VELOCIDAD ESTABILIZADA (cm/hora)
A	0.76 - 1.14
B	0.38 - 0.76
C	0.13 - 0.38
D	menor de 0.13

TABLA 6. VELOCIDAD DE INFILTRACION DE AGUA CON RELACION A LAS CLASES DE TIERRAS. BUREAU OF RECLAMATION (1950)

CLASE DE TIERRA	TASA EN cm/h	PROFUNDIDAD DE PENETRACION (cm)
1	2.00 - 6.40	75.0 - 140.0
2	0.84 - 2.00	45.0 - 75.0
3	0.40 - 0.84	30-45 ó 140-180
6	( 0.40 ó ) 6.4	( 30.0 ó ) 180

TABLA 7. REGIMEN DE VELOCIDAD DE INFILTRACION (CUBA)

VELOCIDAD DE INFILTRACION	cm/hora
Muy lenta	menor de 1.270
Lenta	0.127 - 0.508
Moderadamente lenta	0.508 - 2.030
Moderadamente rápida	12.030 - 12.700
Rápida	12.700 - 25.400
Muy rápida	mayor de 25.400

Métodos de campo para determinar la velocidad de infiltración básica. Existe una gran diversidad en los métodos, para cuantificar el valor de la velocidad de infiltración básica de los suelos. Esto se debe, principalmente, a los objetivos para los cuales se desea determinar este parámetro; por ejemplo, en las partes altas de las cuencas hidrográficas interesa conocer su valor para estimar la cantidad de lluvia que se infiltra para recarga de acuíferos; en las partes planas con exceso de lluvias, para conocer qué parte de ésta se infiltra y cuanto debe drenarse superficialmente; en los sistemas de riego interesa saber las filtraciones en el vaso de almacenamiento, en los canales y parcelas, tanto para elegir el método de riego como para prever las pérdidas excesivas del agua de riego.

Con base en lo anterior, lo más adecuado es que en cada suelo por estudiar se emplee un método que simule lo mejor posible las condiciones bajo las cuales sucede el fenómeno, así como las labores que se realizan o realizarán en el suelo observado. A continuación se habla de algunos métodos de campo para determinar la velocidad de infiltración básica.

**Método de la lluvia artificial.** Este método está basado en la distribución, tamaño y velocidad de caída de las gotas de agua por medio de aspersores; con este fin se ha venido utilizando frecuentemente en diversos países el rociador tipo F del Laboratorio de Hidráulica del National Bureau of Standards (EUA).

La velocidad de infiltración se determina calculando la diferencia entre la cantidad de agua aplicada y la escorrentía superficial medida, dividiendo esta diferencia entre el volumen de la superficie de suelo en que cayó el agua; esto se hace porque es casi imposible medir directamente la cantidad de agua que penetra en el suelo.

Este método se recomienda cuando en los suelos estudiados se planea o esté instalado un sistema de riego por aspersión, cuando los suelos sean vírgenes, o que se exploten con agricultura de temporal, ya que en la lluvia artificial se considera la compactación del suelo provocada por el impacto de las gotas.

Debe tenerse presente que, según Musgrave y Holtan (1955), los resultados obtenidos por este método son de dos a ocho veces menores que los obtenidos por el método de inundación.

**Método de inundación.** Se basa en tratar de reproducir, bajo condiciones controladas, el fenómeno de la infiltración que se presenta en los suelos cuando éstos se someten a sistemas de riego por inundación superficial tales como melgas, surcos, zanjas en contorno, etc.

Al aplicar este método, las observaciones para determinar la velocidad de infiltración se puede basar en diferentes criterios: los propuestos por Criddle en 1950 y los que se derivan de la información relativa a la lamina infiltrada y el tiempo utilizado durante la prueba.

**Criterio de Criddle.** En 1950, Criddle propuso que la velocidad de infiltración básica se podía obtener directamente en un surco, si se calculaba la diferencia del agua que entra a la cabeza del surco ( $q_1$ ) y la que sale en un extremo ( $q_2$ ):

$$IB = q_1 - q_2 / d e$$

IB = infiltración básica  
d = longitud de la melga  
e = ancho de la melga

Agua represada. Parte de una meiga o surco se represa mediante láminas o tierra poniéndole en el interior de ella una o varias reglas; se procede a inundar la zona represada y efectuar lecturas periódicas de la lámina infiltrada y del tiempo asociado a esta infiltración. El resultado se obtiene efectuando las divisiones entre los respectivos incrementos de la lámina infiltrada y del tiempo, y considerar como resultado el valor que permanezca constante para algunas observaciones sucesivas.

Infiltrómetro de doble cilindro. Cuando se emplea este equipo, se supone que la inundación se restringe a los cilindros; el frente de humedecimiento se encuentra perpendicular a la superficie del suelo y, por consiguiente, las observaciones periódicas de la lámina de agua infiltrada y el tiempo corresponden a la infiltración vertical, que es el objetivo buscado. La información sobre la lámina de agua empleada y el tiempo de prueba, se procesa con el fin de obtener el valor de la velocidad de infiltración básica, de acuerdo a relaciones matemáticas que presentan los valores de las constantes según las características propias de cada sitio de observación.

Diversos científicos y organismos han desarrollado un infiltrómetro de volumen constante (permiógrafo o infiltrógrafo), el cual consiste generalmente de un infiltrómetro de doble cilindro en el que se logra mantener una lámina de agua constante mediante una válvula controlada por un flotador; el infiltrógrafo es alimentado por un tanque en el que se registra la variación del nivel del agua por medio de una plumilla adaptada a un flotador, que escribe sobre un cilindro movido por un sistema de relojería; en México, la Universidad Autónoma Chapingo se ha encargado de tal diseño.

## 2.5. Conductividad hidráulica.

La conductividad hidráulica, llamada también coeficiente de filtración, es probablemente la característica de los suelos más importante y difícil de estimar acertadamente. Son múltiples los problemas que no pueden ser resueltos satisfactoriamente si no se cuenta con este dato, especialmente en lo referente a ingeniería de riego y drenaje de tierras (Herrera, 1978).

Cuando es necesario construir un drenaje agrícola en sus diversas aplicaciones, un parámetro importante para el cálculo de la separación de los drenes es la conductividad hidráulica.

Si una zona recibe aportaciones freáticas que causen problemas en ella, para estimar la cuantía de éstas es necesario conocer el valor de la conductividad hidráulica.

Las aguas subterráneas constituyen fuentes importantes de agua potable y para riego agrícola; para el cálculo de rendimiento de un pozo es necesario conocer este parámetro.

Permeabilidad y conductividad hidráulica. La permeabilidad se refiere a la propiedad de los suelos y otros medios porosos de permitir el paso de fluidos, en particular del agua, y su uso es generalmente sentido cualitativo.

La conductividad hidráulica se define como la velocidad de filtración que se presenta en un medio saturado, cuando el gradiente de energía es igual a la unidad, mientras que la permeabilidad es una propiedad que varía exclusivamente con el medio, la conductividad hidráulica depende tanto de las características del suelo como del fluido. Dentro de las características del medio, en este caso el suelo, tenemos el área porosa, la distribución del tamaño de los poros y la sinuosidad; las características del fluido que afectan la conductividad hidráulica son la densidad y viscosidad del mismo; es decir, varía principalmente en función de la salinidad y temperatura del agua.

De lo dicho se ve que es posible separar la conductividad hidráulica, en los factores de permeabilidad intrínseca y la fluidez.

$$K = K' f$$

donde:  $K$  = Conductividad hidráulica  
 $K'$  = Permeabilidad intrínseca  
 $f$  = Fluidez

$$f = \frac{\rho g}{\mu}$$

$\rho$  = Densidad  
 $g$  = Aceleración  
 $\mu$  = viscosidad

Métodos para determinar la conductividad hidráulica. En la actualidad hay un sin número de métodos de los cuales se enumeran los siguientes:

1. Permeámetro con muestras alteradas
2. Permeámetro con muestras inalteradas
3. De la barrena
4. Piezometro
5. Del tubo
6. Punta de vertedera
7. Dos pozos
8. Multipozos
9. Cuatro pozos
10. Descarga de drenes
11. Descarga de pozos
  - 11.1. Método permanente
  - 11.2. Método no permanente
12. Inyección de pozos someros
13. Infiltrómetro
14. Permeámetro de inclusión

15. Permémetro de cilindro
16. Doble tubo
17. Composición granular
18. De la distribución del tamaño de poros
19. Análisis textural
20. Gradiente de infiltración.

Selección del método. La selección del método a emplear depende en primer término del objetivo del trabajo a realizar y en segundo a la precisión requerida y de los medios materiales y tiempo que se disponga, así como del tipo de suelo en que se trabajará.

Al definirse el objetivo del trabajo, habrá de precisarse primeramente la dirección en que se quiere medir la conductividad hidráulica; dejando fuera de discusión los métodos de permémetros que miden cualquier dirección en el flujo para muestras de cualquier lugar; así como los de composición granular, tamaño de poros y textura, que pueden utilizarse en cualquier situación; pero su uso se restringe a fines de investigación, podemos dividir los métodos restantes en superficiales y subterráneos. Ubicándose dentro de los primeros a los del infiltrómetro y permémetro de inclusión que miden la K en dirección vertical y que por tal situación, se usan para la ingeniería de riego y drenaje; dentro de los métodos subterráneos se tienen los realizados en presencia de manto freático y en ausencia del mismo; dentro de los primeros el de la barrena, dos, cuatro y multipozos; el del tubo, el de la pared perforada y los de descarga de drenes y pozos, la mayoría miden la K en dirección horizontal, así como el del piezometro que la mide en ambas direcciones; dentro de los de ausencia de manto freático se encuentran; los del permémetro cilíndrico, el de gradiente de infiltración y doble tubo que miden la K en dirección vertical y el de la inyección de pozos someros que lo hace en dirección vertical.

Los más recomendables son : El de la Barrena, Piezometro, Permémetro de inclusión y El del Doble Tubo ya que proporcionan datos muy confiables a través de mediciones sencillas y equipo portátil.

## 2.6. Clasificación de aguas con fines de riego.

En algunos países europeos, pero principalmente en Estados Unidos, surgió desde principios de la tercera década del presente siglo, el estudio del agua para riego, al observar que algunos cultivos disminuían el rendimiento de sus cosechas cuando habían sido irrigados con aguas de mala calidad (Miramontes, 1978).

Las investigaciones iniciales sobre el agua de riego se enfocaban, en general, a la cuantificación del contenido de sales totales disueltas y la cantidad de ellas se determinó

indirectamente a través de la conductividad eléctrica.

En trabajos posteriores se han considerado además la alcalinidad del agua ocasionada por el sodio, la naturaleza de los componentes disueltos, los elementos tóxicos como el flúor, cloro, boro, mercurio selenio y otros.

Las clasificaciones actuales del agua de riego consideran todos los aspectos anteriores y algunos supuestos de carácter técnico, tales como la salinidad potencial, salinidad efectiva, el porcentaje de sodio posible y otros. A continuación se mencionan algunos Sistemas o Índices de Clasificación de Aguas.

#### 2.6.1. Sistema del U.S. Salinity Laboratory Riverside, California.

Para este sistema, las características más importantes que determinan la calidad del agua para riego son: la concentración de sales solubles y la concentración relativa del sodio con respecto a otros cationes (Allison, 1977).

La concentración de sales solubles, para fines de clasificación y diagnóstico, se puede expresar en términos de conductividad eléctrica, que se determina en el laboratorio mediante el puente de conductividad. Con este dato se entra al diagrama y se clasifica el agua en C1, C2, C3 y C4 variando la conductividad eléctrica de 100 a 250 micromohos/cm para C1 y mayor de 2250 micromohos/cm para C4.

La concentración relativa de sodio se expresaba anteriormente en términos de porcentaje de sodio soluble. Actualmente se utiliza la relación de adsorción de sodio (RAS) como un "índice de sodio" o "del peligro de sodificación que tiene dicha agua".

En el diagrama de clasificación, se dan cuatro categorías del agua de riego de acuerdo al valor de RAS: S1, S2, S3 y S4.

Combinando el factor por concentración de sales totales (C1, C2, C3, C4) y el referente al de la concentración relativa de sodio (S1, S2, S3, S4) se obtiene la clasificación del agua de riego.

Este sistema de clasificación toma en cuenta también la clasificación por boro y por carbonato de sodio residual.

#### 2.6.2. Clasificación de Palacios y Aceves (1970).

Estos autores proponen ampliar el número de índices de la clasificación anterior con el fin de definir el efecto real de las sales: los criterios e índices de clasificación propuestos se resumen a continuación:



TABLA 8. CRITERIOS E INDICES DE CLASIFICACION DEL AGUA DE RIEGO

CRITERIOS	INDICES
Contenido de sales solubles	Conductividad eléctrica (CE) Salinidad efectiva (SE) Salinidad potencial (SP)
Efecto probable del sodio sobre las características físicas del suelo	Relación de adsorción de sodio (RAS) Carbonato de sodio residual (CSR)
Contenido de elementos tóxicos para las plantas.	Contenido de boro (B) Contenido de cloruros (Cl)

La clasificación del agua de riego, en base a las características puede ser como sigue.

BUENA, si los índices no rebasan los valores siguientes:

- a) C1 S1 (Clasificación por CE y por RAS, de acuerdo con la clasificación Riverside).
- b) SE menor de 3.0 me/l (para aguas de más de 20 % de carbonatos y bicarbonatos).
- c) SP menor de 3.0 me/l.
- d) CSR menor de 1.25 me/l.
- e) PSP menor del 50 %
- f) B menor de 0.3 ppm.
- g) Cl menor de 1.0 me/l.

Estas aguas son buenas para el riego de la gran mayoría de los cultivos en la generalidad de los suelos, con el mínimo de cuidados en el manejo del agua y suelo. Su empleo prácticamente no representa ningún peligro desde el punto de vista de salinidad.

NO RECOMENDADAS si los índices rebasan los valores siguientes:

- a) C4 S1, y/o C1 S4, (i=1,2,3,4) y/o

- b) SE mayor de 15 me/l; y/o
- c) SP mayor 15 me/l.
- d) CSR mayor 2.5 me/l; y/o
- e) B mayor 4.0 ppm; y/o
- f) Cl mayor 5.0 me/l en cultivos sensibles.

Estas aguas no se recomiendan para ser empleadas permanentemente en el riego, bajo las prácticas usuales de manejo, excepto que se mezclen con aguas de mejor calidad.

Cuando los valores de los índices queden comprendidos dentro de los límites señalados para aguas buenas y no recomendadas, se requiere de información adicional sobre cultivos, condiciones de suelo, de manejo de aguas, y climatológicas para determinar la conveniencia o limitación en el empleo del agua.

### 3.- MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Localización del área.

3.1.1. Superficie y límites. El presente estudio esta formado por tres áreas separadas las cuales suman 354.05 Ha, mismas que la Comisión Coordinadora de Desarrollo Agropecuario del Distrito Federal ha denominado Módulos Agropecuarios. Los límites son : Al norte, la carretera Tláhuac - Chalco; al sur, la carretera San Antonio Tecomilt- San Nicolas Tetelco; al oriente, la brecha que comunica a la carretera Tláhuac - Chalco y el poblado de San Nicolas Tetelco; y al poniente, la carretera Tláhuac - San Juan Ixtayopan- San Antonio Tecomilt. El croquis de localización aparece en la Fig.1.

3.1.2. Situación geográfica y política. Las tres áreas de estudio se localizan al sureste del Distrito Federal, entre los 19° 12' y 19° 16' Latitud Norte; y los 98° 58' y 99° 00' Longitud Oeste de W.

3.1.3. Vías de comunicación. Las principales vías de comunicación son las carreteras:

Xochimilco-Tláhuac-Chalco

Xochimilco-Tulyehualco-Sn Juan Ixtayopan-Sn.Nicolas Tetelco

Zapotitlan-Tláhuac-Sta.Catarina

También existen algunas terracerías que comunican las áreas entre si, y que son transitables durante todo el año.

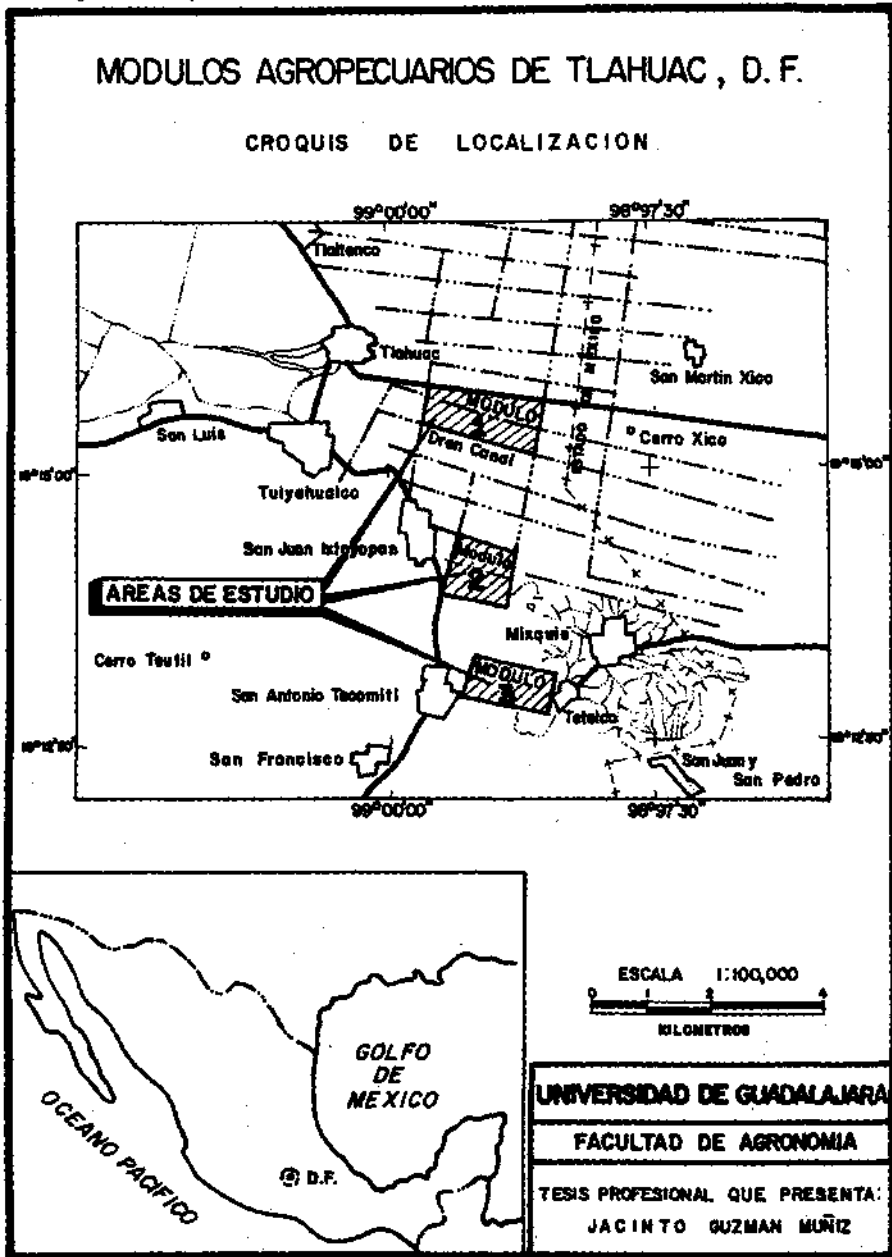
#### 3.2. Recurso físicos del área.

3.2.1. Geología superficial. La región de estudio se localiza en la depresión en la que estuvo alojado el antiguo Lago de Chalco, dentro de la provincia fisiográfica denominada Sierra Neovolcánica.

Geológicamente, el área está representada por depósitos lacustres constituidos por clásticos gruesos(Lapilli y arenas), producto de un intenso vulcanismo a la que estuvo sometido; así como por aluviones , compuestos por arcillas lacustres originados por la erosión de las serranías que la circundan, y por estratos de turba interestratificada. Irazoqui(1948).

Influencia de la geología en la formación de los suelos. Los depósitos lacustres y los aluviones han dado origen a la mayor parte de los suelos del área estudiada. Los primeros originan suelos profundos, de texturas medias y color café, mientras que los aluviones forman suelos profundos de color café oscuro, con horizontes turbosos en la parte inferior del perfil. En mínima proporción, los suelos se originaron a partir de rocas igneas extrusivas, las que han dado origen a suelos profundos, de color café y texturas gruesas.

Fig. 1. Croquis de Localización.



3.2.2. Geomorfología. La zona de estudio forma parte del Valle de México y esta ubicada sobre una fosa tectónica originada por esfuerzos tensionales y el consecuente fracturamiento de bloques. Esta depresión presenta un relieve plano, cuya pendiente no excede el 1.0 % y se encuentra interrumpida por un cono cinerítico (denominado cerro Xico), cuya altura es de 100 metros y que contribuyó en gran parte con los materiales piroclásticos localizados en el área de estudio.

Relación geomorfología-suelos. En la depresión o ex-lago de Chalco, los suelos son profundos con estratos alternados de material piroclástico y turba, de textura arcillosa y con gran concentración de sales.

Los suelos localizados alrededor de la depresión y próximos al cerro Xico presentan un primer estrato de material piroclástico y conforme se profundiza se tiene alternancia de este mismo material con estratos franco-arcillosos y turba.

3.2.3. Clima. Para el análisis climático del área, se tomaron en consideración los datos reportados en un período de observación de 22 años (1961-1982) de la estación de Tláhuac, la cual se considero como representativa de la zona.

Los datos sobre temperatura, precipitación y evaporación se detallan en la cuadro 1.

Temperatura. Observando los valores medios mensuales de temperatura se puede apreciar que el mes más cálido es Mayo con 18.1 °C y enero y febrero son los meses más fríos con 12.55 y 12.66 °C respectivamente.

Precipitación. El período de lluvias abarca de junio a septiembre, lapso en el cual se precipitan 45.3 cm, que representan el 72 % del total anual. El período de secas comprende de octubre a mayo, en el que caen 17.7 cm de lluvia o sea el 28 % del total anual.

Como se puede apreciar, la cantidad y distribución de la lluvia durante el año no permite asegurar altos rendimientos con cultivos de temporal, por lo que dependiendo de la cantidad y oportunidad en que ocurran las lluvias, es indispensable dar riegos de auxilio.

Evapotranspiración. Tomando en cuenta que en los meses de octubre a mayo la evapotranspiración supera a la precipitación, se puede inferir que en el mes de mayo los suelos han perdido prácticamente toda su humedad y por lo tanto es la época del año en que se encuentran más compactos. Lo cual es determinante para la preparación de las tierras, por lo cual éstas labores deben hacerse antes de que llegue a este grado de compactación de los suelos.

**CUADRO 1. CLASIFICACION DEL CLIMA**

Estación: TLAHUAC D.F.													
Latitud: 19 ° 16 '				Longitud: 99 ° 6 '				Altitud: 2600 mms					
CONCEPTO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	D C	ANUAL
TP (°C)	12.65	12.66	15.93	17.47	18.16	17.72	17.28	17.00	17.16	16.21	13.96	13.10	15.79
PR (cm)	1.43	0.57	1.11	2.17	5.79	9.97	12.45	11.20	10.27	5.28	0.51	0.34	61.37
ICM	4.00	4.08	3.78	4.63	7.05	6.79	6.34	6.42	6.47	3.93	4.73	4.34	68.84
EV (cm)	4.19	4.19	4.03	4.97	7.41	7.13	6.85	6.73	6.70	6.19	4.89	4.47	
FC	0.95	0.98	1.03	1.05	1.53	1.11	1.14	1.10	1.02	1.00	0.92	0.94	
EP (cm)	3.98	3.77	4.21	7.33	8.35	7.89	7.80	7.41	6.92	6.19	4.57	4.22	74.64
MH (cm)	-1.33	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	4.63	3.27	0.00	-0.91	-0.84	-1.68	
MA (cm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	6.73	10.00	10.00	9.09	5.03	1.35	
DA (cm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	3.35	0.00	0.00	0.00	3.96
ER (cm)	0.70	0.37	1.11	2.17	5.79	7.89	7.80	7.41	6.92	6.19	4.57	4.22	
DE (cm)	1.21	3.28	3.10	5.16	2.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00	0.00	17.22
ES (cm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	1.03	0.04	0.04	0.00	
RP (cm)	-0.44	-0.05	-0.02	-0.70	-0.31	0.26	0.40	0.52	0.40	-0.13	-0.09	-0.97	

**CLASIFICACION DEL CLIMA SEGUNDO SISTEMA DE THORNTHWAITTE**

CONCEPTO	INDICE	DESCRIPCION
CATEGORIA DE HUMEDAD	IP(X) = -0.54	P6 Semiseco
REGIMEN DE HUMEDAD	IM(X) = 3.30	SA Pequeña o nula densidad de agua
CATEGORIA DE TEMPERATURA	EPR(X) = 74.64	TD Templado frío
REGIMEN DE TEMPERATURA	CT(X) = 31.57	U0 Baja concentración de calor
	IA(X) = 23.00	

F O R M U L A O R I G I N A L

C. d B. a'

**SINBOLOGIA**

- |   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| (TE) TEMPERATURA                        | (DA) DENSIDAD DE AGUA             |
| (PR) PRECIPITACION                      | (DE) DEFICIENCIA DE AGUA          |
| (ICM) INDICE DE CALOR MENSUAL           | (ER) EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL |
| (EV) EP SIN CORRECTOR                   | (ES) ESCORRIENTO                  |
| (FC) FACTOR DE CORRECCION POR LATITUD   | (PR) RELACION PLOVIAL             |
| (EP) EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL       | (IM) INDICE DE HUMEDAD            |
| (MH) MOVIMIENTO DE AGUA EN EL SUELO     | (IA) INDICE DE ARIEZ              |
| (MA) HUMEDAD ALACENTADA                 | (IP) INDICE PLOVIAL               |
| (CT) CONCENTRACION TERMICA EN EL VERANO |                                   |

BIBLIOTECA FACULTAD DE AGRONOMIA

Vientos. Los vientos se presentan generalmente durante todo el año, principalmente con dirección sureste y con velocidades que alcanzan los 10 km/hora; sin embargo, en los meses de enero a marzo éstos vientos adquieren velocidades que varían de 15 a 20 km/hora, mismas que debido a la poca cubierta vegetal, ocasionan el arrastre de grandes cantidades de suelos, formando tolvaneras que afectan a la ciudad de México.

Heladas. El número de días con heladas es de 52 por año. Las cuales se presentan en los meses de noviembre a marzo, por lo que representan un fuerte peligro para los cultivos establecidos o por establecer en este período.

Nubosidad. La estación de Tláhuac reporta una media de 120 días nublados por año.

#### 3.2.4. Hidrología.

Corrientes superficiales. En el área de estudio sólo se encuentra el río Ameca como corriente superficial, al cual se le considera de carácter intermitente, debido a que únicamente conduce agua en la época de lluvias, su cause original ha sido modificado con la finalidad de utilizar al máximo los suelos con posibilidades agrícolas. Irazoqui(1948).

En la Tabla 9 se detallan los datos hidrométricos de este río referentes a volúmenes mínimos, medios y máximos, así como al total conducido durante un período de observación de 12 años (1969-1980).

TABLA 9. DATOS HIDROMETRICOS DEL RIO AMECA, ESTACION SAN LUIS AMECA.

AÑO	V O L U M E N (M3)			
	Mínimo	Medio	Máximo	Total conducido
1969	0.00	0.161	38.700	5,068.0
1970	0.00	0.174	25.040	5,477.0
1971	0.00	1.270	11.396	3,933.0
1972	0.00	0.181	25.080	5,720.0
1973	0.00	0.188	5.900	5,918.0
1974	0.00	0.213	9.409	6,721.0
1975	0.00	0.206	37.692	6,567.0
1976	0.00	0.287	18.060	9,081.0
1977	0.00	0.150	32.510	47,026.0
1978	0.00	0.123	12.760	3,868.0
1978	0.00	0.210	9.790	6,625.0
1980	0.00	0.177	11.500	5,594.0

FUENTE. SARH. Jefatura de Irrigación y control de ríos, Dirección de Hidrología.

Corrientes subterráneas. Debido a la carencia de datos, se desconoce el tipo de acuífero que existe en el área de estudio; sin embargo, existe un pozo profundo en la subdelegación de San Juan Ixtayopan, el cual fue perforado con fines de uso doméstico, pero debido a la mala calidad de sus aguas para ese fin, actualmente se utiliza para proporcionar riego a los cultivos que se explotan en el módulo 2.

### 3.3. Equipo y método de trabajo.

3.3.1. Equipo. Para la realización del presente estudio se requirió de los siguientes materiales:

Para determinar la clasificación taxonómica e interpretativa.

- Plano topográfico escala 1:50000
- Un mosaico aerofotográfico de escala 1:15000
- Una barrena tipo holandesa
- Tabla de colores Munsell
- Martillo de suelos
- Dos palas
- Dos picos
- 198 Bolsas de polietileno

Para determinar la densidad aparente

- Pala recta
- 8 Bolsas de polietileno
- Probeta de 1000 ml
- Botes para determinar humedad
- Báscula analítica
- Cubetas o recipientes para 30 litros

Para determinar la velocidad de infiltración básica

- Dos cilindros de metal con diámetros de 30 y 36 cm y de 30cm de altura.
- Tornillo micrométrico con base para ser colocado en el cilindro de menor diámetro.
- Disco metálico circular de 45 cm de diámetro y una perforación en el centro.
- Martillo metálico de 7 kg aproximadamente.
- Recipiente para transportar 200 litros de agua.
- Manguera de plástico con diámetro interior de 2 cm y de 3 a 5 metros de largo.
- Cronómetro
- Dos palas rectas
- Cinta métrica
- Formas VI-1 y VI-2 para toma de datos.

Para determinar conductividad hidráulica

El equipo comprende un tubo que contiene un flotador, con una cinta de acero, un soporte que se entierra en el suelo, al que se le sujeta una regla. La parte superior de la regla se sujeta un indicador a la cinta de acero, el cual se



mueve a lo largo de la regla.

Y finalmente 19 garrafas de plástico para la toma de muestras de aguas.

### 3.3.2. Método de trabajo.

3.3.2.1. Clasificación Taxonómica. Uno de los primeros trabajos que se efectúan para llevar a cabo los estudios agrológicos, es el de la investigación de las características físico-químicas de los suelos de un proyecto de riego, para en base a éstas establecer las diferencias que existen entre ellos y agruparlos en series tipos y fases. Para esto es preciso recolectar muestras de los diversos horizontes del perfil del suelo hasta 2 metros de profundidad, que es hasta donde se considera que influye el suelo en el desarrollo radicular de la mayor parte de los cultivos.

Los hoyos que se excavan para este objeto se denominan "pozos agrológicos" y sus dimensiones son de dos metros de largo, uno de ancho y dos de profundidad, quedando limitada ésta en ocasiones por un estrato duro, por roca subyacente o por manto freático. Este pozo se orienta de modo que la cara que se va a describir y a muestrear, quede bien iluminada por el sol durante la mañana, o sea hacia el E y NE en la zona intertropical y hacia el SE en la zona templada en el verano y hacia el E y SE en el invierno.

Selección de sitios de los pozos agrológicos. La selección de los sitios para excavar los pozos agrológicos se hace desde el recorrido preliminar, en el que a grandes rasgos se reconocen las diversas clases de suelos situados en unidades geomorfológicas distintas como mesetas, terrazas, vegas, etc. Es preciso recordar que dichos pozos tienen como principal propósito investigar las características físico-químicas de los perfiles de los suelos y de acuerdo a su semejanza, agruparlos en series, fases y tipos y no precisamente para efectuar su delimitación, labor que se facilita con la ayuda de barrenaciones agrológicas, sin que sea necesario tomar muestras de cada barrenación.

Toma de muestras de cada horizonte del perfil. Después de separar los horizontes edáficos en un perfil del suelo, se hace la descripción de cada uno tal como lo especifica el "Instructivo para la Descripción de Perfiles de Suelos" editado por la Subdirección de Agrológica de la SARH(1978); se toman las fotografías del mismo, así como de la vegetación natural de los suelos contiguos al pozo.

La toma de muestras de cada horizonte se hace individualmente, empezando por el inferior con objeto de evitar la contaminación de la tierra de un horizonte con la del que le sigue y se facilita al mismo tiempo la operación manual. Se

Limpia primero el suelo expuesto del horizonte por muestrear con una brocha, luego se coloca la pala o cuchara especial en la parte inferior y con un cuchillo se quita la tierra de todo el espesor del horizonte que caerá en la pala; se eliminan grava y piedras grandes, basura o raíces y luego se vacía en una bolsa de plástico, se introduce una etiqueta de identificación marcando en ella con lápiz grueso el número del perfil, profundidad que comprende el horizonte, el nombre del estudio y la fecha. La cantidad de suelo que se recolecta es de poco más de dos Kg. Otros datos como localización, tipo de suelo, vegetación natural, etc. se anotan en una libreta de campo.

Cuando el espesor de un horizonte intermedio es muy pequeño, se quita una gran parte del horizonte contiguo superior para dejar libre una área suficientemente grande para recoger los 2 Kg. de suelo.

Una vez recogidas las muestras de todos los horizontes de un perfil o de varios, se entregan al personal de laboratorio para su análisis físico-químico.

En el presente trabajo se abrieron 17 pozos agrológicos en los cuales se identificaron 76 horizontes de suelos, los cuales se describieron en base al manual para la descripción de perfiles de la Subdirección de Agrológica de la SARRH. Adicionalmente se tomaron al azar 72 muestras superficiales (0-30 cm de profundidad) de suelo para determinar específicamente salinidad y sodicidad.

3.3.2.2. Clasificación Interpretativa. Para la clasificación interpretativa de los suelos del área de estudio, se efectuó utilizando el Sistema de Clasificación de Tierras con fines de Riego en 6 clases del Bureau of Reclamation (1963), que se adaptó a las condiciones predominantes de la zona, el cual se describe a continuación.

Clasificación de Tierras con Fines de Riego en 6 Clases del Bureau of Reclamation del Departamento del Interior de E.U.A. El cual ha sido empleado desde 1926 por la Comisión Nacional de Irrigación, la Secretaría de Recursos Hidráulicos y posteriormente por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, para los estudios de suelos en los proyectos de riego. Este sistema es el más difundido en México y se basa en aspectos físicos y económicos para determinar el grado de aptitud de las tierras para establecer una agricultura de riego permanente.

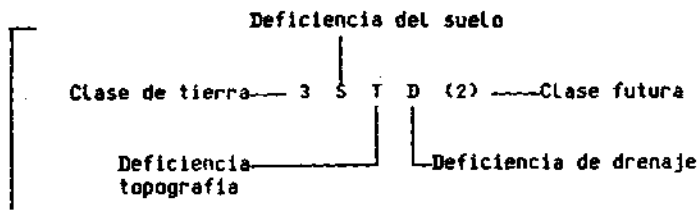
Factores físicos. Cada uno de los factores físicos, así como sus relaciones recíprocas, se toman en cuenta desde el punto de vista de sus características convenientes para la agricultura de riego y de las limitantes que indican una baja aptitud. Estos factores son :

CUADRO 2 CRITERIO DE CLASIFICACION DE TIERRAS

FACTOR		CLASES DE TIERRAS				
LIMITANTE		1	2	3	4	6
S U E L O (S)	TEXTURA	C Cra, Crl	Cr, Cl, Ca	Ra, Rl, Ac	A fina, R friable	A gruesa, R pesada
	PERMEABILIDAD	Moderada	Ligeramente rápida o li- geramente lenta	Lenta o rápida	Muy lenta o muy rápida	Extremadamente rápida o extre- madamente lenta
	SALINIDAD (mmhos/cm)	< 6	6 - 12	12 - 18	18 - 24	> 24
	SODICIDAD (PSI)	< 15	15 - 25	25 - 40	40 - 60	> 60
TOPOGRAFIA (T)	RELIEVE	Plano o casi plano	Ligeramente ondulado	Ondulado	Muy ondulado	Cerril
DRENAJE (D)	PROFUNDIDAD DEL MANTO FREA- TICO (cm).	> 150	150 - 100	100 - 60	60 - 40	< 40

NOTA: El criterio de clasificación por salinidad y/o sodicidad, empleado en las tierras del área de estudio, esta basado en los contenidos de sales solubles, por ciento de sodio intercambiable y en los rendimiento de los cultivos. Estos parámetros se ajustaron para la zona debido a que los criterios establecidos en el Manual 60 del USDA, son para suelos minerales y no para suelos turbosos.

ANALISIS DE SIMBOLOS



a) Suelo. Las características físicas, químicas y biológicas tangibles, constituyen uno de los principales criterios para evaluar la tierra con fines de riego. Ciertas características son relativamente estables y por lo general no están sujetas a cambio(textura); sin embargo, otras pueden ser modificables(salinidad). Las características del suelo están directamente relacionadas con su capacidad productiva, adaptabilidad de los cultivos, costos de producción y costos de desarrollo de la tierra, las características del suelo son: Textura, profundidad efectiva, salinidad, sodicidad, pedregosidad interna, pedregosidad superficial, erosión etc.

b) Topografía. Refleja la necesidad y costo de desarrollo de la tierra, facilidad o dificultad de conducir y aplicar el agua de riego a las parcelas, el drenaje, y la adaptabilidad y permanencia del cultivo. Los aspectos que incluye este factor son:

Pendiente. Debe considerar el análisis de la susceptibilidad a la erosión, tipos de cultivos previstos, velocidad de infiltración, capacidad de retención de humedad, construcción de canales de riego y métodos de riego.

Relieve. Las tierras de superficie irregular se consideran en función del aumento en los costos de producción, disminución de los rendimientos, adaptabilidad de los cultivos, tamaño de las parcelas, así como en términos de corrección de la deficiencia.

El desarrollo de la tierra se considera desde el punto de vista del tipo de riego, costo de nivelación y efectos de la nivelación en las cosechas. Los suelos son evaluados en base a las características que tendrán después de la nivelación.

Posición. Se considera, cuando las tierras están aisladas, si son altas o son bajas, lo cual incrementa los costos de desarrollo y de operación.

Tamaño y forma. Se considera en la medida en que la extensión, configuración y localización de la parcela influyen para que pueda ser trabajada como un campo uniforme, para regar eficientemente y obtener beneficios de acuerdo a la clase indicada.

c) Drenaje. Es la descarga del agua de una área por simple escurrimiento laminar o por canales (drenaje superficial) y la eliminación del exceso de agua del suelo por movimiento hacia abajo o flujo lateral a través del suelo, subsuelo y sustrato (drenaje interno). Cuando el drenaje debe ser ejecutado por el agricultor, es un factor importante en la clasificación de tierras, debido a su efecto sobre la capacidad productiva, costo de producción y costos de desarrollo.

Factores económicos. La consideración de estos factores básicos, incluyendo sus aspectos agronómicos, es esencial para la determinación de la aptitud de la tierra a los fines de riego. Estos factores son:

a) Capacidad productiva. Es la adaptabilidad y rendimiento de los cultivos, aspectos muy importantes para determinar el grado de aptitud de la tierra para riego. El valor de cualquier tierra, depende considerablemente de su capacidad para producir cosechas en forma sostenida. Los factores que influyen en la capacidad productiva (excluyendo el manejo) son: Condiciones climáticas (distribución de la lluvia, temperatura y movimiento del aire); Características del suelo (textura, profundidad, salinidad, permeabilidad, etc); Características topográficas (posición del terreno, pendiente y relieve); Disponibilidad de agua (cantidad y calidad); y Drenaje.

b) Costos de producción. Los costos anuales de producción, tales como mano de obra, mejoras al suelo, agua y equipo, están relacionados no sólo con el tipo de cultivo, sino también con factores físicos como el suelo, topografía y drenaje.

c) Desarrollo de la tierra. Se refiere a los costos que debe pagar el agricultor, con el fin de preparar inicialmente las tierras para riego. Incluye los costos de desmonte y limpieza, nivelación, emparejamiento, construcción de canales y drenes, acondicionamiento de la tierra y equipo para regar (bombeo, aspersión). La extensión y costo de desarrollo de la tierra están determinados, principalmente, por las características topográficas; aunque el suelo y otros factores pueden ser importantes. Es necesario establecer los costos permisibles de desarrollo para cada clase y subclase de tierra, con objeto de desarrollar las especificaciones para la elaboración de mapas.

#### Clases básicas.

Clase 1. Son las tierras de mayor aptitud para la agricultura de riego; producen rendimientos sostenidos y relativamente altos; pueden establecerse numerosos cultivos a un costo razonable; las características del suelo, topografía y drenaje son adecuados; el desarrollo de la tierra tiene un costo relativamente bajo, y, potencialmente, tiene una capacidad de pago relativamente alta.

Clase 2. Son tierras de aptitud moderada para la agricultura de riego; comparativamente con la clase 1 tienen una capacidad productiva menor; se adaptan a un tipo de cultivos más reducido; la preparación para el riego y su explotación agrícola son más costosas; presentan limitaciones moderadas, solas o combinadas del suelo, topografía y drenaje; y tienen una capacidad de pago intermedia.

Clase 3. Son tierras menos aptas para la agricultura de riego que las de la clase 2; presentan deficiencias en suelo, topografía y drenaje, pero en mayor grado; su adaptabilidad a los cultivos es más restringida; requieren prácticas más intensivas de mejoramiento de suelo; su costo de desarrollo es relativamente alto; y , bajo buenas prácticas de manejo, tiene una capacidad de pago adecuada.

Clase 4. Incluye tierras que sólo después de que se han hecho estudios especiales de ingeniería y economía han demostrado que son arables; pueden tener una o varias deficiencias susceptibles de corregirse a un costo alto; son aptas para la agricultura de riego, debido a que pueden ser utilizadas intensivamente en hortalizas y frutales; pueden tener una o más deficiencias incorregibles que limita su utilidad a pastos para corte, potreros, huertos u otros cultivos relativamente permanentes; generalmente se debe establecer riego subterráneo o por aspersión; pueden ser tierras suburbanas que no cumplan con los requerimientos generales de arabilidad; pueden pagar los costos de agua; y pueden tener un rango mayor en la capacidad de pago que el de las tres primeras clases.

Clase 5. Incluye tierras cuyas limitaciones actuales son de tal naturaleza que impiden su uso bajo riego. Requieran de un estudio especial (agronómico, económico u otro) o la terminación de los trabajos de mejoramiento para determinar su clasificación definitiva.

Clase 6. No irrigable.

3.3.2.3. Densidad aparente. Para determinar la densidad aparente de los suelos se utilizó el método del pozo, el cual se describe a continuación.

Método del pozo. La ventaja de este método de campo es que, por el tamaño de la muestra y el hecho de que la estructura natural del suelo sufre poca alteración, proporciona datos más reales, ya que los valores encontrados en laboratorio, por ser obtenidos de un solo terrón, no consideran las relaciones de porosidad que prevalecen en el terreno.

Procedimiento. En el sitio del muestreo, se realiza una excavación regular (cúbica) con dimensiones de 10 x 10 cm, tratando de no hacer presión sobre las paredes. Se colecta todo el suelo extraído y se coloca en una bolsa de polietileno la cual se cierra perfectamente para evitar la pérdida de humedad.

Las paredes y fondo de excavación se cubren con una pieza de polietileno, procurando ajustarla bien a las superficies. Con una probeta se adiciona agua hasta llegar al nivel del suelo, anotándose el volumen de agua usado. Con cuidado se saca el polietileno y se regresa el agua a la cubeta o recipiente que lo

contenia. Se pesa el suelo colectado, una vez pesado el suelo, se toma una pequeña parte en un bote para determinar la humedad, llevándose a estufa a 105 grados centigrados para calcular el porcentaje de humedad en el momento del muestreo.

Se anota el peso del suelo colectado, el volumen del agua y el porcentaje de humedad en el suelo colectado. Y se procede al cálculo. Miramontes(1978).

densidad aparente= peso del suelo seco/volumen del agua

En este método de campo es necesario que se mida exactamente el volumen de agua, ya que un error de 5 ml en el volumen de líquido producirá un error de 0.005 grs/cm<sup>3</sup> en una muestra cuya densidad sea de 1.36 gr/cm.

En el área de estudio se llevaron a cabo 8 pruebas de campo por el método antes descrito, para determinar la densidad aparente en campo.

3.2.4. Velocidad de infiltración de los suelos. La determinación de la velocidad de infiltración básica se obtuvo por el método del infiltrómetro de doble cilindro; el procedimiento es el siguiente. Castañeda(1977).

Con el equipo mencionado para este fin en el punto 3.3.1., se procede a realizar la prueba de velocidad de infiltración; para esto, se precisa trabajar en orden y cuidado de acuerdo a los siguientes pasos.

1) Colocar en el suelo el cilindro de diámetro menor, introduciéndolo con golpes de martillo sobre la plancha metálica hasta una profundidad de 10 a 15 cm. Posteriormente y de la misma manera se introduce el cilindro de mayor diámetro. La disposición o colocación de éstos debe ser tal, que la distancia entre las paredes de los cilindros sea igual en toda la circunferencia.

2) Sobre el cilindro de menor diámetro se coloca el tornillo micrométrico y se calibra en cero.

3) Haciendo uso de la manguera, se procede a vaciar agua en el espacio comprendido entre los cilindros, de tal manera que no caiga fuera de éstos; la operación se repite en el interior del cilindro de menor diámetro hasta que la superficie del agua alcance a rozar la punta del tornillo micrométrico formando un menisco. En este último paso, el líquido debe resbalar por la pared del cilindro, si se utiliza la manguera; en caso de emplear la cubeta, el agua no debe caer directamente en el suelo ya que altera sus condiciones naturales; por ello debe caer sobre un plástico, el cual deberá retirarse al terminar la operación de llenado.

4) Se procede a efectuar el registro de los datos correspondientes a la lámina infiltrada y el tiempo en las formas VI-1 y VI-2.

5) Al concluir la prueba, se retira el tornillo micrométrico, se procede a sacar el agua sobrante del interior de los cilindros y mediante ligeros movimientos y suaves golpes laterales, se retiran los cilindros.

6) Finalmente utilizando la pala, se mide la profundidad de mojado.

#### Observaciones:

El sitio de la prueba deberá ser representativo de la serie de suelos delimitada en la clasificación taxonómica. Para ello el sitio deberá estar a una distancia aproximada de 10 metros de un pozo agrológico.

Deberá evitarse colocar los cilindros en terrenos agrietados y sobre lomos de surcos.

No deben realizarse pruebas de velocidad de infiltración sobre terrenos húmedos o recién regados.

Los cilindros deben estar concéntricos.

Al efectuar el llenado de los cilindros deberá evitarse derramar agua fuera de éstos; asimismo deberán evitarse los afloramientos de humedad posteriores al llenado, alrededor del cilindro exterior. Si esto sucede, será un indicio de la mala colocación de los cilindros en el terreno.

El agua que se emplee deberá ser la que se utilice o utilizará en el riego.

La toma de lecturas deberá efectuarse en forma horizontal (viendo directa y horizontalmente el tornillo micrométrico).

Para una mejor caracterización del suelo dentro de la clasificación por su velocidad de infiltración básica se tratará de efectuar dos o tres pruebas por sitio elegido, separadas de 10 a 15 metros una de otra, formando los vértices de un triángulo.

Registro de datos. El registro de los datos necesarios para el cálculo de la velocidad de infiltración deberá hacerse en la forma VI-1 si el procedimiento es manual ó en la forma VI-2 si la información se prefiere procesar electrónicamente.

La información que se registra en el campo deberá basarse en los siguientes aspectos:







1) La unidad de tiempo en las observaciones es de un minuto ó múltiplos enteros de éste.

2) La lámina de agua infiltrada se registra cuando en el extremo inferior del micrómetro toca la superficie del líquido formando un menisco a un tiempo dado de observación.

3) Cuando después de una serie de registros se observe un abatimiento de 5 a 6 cm de lámina de agua en el cilindro interior, se suspenden los registros para volver a llenar el infiltrómetro, así como calibrar en cero el tornillo micrométrico y el cronómetro; posteriormente se prosigue con el registro de los datos.

4) Durante el desarrollo de la prueba, se cuidará de que el nivel del agua comprendida entre los cilindros permanezca casi constante; para esto, se procederá a agregar agua periódicamente cuidando que no altere la cantidad de líquido del cilindro interior.

5) La información registrada corresponde a observaciones de lámina infiltrada en el tornillo micrométrico y tiempo asociado a ésta en el cronómetro.

6) La prueba se suspenderá bajo cualquiera de las consideraciones siguientes:

a) Después de tres horas de observación

b) Cuando se observe que, después de los primeros 60 minutos a intervalos iguales de tiempo, se presentan incrementos de láminas infiltradas iguales entre sí.

c) Cuando haya afloramientos superficiales de agua en la zona comprendida en un radio de cinco metros alrededor del instrumento.

d) Cuando a criterio del observador se presenten situaciones anormales tales como grietas o madrigueras.

7) Debe tenerse presente, que la confiabilidad de la prueba depende directamente de los datos observados; el trabajo del técnico consistirá exclusivamente en observar y registrar, tratando siempre de no efectuar en el campo las operaciones y cálculos que corresponden al trabajo de gabinete.

8) Además, indistintamente al empleo de cualquiera de las formas, debe anotarse la siguiente información.

Nombre completo del estudio

Lugar del sitio de prueba y/o número de identificación de ésta.

Nombre de la serie de suelo en la que se efectúa la prueba.

Nombre del técnico operador

Profundidad a la que se infiltró el agua una vez terminada la prueba.

Condiciones de suelo(compactación, humedad, etc).

Vegetación actual.

Fecha

3.3.2.5. Conductividad hidráulica. Para determinar la conductividad hidráulica de los suelos se utilizó el método de la barrena, el cual se describe a continuación. Beers(1976).

Método de la Barrena. Es un procedimiento rápido sencillo y preciso para medir la conductividad hidráulica del suelo abajo del manto freático. Los datos obtenidos se utilizan para el diseño de sistemas de drenaje de tierras inundadas o con manto freático elevado así como en la investigación de filtraciones de canales.

El método fue creado por Diserens(1943), mejorado por Hooghoudt(1936) y más tarde por Kirkham(1945,1948,1955), Van Bavel(1948), Ernst(1950) y Johnson(1952).

El procedimiento es muy simple; se perfora un pozo en el suelo a cierta profundidad abajo del manto freático. Cuando se estabiliza el nivel freático, se extrae parte del agua del pozo. Se filtra el agua otra vez hacia el pozo, y en este momento se mide la velocidad de ascenso del agua y se determina la conductividad hidráulica(K) para ese suelo, aplicando una fórmula determinada.

Este método permite conocer la permeabilidad promedio de los estratos del suelo a partir de la capa freática hasta unos pocos decímetros abajo del fondo del pozo. Cuando hay un estrato impermeable en el fondo del pozo, el valor K está determinado para los estratos del suelo que se encuentran arriba de este estrato impermeable. El radio de la columna de suelo para la cual se mide la permeabilidad es aproximadamente de 30 - 50 cm.

Este método está limitado a zonas con una capa freática elevada (al menos durante parte del año) a suelos donde se puede mantener una cavidad de dimensiones conocidas a través de la prueba. Para suelos arenosos es necesario usar un tubo perforado.

En este método no se ha tomado en cuenta la teoría del flujo de agua hacia el pozo, solamente se proporcionan algunos fundamentos con objeto de aclarar las razones en que se basan las instrucciones y recomendaciones. Las gráficas y fórmulas establecidas están basadas principalmente en la publicación de Ernst(1950), que tiene menos limitaciones, especialmente en lo que se refiere a la cantidad de agua que tiene que extraerse del pozo. Además, con la ayuda de éstas gráficas se puede calcular rápidamente el valor "K".

En la medición de la conductividad hidráulica en el campo, se pueden distinguir cuatro fases.

- a) Perforación del pozo
- b) La extracción del agua.
- c) La medición de la velocidad de ascenso del agua.
- d) El cálculo de la conductividad hidráulica a partir de los datos obtenidos.

a) Durante la perforación debe perturbarse al mínimo el suelo, la profundidad del pozo dependerá de la naturaleza, espesor y secuencia de los estratos del suelo, así como de la profundidad a la cual se requiere determinar la conductividad hidráulica. Si el suelo es homogéneo, la perforación práctica será de 60-70 cm abajo de la capa freática o preferentemente un poco mayor que el desagudador.

b) La eliminación del agua puede hacerse cuando se alcanza el equilibrio del manto freático y se registra su profundidad. Generalmente tardará de 10 a 30 minutos en volverse a llenar el pozo en un suelo moderadamente permeable( $K= 1.0$  m/día) y varias horas en un suelo de permeabilidad lenta( $K= 0.10$  m/día).

El método más efectivo de extraer el agua es por medio de un desagudador, es decir un tubo de paredes delgadas de 50-60 cm de longitud, con un diámetro de 2 cm menor que el de la Barrera y con una válvula en el extremo inferior.

c) La medición consiste en determinar la velocidad de ascenso del agua del pozo. Las observaciones se hacen con un intervalo de tiempo constante o con un intervalo de distancia fijos para medir el ascenso del agua. Para aumentar la precisión de los resultados y reducir las posibles irregularidades, generalmente se toman 5 lecturas, a medida que el agua asciende.

d) El cálculo de la conductividad hidráulica se puede obtener mediante el uso de gráficas, fórmulas o electrónicamente, para el presente caso se utilizó la última opción.

### 3.3.2.6. Clasificación de aguas con fines de Riego.

Los métodos de muestreo de agua, no fueron uniformes ya que variaron según la naturaleza de la fuente. De ahí que las 7

muestras de los drenes se tomaron del agua en movimiento y unos centímetros abajo de la superficie del agua.

De los mantos freáticos de los pozos agrológicos se tomaron 9 muestras de unos 10 cm abajo del espejo del agua. Y finalmente las muestra de los pozos profundo y aguas tratadas se tomaron en el tubo de descarga de la bomba de cada uno de los pozos, teniendo la precaución de que la muestra se obtuviese por lo menos una hora después de haber puesto a funcionar la bomba.

La cantidad mínima de agua que se requirió para someterla, al análisis químico ordinario, fue de un litro; el cual se manejo en recipiente de plástico. Al tomar la muestra, tanto el tapón como el recipiente se enjuagaron con la misma muestra a recoger.

Las muestras se acompañaron con una etiqueta que contenía el nombre y localización del sitio de muestreo y fecha de muestreo.

Los resultados de clasificaron de acuerdo a la clasificación del Laboratorio de Riverside. El significado e interpretación de las clases se resume a continuación. Allison(1977).

#### CONDICIONES DE SALINIDAD

C1. Son aguas de baja salinidad(100 a 250 micromhos/cm) que pueden ser empleadas para riego en la mayoría de los cultivos y prácticamente en todos los cultivos.

C2. Son aguas medianamente salinas(250 a 750 micromhos/cm) que pueden ser usadas para riego, si se proporciona un pequeño excedente con fines de lavado moderadamente tolerante, sin prácticas especiales para control de salinidad.

C3. Son aguas altamente salinas(750 a 2250 micromhos/cm) que no pueden ser usadas en suelos con drenaje restringido. Aunque el drenaje sea adecuado, se requerirá un manejo especial para control de la salinidad y se deberán seleccionar cultivos con buena tolerancia a las sales.

C4. Son aguas muy altamente salinas(más de 2250 micromhos/cm) inapropiadas para el riego bajo condiciones ordinarias, pero que pueden ser usadas ocasionalmente bajo condiciones muy especiales; el agua de riego se deberá de aplicar en exceso para proporcionar un lavado considerable y se deberá sembrar cultivos muy tolerantes a las sales.

#### CONDICIONES DE SODIO

S1. Son aguas bajas en sodio que pueden ser usadas para riego en prácticamente todos los suelos con muy pequeño peligro de que se creen niveles de sodio intercambiable.

S2. Son aguas medias en sodio que pueden ser muy peligrosas en suelos de texturas finas que tengan una alta capacidad de

intercambio de bases, especialmente cuando no se puede proporcionar un exceso de lavado, a menos que los suelos contengan yeso. Estas aguas pueden ser usadas en suelos de texturas gruesas orgánicas con buena permeabilidad.

53. Son aguas altas en sodio que pueden ocasionar niveles peligrosos de sodio intercambiable en la mayoría de los suelos y requerirá manejo especial de los suelos que se rieguen con ellas; buen drenaje, lavado abundante y ediciones de materia orgánica. Los suelos gipsíferos pueden no desarrollar niveles peligrosos de sodio intercambiable. Se podrá necesitar el uso de mejoradores químicos para reemplazar el sodio intercambiable, excepto en el caso de agua con muy alta salinidad en los que los mejoradores no se podrán aplicar.

54. Son aguas generalmente inadecuadas para riego, excepto en los casos en que tengan baja o quizá media salinidad. El uso de yeso u otros mejoradores pueden hacer factible el uso de estas aguas.

3.3.2.7. Clasificación de aguas por boro. El boro se encuentra en casi toda las condiciones naturales su concentración varía desde trazas hasta varias ppm. Eaton(1944) encontró que muchas plantas podían crecer normalmente con 0.03 a 0.04 ppm y que presentaban toxicidad cuando la concentración llegaba a 1.0 ppm. Las concentraciones tóxicas de boro que se encuentran en algunas aguas de riego obligan a tener presente a este elemento para establecer su calidad. Scofield(1936) propuso los límites señalados en la Tabla 10.

TABLA 10. LÍMITES PERMISIBLES DE BORO PARA AGUAS DE RIEGO

Clase por Boro	cultivos sensibles	Cultivos semitolerantes	Cultivos tolerantes
1	< 0.33	< 0.67	< 1.00
2	0.33 - 0.67	0.67 - 1.33	1.00 - 2.00
3	0.67 - 1.00	1.33 - 2.00	2.00 - 3.00
4	1.00 - 1.25	2.00 - 2.50	3.00 - 3.75
5	> 1.25	> 2.50	> 3.75

3.3.2.8. Clasificación de aguas por bicarbonatos. En aguas ricas en iones bicarbonato hay la tendencia del calcio y del magnesio a precipitarse en forma de carbonatos a medida que la solución del suelo se vuelve más concentrada. Esta reacción no se completa totalmente en circunstancias ordinarias, pero a medida que va teniendo lugar, las concentraciones de calcio y magnesio se van reduciendo, aumentando así la proporción relativa de sodio. Eaton(1950) usando el término "Carbonato de sodio Residual"  $\text{NaCO}_3 = (\text{CO}_3 + \text{HCO}_3) - (\text{Ca} + \text{Mg})$  Concluye lo siguiente:

Aguas que contengan mas de 2.5 me/litro de "Carbonato de Sodio Residual", no son apropiadas para fines de riego.

Aguas que contengan de 1.25 a 2.5 me/litro son marginales, y aquellas que contengan menos de 1.25 son seguras.



## 4. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1. CLASIFICACION TAXONOMICA.

#### 4.1.1. Descripción general de los suelos.

Los suelos se han formado a partir de materiales piroclásticos arrojados por los volcanes Xico y Teutli, los cuales fueron depositados en un medio lacustre; los suelos presentan un relieve que varía de plano a ligeramente ondulado, con pendientes menores al 1 %, son jóvenes y profundos ( > 2.0 mts ), con una capa de suelo mineral de espesor variable (30 a 50 cm), la cual está sobrepuesta a una estratificación de material orgánico denominado turba, ligeramente meteorizada. Estos suelos se localizan en el módulo 1 y parte del módulo 2.

De acuerdo a las unidades de suelos de FAO/UNESCO, los suelos turbosos se clasifican como Histosoles, los cuales son productivos bajo niveles muy especiales de manejo, ya que por lo general el número de cultivos que pueden prosperar en ellos es reducido, debido principalmente a los problemas de manto freático elevado, altas concentraciones de sales solubles, alto porcentaje de sodio intercambiable y otros elementos tóxicos como el boro el cual es aportado por el propio manto freático y el agua de los drenes que indebidamente se usa para riego.

Por otra parte, los suelos turbosos bajo condiciones de saturación absorben aproximadamente el doble de agua que cuando se encuentran a capacidad de campo, duplicando su volumen. Este proceso de hidratación y deshidratación causa agrietamientos y movimientos de inversión del suelo muy similares a los que ocurren en los vertisoles, lo cual origina ondulaciones en la superficie del terreno.

En nuestro país se utilizan algunos de éstos suelos para la agricultura, sobre todo de las hortalizas, con resultados aceptables, o hasta buenos dependiendo del grado de sales e inundación que tengan, así como de su fertilidad.

Los suelos restantes (32%) se han originado a partir del material piroclástico (arenas y cenizas volcánicas) depositados en la orilla del ex-lago de Chalco, es decir, en un medio no lacustre. Estos suelos presentan un modo de formación coluvio-aluvial, son jóvenes y profundos (mayor de 2.0 mts ), de textura franca, franco arenosa, o arena francosa, planos con pendientes menores al 2% y están ubicados en el módulo 3 y parte sur del módulo 2.

En las regiones costeras de nuestro país se usan algunos de estos suelos para cultivar cocoteros y sandía entre otros con buenos rendimientos, en Jalisco y otros estados del centro, se cultivan principalmente con granos y se obtienen buenos resultados.

4.1.2. Descripción de las series y fases de suelos. De acuerdo con las descripciones de campo de los perfiles de suelos, barrenaciones agrológicas y análisis físicos y químicos de las muestras de suelos se identificaron y delimitaron 2 series de suelos y 3 fases, mismas que se describen a continuación:

#### 4.1.2.1. SERIE XICO.

Distribución y superficie. Los suelos que agrupa esta serie están ubicados en el módulo 1 y en casi la totalidad del módulo 2, ocupando una superficie de 238.00 ha o sea el 67.2 % del total estudiado.

Uso actual. Aproximadamente el 50% de la superficie que ocupa esta serie está destinada a la siembra de maíz y algunas hortalizas. El resto del área está destinada al pastoreo de ganado que se explota bajo el sistema semiestabulado.

Topografía. Presentan un relieve plano a ligeramente ondulado, cuyas pendientes son menores al 1%, por lo cual en la temporada de lluvias se originan algunos encharcamientos.

Drenaje. El drenaje superficial es moderadamente lento.

Manto freático. No obstante que los trabajos de campo se realizaron en la época de estiaje, en algunas áreas se detectó el manto freático a 80-170 cm de profundidad. Los campesinos, manifestaron que en algunas áreas y durante la temporada de lluvias, éste se presenta a 20 y 30 cm de profundidad, lo cual originó una fase freática.

Características distintivas. Las más importantes son su modo de formación lacustre, en su superficie presenta un estrato mineral de espesos variable (30-50 cm), el cual descansa sobre varias capas de naturaleza orgánica, son planos y profundos.

Salinidad y/o sodicidad. En general, casi la totalidad de los suelos de esta serie se encuentran afectados en mayor o menor grado (7.1 a 23.5 mmhos/cm) por sales solubles. Existen tres pequeños manchones aislados (pozos 1, 8, y 12) que están ligeramente afectados por sodio intercambiable (16 a 22% de PSI).

Interpretación agronómica. Los análisis de laboratorio indican que estos suelos presentan texturas franco-arcillosa (Cr), franca (C), franco arcillo-arenosa (Cr<sub>a</sub>), y franco arenosa (Ca), es decir, texturas medias fácilmente laborables; el contenido de materia orgánica es extremadamente rico, ya que el horizonte superficial presenta valores de 11.0 a 19.0%, con lo cual se tendrá suficiente nitrógeno aprovechable para el desarrollo óptimo de los cultivos, siempre y cuando esta materia orgánica sea mineralizada, ya que actualmente se encuentra en un proceso muy lento de descomposición debido a los excesos de

saturación por agua y por la falta de actividad microbiana en el suelo.

En general, el pH es ligeramente alcalino y los contenidos de fósforo aprovechable y potasio intercambiable son bajos. La capacidad de intercambio catiónico de la capa arable varía de media a alta, lo cual significa que presentan una buena capacidad de retención de cationes intercambiables indispensables como nutrientes para el desarrollo adecuado de los cultivos.

Los contenidos de carbonato de calcio son altos (6 a 24%) en el horizonte superficial, lo cual probablemente interfiera en la asimilación de algunos nutrientes como el fósforo y potasio.

En 9 de los 10 pozos agrológicos realizados en esta serie, se detectaron altos contenidos de boro (1.4 a 8.7 ppm), lo cual inhibe el desarrollo adecuado de la mayoría de los cultivos. En el pozo restante se obtuvo un valor de 0.3 ppm.

Fases de suelo. En esta serie se delimitaron las fases freático-salina y fase salina, mismas que se describen a continuación: Fase Freático-salina. Son suelos con las mismas características de la serie, pero están afectados por la presencia de manto freático a poca profundidad (80-120 cm en el estiaje y de 20-30 cm en la temporada de lluvias), así como altos contenidos de sales solubles en el horizonte superficial (13.8 y 19.5 mmhos/cm). Fase salina. Estos suelos presentan las mismas características de la serie; sin embargo contienen sales solubles con valores que varían de 19 a 23.5 mmhos/cm.

Clasificación agrícola. Una pequeña parte de los suelos de esta serie se clasificó como 2 A1, siendo el factor de demérito el contenido de sales solubles; otra parte se delimitó como 3A1 D2 T2 por sus problemas de sales solubles, manto freático elevado y relieve ondulado; una parte se clasificó como 3 A1 T2 por problemas de salinidad y relieve ondulado; por último una pequeña parte como 4 D2 A1 por problemas de manto freático elevado y salinidad.

#### DESCRIPCIÓN DEL PERFIL REPRESENTATIVO

SERIE XICO

POZO NUM. 2

Localización del pozo agrológico: esquina sureste del módulo número 1.

HORIZONTE	PROFUNDIDAD (cm)	
Ap	0 - 30	color gris olivo (5Y 5/2) en seco y gris amarillento (2.5Y 6/1) en húmedo; textura franca; estructura laminar; consistencia ligeramente dura en seco, muy friable en húmedo, no adherente y ligeramente plástica en saturado; per-

meabilidad moderada mientras no esta saturado; sin manchas; abundantes raíces finas con orientación vertical; fuerte reacción al HCL; horizonte seco; no presenta cementación.

- II R1      30 - 55      Color gris cafésáceo (10 YR 5/2) en seco y café grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) en húmedo; textura franca; estructura en bloques subangulares, pequeños; frecuentes raíces finas y muy finas verticales; fuerte reacción al HCL; horizonte ligeramente húmedo; no presenta cementación.
- III R1      55 - 80      Color café oscuro (7.5 YR 4/2) en seco y gris muy oscuro (10 YR 3/1) en húmedo; textura franca; estructura laminar moderadamente desarrollada; consistencia muy dura en seco, firme en húmedo, ligeramente adherente y plástica en saturado; frecuentes poros finos y tubulares; permeabilidad moderada cuando el suelo está seco y muy lenta cuando está saturado; no presenta manchas; abundantes raíces finas y verticales; nula reacción al HCL; horizonte húmedo y no cementado.
- IV R1      80 - 100      Color café grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) en seco y negro (10 YR 2/1) en húmedo; textura franca; estructura en bloques subangulares, moderadamente desarrollados; consistencia ligeramente dura en seco, friable en húmedo, no adherente no plástica en saturado; escasos poros; permeabilidad moderada cuando el suelo está seco y lenta cuando está húmedo; abundantes raíces finas; muy fuerte reacción al HCL; horizonte muy húmedo y no cementado.
- V R1      100 - 140      Color café oscuro (10 YR 3/3) en seco y gris muy oscuro (10 YR 3/8) en húmedo; textura franca; estructura laminar, ligeramente desarrollada; consistencia dura en seco, firme en húmedo, no adherente y ligeramente plástica en saturado; escasos poros; permeabilidad moderada mientras no se sature el suelo; no se observaron raíces; muy fuerte

reacción al HCL; horizonte húmedo y no cementado.

- VI R1        140 - 180        Color café oscuro (7.5 YR 3/2) en seco y gris oscuro (10 YR 3/1) en húmedo; textura franco arenosa; estructura laminar, débilmente desarrollada; consistencia muy friable en húmedo, no adherente y ligeramente plástico en saturado; pocos poros muy finos; permeabilidad moderada cuando seco y lenta cuando saturado; presenta manchas debido a los estados de descomposición de la turba; no se observaron raíces; muy fuerte reacción al HCL; horizonte muy húmedo y no cementado.
- VII R1       180 - 200        Color café oscuro amarillento (10 YR 2/2) en húmedo; textura franco arenosa; estructura laminar, débilmente desarrollada; consistencia muy friable en húmedo, no adherente y ligeramente plástica en saturado; no se observaron poros; permeabilidad moderada cuando seco y lenta cuando saturado; no se observaron manchas; no existen raíces; muy fuerte reacción al HCL; horizonte muy húmedo y cementado.

Los suelos de esta serie corresponden a los histosoles de la clasificación FAO/UNESCO.

#### 4.1.2.2.- SERIE ZULA.

Distribución y superficie. Los suelos que agrupa esta serie están ubicados en el Módulo 3 y parte norte del Módulo 2. Ocupa una superficie de 112.3 Ha o sea el 31.7 % del total estudiado.

Uso actual.- La totalidad de los suelos correspondientes al Módulo 3 están dedicados al cultivo del maíz, hortalizas y alfalfa bajo condiciones de riego con aguas negras mezcladas con agua sulfurosa procedente del pozo profundo de San Juan Ixtayopan.

Topografía. Estos suelos presentan un relieve plano con pendientes menores al 2 % .

Drenaje.- El drenaje superficial de estos suelos es eficiente.

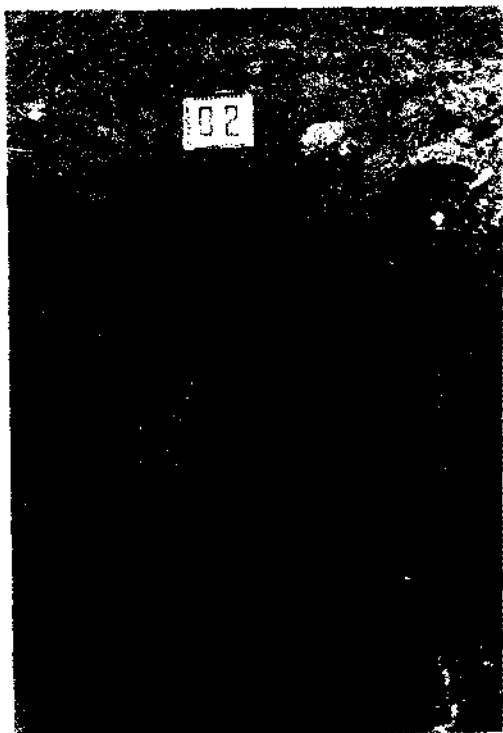


Foto Núm. 1. Perfil representativo de los suelos de la Serie Xico, los cuales se caracterizan por ser profundos, de formación lacústre y a partir de los 30 cm se presenta el material turboso.

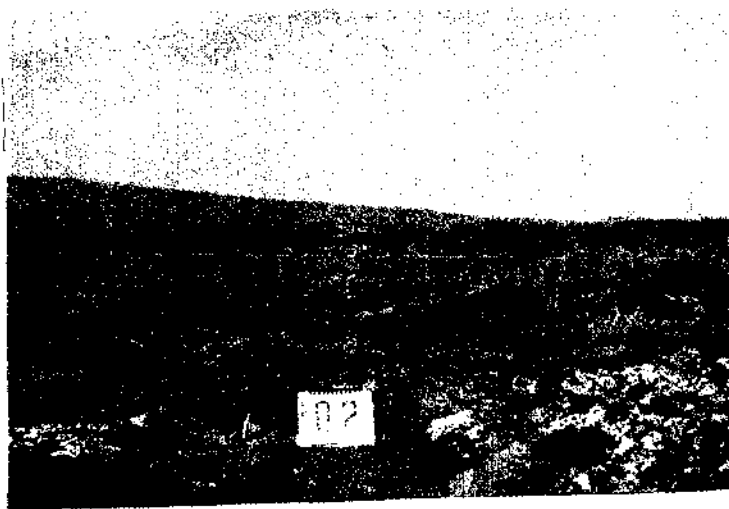


Foto Núm. 2. Panorámica correspondiente a los suelos de la Serie Xico, que incluye suelos ligeramente planos, con problemas de sales solubles.

LABORATORIO CENTRAL DE PADELOGIA  
ANALISIS FISICOS Y QUIMICOS DE SUELOS  
EDIFICIO APOLESEDO ESP. DE TURMADO, T.F.

FERTIL DEL SUELO: 9002 NRO 2

SEITE NICO

DET	NUMERO DE MUESTRA	0-30	30-60	60-95	95-130	130-200
1	PROFUNDIDAD (cm)	0-30	30-60	60-95	95-130	130-200
2	DENSIDAD REAL(g/cm)	.97	.98	.95	.98	.98
3	DENSIDAD APARENTE(g/cm)	69.20	100.00	117.40	122.20	96.10
4	CAPACIDAD DE CAMPO(%)	32.60	49.20	57.60	63.11	47.11
5	P.M.P.(%)	36.60	51.80	55.80	62.10	49.00
6	T ARENA(%)	29.80	52.90	44.40	46.00	41.10
	E LIMO(%)	37.30	20.20	34.20	36.60	52.60
	T ARCILLA(%)	32.90	25.90	21.40	17.20	6.30
	R CLASIFICACION TEXTURAL	Cr	Cr2	C	C	CL
	A					
7	pH EN H2O (1:2)	8.60	8.40	8.20	8.40	8.50
8	C.E. (mhos/cm)					
9	MATERIA ORGANICA(%)	12.80	26.10	16.80	13.10	17.80
10	FOSFORO APROVECHABLE(ppm)	5.46	13.30	10.90	12.30	10.90
11	CARBONATO DE CALCIO(%)	8.60	5.20	6.20	15.20	15.20
12	CAP. INTER. CAT. (me/100g)	36.70	72.10	33.90	20.90	22.90
13	C CALCIO (me/100g)	8.30	21.60	8.00	8.10	10.50
14	M MAGNESIO "	18.30	50.60	20.10	8.80	8.10
15	N SODIO "	2.90	7.20	4.10	3.20	2.10
16	I POTASIO "	1.40	.90	.60	.35	.50
17	C MANGANESO "					
18	N FIERRO "					
19	E ALUMINIO "					
20	CONDUCT. ELEC. EN EL EXTRATO DE SATURACION(mhos/cm)	19.00	16.50	19.00	13.60	12.00
21	pH EN PASTA	8.40	7.80	8.30	8.30	8.50
22	CANTIDAD DE AGUA P. SAT. (%)	166.50	247.50	175.50	212.50	163.80
23	CALCIO (me/l)	44.30	47.10	55.60	52.78	35.70
24	MAGNESIO "	50.10	78.40	86.50	73.19	73.60
25	SODIO "	159.10	111.60	126.40	71.20	77.60
26	POTASIO "	2.00	1.50	1.30	0.70	0.60
27	CARBONATOS "	10.60	0	0	15.10	5.00
28	BICARBONATOS "	1.54	12.60	15.10	0.50	2.50
29	CLORUROS "	47.68	47.60	57.60	47.60	62.60
30	SULFATOS "	183.38	166.60	101.50	143.70	114.40
31	BORO "	5.86	5.10	4.00	.80	3.40
32	R A S	22.10	14.10	14.90	8.80	10.50
33	P S I	7.70	9.30	11.90	12.50	8.90
34	C I YESO me/100g	11.60	0	2.20	.60	0
35	A L E S					



Perfil Núm. 3. Perfil representativo de los suelos de la Serie Xico, fase freática-salina, obsérvese la presencia del manto freático a los 80 cm de profundidad.



Foto Núm. 4. Panorámica correspondiente a los suelos de la Serie Xico, fase freático-salina, en donde se puede observar el desarrollo deficiente del cultivo del maíz, debido a la falta de agua de riego y a la presencia de sales solubles.



LABORATORIO CENTRAL DE AGRICULTURA  
ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE SUELOS  
ESTUDIO AGRÍCOLO ESP. DE TIAMUAC, D.F.

PERFIL DEL SUELO: PGOZ NO 7

SERIE XICO, FASE FREÁTICA-SALINA

DET	NUMERO DE MUESTRA	0-40	40-70	70-85				
	PROFUNDIDAD (cm)							
1	DENSIDAD REAL(g/cm)							
2	DENSIDAD APARENTE(g/cm)	.96	.92	.97				
3	CAPACIDAD DE CAMPO(%)	86.60	122.20	106.60				
4	P.M.P.(%)	42.30	60.10	52.30				
5	AGUA APROVECHABLE(%)	44.30	62.10	54.30				
6	T ARENA(%)	34.80	35.70	42.60				
	E LIMO(%)	31.40	26.20	35.30				
	X ARCILLA(%)	33.70	38.10	22.10				
	T U R A CLASIFICACION TEXTURAL	Cr	Cr	C				
7	pH EN H2O (1:2)	8.60	8.20	7.80				
8	C.E. (mhos/cm)							
9	MATERIA ORGANICA(%)	16	24.70	34.60				
10	FOSFORO APROVECHABLE(ppm)	14.10	6.20	4.60				
11	CARBONATO DE CALCIO(%)	7.10	8.09	8.20				
12	CAP. INTER. CAT. (me/100g)	42.20	67.90	75.20				
13	C CALCIO (me/100g)	16.50	20.40	14.70				
14	A I MAGNESIO "	10.10	6.70	4.80				
15	T N SODIO "	2.60	4.30	4.50				
16	I T POTASIO "	.90	.40	.50				
17	D E MANGANESO "							
18	N R FIERRO "							
19	E ALUMINIO "							
20	CONDUCT. ELEC. EN EL EXTRATO DE SATURACION(mhos/cm)	12.00						
21	pH EN PASTA	8.30						
22	CANTIDAD DE AGUA A SAT.(%)	126.80						
23	CALCIO (me/L)	48.40						
24	S MAGNESIO "	29.20						
25	B SODIO "	81.50						
26	I L POTASIO "	.90						
27	D U CARBONATOS "	10.10						
28	N B BICARBONATOS "	7.50						
29	E L CLORUROS "	27.60						
30	S E SULFATOS "	107.30						
31	S BORO "	8.80						
32	E S R A S	13.10						
33	P E P S I	6.10						
34	C I YESO me/100g	12.50	0	0				
35	A L E S							

Manto freático.- En ninguno de los pozos agrológicos se observo el manto freático a menos de los 2 metros de profundidad, mismo que tampoco se presenta en la temporada de lluvias.

Características distintivas.- Los suelos agrupados en esta serie se caracterizan por ser profundos (mayor de 2.0 mts), de formación coluvio-aluvial, presenta texturas medias (franco arenosa, franca o areno-francosa), permeabilidad moderada y son planos con pendientes menores al 2 % .

Génesis.- Estos suelos se originaron a partir del intemperismo físico-químico de los materiales piroclásticos arrojados por los volcanes Xico y Teutli y depositados en un medio no lacustre; el modo de formación es coluvio-aluvial y el grado de desarrollo es joven.

Salinidad y/o sodicidad. Con base en los análisis físicos y químicos de suelos, el área que presenta contenidos de sales perjudiciales para algunos cultivos son aquellos que circundan al pozo agrológico número 9, lo cual dio origen a una fase salina.

Interpretación de los análisis.- Con base en los análisis físicos y químicos de las muestras de suelos se observa lo siguiente: Los contenidos de materia orgánica son moderados debido a que son menores de 2.6 % . El fósforo aprovechable y potasio intercambiable son muy bajos (menores de 6.2 y 3.2 ppm, respectivamente). El pH es ligeramente ácido (6.5). La capacidad de retención de humedad es muy baja, debido a las texturas arenosas que presentan. Están libres de sales solubles.

Fases de suelos.- Se delimitó la fase salina, misma que tiene una conductividad eléctrica de 9 mmhos/cm en la capa arable y en el horizonte subyacente. Está ubicada al sur del Módulo 2.

Clasificación agrícola.- La mayor parte de los suelos que agrupan esta serie, se clasificaron como 2 51-3, debido a que presentan texturas gruesas y permeabilidad moderadamente rápida; una pequeña parte se clasificó como 2 A1 T2 por problemas de salinidad y relieve ondulado.

#### DESCRIPCION DEL PERFIL REPRESENTATIVO

SERIE ZULA

POZO NUM. 14

Localización. Aproximadamente a 300 metros al noroeste del poblado de San Antonio Tecomilt.

Ap	0 - 30	Color café amarillo-grisáceo ( 10 YR 6/2) en seco y café oscuro (10 YR 3/3) en húmedo; textura franca; sin estructura; consistencia suave en seco, muy friable en húmedo, ligeramente
----	--------	---

plástica y ligeramente adherente en saturado; muy pocos poros finos; abundantes raíces finas y muy finas, verticales; permeabilidad moderada; nula reacción al HCL; horizonte seco no cementado.

- C1 30 - 60 Color café amarillo opaco (10 YR 6/3) en seco y café oscuro (10 YR 3/4) en húmedo; textura franca; estructura en bloque subangulares de tamaño chico y desarrollo moderado; consistencia ligeramente dura en seco, friable en húmedo, ligeramente plástica y ligeramente adherente en saturado; abundantes poros finos, de forma tubular; permeabilidad moderada; nula reacción al HCL; horizonte seco no cementado.
- C2 60 - 95 Color café amarillo brillante (10 YR 8/4) en seco y café oscuro (10 YR 3/4) en húmedo; textura franco arenosa; estructura en bloque subangulares chicos y desarrollo débil; consistencia suave en seco, friable en húmedo, no adherente y no plástica en saturado; frecuentes poros finos; raíces muy finas y verticales; permeabilidad moderadamente rápida; nula reacción al HCL; horizonte seco.
- C3 95 - 130 Color café muy pálido (10 YR 8/3) en seco y café oscuro (10 YR 3/4) en húmedo; textura franco-arenosa; estructura en bloques subangulares, chicos, débilmente desarrollados; consistencia suave en seco, muy friable en húmedo, no adherente y no plástica en saturado; frecuentes poros muy finos, tubulares; escasas raíces muy finas y verticales; permeabilidad moderadamente rápida; presenta pocas y pequeñas gravas redondeadas, de naturaleza pumítica; nula reacción al HCL; horizonte seco no cementado.
- C3 130 - 200 Color café muy pálido (10 YR 8/3) en seco y café oscuro (10 YR 3/3) en húmedo; textura franco-arenosa; estructura en bloques subangulares, chicos, débilmente desarrollados; consistencia suave en seco, muy friable



Foto Número 5. perfil representativo de los suelos de la serie Zula. Estos suelos son profundos y de texturas medias.



Foto Número 6. panorámica de los suelos correspondientes a la serie Zula, cuyo relieve es plano y su pendiente menor de 2%.

LABORATORIO CENTRAL DE AGROLOGIA  
ANALISIS FISICOS Y QUIMICOS DE SUELOS  
ESTUDIO AGROLOGICO ESP. DE TLAHUAC, D.F.

PERFIL DEL SUELO: POZO NO. 14

SERIE ZULA

DET	NUMERO DE MUESTRA PROFUNDIDAD (cm)	0-25	25-70	70-120	120-150		
1	DENSIDAD REAL (g/cm <sup>3</sup> )						
2	DENSIDAD APARENTE (g/cm <sup>3</sup> )	1.15	1.16	.93	.95		
3	CAPACIDAD DE CAMPO (%)	21.80	17.50	9.90	8.10		
4	P.M.P. (%)	11.30	8.80	4.90	4.10		
5	AGUA APROVECHABLE (%)	10.30	8.70	5.00	4.00		
6	T ARENA (%)	67.20	71.40	65.10	73.30		
	E						
	X LIMÓ (%)	26.70	22.50	26.80	20.50		
	U ARCILLA (%)	6.10	6.10	8.10	6.20		
R							
A	CLASIFICACION TEXTURAL	Ca	Ca	Ca	Ca		
7	pH EN H <sub>2</sub> O (1:2)	6.30	5.80	5.80	5.70		
8	C.E. (mhos/cm)						
9	MATERIA ORGANICA (%)	1.20	.90	.80	.80		
10	FOSFORO APROVECHABLE (ppm)	3.10	3.10	3.10	10.90		
11	CARBONATO DE CALCIO (%)	0	0	0	0		
12	CAP. INTER. CAT. (me/100g)	18.40	14.60	16.80	15.20		
13	C CALCIO (me/100g)	6.90	5.40	6.00	5.80		
14	M MAGNESIO "	1.90	1.40	1.90	1.70		
15	N SODIO "	1.70	3.10	1.20	.50		
16	I POTASIO "	.80	.70	.80	.80		
17	O MANGANESO "						
18	R FIERRO "						
19	E ALUMINIO "						
S							
20	CONDUCT. ELEC. EN EL EXTRATO DE SATURACION (mhos/cm)	.80	1.40	2.60	2.10		
21	pH EN PASTA	6.20	5.70	5.60	5.40		
22	CANTIDAD DE AGUA A SAT. (%)	44.50	41.40	43.50	41.80		
23	CALCIO (me/l)						
24	S MAGNESIO "						
25	D SODIO "						
26	I POTASIO "						
27	O CARBONATOS "						
28	N BICARBONATOS "						
29	E CLORUROS "						
30	S SULFATOS "						
31	S BORO "						
32	E S R A S						
33	P E P S I						
34	C I YESO me/100g	0	0	0	0		
35	R A L E S						

en húmedo, no adherente y no plástica en saturado; escasos poros muy finos y tubulares; sin raíces; permeabilidad moderadamente rápida; presencia de pocas y pequeñas gravas redondeadas de naturaleza pumítica; nula reacción al HCL; horizonte seco no cementado.

4.1.3. Superficies de series y fases de suelos. En la Tabla 11 se detallan las superficies de series y fases de suelos identificadas y delimitadas en el área estudiada.

TABLA 11. SUPERFICIES DE SERIES Y FASES DE SUELOS

SERIES Y FASES	SUP(ha)	SUP( % )
Serie Xico	15.00	4.24
Fase freático-salina	139.20	39.32
Fase salina	83.80	23.67
SUBTOTAL	238.00	67.23
Serie Zula	100.00	28.24
Fase salina	12.30	3.47
SUBTOTAL	112.30	31.71
CUERPO DE AGUA	3.75	1.06
T O T A L	354.05	100.00

#### 4.2. Clasificación interpretativa.

La clasificación interpretativa de los suelos, se efectuó utilizando el Sistema de Clasificación de Tierras con Fines de Riego en 6 Clases del Bureau of Reclamation, el cual se adaptó a las condiciones predominantes de la zona.

De esta manera, en el área estudiada se delimitaron tres clases de tierras por su aptitud para la agricultura de riego permanente (Tabla 12). Estas tres clases (2,3 y 4) son regables y sus deficiencias y restricciones son progresivas en el mismo orden.

TABLA 12. SUPERFICIES DE CLASES Y SUBCLASES DE TIERRAS

CLASE Y SUBCLASE	SUP. (ha)	SUP. ( % )
2 S	115.00	32.48
2 ST	12.30	3.47
TOTAL CLASE 2	127.30	35.95
3 ST	44.20	12.48
3 SDT	130.90	36.98
TOTAL CLASE 3	175.10	49.46
4 SD	7.00	1.98
4 S	32.10	9.06
4 ST	7.50	2.12
4 DS	1.30	0.37
TOTAL CLASE 4	47.90	13.53
SUBTOTAL GENERAL	350.30	98.94
CUERPO DE AGUA	3.75	1.06
TOTAL GENERAL	354.05	100.00

#### 4.2.1. Superficies por clase y subclase de tierras.

Clase 2. Incluye tierras con moderada aptitud para la agricultura de riego, debido a que presentan ligeras limitaciones de suelo, topografía y drenaje. Actualmente comprenden una superficie de 127.3 ha, equivalentes al 35.95 % del total estudiado, se identificaron las siguientes subclases: 2 S(2S); 2 ST(1) y 2 S(1).

Subclase 2 S(2S). Abarca una superficie de 100 ha que equivale al 28.24 % del total y su factor demeritante es la textura arenosa(S1) y permeabilidad rápida(S3).

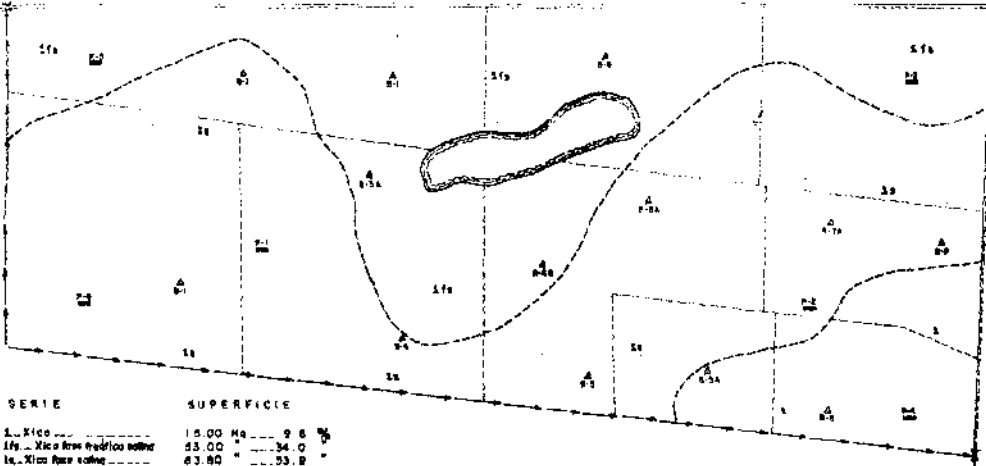
Subclase 2 ST(1). Comprende una superficie de 12.3 ha, equivalentes al 3.47 % del total. Estas tierras están afectadas por salinidad(A1) y por relieve ligeramente ondulado(T2). Estos suelos están ligeramente afectados por sales solubles(CE = 9 mmhos/cm), el sodio intercambiable es menor de 15 %.

Tomando en cuenta que la velocidad de infiltración de los suelos varía de moderada a rápida(2.5 a 8.2 cm/hora) debido a la textura arenosa, se considera que el método de riego más adecuado es el de aspersión, con el cual se disminuyen las pérdidas de agua por conducción y evaporación.

Subclase 2 S(1). Abarca un total de 15 ha que equivalen al 4.24 % del total, se encuentran afectadas por salinidad(A1). La afectación por salinidad es del orden de 14.8 mmhos/cm.



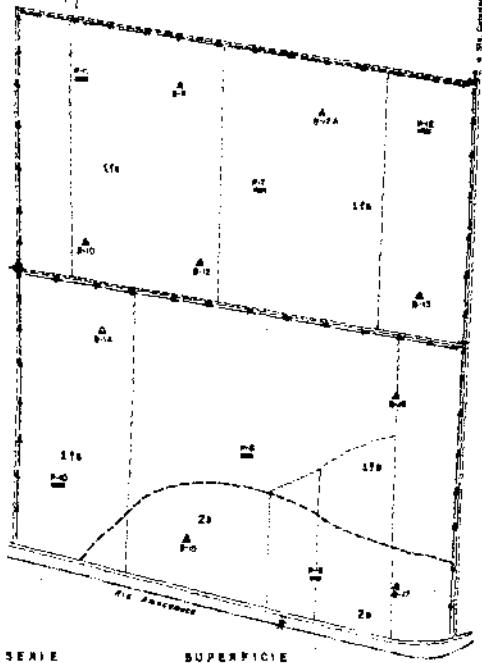
### Modulo 1



SERIE	SUPERFICIE
1a. Xico	15.00 Ha. 9.6 %
1fa. Xico fase fríasica salina	33.00 " 34.0 %
1s. Xico fase salina	63.80 " 53.9 %
<b>SUBTOTAL</b>	<b>111.80 Ha. 97.5 %</b>
Corpo de Agua	3.75 " 2.5 %
<b>TOTA</b>	<b>115.55 Ha. 100.0 %</b>



### Modulo 2



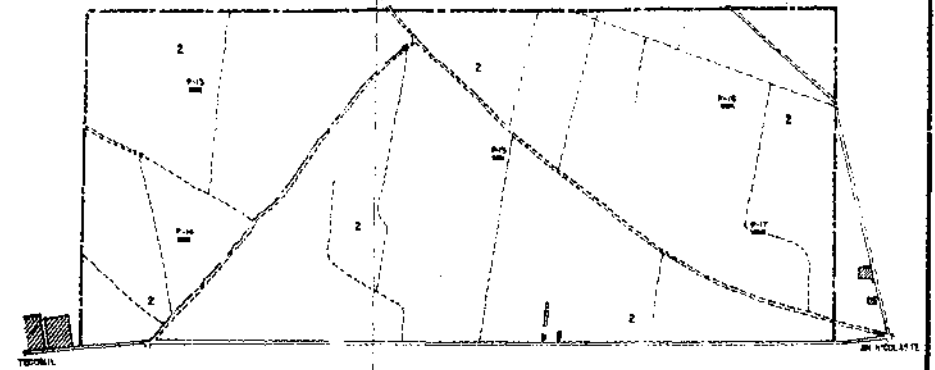
SERIE	SUPERFICIE
1fa. Xico fase fríasica salina	86.2 Ha. 87.5 %
2s. Xico fase salina	12.3 " 12.5 %
<b>TOTAL</b>	<b>98.5 " 100.0 %</b>

SIMBOLOGIA	
Carretero	
Camino de Terracerro	
Camino de herradura	
Varado	
Cuerpo de agua	
Dren	
Puente	
Pozo agrícola	
Barrero Agrícola	
Lindero de series y Fases	
Arroyo	
Limite de Estudio	

Escala Grafica

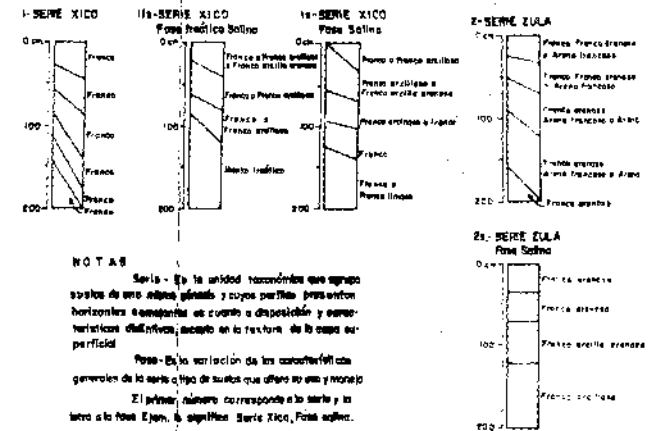


### Modulo 3



SERIE	SUPERFICIE
2. Zula	100 Ha. 100.0 %

#### PERFIL DE LA SERIE DEL SUELO



**NOTAS**

Serie - Es la unidad taxonómica que agrupa suelos de una misma familia y cuyos perfiles presentan horizontes semejantes en cuanto a disposición y características diagnósticas, excepto en la textura de la capa superficial.

Fase - Es la variación de las características generales de la serie o tipo de suelo que afecta su uso y manejo.

El primer número corresponde a la serie y la letra a la fase. Ejem. 1a significa Serie Xico, Fase salina.

UdeG FACULTAD DE AGRONOMIA

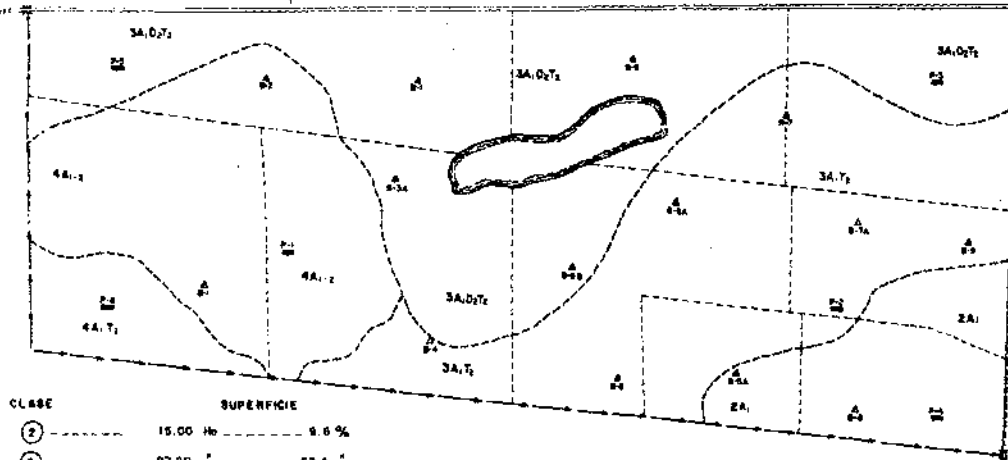
TESIS QUE PRESENTA:  
JACINTO GUZMAN MURIZ

Estudio Agrológico Especial de  
3 Modulos Agropecuarios Tlahuac, D.F.  
SERIES Y FASES DE SUELOS





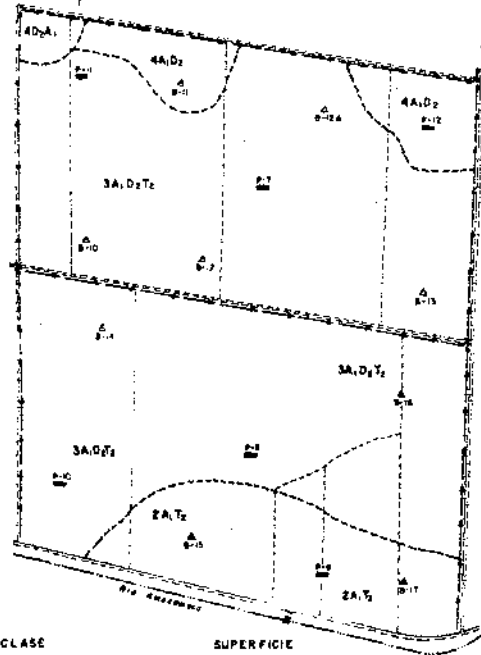
### Modulo 1



CLASE	SUPERFICIE	
2	15.00 Ha	9.6 %
3	97.20 "	62.4 "
4	39.60 "	25.5 "
SUBTOTAL		151.80 Ha 97.5 %
CUERPO AGUA		3.75 " 2.5 "
TOTAL		155.55 Ha 100.0 %



### Modulo 2



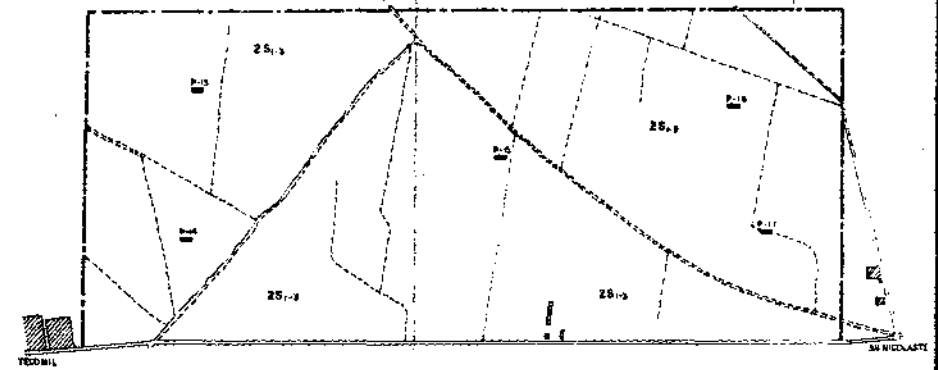
CLASE	SUPERFICIE	
2	12.3 Ha	12.5 %
3	77.9 "	79.1 "
4	9.3 "	9.4 "
TOTAL		99.5 Ha 100.0 %

SIMBOLOGIA	
Carretera	
Camino de Terrocaria	
Camino de herradura	
Vereda	
Cuerpo de agua	
Dren	
Puerto	
Pozo agronómico	
Barrero Agronómico	
Línea de clasificación agrícola	
Arroyo	
Límite de Estudio	

Escala Grafica



### Modulo 3



CLASE	SUPERFICIE	
2	100 Ha	100 %

### CLASIFICACION DE SUELOS PARA FINES DE RIEGO (1-6 CLASES)

- Suelos con ninguna o muy pocas limitaciones para la irrigación, son productivos y con un mínimo de manejo pueden producir cosechas de alto rendimiento en la mayor parte de los cultivos adaptados climáticamente.
- Suelos que tienen de ligeras a moderadas limitaciones para fines de riego, son moderadamente productivos y requieren un mejor manejo para obtener cosechas con altos rendimientos de los cultivos adaptados climáticamente.
- Suelos que tienen de moderadas a severas limitaciones para fines de riego, son de productividad restringida para la mayor parte de los cultivos adaptados climáticamente o son suelos que requieren de un manejo de alto nivel para obtener cosechas de moderados o altos rendimientos.
- Suelos que tienen muy severas limitaciones para fines de riego y generalmente son adecuados para unos cuantos cultivos adaptados climáticamente, que pueden crecer o producir bajo un nivel muy alto de manejo.
- Suelos cuyos problemas actuales son de tal naturaleza que impiden su uso bajo riego. Requieren de un estudio especial (agronómico, económico u otros) o la terminación de los trabajos de mejoramiento para determinar su clasificación definitiva.
- No irrigable

### FACTORES DE CLASIFICACION

R <sub>1</sub> = Textura	T <sub>r</sub> = Pendiente
S <sub>g</sub> = Profundidad del suelo	T <sub>r</sub> = Relieve
S <sub>p</sub> = Permeabilidad	A = Salinidad
P <sub>1</sub> = Pedregosidad (perfil)	A <sub>r</sub> = Salinidad
P <sub>s</sub> = Pedregosidad (superficial)	D <sub>1</sub> = Drenaje superficial
P <sub>3</sub> = Recalidad	D <sub>2</sub> = Profundidad del manto freático
E = Erosión	D <sub>3</sub> = Profundidad estrato impermeable

1 = Inundación

UdeG FACULTAD DE AGRONOMIA

TESIS QUE PRESENTA:  
JACINTO GUZMAN MURIZ

Estudio Agronómico Especial de  
3 Módulos Agropecuarios Tlahuac, D.F.  
CLASIFICACION AGRICOLA

Clase 3. Incluye tierras menos aptas para la agricultura de riego que la clase anterior, debido a que presenta mayores deficiencias de suelo y drenaje. Cubren una superficie de 175.1 ha, equivalentes al 49.45 % del total estudiado. Se delimitaron las siguientes subclases: 3 SDT(1) y 3 ST(1).

Subclase 3 SDT(1). Comprende 130.9 ha, equivalentes al 36.97 % del total. Estas tierras se encuentran afectadas por problemas de salinidad(R1), manto freático elevado y de mala calidad(D2) y, en menor grado, por relieve ligeramente ondulado(T2).

Estos suelos se encuentran afectados por salinidad(8.5 a 19.5 mmhos/cm); no presentan problemas por sodio. Con objeto de abatir el manto freático de estos suelos, así como para eliminar los excesos de agua aplicadas para lavados es necesario establecer un sistema de drenaje eficiente.

Subclase 3 ST(1). Abarca una superficie de 44.2 ha equivalentes al 12.48 % del total estudiado. Estos suelos se encuentran afectados por salinidad(R1) y en menor grado por relieve ondulado(T2).

Los excesos de sales solubles son del orden de 10.6 a 26.5 mmhos/cm. En lo que respecta al PSI(5.5 - 11.0) no se considera necesario la aplicación de mejoradores químicos. Al igual que en la subclase anterior se hace necesario establecer un sistema de drenaje eficiente.

Clase 4. Agrupa tierras presentan una o varias deficiencias susceptibles de corregirse a un costo muy alto. Son aptas para la agricultura de riego y pueden ser utilizadas intensivamente con dos o tres cultivos seleccionados; los costos de mejoramiento requieren fuertes inversiones que son justificadas por los beneficios esperados.

Agrupan 47.9 Ha, equivalentes al 13.54 % de la superficie total, se delimitaron las siguientes subclases: 4 ST; 4 S; 4 DS y 4 SD.

Subclase 4 ST(1). Comprende una superficie de 7.5 ha equivalentes al 2.12 % .El demérito principal de estos suelos son sus muy altos contenidos de sales solubles(R1) y en menor grado su relieve ligeramente ondulado(T2).

Estos suelos se encuentran fuertemente afectados por salinidad(21.5 mmhos/cm). En lo que se refiere al PSI, en estos suelos se reporta un 10.2 %, por lo que no es necesario aplicar mejoradores químicos.

Subclase 4 S(1). Abarca una superficie de 32.1 ha, equivalentes al 9.07 % del total. Su factor demeritante son sus altas concentraciones de sales solubles(R1) y su contenido de

sodio intercambiable(A2).

Estos suelos se encuentran fuertemente afectados por sales solubles(20.0 a 23.2 mmhos/cm) y su porcentaje de sodio intercambiable(PSI) es de 18.7 a 30 cm de profundidad.

Subclase 4 SD(1). Esta subclase abarca 1.3 ha, o sea el 0.37 %. Estos suelos se encuentran afectados por manto freático elevado(D2) y por sus altos contenidos de sales solubles (A1). En estos suelos el manto freático aflora durante todo el año; asimismo, su conductividad eléctrica es de 15.7 mmhos/cm. Respecto al sodio, estos suelos contienen un porcentaje de sodio intercambiable de 12.65, por lo que no requieren la aplicación de mejoradores.

Subclase 4 SD(1). Comprende una superficie de 7.0 ha, equivalente al 1.98 % del total estudiado. Estos suelos se encuentran afectados por salinidad(A1) y en menor grado por manto freático elevado(D2). Lo anterior implica la necesidad de establecer un sistema de drenaje con objeto de abatir el manto freático elevado y poder aplicar láminas de sobrerriego para eliminar los excesos de sales. No presentan problemas por sodio intercambiable.

Como se podrá observar la mayoría de los suelos se encuentran afectados por sales solubles, por lo que el mejoramiento de dichos suelos se puede llevar a cabo por medio de lavados, es decir, la aplicación de láminas de agua, con objeto de disolver y transportar las sales solubles fuera de la zona radicular o bien drenarlos artificialmente.

Para que el lavado de los suelos así como para abatir el manto freático de las zonas afectadas, es necesario utilizar agua de buena calidad y que se cuente con un sistema de drenaje debidamente planificado.

#### 4.3. Densidad aparente.

En la serie Xico se realizaron 4 pruebas de campo en donde se observa que la densidad aparente de éstos suelos es baja debido al alto contenido de materia orgánica. Sus valores oscilan de 0.59 a 0.73 grs/ml (Tabla 13). En la serie Zula los valores obtenidos se incrementan ligeramente de 0.95 a 1.22 grs/ml.

#### 4.4. Velocidad de infiltración.

Se realizaron un total de 11 pruebas, en lugares representativos de las 2 series identificadas, tratando de perturbar al mínimo las condiciones naturales del suelo. De este total, 2 se efectuaron sobre turba con la finalidad de observar la velocidad de infiltración del agua sobre un horizonte orgánico (Tabla 14).

TABLA 13. DENSIDAD APARENTE DE LOS SUELOS

SITIO DE PRUEBA	SERIE	D.A. (g/ml)
Pozo agrológico 1	XICO	0.70
Pozo agrológico 2	XICO	0.59
Pozo agrológico 7	XICO	0.73
Pozo agrológico 10	XICO	0.85
Pozo agrológico 9	ZULA	1.02
Pozo agrológico 14	ZULA	1.00
Pozo agrológico 15	ZULA	0.95
Pozo agrológico 16	ZULA	1.22

TABLA 14. VELOCIDAD DE INFILTRACION BASICA DE LOS SUELOS

Sitio de la prueba	Serie de suelo	Vel. Infiltración (cm/h)	Clasificación D'Neal y Uhlend
Pozo agrol 1	Xico	9.26	Rápida
Pozo agrol 2	Xico	2.28	Moderada
Pozo agrol 7	Xico	19.89	Muy rápida
Pozo agrol 8	Xico	3.96	Moderada
Pozo agrol 9	Zula	3.05	Moderada
Pozo agrol 10	Zula	7.04	Rápida
Pozo agrol 15	Xico	5.48	Moderada
Pozo agrol 16	Zula	8.22	Rápida
Pozo agrol 1 (turba)	Xico	53.72	Ext. rápida
Pozo agrol 7 (turba)	Xico	50.29	Ext. rápida
Pozo agrol 9	Zula	2.50	Moderada

#### 4.5. Conductividad hidráulica.

Dado que sólo la serie Xico presentó problemas de manto freático, todas las pruebas (6 en total con tres repeticiones c/u) se realizaron en suelos de esta serie. Los valores obtenidos se clasificaron con base en los parámetros establecidos por O'Neal y Uhlend, obteniéndose una conductividad hidráulica de moderada a muy rápida, es decir de 1.3 a 4.3 m/día.

#### 4.6. Clasificación de aguas para riego/Riverside.

La situación actual de las aguas de riego del área estudiada, se detalla a continuación de acuerdo a sus contenidos de sales solubles y sodio intercambiable (Tabla 15).

Clase C2 51. Esta clase de agua se encontró en las muestras tomadas de los drenes a cielo abierto, así como en el pozo profundo de San Juan Ixtayopán. Se caracterizan por su contenido medio de sales solubles (520 micromhos/cm) y bajo en sodio

intercambiable(1.62 %). Los suelos en las que se apliquen en forma de riego, requerirán de algunas prácticas ligeras de control de salinidad. Por su contenido de sodio existe poca probabilidad de que se alcancen niveles peligrosos.

Clase C3 S1. Las aguas con estos problemas fueron tomadas de los drenes a cielo abierto y de las aguas negras tratadas. Se caracterizan por un alto contenido de sales solubles(1296 a 1700 micromhos/cm.) y bajo en sodio intercambiable(4.5 %). por su contenido de sales, no son aptas para suelos cuyo drenaje interno sea deficiente. Por sodio intercambiable, existe poca posibilidad de que se acumulen cantidades peligrosas de sodio.

Clase C3 S2. Esta clase de agua solo se encontró en las muestras obtenidas de los drenes a cielo abierto. Poseen un alto contenido de sales solubles (1296 a 1700 micromhos/cm.) y medio en sodio intercambiable (5.0 a 5.4). Por salinidad, no son aptas para suelos con drenaje interno deficiente. Por sodio intercambiable, no son aptas para suelos con una alta capacidad de intercambio catiónico, porque se corre el riesgo de que se acumulen cantidades peligrosas de sodio.

Clase C4 S2. Esta clase se encontró en las muestras tomadas de los mantos freáticos de los pozos agrológicos. Presentan muy alto contenido de sales solubles(2850 a 15000 micromhos/cm.) y medio en sodio intercambiable(5.0 a 5.4 %). Por su salinidad, definitivamente no son apropiadas para el riego bajo condiciones normales de manejo. Por sodio intercambiable, el uso de ellas para el riego se restringe a lo señalado en la clasificación anterior.

Clase C4 S3. Al igual que la clase anterior, se encontraron el mantos freáticos de los pozos agrológicos. Poseen muy alto contenido de sales solubles(2850 a 15000 micromhos/cm.) y alto contenido de sodio intercambiable(10.1 %). Por su salinidad, no son apropiadas para el riego bajo condiciones normales de manejo; por sodio intercambiable, su uso en el riego puede originar niveles tóxicos en la mayoría de los suelos, si éstos no contienen yeso.

Clase C4 S4. Estas aguas se caracterizan por sus muy altos contenidos de sales soluble(2850 a 15000 micromhos/cm.) y de sodio intercambiable(11.6 a 13.1 %). Estas aguas definitivamente no son apropiadas para el riego, sin la aplicación de prácticas de alto manejo y selección de cultivos altamente tolerantes a la salinidad y sodicidad. Estas muestras se tomaron tanto de los mantos freáticos de los pozos agrológicos, como de los drenes a cielo abierto.

#### 4.7. Clasificación de aguas por boro.

Por otra parte, se considero la clasificación del agua de riego por sus contenidos de boro. Este es un microelemento indispensable para el buen desarrollo de algunas plantas; sin embargo, a muy bajas concentraciones (0.7-1.5 ppm) empieza a ser tóxico para la mayoría de los cultivos. Por esto, es necesario establecer la calidad de las mismas en base a su contenido expresado en partes por millón(ppm).

Los resultados obtenidos son los siguientes:

- 1) Las aguas de los drenes contiene de 0.30 a 1.20 ppm de boro. Es decir son aptas para todos los cultivos.
- 2) Las aguas del manto freático reportan contenidos de boro que fluctúan de 1.24 a 3.80, lo cual quiere decir que estas aguas sólo son aptas para cultivos semitolerantes o tolerantes.
- 3) Las aguas negras tratadas reportan 0.96 ppm de boro, es decir, pueden ser utilizadas para el riego de la mayoría de los cultivos, con riesgos mínimos de afectación.
- 4) Las aguas del pozo profundo de San Juan Ixtayopan reportan 1.04 ppm de boro, lo cual significa que son aptas para la mayoría de los cultivos.

#### 4.8. Clasificación de aguas por bicarbonatos.

Finalmente, se considero el análisis de las aguas de riego con base en su contenido de bicarbonatos. En los análisis que se efectuaron, se empleó el término "Carbonato de Sodio Residual", en miliequivalentes por litro (me/l). Los resultados obtenidos son los siguientes:

- 1) Agua de los drenes. Reportan en su mayoría, un contenido de Carbonato de Sodio residual que fluctúa de 2.42 a 7.07 me/l, por lo que se consideran no aptas para el riego.
- 2) Agua del manto freático. La muestra obtenida en el módulo número 1, reporta un contenido de carbonato de sodio residual hasta de 11.38 me/l, por lo que se consideran no aptas para el riego. En cambio, el manto freático del módulo número 2, no reporta contenidos de este elemento, por lo que se considera de buena calidad.
- 3) Las aguas negras tratadas y las aguas del pozo profundo, reportan 2.39 y 2.88 me/l respectivamente, por lo que se consideran de una calidad dudosa para su empleo en el riego de los cultivos.

TABLA 15. CLASIFICACION DE AGUAS CON FINES DE RIEGO

Origen de La muestra	SALINIDAD Y SODICIDAD			B O R O ppm	CO3 Na clase	Residual me/l	clase
	clase	CE	RAS				
Pozo profundo	C251	650	3.47	1.04	2	2.88	mala
Agues negras	C351	980	4.05	0.96	2	2.39	mala
MODULO 1							
Dren central	C351	1650	5.05	0.70	1	4.33	mala
Dren oriente	C351	1300	4.64	0.76	1	5.06	mala
Dren norte	C454	15000	11.63	7.00	5	31.46	mala
MODULO 2							
Dren central	C351	940	4.00	0.56	1	0.0	buena
Dren oeste	C251	520	1.62	0.30	1	0.0	buena
Dren norte	C452	2300	4.85	1.20	2	2.42	dudosa
Dren oriente	C352	1700	5.46	1.00	2	7.07	mala
MANTOS FREATICOS							
Pozo 2	C453	4100	10.16	2.70	3	0.00	buena
Pozo 3	C453	4500	10.24	3.30	4	11.38	mala
Pozo 5	C454	8000	13.69	3.30	4	0.46	buena
Pozo 6	C454	5900	10.00	2.00	3	0.00	buena
Pozo 7	C453	5200	10.38	2.10	3	0.00	buena
Pozo 8	C453	5300	10.10	3.80	5	0.00	buena
Pozo 10	C452	3100	6.61	1.29	2	0.00	buena
Pozo 11	C454	7400	12.53	3.10	4	0.00	buena
Pozo 12	C452	2600	4.58	1.24	2	0.00	bueno

## 5. C O N C L U S I O N E S

El principal problema de los suelos es su alto contenido de sales solubles, así como su elevado nivel en el manto freático.

De la superficie estudiada solamente el 31.7 % es susceptible de continuar cultivándose al mismo tiempo que se ejecuten prácticas de recuperación.

Para el 67.2 % restante será necesario efectuar estudios a más detalle como pudieran ser de drenaje, salinidad y freátrimetría, que nos permitan determinar las prácticas más adecuadas para incorporar al cultivo dichas áreas.

Se delimitaron dos series de suelos, la serie Xico que comprende un total de 238 ha y la serie Zula que abarca 112.3 ha.

Se encontraron 3 clases de suelos, 127.2 ha como clase 2, 171.1 ha como clase 3 y 47.9 ha como clase 4.

La velocidad de infiltración de los suelos varía de 2.2 a 19.8 cm/hora en los suelos de la serie Xico y de 2.5 a 8.2 en los suelos de la serie Zula.

La conductividad hidráulica varía de 1.3 a 4.3 m/día.

La mayor parte de las aguas analizadas son inútiles para uso agrícola a excepción de las pozos profundo de San Juan Ixtayopan.



## 6. RECOMENDACIONES

Realizar estudios de salinidad y drenaje agrícola en los módulos 1 y 2, para determinar las láminas de lavado y sistema de drenaje adecuado, para el lavado de suelos y desalojo de sales y aguas de lavado.

Sostener un balance favorable de sales en los suelos; es decir cuidar que salga más sal por las aguas de lavado que la que pueda llegar al suelo.

Establecer un sistema de drenaje (previo estudio) que permita abatir el manto freático que afecta a los suelos de los módulos 1 y 2.

Incorporar periódicamente estiércol en los módulos 1 y 2 para amortiguar el efecto tóxico de las sales solubles, así como para incrementar el contenido de materia orgánica del módulo 3.

Introducción de cultivos resistentes a la salinidad.

De ser necesario utilizar las aguas del pozo profundo para el riego en los suelos del módulo 3 y en la parte menos afectada del módulo 2.

Mejorar la calidad de las aguas negras tratadas, mediante el reciclaje de las mismas, para su futura utilización.

No utilizar las aguas de drenes, mantos freáticos, ni aguas tratadas, ya que agravarían los problemas de salinidad de los módulos 1 y 2.

Realizar campañas entre los agricultores para reducir los desperdicios de agua.

## B I B L I O G R A F I A

- ACEVES, N.L. Los Terrenos Ensalitrados y los Métodos para su Recuperación. Chapingo, México, 1981. 244p.
- AGUILAR, S. R. Manual de Métodos de Análisis de Suelos. Chapingo, Mexico, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola, Gerencia de Distritos de Riego. 1991. 201 p.
- ALLISON, L. E. et al. Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos salinos y sódicos. México, Limusa, 1977. 172 p.
- BEERS, V. El Método de la Barrera: Un procedimiento de campo pa medir la conductividad hidráulica de los suelos con presencia e manto freático. Trad. Gaudencio Flores Mata y Jorge Jiménez Lopez. México. SARH. Dirección General de Estudios, Subdirección de Agrológia, 1976. 36 p.
- BENITEZ, L. E. Memoria de la XII Reunión: Metodología para la Clasificación de Agua con Fines de Riego. México, SARH, Dirección General de Estudios, Dirección de Agrológia, 1975. 137 p.
- BUCKMAN, O.H. Y BRADY C.N. Naturaleza y Propiedades de los Suelos. Barcelona, Montaner y simon, 1977. 590 p.
- CASTANEDA, R. M. et al. Instructivo para la Determinación de Velocidad de Infiltración Básica de los Suelos. México, SARH, Dirección General de Estudios. Subdirección de Agrológia, 1977. 51 p.
- FLORES, M.G. Uso, Manejo y Conservación de Tierras y Aguas en México. México, SARH, Dirección General de Estudios, Subdirección de Agrológia, 1981. 38 p.
- HERRERA, N. M. Métodos para Estimar la Conductividad Hidráulica. SRH, Dirección General de Distritos de Riego. Chapingo, Mexico, 1978. (tesis Licenciatura).
- IRAZOQUI, E. Estudio Agrológico Detallado de la Zona Baja de Tláhuac, D.F.: Antiguo vaso del lago de Claco. SARH, Dirección General de Estudios, Subdirección de Agrológia, 1948.
- KLINGEBIEL, A.A. Y MONTGOMERY, P.A. Clasificación de Capacidad de Uso de la Tierra. Trad. Rodriguez G.R. et al. SARH, Dirección General de Estudios, Dirección de Agrológia, 1977. 42 p.

- MIRAMONTES, B.F. Métodos para el Análisis Físico y Químico de Suelos, Aguas y Plantas. México, SARH, Dirección General de Estudios, Subdirección de Agrología, 1978. 201 p.
- MIRAMONTES, B.F. Y BENITEZ L.E. Memoria de La XII Reunión de Residentes y Jefes de Laboratorio: Metodología para la clasificación de agua con fines de riego. México, SARH, Dirección General de Estudios, Dirección de Agrología, 1976 132 p.
- ORTIZ, V.B. Edafología. Chapingo, México, ENA, 1977. 291p.
- PALACIOS, V.E. Manual de Operación de Distritos de Riego. Chapingo, México, 1981. 333 p.
- RODRIGUEZ, G.R. Instructivo para la Descripción de Perfiles de Suelos. SARH, de México. México, SARH, Dirección General de Estudios, Dirección de Agrología, 1976. 78 p.
- USDI. Manual de Clasificación de Tierras con Fines de Riego: Clasificación de tierras. trad. Estrada, B.A. Caracas, Venezuela, Dirección de Obras Hidráulicas, Dirección de Agroeconomía, 1963. Vol.5 parte 2.