

T  
951

79027

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

UNIDAD XOCHIMILCO



Casa abierta al tiempo  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

“  
DESERTIFICACIÓN, SODIFICACIÓN Y REHABILITACIÓN DE UN ÁREA  
PRODUCTORA DE HORTALIZAS EN EL EJIDO MIXQUIC, TLÁHUAC, DISTRITO  
FEDERAL”

**TESIS DE MAESTRÍA**

(IDÓNEA COMUNICACIÓN DE RESULTADOS)

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

**PRESENTA**

ING. FRANCISCO ORTIZ CORDERO

DIRECTOR DE TESIS: DRA. MATILDE ELISA BORROTO PEREZ

ASESOR: DR. RAMON SORIANO ROBLES

ASESOR: DR. ANTONIO TRINIDAD SANTOS

**MÉXICO, D.F. JUNIO 2009**

## Agradecimientos

A la Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco, por la oportunidad brindada para realizar esta etapa de mi vida.

Al Dr. Luis Felipe Bojalil Jaber, por darme la oportunidad de trabajar en el área de Superación Académica de la UAM-X y por apoyarme con los reactivos empleados en el laboratorio.

A mi comité tutorial integrado por la Dra. Matilde Borroto Pérez, al Dr. Ramón Soriano Robles y el Dr. Antonio Trinidad Santos, por el apoyo, consejos y orientación dados para la conducción de este trabajo, así mismo por su amistad otorgada.

Al Dr. Gilberto Vela Correa, por las facilidades para realizar mi trabajo en las instalaciones del laboratorio de "El Hombre y su Ambiente" y por su apoyo incondicional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo otorgado.

Al Coordinador y Comité de profesores de la Maestría en Ciencias Agropecuarias, por sus enseñanzas.

## Dedicatoria

A mis familiares:

Por su gran apoyo incondicional recibido, que fue aliento en todo momento para culminar mis investigaciones.

	Página
INDICE	
RESUMEN	7
I. INTRODUCCIÓN	11
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
III. JUSTIFICACIÓN	15
IV. HIPÓTESIS	17
V. OBJETIVOS	18
5.1. Objetivo general	18
5.2. Objetivos específicos	18
VI. REVISIÓN DE LITERATURA	19
6.1 Clima	19
6.2 La salinidad del suelo	19
6.2.1 Clasificación de los suelos salinos	22
6.2.2 Causas de la salinidad	25
6.2.3 Fuente de las sales solubles	26
6.2.4 Depósitos fósiles	27
6.2.5 Salinidad relacionada con los ecosistemas agrícolas	29
6.2.6 Salinidad y biodiversidad	30

6.2.7 La salinidad y/o sodicidad de los suelos como proceso de desertificación	31
6.2.8 Medidas de rehabilitación de los suelos afectados por sales	36
6.2.9 Mejoradores químicos	37
6.2.10 Efecto de los mejoradores químicos en el suelo	39
6.3 Clasificación de las aguas de riego	41
6.4 Evaluación del proceso de desertificación	42
6.4.1 Evaluación del estado actual de la salinidad	43
6.4.2 Evaluación de la velocidad del proceso de degradación	43
6.4.3 Evaluación del riesgo inherente	44
VII. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO DE MIXQUIC	45
7.1 Clima	45
7.2 Geomorfología	45
7.3 Hidrología	47
7.4 El suelo	48
7.5 Vegetación	49
7.6 Calidad de vida de los productores de Mixquic	51
7.7 Condiciones ecopolíticas de la zona de estudio	51
VIII. MATERIALES Y MÉTODOS	53
8.1 Determinación de las condiciones climáticas de la región	53
8.1.1 Índice climático: Para determinar su influencia sobre la	54

salinización y/o sodificación de los suelos.

8.1.2 Índice climático: Para determinar su influencia sobre la degradación física de los suelos	55
8.1.3 Índice climático: Para determinar su influencia sobre la degradación química de los suelos	55
8.1.4 Índice climático: Para determinar su influencia sobre la degradación biológica de los suelos	56
8.2 Calidad del agua de riego	57
8.3 Estudio del suelo	58
8.3.1 Labores de preparación de suelos para la siembra	58
8.4 Análisis estadístico	61
8.5 Determinación del grado de desertificación y/o degradación	62
IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	66
9.1 Clima	66
9.1.1 Temperatura	66
9.1.2 Precipitación	67
9.1.3 Evaporación y Evapotranspiración	68
9.1.4 Viento	69
9.2 Índice de influencia climática en el proceso de degradación	70
9.2.1 Salinización y/o sodificación	70
9.2.2 Degradación física	72
9.2.3 Degradación química	73
9.2.4 Degradación Biológica	74

9.2.5 Resumen de la influencia climática en el proceso de desertificación	76
9.3 Principales características físico-químicas de los suelos	76
9.3.1 Propiedades físicas	76
9.3.2 Propiedades químicas	77
9.4 La desertificación del agroecosistema	79
9.4.1 El estado actual de la salinidad	79
9.4.2 Velocidad del proceso de degradación	80
9.4.3 Riesgo inherente	80
9.5 Resumen de la desertificación del agroecosistema	81
9.6 Calidad del agua de riego	82
X. Comportamiento de las propiedades químicas de suelos en los diferentes tratamientos de rehabilitación	82
10.1 pH	84
10.2 Conductividad eléctrica (C.E dS/m)	86
10.3 Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)	88
10.4 Materia orgánica (MO %)	91
XI. CONCLUSIONES	93
XII. RECOMENDACIONES	94
XIII. BIBLIOGRAFIA	106
XIV. ANEXOS	

**DESERTIFICACIÓN, SODIFICACIÓN Y REHABILITACIÓN  
DE UN ÁREA PRODUCTORA DE HORTALIZAS EN EL EJIDO MIXQUIC,  
TLÁHUAC, DISTRITO FEDERAL**

**RESUMEN**

La salinidad como proceso degradante conlleva a la desertificación de los suelos agrícolas en todo el mundo. El ejido de San Andrés Mixquic, Tláhuac, D.F está afectado por esta problemática en donde más de 1,096 hectáreas, están afectadas por su salinidad y/o sodicidad, (reduciendo el potencial productivo y calidad de los productos agrícolas) aunado a los cambios climáticos. Se estudió la rehabilitación de un área productora de hortalizas y vegetales afectada por sales, mediante el uso de nueva tecnología de preparación de suelo (multiarado), la aplicación de mejorador químico (yeso agrícola) y materia orgánica (abono orgánico), con la intención de sustituir las sales de sodio ( $\text{Na}^+$ ) por sales de calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) en el complejo de adsorción; se evaluó el clima predominante en el ejido en general, y se analizó el agua de riego y se determinó el grado de desertificación. El trabajo se realizó en la tabla 2-10, se realizaron labores de nivelación al terreno previo a la aplicación de los tratamientos, se muestreo el suelo y agua cada dos meses a partir de noviembre de 2007 y hasta mayo de 2008. El diseño empleado fue bloques al azar, se aplicaron cuatro tratamientos con cuatro repeticiones, muestreándose a dos profundidades de 0-20 cm y de 20-40 cm por punto georeferenciado; para determinar el clima, se obtuvieron los datos climáticos de 31 años de la Estación meteorológica de Chalco, Edo de México, ya que es la estación más cercana al área de estudio, y la desertificación se evaluó de acuerdo a la

metodología FAO (1980). Los resultados de este estudio señalan que el clima es templado subhúmedo seco, que la calidad del agua de riego es de clase II con limitaciones para el riego, el suelo se clasifica como mólico y fluvisol, encontrándose diferencias significativas entre los tratamientos aplicados con respecto a las aplicaciones de yeso y yeso más materia orgánica. Se encontró una disminución de la C.E y PSI por la reacción del yeso al comenzar a sustituir las sales de sodio del complejo de adsorción del suelo. El pH y la materia orgánica incrementaron debido a la incorporación de material orgánico y por la acción del yeso con el desplazamiento del  $\text{Na}^+$  hacia la solución. La desertificación de la zona en general se clasifica como severa. Por lo anterior sugerimos, recopilar información meteorológica para determinar los efectos de los cambios climáticos de los últimos 10 años, mejorar el medio físico utilizando la tecnología del multiriego para disminuir la compactación, utilizar métodos de mejoramiento de la calidad del agua de riego y la aplicación del yeso agrícola más la materia orgánica como una alternativa para la recuperación de las propiedades químicas y biológicas en un suelo salino sódico.

**Palabras clave:** Desertificación, degradación, salinidad, yeso agrícola, suelo.

**Desertification, sodification and rehabilitation of a vegetables productive  
area in the cooperative farming of Mixquic,  
Tlahuac, Federal District, Mexico**

**Abstract**

Salinity a degrading process entails anywhere in the world the desertification agricultural grounds. The cooperative farming of San Andres Mixquic, Tlahuac, F.D. this problem where more than 1.096 hectares, are affected by, salinity and/or sodicity (reducing thus the productive potential and quality of agricultural products) combined with climatic changes. We studied the rehabilitation of a vegetable producing area of affected by salts, using a new technology of soil preparation (multiplowed), by applying chemical enhancer (agricultural gypsum) and organic matter (organic fertipizer), with the purpose of replacing sodium salts ( $\text{Na}^+$ ) by calcium salts ( $\text{Ca}^{2+}$ ) in the adsorption complex; we also evaluated the predominant climate in the crop farming in general, analized the irrigation water and determined the desertification degree. We worked carried out 2-10; the leveling of the previous land to the treatment application on lot sampling of the soil and water every two months between November, 2007 and May, 2008. Were carried out the design was bloks at random, four treatments with four repetitions, were applied the samples of two depths of 0-20 cm and 20-40 cm by georeferenced point; in order to determine the climate, the climatic data of 31 years from the Weather station of Chalco, State of Mexico were obtained, since it is the closest station to the study area, and the desertification was evaluated according to the FAO methodology (1980). The results of this research indicate that the climate is mild, subhumid dry, the quality of the irrigation water is of class II with limitations for the irrigation, the soil is classified as mollic and

fluvisolic, there are significant differences between the applied treatments with respect to the applications of gypsum and of gypsum plus organic matter. The decrease of the C.E and PSI as a reaction of gypsum to the replacement of sodium salts of the complex of the soil adsorption of pH and the matter increased due to the incorporation of organic material and the action of gypsum caused by the displacement of  $\text{Na}^+$  towards the solution. The desertification of the zone in general is classified as severe. Therefore, we suggest the following: to weather data to determine the effects of the climatic changes during the last 10 years, to improve the physical environment by using the technology of the mulch in order to diminish the compaction, to use methods of improving the irrigation water quality and to apply agricultural gypsum plus the organic matter as an alternative for the recovery of the chemical and biological properties in a sodic saline soil.

**Key words:** Desertification, degradation, salinity, agricultural gypsum, soil.

## I. INTRODUCCIÓN

Una de las causas de infertilidad de las tierras en México (80% del territorio) es la salinidad y/o sodicidad de los suelos debido a un proceso inadecuado de manejo de los agroecosistemas (PACD-MEXICO, 1993).

Un cálculo aproximado de suelos degradados por procesos de salinización se estima en 3.5 millones de ha en zonas áridas y semiáridas, 1 millón de ha en zonas no agrícolas, 1 millón de ha en áreas agrícolas de temporal, 800 000 ha en áreas costeras y 500 000 ha en zonas agrícolas de riego, lo cual da un total de 6.8 millones de ha., es decir alrededor de 3.5% de la superficie del territorio nacional (Ortiz, 1996).

Borroto (2004), plantea que el área agrícola productora de hortalizas y vegetales de San Andrés Mixquic, en la Delegación Tláhuac, Distrito Federal, esta afectada por un proceso de salinización y/o sodificación de sus suelos, que afecta su uso fundamental que es la siembra de brócoli, acelga, apio, romero, espinaca y verdolaga. Es una zona de agricultura de temporal que ha sido transformada por la acción antropogénica en zonas de riego.

Borroto et al, (2006) plantea que existen problemas de deterioro ambiental que vinculan el suelo, agua y clima, que repercuten en el avance del proceso de desertificación de la zona de Mixquic, lo que podría conducir a que la producción actual se arruine paulatinamente si no se toman las medidas de recuperación del ecosistema.

Este deterioro ambiental consiste fundamentalmente en la alcalinización de las tierras de cultivo por enriquecimiento en sodio vinculado a su génesis de formación y a la aplicación de agua de mala calidad (se riega con agua tratada procedente del Cerro de la Estrella en la Delegación Iztapalapa que aparecen sodificadas) durante largos periodos de tiempo aunado a las malas condiciones de drenaje de la zona.

Por lo anterior, fue necesario llevar a cabo este estudio que comprende la aplicación de enmiendas con medidas de rehabilitación del agroecosistema a fin de devolver la fertilidad a las tierras y elevar el nivel de vida de la comunidad vinculada.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El ejido de San Andrés Mixquic (1,096 ha), principal productor de hortalizas en el Sur del Distrito Federal, situado en la Delegación de Tláhuac, México D.F., presenta pérdidas en la producción agrícola, debido entre otras causas, al exceso de sales y/o sodio que presenta el complejo de adsorción de sus suelos; en su explotación agrícola participan más de 600 familias de productores.

La desertificación presente en la región está conduciendo a la degradación física, química y biológica de los suelos dedicados a la producción agrícola disminuyendo la calidad y cantidad de los productos obtenidos, lo que hace que las familias reciban menores ingresos afectando su calidad de vida.

Además existe marcada influencia climática en la región; estudios precedentes de Borroto et al., 2006 plantean cambios climáticos que pueden estar afectando en la aridización de la vegetación.

Por lo antes mencionado se hace necesario abordar la rehabilitación de las tierras desertificadas (salinas sódicas y/o sódicas), cuyo porcentaje de sodio intercambiable es mayor a 15% y caracterizar la composición química del agua de riego que se utiliza y que puede ser fuente de aporte de sodio al suelo.

El presente trabajo abordó el uso de diferentes tecnologías (enmiendas físicas, químicas y biológicas) en estos suelos a fin de disminuir los niveles de sodio

intercambiable en el complejo de adsorción y lograr la lixiviación de las sales hacia capas mas profundas del perfil, permitiendo así elevar los rendimientos agrícolas y mejorar la calidad de la producción en la zona de estudio, a la vez que se caracterizó la calidad del agua de riego y la influencia climática sobre el desarrollo del proceso de salinidad.

### III. JUSTIFICACIÓN

Estudios llevados a cabo sobre la degradación y/o desertificación de las tierras agrícolas de Mixquic (Borroto et al, 2004–2006), determinaron que el principal proceso de degradación que se manifiesta en la zona es la presencia de la salinización y/o sodificación, que unido a los cambios climáticos existentes muestran un escenario de avance de un proceso de desertificación.

Como complemento de estos estudios se profundizó en la valoración sobre el proceso de desertificación, considerando la situación actual, velocidad y riesgo de desarrollo de este fenómeno degradante, prestando especial interés a la evaluación de los parámetros climáticos promedio de los últimos 30 años (precipitación, evaporación y temperatura) que definen la situación climática imperante.

Las investigaciones sobre diferentes tratamientos para la enmienda de estos suelos se evaluaron en parcelas demostrativas previo el uso de métodos de laboreo para la rehabilitación de suelos bajo degradación física (compactación), utilizando para ello equipos de última generación (multiarado) para efectuar labores que eliminen la capa compactada de suelos que aparecen a profundidades alrededor de los 40 cm, permitiendo así el lavado de sales hacia capas más profundas, nivelación y drenaje parcelario.

Este conjunto de procesos degradantes y las variaciones climáticas que están ocurriendo puede llevar a la ruina productiva 1096 ha del ejido, por lo que se hace necesario la introducción de nuevas tecnologías de producción que comprendan el mejoramiento del agroecosistema.

#### IV. HIPÓTESIS

Los suelos salinos-sódicos (C.E >4 dS/m y PSI > 15%) requieren enmiendas para su mejoramiento físico y químico.

La aplicación de labores de descompactación aunado a aplicación de enmiendas químicas (yeso) y biológicas (materia orgánica) y su combinación entre ellas puede sustituir el sodio del complejo de adsorción, permitiendo que con la utilización del riego se logre el lixiviado del sodio ( $\text{Na}^+$ ) de la zona de raíces de los cultivos.

## V. OBJETIVOS

### 5.1 Objetivo general

Mejorar las condiciones físico-químicas de suelos salinos-sódicos de la región productora de hortalizas y vegetales de Mixquic, utilizando mejoradores químicos (yeso) y biológicos (materia orgánica), previo el uso de laboreo profundo (descompactación) y diagnosticar el grado de desarrollo del proceso de desertificación.

### 5.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el clima de la región (precipitación, temperatura y evapotranspiración).
- Determinar los parámetros químicos que definen la calidad del agua de riego.
- Determinar el porcentaje de sodio intercambiable en el complejo de adsorción de los suelos salinos sódicos y sus principales parámetros físicos y químicos.
- Determinar la profundidad de la capa compactada en el perfil del suelo.
- Evaluar en función del tiempo la efectividad de la dosis de yeso aplicado y determinar el efecto combinado de los diferentes tratamientos.
- Diagnosticar el desarrollo de la desertificación en función de su situación actual, velocidad y riesgo inherente.

## VI. REVISIÓN DE LITERATURA

### 6.1 Clima

El clima tiene gran influencia sobre el desarrollo de los diferentes procesos que causan la desertificación, considerando que este proceso se desarrolla en condiciones de clima árido semiárido y subhúmedo seco.

Para fomentar el desarrollo rural en estas zonas del país es importante conocer la influencia del clima en los diferentes procesos degradativos de las tierras, a fin de impulsar la reconversión productiva hacia sistemas de producción sostenibles, como alternativa para propiciar el bienestar de la población rural y el mejor aprovechamiento de los recursos locales.

La metodología utilizada para la evaluación de esta investigación es conocida como "Thornthwaite", modificada versión tres, creada en la década de los 90'S por la Unión Europea para contar con mayor información del impacto climático en sus regiones y posteriormente incorporada por la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación, en países afectados por sequía grave y para medir en todo el mundo las zonas áridas y semiáridas con el mismo parámetro (CONAZA, 2003).

### 6.2 La salinidad del suelo

Según Porta (1994) la salinidad es generada por compuestos iónicos formados por diferentes cationes (excepto  $H^+$ ). Agronómicamente entendemos como suelo salino ó

suelo salitroso, aquel que presenta sales solubles en la solución del suelo en concentraciones que expresan una C.E mayores de 4 dS/m, PSI <15% y pH <8.5. que puede alterar desfavorablemente su productividad; predominan sales neutras como cloruros y sulfatos de sodio, calcio y magnesio.

Un suelo sódico es aquel que presenta una C.E menor de 4 dS/m y concentración de sodio (PSI>15) en el complejo de intercambio, niveles perjudiciales para el crecimiento y desarrollo de la mayoría de los cultivos, predominan derivados de hidrólisis alcalinas principalmente carbonatos de sodio; su pH es mayor a 8.2 (pasta saturada); generalmente el yeso y otras formas de calcio soluble se encuentran ausentes. Cuando se genera la dispersión se reduce la infiltración y si ocurre en profundidad se afecta el drenaje interno (Villafañe et al., 2004).

Según Twain et al., (2008) la materia orgánica puede incrementar el pH y la C.E lo cual puede ser benéfico o perjudicial, estos incrementos se pueden observar cuando la temperatura tiende a aumentar; por lo que Richard y Angus (2008) indican que se elevan las concentraciones de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$  en la solución del suelo.

Los suelos salinos-sódicos presentan C.E >4 dS/m y concentraciones de sodio superiores al 15% de su Capacidad total de intercambio catiónico, su pH >8.5 es decir estos suelos mantienen altos niveles de sales en su solución; el sodio  $\text{Na}^+$  reduce considerablemente las concentraciones de  $\text{K}^+$  y de  $\text{Ca}^{2+}$  limitando con ello el crecimiento de las plantas (Abdul et al., 2009). En la figura 1, se muestra la concentración de sales sobre la superficie del suelo.



Fig.1 Suelo salino sódico de un área agrícola productora de hortalizas.

Harker y Milkason (1990) indican que aproximadamente 70 millones de ha, es decir, una tercera parte de las áreas bajo riego en el mundo, están afectadas por diferentes niveles de salinidad. En este sentido, Szabolcs (1994) ejemplifica cómo la salinidad golpea por igual en todos los continentes; por ejemplo, en Argentina el 50% de las 40,000 ha de las tierras bajo riego están salinizadas, en Australia, tanto la salinización secundaria como la alcalinización tienen lugar en el Valle del río Muriay y norte de Victoria y en Perú todos los suelos aluviales muestran síntomas de salinidad y alcalinidad.

En Pakistán de 35 millones de ha bajo riego se pierden cinco mil trescientas hectáreas anuales. El 40% de los suelos irrigados en Irak son afectados por la salinidad secundaria. En Siria, Canadá, México, Cuba, Estados Unidos, así como en muchas otras regiones áridas y semiáridas, este fenómeno causa serios daños y se incrementan cada vez más las tierras improductivas.

### 6.2.1 Clasificación de los suelos salinos

La clasificación de los suelos salinos es antigua, como lo es la agricultura misma. Los Aztecas los denominan Tequesquitl, los Otomi los nombran como Ihai si es tierra salitrosa de temporal ó Ixhai si es de riego (Ortiz, 1996). Los mayas a las tierras de pantano donde también es común encontrar suelos salitrosos los denominan Akalché. Actualmente la cultura mestiza los denomina genéricamente como salitrosos o simplemente como suelos salinos.

A principios de siglo, se utilizó el término "alcalis blanco" para referirse a suelos con presencia de sales solubles y como Alcalis negros, a los suelos con presencia de sales de sodio. Más tarde se utilizaron los términos rusos de Solonchak y Solonetz, para caracterizar suelos con presencia de sales solubles y sales sódicas respectivamente (Aceves 1981 y Pizarro, 1985) (Fig. 2).



Fig. 2 Suelo con presencia de sales.

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, según Richards, (1954) propuso un sistema para la clasificación de suelos salinos y/o sódicos. El esquema se apoya fundamentalmente en dos criterios:

- 1) Contenido de sales solubles, medida en un extracto de saturación de una pasta del suelo, expresada como conductividad eléctrica en mmhos/cm, o bien en dS/m.
- 2) Contenido de sodio en el complejo de intercambio de la micela del suelo, se expresa en PSI (Porcentaje de Sodio Intercambiable).

La salinidad afecta a los suelos de cualquier latitud, Aceves (1981) reporta que a nivel internacional la salinidad cubre una superficie de 300 millones de ha que ocupan el 39% de la superficie total de las regiones áridas y semiáridas del planeta. También reporta que de las 220 millones de ha bajo riego en el mundo, el 50% es decir 110 millones de ha, tienen problemas degradativos por ensalitramiento que las limita para ser cultivadas.

Porta (1994) menciona que el origen de la salinidad se debe a factores litológicos, geomorfológicos, climáticos, hidrológicos y antrópicos; la salinidad está dada tanto por condiciones naturales como inducidas (cuadro 1).

Cuadro 1. Condiciones naturales e inducidas que originan la salinidad de los suelos.

Condiciones naturales	Condiciones inducidas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Minerales de la corteza terrestre</li> <li>• Iones de bicarbonato</li> <li>• Emersión de depósitos marinos</li> <li>• Ciclamiento de sales marinas</li> <li>• Depresiones con drenaje impedido</li> <li>• Planicies con inundaciones periódicas</li> <li>• Mantos freáticos elevados</li> <li>• Desembocadura de ríos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infiltración de canales</li> <li>• Aplicación excesiva de fertilizantes</li> <li>• Uso inadecuado de aguas de riego de mala calidad</li> <li>• Intrusión marina</li> </ul>

El efecto de la salinidad y/o sodicidad en el suelo a los cultivos se manifiesta de la siguiente manera: Al elevarse la conductividad eléctrica se incrementa también la presión osmótica, obligando a que la raíz de las plantas desarrollen mayor gasto energético para absorber agua y nutrientes de la solución. Este efecto provoca una dilución de la pared celular y pérdida del líquido del citoplasma de la raíz generando una condición fisiológica de plasmólisis, situación que va a concluir con la muerte de la planta.

### 6.2.2 Causas de la salinidad

Los suelos salinos pueden ser de origen natural (salinidad primaria) o inducida por el hombre (salinidad secundaria). Cuando la salinidad es de tipo natural se distinguen dos tipos de acumulación: la salinidad continental y la de origen marino.

En la salinidad continental las sales se originan en los procesos de intemperismo (hidrólisis, solución, carbonatación y a veces precipitaciones) de las rocas. Estas sales se encuentran formando compuestos pocos solubles y en otros casos disociados como iones (Redly, 1986). El tipo de sal presente en el suelo depende de la composición de la roca intemperizada.

Este proceso se manifiesta principalmente en lugares donde la evaporación es mayor que la precipitación, como sucede en regiones de clima árido, semiárido y estepas, donde predominan las características mencionadas.

Los suelos salinos de origen marino se desarrollan debido a la penetración del agua de mar en la masa terrestre continental, como resultado de la impulverización o la contaminación de los acuíferos por las aguas costeras. Este fenómeno se presenta asociado a las regiones desérticas, semidesérticas y húmedas (Ávila, 1999).

Otra causa se debe a la salinización secundaria que se produce fundamentalmente por el desconocimiento o el mal uso de las prácticas de manejo, tanto del suelo como del agua de riego; causas inducidas por el hombre, que transforman los ecosistemas.

Los asentamientos humanos (explotación del petróleo, minerales, etc...), la sobreexplotación de los mantos acuíferos, la actividad agrícola e industrial producen alteraciones en los agroecosistemas (Flores, 1993).

### 6.2.3 Fuente de las sales solubles

Las sales solubles incluyen principalmente los cationes  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  y los aniones  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4$ , el catión  $\text{K}^+$  y los aniones  $\text{CO}_3\text{H}^-$ ,  $\text{CO}_3^{=}$  y  $\text{NO}_3^-$  se encuentran generalmente en cantidades menores. Las fuentes originales son los minerales primarios que se encuentran en los suelos y en las rocas expuestas de la corteza terrestre que durante el proceso de intemperización química que comprende la hidrólisis, hidratación, solución, oxidación y carbonatación, estos constituyentes gradualmente son liberados al suelo adquiriendo mayor solubilidad (Hendry, 1990).

Aunque la intemperización de los minerales primarios es la fuente directa de casi todas las sales solubles, hay pocos ejemplos en los que se haya acumulado suficiente cantidad de sal de este origen para formar un suelo salino. Los suelos salinos generalmente se encuentran en áreas donde se reciben sales de acarreo.

Entre los minerales más importantes como fuente de sales solubles son:

- 1) Halita ( $\text{NaCl}$ )
- 2) Mirabilita ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )
- 3) Epsomita ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )
- 4) Nahcolita ( $\text{NaHCO}_3$ )
- 5) Trona ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )
- 6) Hexahidrita ( $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )
- 7) Carnalita ( $\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )
- 8) Feldespato ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ )

El  $\text{CO}_2$  puede ser de origen atmosférico o biológico, el agua que contiene  $\text{CO}_2$  es un activo agente químico intemperizante que libera cantidades apreciables de cationes en forma de bicarbonatos. Los iones carbonato y bicarbonato están relacionados entre sí y la cantidad que hay de cada uno es una función del pH de la solución, mayores cantidades de iones carbonato sólo pueden presentarse para valores de pH de 9.5 o más altos (Ávila, 1999).

#### 6.2.4 Depósitos fósiles

Son de origen marino con aguas o sales de tiempos geológicos anteriores, cuando los sedimentos se encontraban bajo el mar y emergieron debido a movimientos telúricos. Ejemplos de éstos los representan la perforación de pozos en zonas áridas, las que extraen aguas fósiles saladas o salobres para usarse en irrigación (Ávila, 1999).

El océano puede ser la fuente de sales de aquellos suelos en los que el material original está constituido por depósitos marinos que se asentaron durante periodos geológicos antiguos y que a partir de entonces han emergido. El océano es también la fuente de sales en los suelos bajos que se encuentran a lo largo de las costas.

A veces, la sal se mueve tierra adentro a consecuencia del transporte por la brisa, denominándole "sal cíclica", sin embargo, es más común que la fuente directa de estas sales sean las aguas superficiales y también las subterráneas ya que las contienen disueltas y su concentración depende del contenido salino del suelo y de los materiales geológicos que han estado en contacto con esta agua.

Las sales cíclicas se generan en el océano por el rompimiento de las olas del mar y el choque con las costas, liberando grandes cantidades de sales hacia la atmósfera, particularmente durante las tempestades; estas partículas de sales tienen un tamaño que varía de 0.1 a 24 $\mu\text{m}$ , por lo que pueden ser transportadas por el viento; así estas sales son la fuente de  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  (Ávila, 1999).

Las aguas actúan como fuentes de sales cuando se usan para riego y pueden también agregar sales al suelo bajo condiciones naturales, cuando inundan las tierras bajas o cuando el agua subterránea sube hasta muy cerca de la superficie (Ávila, 1999).

Otro factor estrechamente relacionado con la salinidad es la calidad del agua de riego, ya que bajo condiciones salinas no se puede concebir una agricultura sin apoyo del regadío.

El riego, entre otros factores agrotécnicos, es un elemento esencial para incrementar la producción agrícola. Un mal manejo del riego conlleva pérdida de la fertilidad, dando lugar al deterioro de las propiedades físicas, hidrofísicas, lavado de nutrientes, empantanamiento y salinidad secundaria (Xiong et al., 1996).

Otros factores a tener en cuenta relacionados con el manejo del riego son:

- a) Drenaje inadecuado o insuficiente y ascenso de los niveles freáticos
- b) Mal manejo del riego con utilización de aguas de mala calidad (Thellier et al., 1990 y Lax et al., 1994).

#### **6.2.5 Salinidad relacionada con los ecosistemas agrícolas**

La salinidad es un proceso originado en forma natural y/o antropogénica, presente en todos los suelos, que conduce en menor o mayor grado a una acumulación de sales que no sólo afecta la producción agrícola, sino también la ecología del medio (Matsumoto et al., 1994).

Es una de las problemáticas más agravantes en la época actual, estrechamente relacionada con el riego, la fertilidad de los suelos, los procesos de desertificación, la biodiversidad y en general con los ecosistemas agrícolas (Szabolcs, 1994) y está ampliamente distribuida en el mundo, su extensión se incrementa a medida que se presentan cambios climáticos, redistribución de materiales debido a los procesos geomorfológicos, así como cambios hidrológicos superficiales y subterráneos (Hendry y Buckland, 1990).

La salinidad del suelo como del agua, afecta las plantas por incremento de la presión osmótica en la solución del suelo, interfiere en la absorción de los nutrientes e induce toxicidad de los iones específicos y un desbalance nutricional; esta es la primera causa de mortalidad de las plantas desarrolladas en suelos con altos niveles de sales (Subbarao y Johansen, 1991). Este problema afecta en muchos suelos del mundo dañando las producciones agrícolas (Corwin y Lesch, 2003). La cantidad y distribución de las sales en un perfil determinan el grado de afectación del suelo, según la tolerancia del cultivo y su profundidad de enraizamiento (Villafañe, 2000).

Otro de los procesos que la caracterizan es que provoca deterioro en las propiedades físicas del suelo, disminuyen la conductividad hidráulica y la tasa de infiltración que indirectamente afectan también el rendimiento de los cultivos (Steppuhn y Cutin, 1992; Evangelou, 1993; Churchman et al., 1993).

#### **6.2.6 Salinidad y biodiversidad**

La salinidad afecta también otros aspectos de la biosfera, repercute en la sociedad humana, contaminación de las aguas potables, efectos tóxicos sobre los microorganismos del suelo, carencia de vegetación y otras propiedades del suelo que pueden ser diferentes dependiendo de las características de la salinidad y la sodicidad (Szabolcs, 1994; Fitzpatrick et al., 1994).

Según Szabolcs (1991) el suelo es parte de los ecosistemas porque está constituido de materiales vivos y muertos, tales como los minerales, sustancias orgánicas, animales,

macro y microorganismos, enfatizando la importancia de todos estos componentes en el flujo de la energía, que tiene una repercusión directa en los procesos de formación de los suelos y en la dinámica de los nutrientes para las plantas. Además, señala que la biota determina la productividad de la tierra y tiene una influencia en la sostenibilidad, como parte esencial del suelo.

#### **6.2.7 La salinidad y/o sodicidad de los suelos como proceso de desertificación**

Se conceptualiza la desertificación como la degradación de las tierras en condiciones de aridez, semiaridez en zonas subhúmedas secas, resultado de varios factores, incluyendo variaciones climáticas y actividades antropogénicas negativas (SEMARNAT, 2002).

Dentro del proceso de desertificación se caracteriza la salinidad como el proceso que se manifiesta en los suelos por presentar concentraciones excesivas de sales solubles, sodio intercambiable o ambos, los cuales afectan las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y eventualmente, reducen su fertilidad limitando la producción agrícola, mas del 20% de las áreas irrigadas han sido afectadas por este proceso (Richards et al., 1973; Szabolcs, 1989; Tester, 2003).

Los problemas de desertificación que se están presentando en el ámbito mundial, derivan de una mala planeación en la actividad humana, los cuales han adquirido una gran importancia por los impactos negativos que se están dando, principalmente en lo que se refiere a la contaminación ambiental, la degradación de los ecosistemas y el

problema de la erosión y salinidad (Lynch, 1990). La desertificación afecta a más de 110 países, dañando a más de 250 millones de personas (Gleason y Freid, 2006).

Las labores de mecanización mal dirigidas, degrada la estructura del suelo dando por resultado que se compacten los suelos y por tanto disminuya la infiltración, que aunado a las condiciones climáticas la compactación puede persistir por largos periodos de tiempo (Peth et al., 2006).

La desertificación es un proceso adverso al medio que está estrechamente relacionado con la salinidad, ya que un proceso de salinización induce un proceso de desertificación y viceversa, por lo que son dos procesos que van juntos (Thomas y Meddletonf 1993; Szabolcs, 1994).

La Convención Internacional de la lucha contra la desertificación de la ONU, en 1992 establece como criterio que la desertificación es la degradación de las tierras en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, cuya relación entre la precipitación y la evapotranspiración oscila en valores entre 0.05 y 0.65.

Las regiones bajo esta condición climática, representan una proporción considerable de la superficie de la tierra y son el hábitat y la fuente de sustento de una gran parte de la población mundial (CCD/PNUMA, 1995). La sequía es un fenómeno climático cuya recurrencia es inevitable e impredecible, y a medida que exista un amplio conocimiento sobre su duración, intensidad y distribución territorial será posible adoptar acciones para mitigar los impactos asociados al fenómeno (Nuñez et al., 2007).

Cuando el déficit de precipitación se asocia con altas temperaturas, baja humedad relativa y alta radiación solar, aumentan los niveles de evaporación y transpiración y, por tanto, aumenta el déficit de humedad en el suelo y se impide o limita el crecimiento de cultivos; esta etapa es la sequía agrícola y puede durar uno o varios meses (Quirino y Papakryiakou, 2003; Narasimhan y Srinivasan, 2005). Por tanto Wilhite (2000), menciona que la sequía meteorológica es una condición atmosférica caracterizada por un déficit en la cantidad de precipitación que normalmente se presenta en una región y en un período de tiempo específico.

La sequía es uno de los fenómenos naturales más complejos, menos entendidos, que a más personas afecta, tiende a extenderse de manera irregular a través del tiempo y el espacio, sus efectos son acumulativos y pueden permanecer aún después de la culminación del evento; tales características la distinguen de otros fenómenos naturales (Wilhite, 2002).

La progresiva salinización limita la agricultura en muchas áreas del mundo (Cayuela et al., 2007). Tiene lugar principalmente en regiones subhúmedas, áridas y semiáridas, donde las depresiones de los suelos se enriquecen de sales con una rapidez mayor que la de su lixiviación (lavado de sales) (Barreiros-Guemes *et al.*, 1998).

Kovda, 1980, citado por Obregón (1996), señala que los suelos afectados por sales se localizan en lugares donde la evaporación es mayor que las precipitaciones, pero Aceves (1981) señala que los suelos salinos también se localizan en regiones húmedas

tropicales y subtropicales principalmente en áreas cercanas a las costas: lagos de agua salada y dulce, estuarios, ríos, arroyos, etc.

Para América Latina, el reporte degradativo es el 75% de sus tierras. Sud-América cuenta con 5.39 millones de ha bajo riego; de ellas el 23% (1.23 millones de ha) enfrentan fuertes problemas de ensalitramiento.

En México el ensalitramiento de las tierras agrícolas representa en la actualidad uno de los grandes problemas de la degradación del suelo, recurso fundamental para la producción de alimentos.

En México uno de los problemas principales es la degradación del suelo debido a los cambios inadecuados, no existe un inventario puntual que indique el avance del grado de degradación de las tierras o de desertificación; no obstante, más del 70% (140 millones de ha), se encuentran bajo un régimen de humedad, árido, semiárido y subhúmedo seco (García et al., 2007).

La República Mexicana cuenta con una superficie de 1,958,201 km<sup>2</sup>. Alrededor del 70%, es decir más de 140 millones de hectáreas, se encuentran bajo un régimen climático, árido, semiárido y subhúmedo seco y en zonas templadas húmedas existen áreas con déficit de humedad para las actividades agrícolas.

En México se laboran 30,201.602 ha de las cuales 8, 857.821 ha son de riego, de temporal y cultivos forestales 21,343.781 ha (SEMARNAT, 2002).

En áreas donde se practica la agricultura y ganadería, la sequía puede proporcionar la catálisis para la desertificación, especialmente cuando ésta persiste por varios años; las cosechas se pierden y los pastizales naturales se terminan por el sobrepastoreo y se empiezan a consumir los arbustos y árboles, acelerando la destrucción de los sistemas naturales de vegetación. Las consecuencias de estas condiciones conducen a una pérdida de la vegetación natural, una disminución en la fertilidad del suelo y un incremento en su erosión (CONAZÁ, 2003).

La FAO-PNU-UNESCO (1980) definió la degradación como un proceso que rebaja la capacidad actual y potencial del suelo para producir (cuantitativa y cualitativamente), bienes ó servicios y reconoce que los procesos de la desertificación son siete, y se dividen en primarios y secundarios.

Los procesos primarios son aquellos que tienen un impacto fuerte en la producción y en la modificación del ecosistema. Dentro de éstos se tiene a:

- 1) Degradación de la cubierta vegetal;
- 2) Erosión hídrica;
- 3) Erosión eólica;
- 4) Salinización y sodificación.

Los procesos secundarios son aquellos que se subordinan a los procesos primarios y son:

- 1) La degradación física (compactación, encostramiento y afloramiento de horizontes subsuperficiales);
- 2) La degradación biológica (disminución de la vida microbiana y pérdida de la materia orgánica del suelo);
- 3) La degradación química (pérdida de nutrientes y la concentración de sustancias tóxicas para los seres vivos).

Mabbut 1984, citado por Borroto *et. al*, (2006), refiere que en la degradación de la tierra se hacen evidentes factores como la degradación de la cubierta vegetal, la erosión hídrica, la erosión eólica, disminución de la fertilidad del suelo, la salinización y la disminución de la disponibilidad de recursos hídricos.

#### **6.2.8 Medidas de rehabilitación de los suelos afectados por sales**

La recuperación y rehabilitación de los suelos afectados por las sales implica un conjunto de medidas que ayuden al mejoramiento de los mismos, que llevan implícitos la propia elección del mejorador, la siembra de cultivos tolerantes, el manejo de la fertilización, riego, subsoléo y los trabajos de recuperación (Yadav, 1993).

El mejoramiento de los suelos salinos tiene como objetivo la remoción total o parcial de las sales solubles de la zona radical a través del lavado con el agua de lluvia o por sistemas artificiales de riego. Su eficiencia está dada por la reducción total de las sales y/o sodio intercambiable como una función de la cantidad de agua y enmienda adicionada (Selassie *et al.*, 1992).

Son varios los métodos que se reportan para la recuperación de los suelos salinos: mecánicos, biológicos, químicos, aerotécnicos, hidrotécnicos y eléctrico de los cuales el más difundido es el mejoramiento químico (Pizarro, 1985).

En los suelos sódicos, por presentar baja conductividad hidráulica debido al alto porcentaje del sodio intercambiable, el mejoramiento implica la remoción del sodio intercambiable por el calcio, que se moviliza por el propio mejorador, o aportado por éste, contribuyendo a la floculación del medio y neutralización del pH (Miyamoto y Enriquez, 1990).

Para lograr esto, es necesario la aplicación de sustancias químicas que sean capaces de aportar calcio para promover su incremento en la solución del suelo o la movilización a partir del carbonato alcalino-térreo, para reemplazar al sodio adsorbido, el cual pasa a la solución para ser eliminado mediante el lavado (Nadler *et al.*, 1996).

#### **6.2.9 Mejoradores químicos**

Los mejoradores químicos son sustancias capaces de reemplazar el sodio intercambiable por el calcio a través de la acción directa ó indirecta de los procesos biológicos o químicos (Gupta y Abrol, 1990). La elección de los mejoradores depende de la disponibilidad, costo y efectividad.

Un concepto clásico asume que los compuestos tanto de calcio como de azufre son similarmente transformados cuando se aplican en suelos calcáreos en cantidades

químicamente equivalentes, aunque el coeficiente del mejoramiento permite ser diferenciado, dependiendo de la solubilidad (Miyamoto y Enriquez, 1990).

El yeso, cloruro de calcio, carbonato de calcio, calcita y fosfoyeso actúan en forma importante como enmiendas, ya que aportan calcio a la solución. La recuperación de los suelos afectados por sales requiere de una concentración adecuada del ion calcio en la solución del suelo, que puede ser adicionada en forma directa o indirecta al suelo mediante los mejoradores. La corrección de suelos sódicos por la adición de yeso ( $\text{CaSO}_4$ ) es una práctica generalizada en algunos países, sobre todo en aquellos en los que la superficie afectada por este problema es significativa (Quintero et al., 2000; Ritchey et al., 2004).

El aporte del yeso agrícola al suelo es una alternativa no solo económica sino además ecológica. Consiste principalmente de sulfato de calcio dihidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) y su utilización más difundida ha sido tradicionalmente como corrector químico de suelos sódicos, o como mejorador de la estabilidad de la estructura del suelo (Magra y Ausilio, 2003; Favaretto et al., 2008).

También el calcio es fundamental para el crecimiento y desarrollo de las plantas, donde este elemento está involucrado en la estabilización de las células, la membrana plasmática, la división celular y el alargamiento, además el calcio minoriza el deterioro en suelos con contenido de sales de sodio, mejora la conductividad hidráulica y la infiltración (Aydemir y Sonmez, 2008).

La carencia de calcio en la solución nutritiva impide el crecimiento radical. Su aprovechamiento depende del medio iónico del suelo, especialmente de la concentración y la relación del calcio con otros iones. En los suelos afectados por sales generalmente se presenta una alta relación Na/Ca, donde el calcio está en una proporción inadecuada con respecto al sodio, lo que se manifiesta en una repercusión en el crecimiento del cultivo, por un elevado potencial osmótico (Subbarao *et al.*, 1991). También el calcio es factor importante en la resistencia a la salinidad por las plantas, esto es debido a su función en mantener la membrana celular integral, siendo uno de los primeros efectos de la salinidad la destrucción de esta membrana.

El incremento de calcio en el medio externo de la raíz puede reducir los efectos de la salinidad con relación al crecimiento de las plantas y la conductividad hidráulica del suelo (Evlagon *et al.*, 1992).

Otros mejoradores químicos de gran efectividad son las sustancias ácidas o formadoras de ácido (ácido sulfúrico, sulfato de aluminio y hierro, pirita y azufre) los cuales son capaces de reaccionar con el carbonato de calcio presente en el suelo liberando el calcio a la solución.

#### **6.2.10 Efecto de los mejoradores químicos en el suelo**

El yeso agrícola (Sulfato de calcio dihidratado), ha sido la fuente de calcio más utilizada en el mejoramiento de los suelos afectados por sodio, debido a su bajo costo y porque es capaz de aumentar la concentración de electrolitos y mantener la infiltración del

suelo. El cloruro de calcio no es tan utilizado como el yeso, pero es una sustancia aportadora de calcio de alta solubilidad.

El fosfoyeso es efectivo en el mejoramiento de los suelos sódicos por el aporte suficiente de calcio para poder reemplazar el sodio del complejo de cambio, tiene una alta solubilidad, reduce el pH y mejora las propiedades físicas (Rutherford *et al.*, 1993).

El ácido sulfúrico es efectivo en los suelos con presencia de carbonato de calcio, es de acción rápida, su desventaja es la manipulación, aunque existen en la actualidad equipos para su uso. Se ha empleado en algunos países como Armenia, Estados Unidos y México (Khorsandi, 1994).

El azufre, la pinta y los sulfatos de hierro y aluminio son materiales formadores de ácidos de liberación lenta, debido a que el primero tiene que sufrir un proceso de oxidación que los transforme a ácido sulfúrico.

En el caso del azufre cuando se adiciona al suelo, su oxidación biológica se produce mediante microorganismos del género *Thiobacillus*, los heterotróficos que son los principales oxidantes del azufre en el suelo (Lawrence y Germida, 1991).

El yeso ha sido utilizado tanto en el suelo como en el mejoramiento de la calidad de las aguas; su efectividad está dada por el incremento en la permeabilidad del suelo, en el poder modificador de la composición química del suelo y las aguas, en la disminución de las pérdidas del suelo, al igual que en la dispersión de las arcillas en suelos

afectados por erosión, en la precipitación de las sales tóxicas en forma de sulfatos y la disminución del PSI (Singh y Bajwa, 1991).

En condiciones de invernadero y campo, autores como Dubey y Mondal (1993; 1994) realizaron experimentos con yeso, piritita y estiércol en suelos con alta salinidad, utilizando aguas salinas y no salinas, y obtuvieron los mejores resultados en los tratamientos regados con el agua salina, disminuyendo el pH y el sodio intercambiable y un incremento en el coeficiente de infiltración y en los rendimientos tanto del cultivo del arroz como del trigo.

El uso del yeso combinado con fertilizantes nitrogenados ha sido utilizado con gran efectividad en la lixiviación del sodio, en el incremento de calcio, penetración de las raíces debido al aumento del carbono orgánico, mejorando las propiedades físicas y químicas, tales como la aireación, porosidad, infiltración, composición catiónica e incremento de los rendimientos.

### **6.3 Clasificación de las aguas de riego**

Para determinar la calidad de las aguas de riego, es conveniente estimar las variables siguientes (Pizarro 1985, Aguilera, 1996).

- 1.- Salinidad efectiva (SE), en me/l
- 2.- Salinidad potencial (SP), en me/l
- 3.- Relación de adsorción de sodio (RAS)

- 4.- Carbonato de sodio residual (CSR), en me/l
- 5.- Porcentaje de sodio posible (PSP), en me/l
- 6.- Elementos tóxicos para los cultivos

#### **6.4 Evaluación del proceso de desertificación**

La desertificación se evalúa con base en tres criterios: El estado actual, la velocidad que indica el cambio en que ocurre el proceso por unidad de tiempo de la degradación y el riesgo inherente ó potencial que muestra una localidad a ser degradada. Estos criterios consideran cuatro clases de desertificación: ligera, moderada, severa y muy severa (FAO-PNU-UNESCO, 1980).

La desertificación constituye el problema más fuerte que trastoca las condiciones económicas, sociales, culturales y ambientales de una región y formas de vida de la población. Es quizá entre otros, la causa más significativa de la migración de la población de los países pobres hacia centros urbanos y otros países en busca de mejores condiciones de vida.

Entre las causas antropogénicas que desencadenan un proceso de desertificación se pueden mencionar las que están relacionadas con la pobreza y el subdesarrollo, como el cultivo en suelos frágiles, la reducción del tiempo de descanso de la tierra, la falta de prácticas de fertilización química y orgánica, el sobrepastoreo y la explotación inmoderada de los recursos, incluyendo la leña y el uso de fuego en pastizales, principalmente (PACD-MEXICO, 1993).

Otras causas están dadas por la aplicación de tecnologías modernas para la producción agropecuaria, impulsadas por la búsqueda de altas tasas de rentabilidad en el corto plazo, como son los cultivos comerciales, que constituyen fuertes extractores de nutrientes del suelo, el mal manejo del riego que provoca salinización y el uso excesivo de maquinaria agrícola, entre otros.

En las dos situaciones mencionadas anteriormente, el desconocimiento de las consecuencias de prácticas inadecuadas en el uso del suelo, es el punto de origen de los procesos de degradación. Además se identifican otros factores que inciden, como son la sobrepoblación humana las presiones socioeconómicas y políticas y las tradiciones culturales (FAO-PNU-UNESCO, 1980).

#### **6.4.1 Evaluación del estado actual de la salinidad**

Esta evaluación se realiza de manera cualitativa y cuantitativa. En el aspecto cualitativo, se observan las características físicas del terreno: estructura del suelo, permeabilidad, presencia de manchas blancas y/o oscuras sobre la superficie y la presencia de materia vegetal (PACD-MEXICO, 1993).

#### **6.4.2 Evaluación de la velocidad del proceso de degradación**

Evaluar la velocidad del proceso de salinización permite determinar la degradación en el tiempo. Para cuantificarla, se requiere información de al menos dos años. Para evaluar la velocidad de sodificación del suelo, cuando el problema no es creado por la

mala calidad del agua de riego, se utiliza la expresión anterior empleando la relación del porcentaje de sodio intercambiable y la capacidad de intercambio catiónico (Pizarro, 1985).

#### 6.4.3 Evaluación del riesgo inherente

Evaluar el estado actual y la velocidad con que ocurre el proceso de degradación por salinidad, es sin duda sumamente importante. Sin embargo, es conveniente analizar las condiciones y la evolución, que pudieran en el futuro propiciar que la degradación por la salinidad se presente. En ese sentido, el riesgo está en función del suelo, la topografía, profundidad y calidad del manto freático calidad y manejo del agua de riego.

La profundidad media del manto freático (metros) en que aparece en el perfil del suelo define el riesgo de la salinización de los suelos y se considera que cuando el manto aparece a profundidades mayores a los 6 m su influencia en la zona de cultivos es prácticamente nula (Boroto, 2004).

Otros índices de riesgo están relacionados en la fisiografía y drenaje natural e internos que muestran los suelos en estudio, siendo de más alto riesgo las regiones depresionales con drenaje impedidos superficialmente y de drenaje interno muy lento.

Las condiciones de aridez, la escasez de precipitación y la evapotranspiración influyen en los balances hídricos y salinos en tanto que no ocurre una lixiviación efectiva y la salinidad se concentra en la superficie del suelo por movimiento capilar.

## VII. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO DE MIXQUIC

### 7.1 Clima

Las lluvias ocurren fundamentalmente en los meses de mayo a septiembre, acumulándose con pequeñas oscilaciones entre 611.6 y 677.6 mm al año (Vela, 1996), sin embargo, la temperatura en el mes mas frío es de 12.5°C y la temperatura media anual esta entre 14 y 18° C (Estaciones climatológicas de Chalco y Tláhuac) lo que ocasiona que exista déficit de humedad durante casi todo el año dado que su evapotranspiración fluctúa alrededor de 737 mm, lo que condiciona un índice de precipitación y evapotranspiración (P/ETP) de 0.82, característicos de tierras afectadas por la salinidad.

### 7.2 Geomorfología

La cuenca de Tláhuac pertenece a la formación local y regional de las cuencas endorreicas del terciario y del cuaternario de la provincia conocida como Eje Neovolcánico. La historia geológica de la Cuenca del Valle de México se resume como un proceso volcánico que se prolongó durante cincuenta millones de años. Para la cuenca de Tláhuac representó la edificación de la sierra Ajusco-Chichinautzin cuya formación obstruyó el antiguo drenaje de las aguas hacia el sur del Valle de México.

En toda la parte sur de la cuenca de México se presentan los depósitos cuaternarios de la sierra Chichinautzin, formados por potentes derrames de lavas basálticas o

intermedias, así como la acumulación de brechas, arenas y cenizas provenientes de conos volcánicos y bocas de explosión y emisión, que estuvieron situadas en el extremo sur del área.

La zona plana y fondo lacustre están formados por depósitos aluviales y orgánicos de antiguas zonas pantanosas, los materiales de la periferia lacustre son aluviales y orgánicos o de origen palustre. En general, la llanura lacustre ha sido rellenada con productos de inundación o acarreo a través de la longitud del tiempo geológico.

Las principales elevaciones que en los procesos de arrastres han influido en la formación de los suelos de la zona de estudio son: El volcán de Guadalupe, de Xaltepec; cerro Tecuautzi y Cerro Tetcón en la Sierra de Santa Catarina y el volcán Teuhtli al sur (Unidades Litológicas. CGSNEGI, 2000) (Fig. 3).



Fig. 3 Cuenca endorreica del Valle de México

Los antecedentes geológicos de la cuenca, su condición endorreica, su desecación a *forzori* y su topografía, hizo en los suelos del área de estudio, una manifestación natural de salinidad, la que debido al suministro de aguas residuales con altas cantidades de sales solubles acrecentó la problemática hasta el día de hoy, poniendo en serio riesgo la sustentabilidad y la estabilidad del ecosistema.

### 7.3 Hidrología

Dentro del territorio de Tláhuac fluyen cuatro canales: El de Chalco, Guadalupano, Atecuyac y Amecameca.

Los dos primeros son los más importantes para la Delegación y un atractivo para el turismo en la zona (INEGI, 1999). Adicionalmente y dentro de las tierras ejidales de San Andrés Mixquic, existen otros canales más pequeños que configuran el sistema de riego de la zona agrícola, tales como: Canal General, Canales de las Medianías, Canal de la Calzada Comalchica, Canal de San Juan Ixtayopan y Canal de Xico.

Además, la zona de estudio cuenta con el abastecimiento de aguas residuales para el riego, tratadas por la planta del Cerro de la Estrella en Iztapalapa y que es conducida a la zona mediante un acueducto de 76 pulgadas de diámetro hasta el área de Paso del Toro, donde son rebombadas a las tierras del ejido de Mixquic (Fig.4).

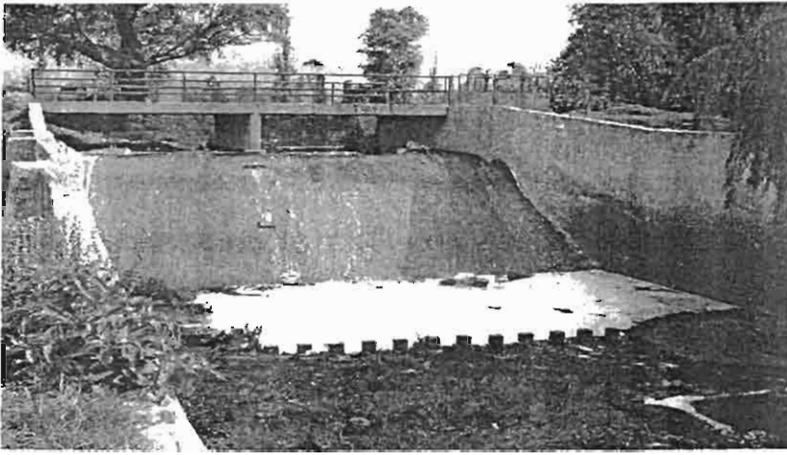


Fig. 4 Cruce de canal río Amecameca con canal general

#### 7.4 El suelo

Los suelos de la zona de estudio corresponden a la unidad Gleysol mólico asociados con Histosol eútrico, con una fase ligeramente salino sódica, de ligera a moderada reacción al HCl, con presencia de mantos freáticos elevados (1.2-2.0 m) (INEGI 1999).

Los suelos característicos están formados por diferentes horizontes, donde se observan acumulaciones orgánicas a profundidades superiores a los 80 cm producto de su origen antropogénico, además se observan depósitos recientes de materiales piroclásticos y restos del desarrollo de flora y fauna acuática, así como estratos alternativos de cenizas volcánicas con excesivos contenidos de sales solubles totales y/o sodio, con presencia de un manto freático elevado (S.A.R.H., 1979), Fig.5.



Fig. 5 Suelos agrícolas del Ejido Mixquic.

### 7.5 Vegetación

La vegetación original ha sido fuertemente perturbada por la actividad agrícola del hombre (Fig. 6); actualmente existen relictos de ella conformados principalmente por las siguientes especies (INEGI, 1999) (Cuadro 2).



Fig. 6 Especies forestales del ejido de Mixquic

Cuadro 2. Vegetación predominante en la zona del ejido de Mixquic.

Nombre común	Nombre científico
Ahuejote	<i>Salix bomplandiana</i>
Ahuehuate	<i>Taxodium mucrunatum</i>
Casuarina	<i>Casuarina equisetifolia</i>
Cedro	<i>Cupressus lindleyi</i>
Ciprés	<i>Cupressus sempervirens</i>
Cuajilote	<i>Bursera fagaroides</i>
Encino	<i>Quercus</i> spp.
Fresno	<i>Fraxinus viridis</i>
Pino	<i>Pinus montezumae</i>
Tepozán	<i>Buddleia cordata</i>
Ocote	<i>Pinus leiophylla</i>
Pirul	<i>Schinus molle</i>
Sauce llorón	<i>Salis babilonica</i>
Sacate salado	<i>Sdistinchlis spicata</i>
Romerillo	<i>Sauceda nigra</i>
Zacate kikuyo	<i>Panicutum clandestinum</i>
Lirio acuático	<i>Eichornia crassipes</i>
Lentejilla	<i>Lemma</i> spp.
Tule	<i>Typha</i> sp.

### **7.6 Calidad de vida de los productores de Mixquic**

Actualmente en el ejido de Mixquic se observa una disminución en los rendimientos de la producción de hortalizas, debido al deterioro del suelo y uso de agua de riego de dudosa calidad, por lo que se refleja en la baja calidad de los productos obtenidos.

### **7.7 Condiciones ecopolíticas de la zona de estudio**

Los habitantes de los siete pueblos originarios de la Delegación Tláhuac presenta gran dependencia agrícola para su subsistencia. Dado el avance del proceso de salinización han desarrollado complejas tecnologías para producir alimentos con vista a paliar la situación de hambruna que esto puede conllevar.

Estas tecnologías de sobreexplotación de las áreas agrícolas y mal manejo de las tierras agrícolas salinas y de riego son causa además del avance de la desertificación de sus áreas de cultivo.

Las cosechas se comercializan principalmente en la Central de Abastos, donde diariamente se compite por vender, las ventas pueden ser altas o bajas, dependiendo de la competencia y calidad con otros Estados de la República Mexicana (Fig. 7).



Fig. 7 Cosecha y lavado de verdolaga para su traslado y comercio en la Central de Abastos.

Las pérdidas en los rendimientos y mala calidad de los productos en estas tierras se expresa en, impotencia ante el esfuerzo desplegado, así como distanciamiento de la producción, entre otros muchos sentimientos frustrantes que cunden entre su población, interaccionando y desagregando al colectivo de productores, que aún no logran identificar a ciencia cierta, las causas del marcado avance de la situación de degradación a la que se enfrentan y que hace que carezcan de perspectivas concretas a futuro, para mejorar la producción.

De esta manera al observar cambios en la producción, que van disminuyendo, ocurre que los productores buscan nuevas formas de sobrevivencia, dejando abandonados los campos de cultivo y en el mejor de los casos, arrendando las parcelas y, en su defecto vendiendo estas tierras a sus acreedores, abandonando así la lucha de sus predecesores por la misma.

## VIII. MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio, se localiza en el ejido de San Andrés Mixquic de la Delegación Tláhuac, en el Distrito Federal, tiene una superficie de 1096 ha, sus coordenadas son: 98° 56' longitud W, 19° 20' latitud N, con una altura de 2400 msnm (Global Posición System). Figura 8

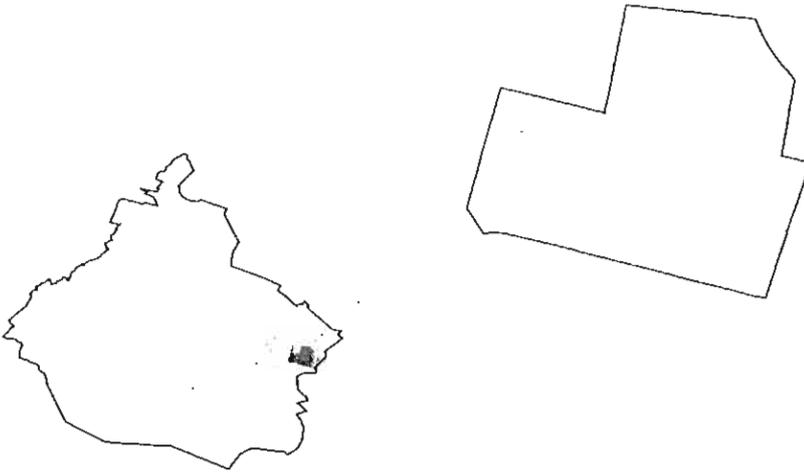


Fig. 8 Croquis de localización del área de estudio

### 8.1 Determinación de las condiciones climáticas de la región

Se tomaron los datos climáticos de los últimos de 31 años de la Estación Climatológica de Chalco, (más cercana al área de estudio), los cuales se evaluaron a fin de determinar la relación P/EVTP que caracteriza el clima en áreas propensas a la sequía, evaluándose el mismo según Köppen modificada por García (1988). Cuadro 3

Para determinar la EVP, se multiplicaron los valores de la evaporación por 0.8

Cuadro 3. Clima según la clasificación Köppen modificada por García (1988).

Clima y altura sobre el nivel del mar		Temperatura media anual (°C)	Temperatura mínima media mensual (°C)	Temperatura máxima media mensual (°C)
Cb(w <sub>1</sub> )(w)(i)g (2280 m)	C ( w <sub>1</sub> )	15.0	11.3 (E) <sup>1</sup>	17.8 (M) <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Se refiere a los meses en que se presenta E (enero) y M (mayo)

Para conocer la influencia del clima (factor natural) sobre la aparición de los diferentes procesos de desertificación en la región se utilizó la metodología de FAO-PNU-UNESCO, (1980).

**8.1.1 Índice climático: Para determinar su influencia sobre la salinización y/o sodificación de los suelos.**

$$C = \sum_{i=1}^{12} \frac{ETP}{(P)(10)}$$

Donde:

C = Índice climático de la salinización

ETP = Evapotranspiración potencial mensual (mm)

P = Precipitación mensual (mm)

El índice climático se evalúa de acuerdo al cuadro 4.

Cuadro 4. Clasificación climática para evaluar el proceso de salinización y/o sodificación

Clasificación	Ligera	Moderada	Severa	Muy severa
$C = \sum_{i=1}^{12} \frac{ETP}{(P)(10)}$	< 0.15	0.15 – 0.20	0.2 – 0.50	0.5 – 3.3
Condición de humedad		Semi húmedo	Semi árido	Árido

Fuente: Pizarro 1985.

### 8.1.2 Índice climático: Para determinar su influencia sobre la degradación física de los suelos

$$R = f \left( \sum_{i=1}^{12} \frac{P^2}{p} \right)$$

Donde:

R - Erosividad de la lluvia

P - Precipitación media mensual (mm)

p - Precipitación media anual (mm)

Se evalúa según cuadro 5.

Cuadro 5. Clasificación del factor R (erosividad de la lluvia)

Clasificación	Ligera	Moderada	Severa	Muy severa
R	0-50	50- 500	500 - 1000	> 1000

### 8.1.3 Índice climático: Para determinar su influencia sobre la Degradación química de los suelos

$$C_q = \sum_{i=1}^{12} (P - ETP)$$

Donde:

$C_q$  - Índice climático para la degradación química

$P$  - Precipitación media mensual (mm)

ETP - Evapotranspiración potencial mensual (mm).

Se evalúa en función del cuadro 6

Cuadro 6. Índice climático para clasificar la degradación química.

Clases	Ligera	Moderada	Severa	Muy Severa
$C_q$	0 - 100	101 - 500	501 - 1000	> 1000

#### 8.1.4 Índice climático: Para determinar su influencia sobre la degradación

biológica de los suelos

$$K_2 = \left( \frac{1}{12} \right) \left( \sum_1^{12} e^{0.1065(t)} \right) \left( \frac{P}{ETP} \right)$$

Donde:

$K_2$  - Índice climático de la degradación biológica

$T$  - Temperatura media mensual del aire ( °C)

$P$  - Precipitación media mensual (mm)

ETP - Evapotranspiración potencial (EV x 0.8) mm

La clasificación de  $K_2$  se establece según cuadro 7.

Cuadro 7. Clasificación del índice climático de mineralización del humus

Factor	Ligera	Moderada	Severa	Muy severa
$K_2$	0 - 1	1 - 3	3 - 10	> 10

## 8.2 Calidad del agua de riego

Se llevaron a cabo 4 muestreos para el monitoreo de la calidad del agua de riego a intervalos de 60 días a partir de noviembre de 2007 y hasta mayo de 2008. a las muestras recolectadas se les determino su concentración de sales y calidad de las mismas, (Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2002 y Richards et al. 1973) (Cuadro 8).

Cuadro 8. Métodos analíticos utilizados para caracterizar la calidad de las aguas.

Determinación	Técnica analítica
PH	Potenciometrico
C.E dS/m	Conductimetrico

Los resultados fueron evaluados en función del contenido de las sales solubles totales, determinada por la conductividad eléctrica y pH (Cuadro 9 y 10).

Cuadro 9. Calidad de las aguas de riego por presencia de sales solubles y riesgos a la sodificación del suelo.

Sodificación	Conductividad eléctrica (dS/m)
Clase 1: baja	< 0.25
Clase 2: media	0.25-0.75
Clase 3: alta	0.75-2.25
Clase 4: muy alta	> 2.25

(Pizarro 1985, Aguilera, 1996)

Cuadro 10. Clasificación de pH (Jones y Wolf modificado 1984).

Categoría	Escala de pH
Muy ácido	< 5.5
Ácido	5.6 – 6.0
Ligeramente ácido	6.1 – 6.5
Neutro	6.6 – 7.3
Alcalino	7.4 – 8.3
Fuertemente alcalino	> 8.3

### 8.3 Estudio del suelo

La degradación física (compactación) se determinó mediante la elaboración de un perfil agrológico, determinándose la profundidad de la capa compactada de suelo, figura 9.

#### 8.3.1 Labores de preparación de suelos para la siembra

Previo a la aplicación de los tratamientos se realizaron labores de descompactación utilizando un multiarado (3 rejas con forma de punta de flecha), con la intención de descompactar y mullir el suelo a una profundidad promedio de 40 cm; esta labor se realizó sólo una vez previo a la incorporación de los tratamientos.

Se empleó una máquina niveladora para invertir la pendiente del lugar, para ello se hizo indispensable un geoposicionador que indicara la pendiente, además con la finalidad de que la parcela agrícola pudiera drenar de forma eficiente en cuanto fuera regada.

Una vez terminado el subsoléo profundo con el multiarado y habiéndose incorporado los tratamientos al voleo se hizo un paso de rastra con la intención de incorporar o mezclar el suelo en cada uno de los mismos, esta labor de igual manera solo se hizo una vez.

Se llevo a cabo muestreo inicial y cada dos meses (32 muestras cada uno), después de la aplicación de los tratamientos desde noviembre de 2007 a mayo de 2008, obteniéndose muestras de 0 a 20 cm y de 20 a 40 cm, para un total de 128 muestras. Únicamente al diez por ciento del total de muestras que presentaron salinidad se les determino aniones y cationes solubles.

Las muestras de suelos obtenidas fueron analizadas para determinar las propiedades físicas y químicas ( Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2002 y Richards et al, 1973), (Cuadro 11).

Cuadro 11. Métodos analíticos utilizados para caracterizar los suelos, según la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2002 y Richards et al, 1973.

Determinación	Técnica analítica
pH	Potenciometrico (pasta de saturación)
C.E dS/m	Conductimetrico
Aniones y Cationes me/l	EDTA versénato
CIC me/l	EDTA versénato
Ca + Mg me/l	EDTA versénato
K me/l	Fotometría de llama
Na me/l	Fotometría de llama

Ca me/l	EDTA versénato
% M.O	Walkey – Black
P	Bray and Kurtz
Textura	Hidrómetro de Bouyoucos
Densidad aparente gr/cm <sup>3</sup>	Terrón de la parafina
Densidad real gr/cm <sup>3</sup>	Picnómetro
Necesidades de yeso	Precipitación con acetona

Se seleccionó una parcela demostrativa de 40 x 40 m<sup>2</sup> (1600 m<sup>2</sup>) dentro del ejido productor de hortalizas de San Andrés Mixquic, esta parcela a su vez se dividió 16 subparcelas de 10 x 10 m<sup>2</sup> (100 m<sup>2</sup>) aplicándose los tratamientos según el diseño de bloques al azar, (4 tratamientos con 4 repeticiones) y se calcularon las cantidades de enmendantes de acuerdo a sus resultados analíticos.

Los tratamiento fueron:

1. En el tratamiento uno se aplicó únicamente yeso agrícola, SO<sub>4</sub> Ca. 2H<sub>2</sub>O (4 t/ha) (T1),
2. En el tratamiento dos se aplicó yeso (4t/ha) + Materia orgánica (30 t/ha) (T2),
3. En el tratamiento tres se aplicó Materia orgánica (30 t/ha) (T3) y,
4. En tratamiento cuatro fue el testigo (T4). Figura 9.



Fig. 9 Localización de los tratamientos en la parcela demostrativa del ejido Mixquic.

Se llevó a cabo la estimación de la dosis de yeso agrícola a aplicar según ;

Cálculo de necesidad de yeso:

#### Necesidad

$$\text{de yeso} = [\text{Ca}^{2+} \text{ del yeso me/l}] - [\text{Ca} + \text{Mg en filtrado me/l}] \times 2$$

me/100g

Se determinó el efecto de los tratamientos en función del tiempo, utilizando como indicadores su efecto sobre PSI, conductividad eléctrica, pH y % de materia orgánica.

#### 8.4 Análisis estadístico

Los resultados de los análisis de suelos de los diferentes tratamientos fueron analizados con el diseño de bloques al azar, aplicándose la prueba de Tukey de rangos múltiples

(0.05), con el objeto de diferenciar los tratamientos aplicados, los datos obtenidos fueron analizados por el paquete estadístico NCSS, 2001.

### 8.5 Determinación del grado de desertificación y/o degradación

Tomando como base los resultados integrados de clima, suelo y agua, se establecieron los índices de degradación física, química y biológica para evaluar el grado de desertificación y/o degradación en condición actual, velocidad y riesgo (FAO-PNU-UNESCO, 1980).

#### a) Estado actual de la salinidad

Para evaluar las condiciones actuales, fue evaluada el área según las características físicas del terreno: estructura del suelo, permeabilidad, presencia de manchas blancas y/o oscuras sobre la superficie y la presencia de materia vegetal tomándose muestras de suelo y de agua, para realizar los análisis correspondientes, y se evaluaron según Cuadro 12.

Cuadro 12. Indicadores para evaluar el estado actual de la degradación del suelo por salinidad y/o sodicidad y contenido de boro.

Factor de evaluación	Nulo	Ligero	Moderado	Severo	Muy severo
Indicador morfológico	No hay sales	No hay Sales	Manchas de sales	Evidentes manchas de sales	Presencia de costras de sales

CEe a 15 cm profundidad	< 2	2-4	4-8	8-16	>16
PSI a 15 cm de profundidad	-	<15	15-20	20-45	>45
% de área afectada	<0	5	5-20	20-50	> 50
*Rendimiento del cultivo en % del rendimiento Potencial	100	99-85	85-65	65-25	<25
Boro en el extracto (ppm)	0.09	0.09-0.25	0.25-0.50	0.50-1.0	>1.0

\* Se utiliza el modelo matemático propuesto por Maas-Hoffman

CEe: Conductividad eléctrica del extracto (dS/m)

PSI = Porcentaje de Sodio Intercambiable

#### b) Velocidad del proceso de degradación

Evaluar la velocidad del proceso de salinización permite determinar la degradación en el tiempo. Para cuantificarla, se requiere información de al menos 2 años. Tomándose los datos antecedentes de la bibliografía analizada de la región, aplicándose la fórmula:

$$V = \frac{(CEea - CEeac)}{(CEea)} \times 100$$

Donde:

V = Velocidad de degradación del suelo por salinidad en %

CE<sub>ea</sub> = Conductividad eléctrica del extracto anterior en dS/m

CE<sub>ea</sub>c = Conductividad eléctrica del extracto actual en dS/m

Se evalúa según cuadro 13.

Cuadro 13. Indicadores para evaluar el grado de velocidad de la degradación por salinidad y/o sodicidad.

Factor de evaluación	Nulo	Ligero	Moderado	Severo	Muy severo
Incremento del área afectada %/año	-	<1	1-2	2-5	>5
Aumento de la CE <sub>e</sub> a 15 cm de profundidad	-	<0.5	0.5-2	2-4.5	>4.5
Aumento de Boro (ppm/año)	-	<0.025	0.025-0.05	0.05-0.1	>0.1
Disminución porcentual del rendimiento	0	<1.5	1.5-3.5	3.5-7.5	>7.5

### c) Riesgo inherente

Fue conveniente analizar las condiciones y la evolución, que pudiera en el futuro propiciar que la degradación por la salinidad se presente o se incremente, en ese sentido, el riesgo

está en función del suelo, la topografía, profundidad y calidad del manto freático y calidad de manejo del agua de riego, evaluándose según FAO-PNU-UNESCO, (1980). Cuadro 14

Cuadro 14. Indicadores para evaluar el riesgo inherente de la degradación por salinidad (o sodicidad)

Factor de evaluación	Nulo	Ligero	Moderado	Severo	Muy severo
Prof. Media del manto freático (m)	>6.0	6.0-3.0	3.0-1.0	1.0-0.5	<0.5
Calidad del agua de riego		<0.75	0.75-2.25	2.25-5.0	> 5.0
CEx10 <sup>3</sup>		<4.0	4.0-7.0	7.0-10.0	>10.0
RAS		<0.75	0.75-1.5	1.5-3.0	>3.0
CSR		<3.0	3.0-5.0	5.0-15.0	>15.0
Salinidad potencial (meq/l)		<0.3	0.3-4.0	>4.0	>4.0
Boro (ppm)		<1.0	1.0-5.0	>5.0	>5.0
Cloro (meq/l)					
Fisiografía	Muy ondulado	Llano	Llano	Depresión	Depresión
Drenaje general	Muy bueno	Bueno	Imperfecto	Malo	Muy malo
Drenaje interno	Muy bueno	Moderado	Lento	Muy lento	Muy lento

Fuente: Aguilera, 1996

CE: Conductividad eléctrica del agua de riego, en dS/m      CSR : Carbonato de sodio residual me/l y RAS : Relación de adsorción de sodio

## XV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 9.1 Clima

Los datos climáticos de 31 años de la Estación climática de Chalco Edo. de México muestran el comportamiento de los principales parámetros (temperatura, precipitación, evaporación y viento) que a continuación se describen cada uno.

#### 9.1.1 Temperatura

Las temperaturas mínimas se presentan en los meses de diciembre y enero, mientras que las más altas en los meses de abril, mayo y junio. Cuadro 15

Cuadro 15. Temperatura media mensual y anual.

Estación	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual Prom.
000150 20	11.3	12.3	14.9	16.7	17.8	17.4	16.5	16.4	16.2	15.2	13.0	11.8	15.0

### 9.1.2 Precipitación

El comportamiento de la precipitación mensual y anual de la estación demuestra que existe déficit de humedad desde octubre a junio, por lo que se requiere la aplicación del riego, para los cultivos que se establecen en esta temporada, cuadro 16. Según los datos evaluados el clima es  $C(w_1)$ , sub húmedo seco, lo que coincide con lo reportado por (INEGI, 1999) o según Garcia (1988) es  $Cb(w_1)(w)(i')g$ . Cuadro 17

Cuadro 16. Precipitación media mensual y anual

Esta- ción	Mes												Anual
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Chalco	11.5	7.1	13.7	25.6	55.7	108.1	137.8	125.0	94.0	44.6	6.6	5.73	635.5

Cuadro 17. Precipitación media anual

Estación	Clima	Altura sobre el nivel del mar	Precipitación media anual (mm)
Chalco	$Cb(w_1)(w)(i')g$ $C(w_1)$	2 280	635.5

Se observa que la temporada de lluvias se presenta entre los meses de mayo a octubre, en los otros meses las lluvias son esporádicas y aisladas. Durante el verano y

principios del otoño precipita el 80 % al 90 % de la lluvia anual, por lo que su régimen es de lluvias de verano.

Durante el periodo de precipitaciones se presentan dos tipos de lluvias, el primero corresponde a las lluvias típicas de verano que se ubican en los meses de mayo a mediados de septiembre, de tipo convectiva; son lluvias denominadas localizadas, presentan alta intensidad y de corta duración. Estas lluvias no son muy favorables para su aprovechamiento en la agricultura y para las recargas de los mantos acuíferos, debido a que en muy poco tiempo precipita mucha agua y los escurrimientos son altos, produciendo avenidas, que resultan perjudiciales y peligrosas.

El segundo tipo, son las lluvias de que se ubican de la mitad de septiembre a octubre, estas por su origen son ciclónicas, se deben a los ciclones tropicales que se forman en el Caribe o en el Océano Pacífico y afectan a México, éstas dejan su humedad por un efecto orográfico. Las lluvias son de baja intensidad, las gotas son pequeñas, y se traduce en ser mejores para la agricultura, permitiendo una buena infiltración del agua en el suelo y almacenamiento que favorece la recarga de los acuíferos.

### **9.1.3 Evaporación y Evapotranspiración**

La evaporación y evapotranspiración media anual demuestran que las pérdidas de agua superan a la media anual de las precipitaciones, lo que ocasiona estrés hídrico a los cultivos requiriéndose aplicaciones de riego para su supervivencia.

El comportamiento de la precipitación, evaporación, evapotranspiración y temperaturas medias mensuales de la estación meteorológica de Chalco cuyo clima es  $C(w_1)$ , quedan representados en la figura 10. Anexo 1

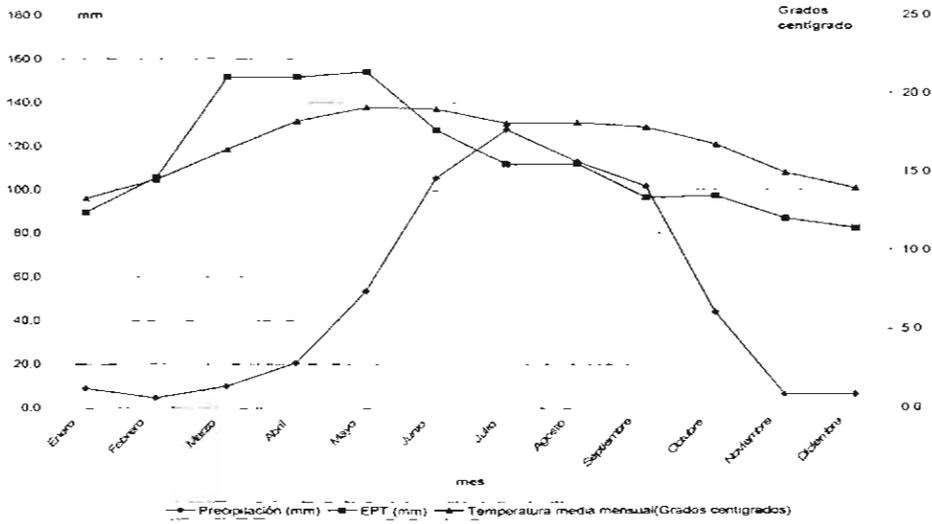


Fig. 10 Climograma de la estación meteorológica Chalco con clima  $C(w_1)$ .

Es de destacar que en la región ocurre déficit de humedad en casi todo el año, a excepción de mediados de junio a septiembre en que ocurren las mayores precipitaciones.

#### 9.1.4 Viento

La velocidad media de los vientos es de 10 km/h aproximadamente. Los más intensos y que se han presentado rara vez, son los de 94 km/h. A través del día y durante todo el año, los vientos dominantes provienen del norte y noreste, aunque en los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero se presentan vientos dominantes del sureste.

Esto se debe a la dirección de los vientos alisios, que siguen esta dirección por el efecto de la fuerza de coriolis.

Torres (1999), menciona que el 80 % de las partículas sólidas suspendidas en la atmósfera que llegan a la zona metropolitana y al Distrito Federal, provienen del oriente del Estado de México, 20 % de ellas de Nezahualcoyotl, aunque también provienen de Tlaxcala e Hidalgo, así como de los municipios de Chalco y Texcoco.

Aunque Nezahualcoyotl genera el 20 % de estas partículas, las cuales provienen principalmente del borde de Xochiaca y de los campos deportivos que existen en esta zona. Este mismo autor especifica que ante esta situación se recomienda hacer una barrera verde con plantas y árboles para evitar que con los vientos lleven estas partículas al D. F.

## **9.2 Índice de influencia climática en el proceso de degradación**

El índice climático calculado se evaluó como de influencia en el proceso de degradación de Muy Severa, mostrando que la relación  $P/ETP$  es de 0.48 determinando condiciones de clima seco

### **9.2.1 Salinización y/o sodificación**

En el cuadro 18 se muestran los valores calculados de la influencia del clima sobre el proceso de salinidad y sodicidad de la región.

Cuadro18. Cálculos mensuales de influencia climática sobre la salinidad y/o sodicidad con los elementos del clima de la estación meteorológica, clima (C(w<sub>1</sub>).

Mes	Precipitación (mm)	EVT (mm)	Índice climático de salinidad
Enero	11.5	94.24	0.8
Febrero	7.1	105.28	0.15
Marzo	13.7	148.80	1.1
Abril	25.6	165.60	0.06
Mayo	55.7	151.28	0.3
Junio	108.1	112.80	0.1
Julio	137.8	94.24	0.07
Agosto	125.0	89.28	0.07
Septiembre	94.0	81.60	0.09
Octubre	44.6	91.76	0.21
Noviembre	6.6	88.80	1.3
Diciembre	5.7	86.80	1.5
<b>Suma</b>	<b>635.4</b>	<b>1310.48</b>	<b>7.7</b>

La influencia del clima sobre el proceso de salinización y/o sodificación es **muy severa**.

### 9.2.2 Degradación física

El índice climático mensual y anual de degradación física es de 96.5, por lo que la influencia climática sobre esta degradación se clasifica como **severa**. Cuadro 19

Cuadro 19. Cálculos del índice climático de degradación física con los elementos del clima de la estación meteorológica, clima ( $C(w_1)$ ).

Meses	Precipitación (mm)	Índice de degradación Física
Enero	11.5	0.2
Febrero	7.1	0.1
Marzo	13.7	0.3
Abril	25.6	1.0
Mayo	55.7	4.9
Junio	108.1	18.4
Julio	137.8	29.9
Agosto	125.0	24.6
Septiembre	94.0	13.9

Octubre	44.6	3.1
Noviembre	6.6	0.1
Diciembre	5.7	0.1
	635.4	96.5

### 9.2.3 Degradación química

Se observa que esta degradación sólo tiene signo positivo en los meses de lluvia (julio - septiembre), lo que significa que para esos meses es cuando ocurre severa influencia en la lixiviación de las bases. Cuadro 20

Cuadro 20. Cálculos del índice de influencia climática sobre la degradación química,

Mes	Precipitación (mm)	ETP (mm)	Índice de Degradación química
Enero	11.5	94.24	-82.7
Febrero	7.1	105.28	-98.2
Marzo	13.7	148.80	-135.1
Abril	25.6	165.60	-140.0

Mayo	55.7	151.28	-95.6
Junio	108.1	112.80	-4.7
Julio	137.8	94.24	43.6
Agosto	125.0	89.28	35.7
Septiembre	94.0	81.60	12.4
Octubre	44.6	91.76	-47.2
Noviembre	6.6	88.80	-82.2
Diciembre	5.7	86.80	-81.1
Suma	<b>635.4</b>	<b>1310.48</b>	<b>675.1</b>

#### 9.2.4 Degradación Biológica

El índice climático promedio anual de influencia sobre la degradación biológica es de 3.04 (velocidad de mineralización del humus) y se clasifica como **severa**. Cuadro 21

Cuadro 21. Cálculos del índice climático de influencia sobre la degradación biológica,

Mes	Precipitación (mm)	ETP (mm)	P/ETP	Mineralización del humus
Enero	11.5	94.24	0.1	0.41
Febrero	7.1	105.28	0.1	0.25
Marzo	13.7	148.80	0.1	0.45
Abril	25.6	165.60	0.2	0.92
Mayo	55.7	151.28	0.4	2.45
Junio	108.1	112.80	1.0	6.11
Julio	137.8	94.24	1.5	8.48
Agosto	125.0	89.28	1.4	8.03
Septiembre	94.0	81.60	1.2	6.47
Octubre	44.6	91.76	0.5	2.45
Noviembre	6.6	88.80	0.1	0.30
Diciembre	5.7	86.80	0.1	0.23
<b>Suma</b>	<b>635.4</b>	<b>1310.48</b>	<b>6.4</b>	<b>3.04</b>

### 9.2.5 Resumen de la influencia climática en el proceso de desertificación

La influencia climática del agroecosistema en el proceso de desertificación del área de estudio se muestra en el Cuadro 22.

Cuadro 22. Resumen de los índices de influencia climática obtenidos en el proceso de degradación.

Degradación	Clasificación
Índice climático	Muy severa
Salinidad	Muy severa
Física	Severa
Química	Severa
Biológica	Severa

### 9.3 Principales características de los suelos

El suelo de estudio es de origen antropogénico clasificado como Solonchack y Gleysol mólico (INEGI, 1999). Son suelos salinos sodicos, que presentan valores promedio de  $C.E > 4$  y  $PSI > 15$ .

#### 9.3.1 Propiedades físicas

Los análisis físicos realizados, permitieron determinar su grado textural clasificado como franca, mostrando además antes de la aplicación de los tratamientos fuerte compactación de los 30 a 40cm, esto debido al uso de maquinaria pesada durante largo

tiempo, observándose también presencia de raíces y caracoles fósiles, ya que el área de estudio es de origen lacustre.

En general muestran una densidad aparente promedio de  $0.69 \text{ gr/cm}^3$  en los primeros 20cm y de  $0.70 \text{ gr/cm}^3$  de los 20 a los 40cm; con relación a la densidad real esta fue de  $1.85 \text{ gr/cm}^3$  en la primer capa y de 1.87 en el segundo horizonte lo que le da una condición de porosidad mayor del 50% para ambas profundidades. Anexos 2 al 5

Oster (1982) afirma que los efectos benéficos del uso del yeso es mejorar las propiedades físicas de suelos salinos y sódicos.

### 9.3.2 Propiedades químicas

En general puede decirse que el pH tiende a ser alcalino durante el periodo de estudio de este suelo, posiblemente debido a la aplicación de los tratamientos, ya que el yeso aplicado hizo reacción con el suelo, extrayendo las sales de sodio del complejo de adsorción hacia la solución del suelo. La MO aplicada incremento aun más la cantidad de sales, que de acuerdo a Twain et al., (2008) la materia orgánica puede incrementar el pH y la C.E, estos incrementos se pueden observar cuando la temperatura tiende a aumentar; y su contenido para suelos derivados de cenizas volcánicas se clasifica como muy rico en carbono orgánico.

La conductividad eléctrica (C.E) aparece con tendencia de incremento desde el inicio de la reacción del yeso en el suelo. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) fue muy

alta para los tratamientos estudiados a lo que contribuye el enriquecimiento de M.O aplicado.

El porcentaje de saturación de bases (PSB), según es clasificada de media a alta predominando los iones de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  lo cual se relaciona con la aplicación del yeso, aumentando el pH y la Conductividad eléctrica. Anexos 6 al 21

La relación de cationes solubles en el extracto de saturación se comporta de la siguiente manera  $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ , en base a esta relación se determina la alta eficiencia del yeso, ya que se incorporaron mas sales de calcio, sustituyendo por tanto en función del tiempo, las sales de sodio que también se presentan en abundancia, pero con el sistema de drenaje esas sales fueron saliendo del área tratada.

La calidad de las sales en el extracto de saturación demostraron que el anión con mayor concentración fue el  $\text{Cl}^-$ , siguiendo en abundancia el anión  $\text{SO}_4$  y en menores concentraciones los iones de  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{HCO}_3^-$ . Anexo 22

Las eficiencias del yeso dependen de las medidas de disolución así como la subsecuente movilidad de los iones. El  $\text{Ca}^{+2}$  se usa para dar estructura y mejora la conductividad hidráulica del suelo, porque es soluble y es aportado por la enmienda (yeso agrícola) mejorando así la infiltración del suelo, lo que coincide con lo reportado por Mace et al. (1999) y Amezketa et al. (2005) cuando mencionan que los enmendantes de yeso que emplearon para prevenir costras y recuperar suelos sódicos son efectivos para la rehabilitación de suelos salinos. Miyamoto y Strohlein (1986)

indicaron que el efecto diferencial entre diferentes enmiendas de yeso y otros químicos depende de los niveles de sodicidad del suelo.

Se demuestra que son suelos con alto contenido de sales perjudiciales abundantes, sobre todo de  $\text{Na}^+$ , que afectan las producciones agrícolas de la región.

#### 9.4 La desertificación del agroecosistema

Se trata de un suelo de alta influencia climática en su degradación no sólo por salinidad sino física, química y biológica.

De existir cambios climáticos con tendencia a la sequía avanzara una severa desertificación.

##### 9.4.1 El estado actual de la salinidad

El porcentaje de área afectada por la salinidad y/o sodicidad es mayor del 50%, clasificada como degradación muy severa. El suelo en estudio presenta una salinización y sodificación **severa a muy severa** se muestran evidencias de manchas

de sales con presencia de costras (C.E es mayor de 16 dS/m y PSI >15% Lo que permite evaluarla como afectación muy severa.

El estado actual de la salinidad, los contenidos orgánicos y su pH demuestran que de acrecentarse la alcalinidad del suelo por utilización para el riego de aguas con alta salinización puede ocurrir la inmovilización de los contenidos orgánicos.

#### **9.4.2 Velocidad del proceso de degradación**

A ocurrido un incremento de la conductividad eléctrica y el porcentaje de sodio intercambiable, a través del tiempo lo que ha ocasionado que disminuyan la calidad y los rendimientos de los cultivos que se establecen en el ejido.

#### **9.4.3 Riesgo inherente**

La evaluación del riesgo inherente esta basada en la poca profundidad a que esta localizado el manto freático y el mal drenaje interno y superficial del área de estudio y de su colindancia con el resto del ejido. El manto aparece a un metro de profundidad en temporada de lluvias lo que nos indica un riesgo de degradación **severa**, sin embargo en la temporada seca el manto freático tiende a bajar hasta dos metros de profundidad clasificándose en ese momento como una degradación **moderada**.

La calidad del agua de riego del hidrante de donde se riega la parcela estudiada presenta valores de II clase. La fisiografía del área experimental es llana, clasificada

por este parámetro como degradación **moderada**, el drenaje en general e interno del ejido es muy malo, por lo que es clasificada de degradación muy severa ya que el agua no tiene movimiento, sin embargo después que se hicieron labores de mecanización para invertir la pendiente y la descompactación se mejoro las escorrentías de la parcela presentando moderado riesgo de salinización y/o sodificación.

### 9.5 Resumen de la desertificación del agroecosistema

La desertificación del agroecosistema por salinidad y/o sodicidad del área de estudio se muestra concentrada en el Cuadro 23.

Cuadro 23. Indicadores de evaluación obtenidos por salinidad y/o sodicidad

Parámetros de degradación	Clasificación
Estado actual de la salinidad	
Manchas de sales y costras	Severa a Muy severa
C.E dS/m	Muy severa
PSI % (15-20)	Moderada
% del área afectada	Muy Severa
Velocidad del proceso de degradación	
C.E dS/m	Muy severo
Riesgo inherente	
Manto freático	Moderado a Severo
Fisiografía	Moderada
Drenaje general	Muy severo
Drenaje interno	Moderado

## 9.6 Calidad del agua de riego

Con respecto a la salinidad del agua del hidrante (agua tratada) con la que se riega, se demostró que de acuerdo a su clasificación por salinidad es de segunda clase de noviembre a mayo. En cuanto a los valores de pH del agua en los cuatro meses de muestreos, estos tienden a la neutralidad, incrementado la concentración de salinidad sobre todo en la temporada de sequía. Cuadro 24

Cuadro 24. Propiedades químicas del agua de riego

Muestreos	pH	C.E
	1:2	dS/m
06-nov-07	6.89	0.4
06-enero-08	6.95	0.5
06-marzo-08	6.98	0.5
06-mayo-08	6.88	0.4

## X. Comportamiento de las propiedades químicas de suelos en los diferentes tratamientos de rehabilitación.

### 10.1 pH

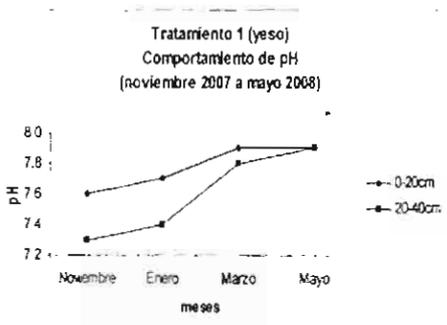
El pH del suelo en los diferentes tratamientos no mostró diferencia significativa en la profundidad 0-20cm sin embargo en la capa de 20-40cm de profundidad se observó variación significativa entre los tratamientos de yeso + materia orgánica (T2) con respecto al testigo (T4). Cuadro 25

Cuadro 25. Promedios de pH entre tratamientos a mayo 2008

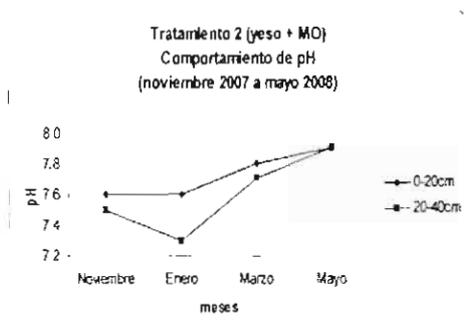
Parámetro	Tratamientos	Promedio	Promedio
		0-20cm	20-40cm
pH	Yeso	7.9	7.9
	yeso + MO	7.9	8.0 b
	MO	7.9	7.9
	Testigo	7.9	7.8 a
Alfa= 0.05      Error estándar=		0.11	0.10

Literales diferentes en las columnas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ )

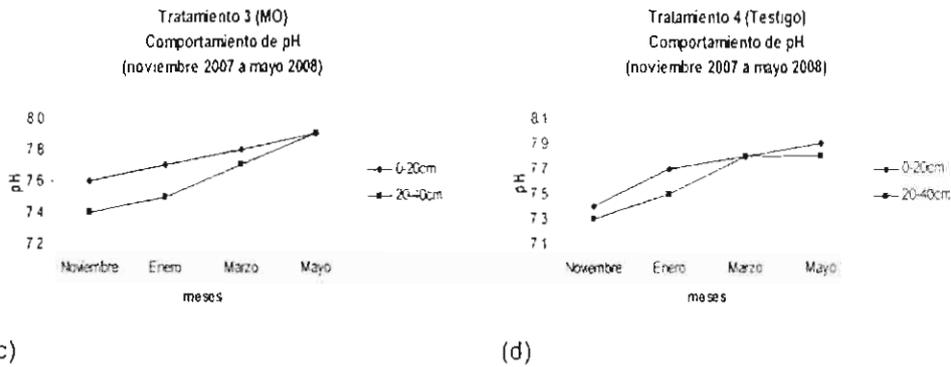
Las variaciones en función del tiempo en cada tratamiento analizado demuestran tendencia a la alcalinización. Figuras 11 a, b, c y d. Anexos 23, 24, 31, 35, 39, 43 y 47



(a)



(b)



Figs. 11 a, b, c, d. Efecto de los tratamientos en el pH en función del tiempo

## 10.2 Conductividad eléctrica (C.E dS/m)

En el cuadro 26 se observa que la Conductividad eléctrica muestra diferentes comportamientos en las dos capas con respecto a los tratamientos aplicados, observándose diferencias significativas a los 0-20cm de profundidad cuando se aplicó yeso + materia orgánica (T2) en relación a la aplicación de materia orgánica sola, sin embargo en la profundidad de 20-40cm se observó que existieron diferencias significativas entre los tratamientos donde se aplicó yeso T1 y cuando se usó yeso mas materia orgánica T2 con relación a la aplicación de materia orgánica sola (T3) y el testigo.

Cuadro 26. Promedios de C.E dS/m entre tratamientos a mayo 2008

Parámetro	Tratamientos	Promedio	Promedio
		0-20cm	20-40cm
C.EdS/m	Yeso	27.7 a	25.9 ab

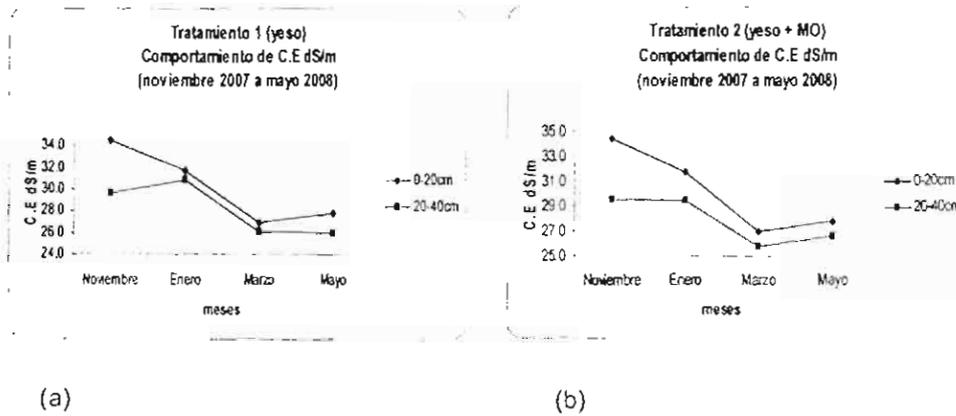
yeso + MO	27.2 a	26.5 ab
MO	32.6 b	28.6 cd
Testigo	30.6 b	29.5 cd

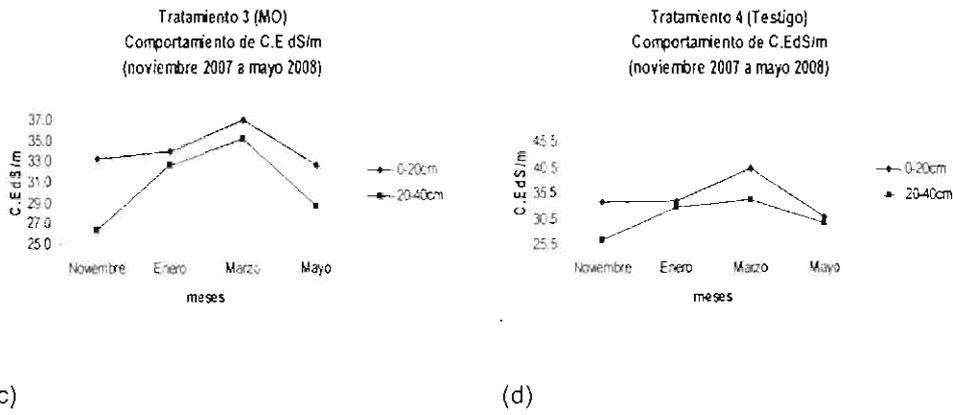
Alfa= 0.05      Error estándar=      4.18      1.52

Literales diferentes en las columnas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ )

Son evidentes las diferencias que existen entre el testigo y los tratamientos utilizando yeso como mejorador químico (T1) y su combinación con materia orgánica (T2), en ambos tratamientos la disminución del contenido de sales solubles totales a ambas profundidades disminuye en función del tiempo, demostrando así el efecto positivo de los tratamientos T1 y T2 en el mejoramiento de las condiciones de salinidad del suelo.

Figuras 12 a, b, c y d. Anexos 25, 26, 32, 36, 40, 44 y 48





Figs. 12 a, b, c, d. Efecto de los tratamientos en el contenido de la C.E en función del tiempo.

### 10.3 Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)

El objetivo perseguido en las medidas de mejoramiento, utilizando los diferentes tratamientos, fue precisamente la disminución del PSI (>19%) que aparece en estos suelos salino sodicos. Analizando las variaciones de este parámetro en los diferentes

tratamientos (cuadro 27) se observa que en el primer horizonte existe diferencia significativa entre los tratamientos en el que se empleo el yeso T1 y T2 con relación al testigo y en la capa siguiente 20-40cm se mantienen diferencias significativas entre los tratamientos donde se utilizó yeso con el resto de los tratamientos.

Cuadro 27. Promedios de PSI % entre tratamientos a mayo 2008

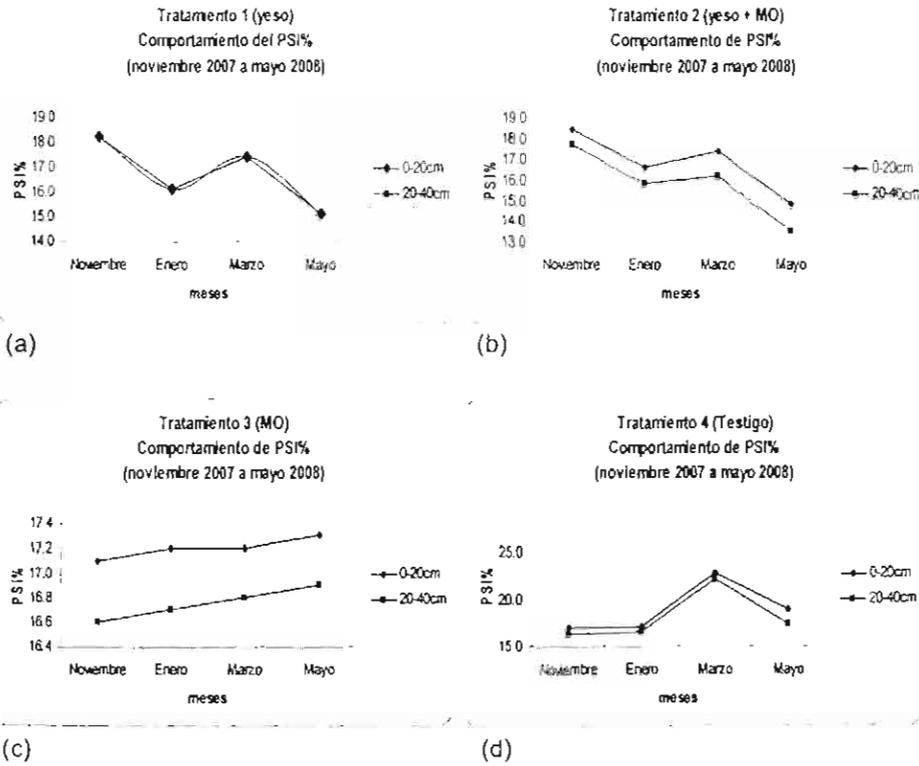
Parámetro	Tratamientos	Promedio	Promedio
		0-20cm	20-40cm
PSI %	Yeso	15.1 ab	14.6 ab
	yeso + MO	15.1 ab	13.6 ab
	MO	17.3 c	16.8 c
	Testigo	19.1 c	17.3 c
Alfa= 0.05	Error estándar=	2.45	2.69

Literales diferentes en las columnas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ )

Si observamos el comportamiento del PSI en función del tiempo en los tratamientos T1 y T2, se observa que existe una disminución del porcentaje del PSI en los primeros 90 días y después aparece una disminución con respecto a su primer muestreo pero incrementa con relación al mes de enero, mostrando evidentemente que a los seis meses de aplicado dos de los tratamientos T1 y T2, el PSI disminuyó un 3% en ambas capas (T1) y cuando se utilizó yeso + materia orgánica (T2) bajo un 4% en el primer horizonte.

En los demás tratamientos existen fluctuaciones de incremento del PSI en ambas capas, esto puede explicarse a la luz de los incrementos que ocurren en la solución del suelo del ión sodio que satura los contenidos orgánicos que a su vez incrementan la capacidad de intercambio catiónico, mostrando así valores mayores de PSI; en cuanto al testigo se observa que el PSI continua aumentando, obteniendo sus mayores valores

(20%) en marzo y comienza a declinar en ambos horizontes en la época de lluvia que se inicia en mayo. Figuras 13 a, b, c y d. Anexos 29, 30, 34, 38, 42, 46 y 50



Figs. 13 a, b, c, d. Efecto de los tratamientos con el % de PSI en función del tiempo.

#### 10.4 Materia orgánica (MO %)

Estos suelos son ricos en materia orgánica (15%) por lo que su respuesta entre los diferentes tratamientos en la primera profundidad muestran diferencias significativas sólo en el caso del T2 (yeso + MO) donde se efectuó la aplicación de 30 ton/ha de

materia orgánica, sin embargo en el segundo horizonte no aparecen diferencias significativas entre tratamientos. Cuadro 28

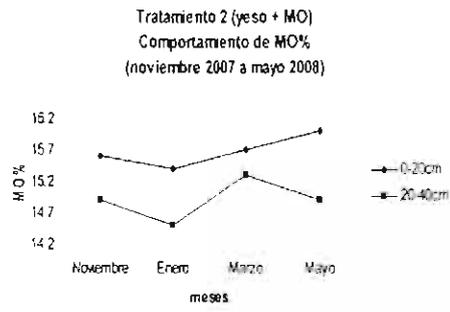
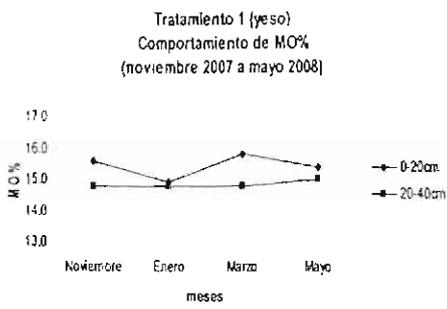
Cuadro 28. Promedios de MO % entre tratamientos a mayo 2008

Parámetro	Tratamientos	Promedio	Promedio
		0-20cm	20-40cm
MO %	Yeso	15.4 ab	15.1
	yeso + MO	16.0 c	15.0
	MO	15.1 ab	15.1
	Testigo	15.0 ab	15.0
Alfa= 0.05	Error estándar=	0.56	0.41

Literales diferentes en las columnas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ )

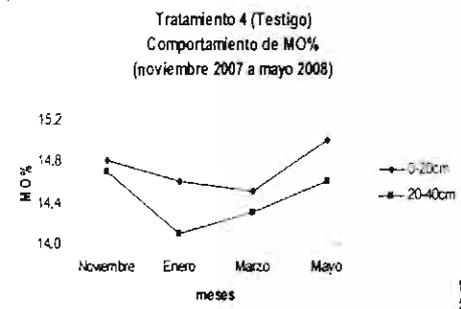
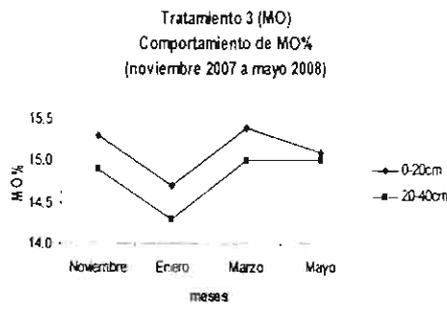
En comportamiento orgánico de los diferentes tratamientos a ambas profundidades se observó que los contenidos en el primer horizonte son mas elevados mostrando tendencia a la disminución hacia la segunda capa, no obstante es evidente que en el T3 y T4 los contenidos orgánicos fluctúan pero no muestran tendencia de disminución.

Es importante señalar que estos contenidos orgánicos están muy ligados a los pH (alcalinización) que esta ocurriendo en los suelos que puede inmovilizar de la materia orgánica. Figuras 14 a, b, c y d. Anexos 27, 28, 33, 37, 41, 45 y 49



(a)

(b)



(c)

(d)

Figs. 14 a, b, c, d. Efecto de los tratamientos con el contenido de MO en función del tiempo.

## XI. CONCLUSIONES

Los parámetros climáticos determinan un clima sub húmedo seco ( $CW_1$ ) influyendo en las degradaciones del suelo que están ocurriendo con muestras del proceso de desertificación que ha avanzado por acción natural (cambios climáticos) y antrópicos (mal manejo del agroecosistema).

Son suelos que muestran mayor contenido salino en su primer horizonte, debido al uso de aguas para el riego de mala calidad (factor antrópico); la condición de clima subhúmedo seco (factor natural) determina que las degradaciones observadas son debidas al proceso de desertificación que aparece manifestado en grado severo a muy severo, condicionando su explotación agrícola.

De continuar el estrés de sequía y el mal drenaje de la región el proceso de desertificación fundamentalmente la salinización y/o sodificación de estas tierras se incrementará trayendo como consecuencia pérdidas de la capa arable por efecto de la erosión eólica (tolvaneras), aridización de la región, compactación de las tierras, encostramiento, entre otros factores y su creciente aplicación de agua de riego de mala calidad sin la presencia de un drenaje adecuado permitirá la continua acumulación de los iones de  $Na^{+2}$  intercambiable en la solución del suelo.

Son suelos salinos - sódicos, clasificados como Gleysol mólicos y fluvisoles, presentan severa degradación física (compactación y encostramiento), degradación química (lixiviación de bases) que hace que presenten baja fertilidad y degradación biológica

condicionada por la mineralización de la materia orgánica e inmovilización existente por la reacción alcalina de los suelos y baja disponibilidad del fósforo.

La explotación agrícola de los mismos hará necesaria la aplicación de medidas de mejoramiento físico y desalinización y/o desodificación de la capa arable, por lo que se requiere para su rehabilitación la utilización de diferentes tratamientos que comprende la aplicación de enmiendas químicas ( $\text{SO}_4\text{Ca}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) y orgánicas materia orgánica.

La aplicación de agua alcalina de categoría II en forma continuada conllevará a la salinización y/sodificación progresiva de esta zona de cultivo, aunado a falta de un drenaje eficiente que permita la extracción de sales de la zona de raíces, por lo que el uso con fines agrícolas de estas aguas solo podrá llevarse a cabo con el mejoramiento de éstas.

El mejoramiento esta determinado por la aplicación de enmendantes químicos que conlleve a la disminución del contenido de sodio intercambiable, vinculando estas enmiendas químicas con orgánicas. Los tratamientos analizados los mejores para este fin fueron los tratamientos de yeso (T1) y yeso + materia orgánica (T2) sin diferencias significativas entre ambos.

Sin embargo el tratamiento de la mezcla de yeso + materia orgánica ofrece mayores ventajas al incorporar los beneficios de intercambio del yeso agrícola (Sulfato de calcio dihidratado) y las ventajas de mejoramiento físico y biológico de la materia orgánica.

## XII. RECOMENDACIONES

- 1.- Utilizar la tecnología del multirado para la descompactación del suelo (enmienda física).
- 2.- Mejorar la calidad del agua de riego y revisar las dosis de aplicación a fin de considerar normas de lavado y continuar su monitoreo en el tiempo.
- 3.- Aplicar yeso agrícola ( $\text{SO}_4\text{Ca}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) 4 ton/ha mas materia orgánica (30ton/ha) a fin de corregir las degradaciones salinas y biológicas.
- 4.- Recopilar la información meteorológica a fin de determinar el efecto de los cambios climáticos y la tendencia que puede llevar el área a un mayor estrés de sequía o humedad.

### XIII. BIBLIOGRAFIA

Abdul, W., Fathi, A.M., Diedrich, S. and Sven, S. 2009. Sodium-induced calcium deficiency in sugar beet during substitution of potassium by sodium. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172(2): 254-260.

Aceves, N. L. 1981. Los terrenos ensalitrados y los Métodos para su recuperación. Dpto. de Suelos. UACH. Chapingo, México.

Aguilera C. M. y Rene M. E. 1996. Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera. Departamento de irrigación. UACH. Chapingo, México.

Amezketá, E., Aragues, R. and Gazol, R. 2005. "Efficiency of sulphuric acid, mined gypsum and two gypsum by-products in soil crusting prevention and sodic soil reclamation". En: *Agronomy Journal*, 97:983-989.

Ávila, G. J. G. 1999. Evaluación de un sistema de drenaje en la recuperación de un suelo salino sódico. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, México. 25-35 pp.

Aydemir, S., and Sonmez Osman. 2008. Ameliorative effect of indigenous calcite on sodio-saturated clay systems. *Soil Science*. 173(2):96-107.

Barreiros-Guemes, María T., R. Sánchez-Trejo, A. Aguirre-León y L. A. Ayala-Pérez. 1998. Ecología del humedal de San Pedro Tláhuac. Un sistema lacustre del Valle de México. UAM-Xoc. México D.F.

Borroto, M. 2004. Informe Técnico de la Región Productora de hortalizas y verduras de San Andrés Mixquic, Delegación Tláhuac. Mes Enero-Junio. Programa de Superación Académica. UAM-Xoc. México DF. 13 p.

Borroto, M. y Ortiz F. 2006. Conocimiento y conjunto de medidas de rehabilitación en tierras desertificadas en la región de Mixquic, Delegación Tláhuac. Manual técnico. Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Xochimilco, México, D.F. 12-18 p.

Cayuela, E., Muñoz, M. A., Vicente, A. F., Moyano, E., García, A. J., Estañ, M. T. y Bolariñ, M. 2007. Drought pretreatment increases the salinity resistance of tomato plants. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 170: 479-484.

CCD/PNUMA, 1995. Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación en los países afectados por sequía grave o desertificación, en particular en África. Suiza. UNCCD, 71 p.

Churchman, G. J., Skyemstad, J. O. y Oades, J. M. 1993. Influence of clay minerals and organic matter on effect of sodicity on soils. *Australian Journal of Soil Research*, 31. 779-800 pp

Comisión Nacional de las zonas áridas (CONAZA), UACH. 2003. Escenarios climatológicos de la República Mexicana ante el cambio climático. CONAZA. UACH.

Corwin, D. L. and Lesch, S. M. 2003. Application of soil Electrical Conductivity to precision Agriculture: Theory, Principles, and Guidelines, *Agronomy Journal*. 95:455-471.

Dubey, S. K. and Mondal, R. C. 1994. Effect of amendments and saline irrigation water on soil properties and yields on rice and wheat in a highly sodic soil. *J. Agricultural Sci.* 122, 351-357 pp.

Evangelou, V. P. 1993. Influence of sodium on soils of humid Regions. In. *Plant and Crop Stress*. Ed. Pessarakli, M. Marcel Dekker, Inc. New York. Basel. Hong Kong. 31-72 pp.

Evlagon, D., Rabina, I., and Newman, P. M. 1992. Effects of salinity stress and calcium on hydraulic conductivity and growth in maize seedling roots. *J. Plant Nutrition*, 15 (6-7), 795-803 pp.

FAO-PNU-UNESCO. 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma. Italia. 86 pp.

Favaretto, N., L. D. Norton, B. C. Joem, and S. M. Brouder. 2008. Gypsum amendment and exchangeable calcium and magnesium effects on plant nutrition under conditions of intensive nutrient extraction. *Soil Sci.* 173(2):108-118.

Flores, D. A. G., Hernandez, V. V., Aguirre, L. G., Obregón, S. A., Orellana, G. R., Otero, G. L., y Valdez, P.M. 1993. Salinidad: Un nuevo concepto. Ed. Universidad de Colima. 137 p.

Fitzpatrick, R. W., Boucher, S. C., Naida, R., y Fritsh, E. 1994. Environmental consequences of soil sodicity. *Aust. J. Soil Res.* 32, 1069-1093 pp.

García, C. A., Flores, R. D., García, C. N., Ferrera, C. R., y Velásquez, R. A. 2007. Habilitación de un tepetate por efecto de mejoradores biológicos. *Agrociencia* 41:723-731.

García, E. 1988. Modificaciones al sistema Köppen-García (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Offset Larrios. México, D.F. 219 p.

Gleason, P., and Freid Stephane. 2006. Just Deserts: Bad Soil Practices Create a Sea of Sand. *Environmental* 17 .29 p.

Gupta, R. J., y Abrol, I. P. 1990. Reclamation and management of álcali soils. *India J. of Agricultural Science*, 60 (1), 10-16 pp.

Harker, D. B. and Milkalsen, D. E. 1990. Leaching of a highly saline-sodic soil in Southern Alberta: A laboratory study. *Can. J. Soil Sci.* 70, 509-514 pp.

Hendry, M. J., and Buckland, G. D. 1990. Causes of soil salinization: 1. A basin in souther Alberta, Canada. *Groun Water*, 28 (3), 385-393 pp.

INEGI, 1999. Tláhuac. Cuadernos estadísticos por delegación del Distnto Federal.

Jones, B. J. and B. Wolf, 1984. Manual soil testing procedure using. Morgan Extracting reagent. Benton laboratorios Inc. Athens Georgia, USA.

Khorsandi, F. 1994. Sulfuric acid effects on iron and phosphorus availability in two calcareous soils. *J. Plant Nutrition*, 17 (9), 1611-1623 pp.

Kovda, V. A. 1980. Problem of combating salinization of irrigated soils selected lectures United National Environment Programe (UNEP). Commission of the SSR fro NNEP. Centes for Internatinal Proyects. Course on Reclamacion of saline Irrigation Lands. MOSCU. URSS.

Lawrence, J. R., and Germida, J. J. 1991. Enumeration of sulphur. Oxidizing population sin Saskatchewan Agricultural soils. *Can. J. Soil. SCI*, 71, 127-136 pp.

Lax, A., Díaz, E., Castillo, V. and Albaladejo, J. 1994. Reclamation of physical and chemical properties of a salinized soil by Organic Amendment. *Arids Soil Research and Rehabilitation*. 8, 9-17 pp.

Lynch, M. L. 1990. Beneficial interactions between microorganisms and roots. *Biotech. Adv.* 8, 335-346 pp.

Mace, J.E., C. Amrhein, and J. D. Ester. 1999. Comparison of gypsum and sulfuric acid for sodio soil reclamation. *Arid Soil Res. Rehabil.* 13:171-188.

Matsumoto, S., Zhao, Q., Yang, J., Zhu, S., and Li, L. 1994. Salinization and its environmental hazard on sustainable agricultura in East Asia and its Nerghboirng Regions. In: 15<sup>th</sup> World Congress of soil Science 3<sup>a</sup>. Acapulco. 235-255 pp.

Mabbut, J. A. (1984) A New Global Assessment of the Status and Trends of Desertification. *Environmental Conservation*, 11: 103-113.

Magra, G., y Ausilio A. 2003. Yeso agrícola: algunas características de diferentes productos existentes en el mercado. *Agromensajes* 12:1-3.

Miyamoto, S., and J. L. Stroehlein. 1986. Sulfuric acid effects on water infiltration and chemical properties of alkaline soils and water. *Trans. ASAE* 29:1288-1296

Miyamoto, S., and Enriquez, C. 1990. Comparative effects of chemical amendments on salt and Na leaching. *Irrig. Sci.* 11, 83-92 pp.

Nadler, A., Leny, G. L., Keren, R., and Eisenberg, H. 1996. Sodic calcareous soil reclamation as affected by water chemical composition and flow rate. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60, 252-257 pp.

Narasimhan, B., and R. Srinivasan. 2005. Development and evaluation of soil Moisture Deficit Index and Evapotranspiration Deficit Index for agricultural drought monitoring. *Agric. For. Meteorol.* 133:69-88.

Núñez, L. D., Muñoz, R. C., Reyes, G. V., Velasco, V. I., y Gadsden, E. H. 2007. Caracterización de la sequía a diversas escalas de tiempo en Chihuahua, México. *Agrociencia* 41:253-262.

Obregón, S. A. y Rosa A. G. 1996. Muestreo en salinidad: Un nuevo concepto. Universidad de Colima. México.

Ortiz, M. 1996. El muestreo de Suelos salinos y sódicos. Universidad Autónoma de Chapingo. Publicaciones del Dpto. de Suelos .Chapingo, México.27 p.

Oster J. D. 1982. Gypsum use in irrigated agricultura – a review. *Fert. Res.* 3:73-83

PACD-MEXICO. 1993. Plan de Acción para combatir la Desertificación en México. Comisión Nacional de Zonas áridas. Secretaría de Desarrollo Social. México DF.150 p.

Peth, S. H., Faze, K. O., and Richards, B. G. 2006. Heavy soil loading and its consequences for soil structure, strength, and deformation of arable soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 170: 693-695.

Pizarro F, 1985. *Drenaje Agrícola y Recuperación de Suelos Salinos*. Ed. Agrícola Española, S.A. Madrid España. 542 p.

Porta, C, J. 1994. *Edafología para la agricultura del medio ambiente*. ED. Mundi-prensa. 2ª edición. Madrid, España. Pág. 193.

Quintero, C., Boschetti, N., Durand, A., and Fettolini, S. 2000. *Recuperacion de Suelos Dispersivos por medio de enmiendas*. INTA. 3-9.

Quiring, M. S., and T. N. Papakryiakou. 2003. An evaluation of agricultural drought indices for the Canadian prairies. *Agric. For. Meteorol.* 118:49-62

Redly, M. 1986. Métodos para la determinación de la concentración total y la composición iónica de las sales solubles totales de los suelos. *Cien. Agr.* 26. 114-131 pp.

Richards, J. H. and Angus, J. 2008. Influence of surface-applied poultry manure on topsoil and subsoil acidity and salinity: A leaching column study. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 171 (3): 370-377.

Richards, L. A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Agricultural Handbook 60, 160 p.

Richards L., J. Brown and L. Hayward. 1973. Diagnostico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Ed. Limusa, México D.F 172 p.

Ritchey, K. D., Belesky, D. P and Halvorson, J. J. 2004. Soil properties and Clover establishment six years after surface Application of calcium-Rich By-products. Journal Agronomy. 96:1531-1539

Rutherford, P. M., Dudas, M. J., and Samek, R. A. 1993. Environmental impacts of phosphogypsum. The Science of Total Environment, 149. 1-38 pp.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (S.A.R.H). 1979. Principios y propósitos de la clasificación de tierras. Ed. México.

Selassie, T. G., Jumak, J. J., and Dubley, M. L. 1992. Saline and Sodic-saline soil reclamation: First order Kinetic Model. Soil Science, 154 (1), 1-7 pp.

SEMARNAT, Inventario Nacional de Suelos, México, 2002, a partir de la carta de uso del suelo y vegetación serie II del INEGI, 2002.

Singh, N. T., and Bajwa, M. S. 1991. Effect of sodium irrigation and gypsum on reclamation of sodic soil and growth of rice and wheat plants. *India-Agricultural water Management (Netherlands)*, 20 (2), 163-171).

Steppuhn, H., and Cutin, D. 1992. Snow Management in Reclamation of sodic soils. Hydrologist and soil chemist, Agriculture Canada Research station. 4 p

Subbarao, G. V., and Johansen, C. 1991. Strategies and Scope for improving salinity tolerance in crop plants. *Plant and crop stress*. Mohammad Pessarakli (ed.) New York. Basel HONG KONG. 529-579 pp.

Szabolcs I. 1989. Review of Research on SALT-affected soils. United Nations Educational Scientific and Cultural Organization, Paris, 137 p.

Szabolcs I. 1991. Soil salinity and biodiversity. The biodiversity of microorganisms and invertebrates: Its role in sustainable Agriculture. Hawksworth, D. L. (ed.) CAB International, 106-115 pp.

Szabolcs, I. 1994. Prospects of salinity for the 21<sup>st</sup> century. In: 16-5<sup>th</sup> world congress of soil science. The international society of soil science and the Mexican society of science, 123-142 pp.

Thellier, C., Sposito, G., and Hotzslow, K. N. 1990. Chemical effects of saline irrigation water on a San Joaquin Valley soil. I. Column studies. *Journal of Environmental Quality*, 19 (1), 50-55 pp.

Thomas, D. S. G., and Meddletonf, N. J. 1993. Salinization: New perspective on a mayor desertification issue. *Journal of Arid Enviroments*, 24, 95-105 pp

Torres, C. L. 1999. Proceden del Estado de México el 80% de las partículas que llegan al D.F. Periódico *La Jornada* 30/enero/1999. México. 14 p.

Twain, J. B., Kun, J. H., Jamem, P. M., Dvid, C. W., and Laura, L. 2008. Dairy Manure Compost Effets on Corn Silage Production and Soil Properties. *J. Agronomy*. 100: 1541-1545.

Unidades Litológicas, CGSNEGI. 2000. Carta geológica, 1:250 000, 2000.

Vela, G. 1996. Alternativas del uso del suelo en la zona lacustre de Tláhuac. Tesis de Maestría (edafología). UNAM, México DF.

Villafañe, R. 2000. Calificación de los suelos y dispersión por sodio y su aplicación en la evaluación de tierras. *Agronomía Trop*. 50:645-658.

Villafañe, R., DeLeon, N., Camacho, F., Ramírez, R., y Sánchez, L. 2004. Acumulación y lavado de sales en columnas de suelo regadas con agua salina procedente de un pozo petrolero. *Agronomía Trop.* 54(1):13:21.

Wilhite, D. A. 2000. Drought as a natural hazard. In: *Drought: A global Assessment.* Routledge Publisheirs, London, UK. pp:3:18

Wilhite, D. A. 2002. Combating drought through preparedness, *Natural Resources Forum* 26:275-285.

Xiong, S. Y., Xiong, Z. X., and Wang, P. W. 1996. Soil salinity in the irrigated area of the yellow River in Ningxia, China. *Review And Soil Research Rehabilitation.* 10 (1). 95-101 pp.

Yadav, J. S. P. 1993. Problems and prospects of crop productions and afforestation on salt affected soils with special reference to India. *Agrokemia Talajtan,* 42 (1-2), 157-172 pp.

## **XIV. ANEXOS**

## Anexo 1

Datos de la evaporación y la evapotranspiración media mensual y anual

Mes	Evaporación de la estación Chalco (C(w <sub>1</sub> ))	Evapotranspiración de la estación Chalco (C(w <sub>1</sub> ))
Mm		
Enero	117.8	94.2
Febrero	131.6	105.3
Marzo	186.0	148.8
Abril	207.0	165.6
Mayo	189.1	151.3
Junio	141.0	112.8
Julio	117.8	94.2
Agosto	111.6	89.3
Septiembre	102.0	81.6
Octubre	114.7	91.8
Noviembre	111.0	88.8
Diciembre	108.5	86.8
	<b>1638.1</b>	<b>1310.48</b>

## Anexo 2

## PROPIEDADES FÍSICAS

Muestra No.	TRATAMIENTO No.	Profundidad cm	D.a	D.r	Partículas		Textura	
					Arenas	Limos		
			Mg/m <sup>3</sup>	Arcillas				
				%				
Tratamientos 6/11/2007								
1	T1	0 - 20	0.68	1.88	50.92	32	17.08	Franco arenosa
2	T2	0 - 20	0.67	1.86				
3	T3	0 - 20	0.72	1.86				
4	T4	0 - 20	0.69	1.78				
	Promedio		0.69	1.85				
1	T1	20 - 40	0.70	1.95	48.92	33	18.08	Franca
2	T2	20 - 40	0.71	1.89				
3	T3	20 - 40	0.73	1.82				
4	T4	20 - 40	0.71	1.83				
	Promedio		0.71	1.87				
Tratamientos 6/01/2008								
1	T1	0 - 20	0.61	1.87				
2	T2	0 - 20	0.67	1.89				
3	T3	0 - 20	0.68	1.81				
4	T4	0 - 20	0.66	1.85	44.92	36	19.08	Franca
	Promedio		0.66	1.86				
1	T1	20 - 40	0.66	1.89				
2	T2	20 - 40	0.68	1.93				
3	T3	20 - 40	0.71	1.80				
4	T4	20 - 40	0.70	1.84	50.92	32	17.08	Franca
	Promedio		0.69	1.87				

D.a= Densidad aparente, D.r= Densidad real

## Anexo 3

## PROPIEDADES FÍSICAS

Muestra No.	TRATAMIENTO No.	Profundidad cm	D.a	D.r	Partículas			Textura
					Arena	Limos	Arcillas	
			Mg/m <sup>3</sup>	%				
Tratamientos 6/03/2008								
1	T1	0 - 20	0.67	1.89				
2	T2	0 - 20	0.68	1.87				
3	T3	0 - 20	0.68	1.86				
4	T4	0 - 20	0.72	1.79	46.92	35.6	17.48	Franca
	Promedio		0.69	1.85				
1	T1	20 - 40	0.70	1.90				
2	T2	20 - 40	0.71	1.89				
3	T3	20 - 40	0.67	1.83				
4	T4	20 - 40	0.69	1.82	50.92	31.6	17.48	Franca
	Promedio		0.69	1.86				
Tratamientos 6/05/2008								
1	T1	0 - 20	0.71	1.88				
2	T2	0 - 20	0.68	1.92	42.92	36	20.08	Franca
3	T3	0 - 20	0.70	1.83				
4	T4	0 - 20	0.71	1.81				
	Promedio		0.70	1.86				
1	T1	20 - 40	0.68	1.88				
2	T2	20 - 40	0.67	1.92	46.92	33	21.08	Franca
3	T3	20 - 40	0.73	1.83				
4	T4	20 - 40	0.72	1.85				
	Promedio		0.70	1.87				

D.a= Densidad aparente, D.r= Densidad real

## Anexo 4

## Valores promedio de las propiedades físicas

Muestras	Profundidad cm	Partículas			Clasificación Textural	D.a	D.r
		Arenas	Limos	Arcillas			
		%					
06/11/2007	0 - 20	50.92	32.0	17.08	Franco arenosa	0.69	1.85
06/11/2007	20 - 40	48.92	33.0	18.08	Franca	0.71	1.87
06/01/2008	0 - 20	44.92	36.0	19.08	Franca	0.66	1.86
06/01/2008	20 - 40	50.92	32.0	17.08	Franca	0.69	1.87
06/03/2008	0 - 20	46.92	35.6	17.48	Franca	0.69	1.85
06/03/2008	20 - 40	50.92	31.6	17.48	Franca	0.69	1.86
06/05/2008	0 - 20	42.92	36.0	20.08	Franca	0.70	1.86
06/05/2008	20 - 40	46.92	33.0	21.08	Franca	0.70	1.87

D.a=Densidad aparente; D.r=Densidad real

## Anexo 5

## Valores promedio de las propiedades físicas

Muestras	Profundidad cm	Partículas			Clasificación Textural	D.a	D.r
		Arenas	Limos	Arcillas			
		%					
06/11/2007	0 - 20	50.92	32.0	17.08	Franco arenosa	0.69	1.85
06/11/2007	20 - 40	48.92	33.0	18.08	Franca	0.71	1.87
06/05/2008	0 - 20	42.92	36.0	20.08	Franca	0.70	1.86
06/05/2008	20 - 40	46.92	33.0	21.08	Franca	0.70	1.87

D.a=Densidad aparente; D.r=Densidad real

## Anexo 6

## PROPIEDADES QUÍMICAS

Muestra No.	Profundidad cm	pH 1:2	C.E dS/m	C.Ee dS/m	MO %	C %	CIC Cmol <sup>(+)</sup> Kg <sup>-1</sup>	Bases intercambiables Cmol <sup>(+)</sup> Kg <sup>-1</sup>				PSB %	PSI %
								Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>		
Tratamiento (yeso) 6/11/2007													
1	0 - 20	7.5	36.2	35.2	16.2	9.4	75.9	6.2	52.6	10.7	3.5	73.0	14.1
2	0 - 20	7.5	35.1	34.8	15.0	8.7	79.2	7.8	51.6	14.8	3.1	77.3	18.7
3	0 - 20	7.7	34.2	33.2	16.0	9.3	75.9	6.6	55.2	14.1	3.6	79.5	18.6
4	0 - 20	7.6	32.3	32.3	15.0	8.7	78.1	7.6	56.0	16.7	3.5	83.8	21.4
	Promedio	7.6	34.5	33.9	15.6	9.0	77.3	7.1	53.9	14.1	3.4	78.4	18.2
1	20 - 40	7.3	32.2	32.2	15.2	8.8	80.3	5.4	51.6	10.2	2.3	69.5	12.7
2	20 - 40	7.3	31.6	32.6	13.8	8.0	72.6	4.8	51.0	13.3	2.6	71.7	18.3
3	20 - 40	7.2	28.6	30.3	15.5	9.0	77.0	5.0	53.4	15.0	3.5	76.9	19.5
4	20 - 40	7.3	26.0	31.3	14.7	8.5	78.1	6.4	55.2	15.9	3.1	80.6	20.4
	Promedio	7.3	29.6	31.6	14.8	8.6	77.0	5.4	52.8	13.6	2.9	74.7	17.7
Tratamiento (yeso) 6/01/2008													
1	0 - 20	7.7	31.3	27.3	16.0	9.3	73.6	8.0	48.0	11.3	3.1	70.4	15.4
2	0 - 20	7.6	30.1	29.1	15.5	9.0	77.1	9.4	48.6	12.8	3.2	74.0	16.6
3	0 - 20	7.6	31.5	29.5	14.5	8.4	71.3	6.8	49.2	11.5	3.6	71.1	16.1
4	0 - 20	7.8	33.9	29.9	13.4	8.8	77.1	9.0	51.0	12.6	3.6	76.2	16.4
	Promedio	7.7	31.7	29.0	14.9	8.9	74.8	8.3	49.2	12.1	3.4	72.9	16.1
1	20 - 40	7.6	30.9	26.9	14.7	8.5	72.5	6.8	46.8	11.1	2.6	67.3	15.3
2	20 - 40	7.2	31.4	28.4	15.9	9.2	78.2	8.0	48.0	11.1	2.7	69.8	14.2
3	20 - 40	7.5	29.8	27.8	14.5	8.4	72.5	8.4	48.0	10.7	3.2	70.3	14.8
4	20 - 40	7.4	31.2	28.2	14.1	8.2	74.8	7.0	48.0	12.2	3.3	70.5	16.3
	Promedio	7.4	30.8	27.8	14.8	8.6	74.5	7.6	47.7	11.3	3.0	69.5	15.2

pH en agua, MO= Materia orgánica, C.E= Conductividad eléctrica, C.Ee= Conductividad eléctrica del extracto, C= Carbono orgánico, CIC=Capacidad de Intercambio Catiónico, PSB= Porcentaje de Saturación de bases, PSI= Porcentaje de Sodio Intercambiable.

## Anexo 7

## PROPIEDADES QUÍMICAS

Muestra No.	Profundidad cm	pH 1:2	C.E Ds/m	C.Ee dS/m	MO %	C %	CIC Cmol <sup>(+)</sup> Kg <sup>-1</sup>	Bases intercambiables Cmol <sup>(+)</sup> Kg <sup>-1</sup>				PSB %	PSI %
								Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>		
Tratamiento (yeso) 6/03/2008													
1	0 - 20	7.8	27.6	28.6	15.2	8.8	72.5	12.0	59.4	12.9	2.8	87.1	17.8
2	0 - 20	7.9	26.4	29.4	16.2	9.4	71.5	16.8	55.2	12.2	3.6	87.8	17.1
3	0 - 20	7.8	27.1	29.1	16.0	9.3	66.0	18.6	54.0	12.4	3.6	88.6	18.8
4	0 - 20	7.9	26.5	29.5	15.9	9.2	72.6	20.2	55.2	11.5	3.1	90.0	15.8
	Promedio	7.9	26.9	29.2	15.8	9.2	70.6	16.9	56.0	12.3	3.3	88.4	17.4
1	20 - 40	7.8	26.8	26.8	14.5	8.4	69.0	16.4	53.2	11.2	2.4	83.2	16.2
2	20 - 40	7.6	25.3	25.3	15.2	8.8	66.0	17.4	54.6	11.7	2.4	86.1	17.7
3	20 - 40	7.8	26.3	26.3	15.0	8.7	58.3	16.4	53.4	10.3	2.9	83.0	17.7
4	20 - 40	7.8	26.2	28.2	14.7	8.5	71.5	15.4	53.4	9.0	2.5	80.3	12.6
	Promedio	7.8	26.2	26.7	14.9	8.6	66.2	16.4	53.7	10.6	2.6	83.2	16.1
Tratamiento (yeso) 6/05/2008													
1	0 - 20	7.9	38.6	27.6	15.3	8.9	88.0	30.8	49.2	12.0	3.5	95.5	13.6
2	0 - 20	7.9	28.2	26.6	15.5	9.0	78.1	37.6	41.2	12.7	2.9	94.4	16.3
3	0 - 20	8.0	27.8	28.8	15.2	8.8	79.2	22.2	44.8	12.0	3.8	82.8	15.2
4	0 - 20	7.9	26.4	27.4	15.7	9.1	78.1	37.2	41.6	12.0	2.8	93.6	15.4
	Promedio	7.9	27.8	27.6	15.4	9.0	80.9	32.0	44.2	12.2	3.3	91.6	15.1
1	20 - 40	7.8	26.8	25.8	15.2	8.8	81.4	26.4	45.6	10.2	3.0	85.2	12.5
2	20 - 40	7.9	26.1	25.3	15.0	8.7	67.1	34.2	42.0	10.8	3.1	90.1	16.1
3	20 - 40	7.9	25.9	26.9	14.8	8.6	78.1	34.4	43.6	11.6	3.1	92.7	14.9
4	20 - 40	7.9	24.9	25.9	15.2	8.8	73.7	31.6	43.4	10.9	3.2	89.1	14.8
	Promedio	7.9	25.9	26.0	15.1	8.7	75.1	31.7	43.7	10.9	3.1	89.3	14.6

pH en agua, MO= Materia orgánica, C= Carbono orgánico, C.E= Conductividad eléctrica, C.Ee= Conductividad eléctrica del extracto, CIC=Capacidad de Intercambio Catiónico, PSB= Porcentaje de Saturación de bases, PSI= Porcentaje de Sodio Intercambiable.

## Anexo 8

## PROPIEDADES QUÍMICAS

Muestra No.	Profundidad cm	pH 1:2	C.E dS/m	C.Ee dS/m	MO %	C %	CIC Cmol <sup>(+)</sup> Kg <sup>-1</sup>	Bases intercambiables Cmol <sup>(+)</sup> Kg <sup>-1</sup>				PSB %	PSI %
								Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>		
Tratamiento (yeso + MO) 6/11/2007													
1	0 - 20	7.6	31.5	35.5	15.3	8.9	75.9	6.0	54.0	14.3	3.2	77.5	18.8
2	0 - 20	7.6	35.2	37.2	15.9	9.2	83.6	7.6	49.8	13.9	3.6	74.9	16.6
3	0 - 20	7.6	34.3	36.3	15.3	8.9	78.1	6.8	59.4	14.8	2.9	83.9	19.0
4	0 - 20	7.7	31.1	34.1	16.0	9.3	77.0	6.0	54.0	14.8	2.9	77.7	19.2
Promedio		7.6	33.0	35.8	15.6	9.1	78.7	6.6	54.3	14.5	3.2	78.5	18.4
1	20 - 40	7.5	30.5	30.5	14.7	8.5	73.7	6.6	53.4	13.1	2.9	76.0	17.8
2	20 - 40	7.5	30.4	34.4	15.0	8.7	73.7	5.6	48.6	12.7	3.1	70.0	17.2
3	20 - 40	7.4	28.4	32.4	14.8	8.6	72.6	6.8	54.6	13.6	3.7	78.7	18.7
4	20 - 40	7.5	28.7	30.7	15.3	8.9	75.9	6.6	44.4	13.1	3.5	67.6	17.3
Promedio		7.5	29.5	32.0	15.0	8.7	74.0	6.4	50.3	13.1	3.3	73.1	17.7
Tratamiento (yeso + MO) 6/01/2008													
1	0 - 20	7.7	30.3	29.3	14.8	8.6	78.2	8.6	54.0	12.2	3.8	78.6	15.6
2	0 - 20	7.8	31.4	29.4	15.3	8.9	77.1	8.4	60.6	11.5	3.2	83.7	14.9
3	0 - 20	7.5	30.6	29.6	16.4	9.5	74.8	9.0	54.0	12.8	5.8	81.6	17.1
4	0 - 20	7.3	31.6	29.6	15.3	8.9	69.0	9.8	42.0	13.0	3.5	68.3	18.8
Promedio		7.6	31.0	29.5	15.5	9.0	74.8	9.0	52.7	12.4	4.1	78.1	16.6
1	20 - 40	7.5	28.2	28.2	13.4	7.8	75.9	8.6	49.2	12.0	2.8	72.6	15.8
2	20 - 40	7.7	29.8	28.8	14.7	8.5	73.6	9.6	49.0	10.0	2.6	71.2	13.6
3	20 - 40	7.0	30.2	28.9	15.5	9.0	71.3	8.6	48.0	12.0	3.1	71.7	16.8
4	20 - 40	7.1	29.4	28.4	14.3	8.3	74.8	8.0	48.4	12.6	3.1	72.1	16.9
Promedio		7.3	29.4	28.6	14.5	8.4	73.9	8.7	48.7	11.7	2.9	71.9	15.8

pH en agua, MO= Materia orgánica, C= Carbono orgánico, C.E= Conductividad eléctrica, C.Ee= Conductividad eléctrica del extracto, CIC=Capacidad de Intercambio Catiónico, PSB= Porcentaje de Saturación de bases, PSI= Porcentaje de Sodio Intercambiable.

## Anexo 9

## PROPIEDADES QUÍMICAS

Muestra No.	Profundidad cm	pH 1:2	C.E dS/m	C.Ee dS/m	MO %	C %	CIC Cmol <sup>(+)</sup> Kg <sup>-1</sup>	Bases intercambiables Cmol <sup>(+)</sup> Kg <sup>-1</sup>				PSB %	PSI %
								Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>		
Tratamiento (yeso + MO) 6/03/2008													
1	0 - 20	7.9	27.6	28.6	16.0	9.3	78.1	20.4	54.0	12.1	2.9	89.4	15.5
2	0 - 20	7.7	26.2	28.2	15.5	9.0	69.3	15.6	53.0	12.2	2.7	83.5	17.6
3	0 - 20	7.8	25.6	24.6	15.9	9.2	67.1	21.2	54.0	12.3	3.2	90.7	18.3
4	0 - 20	7.8	26.4	26.4	15.3	8.9	73.7	16.2	57.0	13.3	2.9	89.4	18.0
	Promedio	7.8	26.5	27.0	15.7	9.1	72.1	18.4	54.5	12.5	2.9	88.3	17.4
1	20 - 40	7.8	25.1	26.1	15.7	9.1	72.6	19.8	51.0	11.0	2.4	84.2	15.2
2	20 - 40	7.6	25.2	24.2	15.2	8.8	63.8	15.0	57.0	10.5	2.6	85.1	16.5
3	20 - 40	7.5	26.4	22.4	15.3	8.9	62.7	20.6	47.4	11.0	3.2	82.2	17.5
4	20 - 40	7.8	26.0	24.3	15.2	8.8	64.9	17.6	58.8	10.1	2.8	89.3	15.6
	Promedio	7.7	25.7	24.3	15.4	8.9	66.0	18.3	53.6	10.7	2.8	85.2	16.2
Tratamiento (yeso + MO) 6/05/2008													
1	0 - 20	7.9	27.7	26.7	15.5	9.0	78.1	38.6	43.8	11.1	4.0	97.5	14.2
2	0 - 20	7.9	26.6	25.6	16.4	9.5	78.1	36.6	47.8	12.0	3.5	99.9	15.4
3	0 - 20	7.9	28.3	25.3	15.7	9.1	79.2	33.0	50.0	11.4	3.7	98.1	14.4
4	0 - 20	8.0	26.2	24.2	16.4	9.5	79.2	33.6	50.6	12.2	3.5	99.9	15.4
	Promedio	7.9	27.2	25.5	16.0	9.3	78.7	35.5	48.1	11.7	3.7	98.9	14.8
1	20 - 40	7.8	26.6	25.6	15.2	8.8	69.3	33.0	48.6	10.0	3.1	94.7	14.4
2	20 - 40	7.9	25.3	24.3	15.2	8.8	66.7	32.0	47.0	10.0	3.1	92.1	15.0
3	20 - 40	7.8	26.7	24.7	14.1	8.2	83.6	35.2	47.0	9.2	3.8	95.2	11.0
4	20 - 40	7.9	27.3	21.3	15.2	8.8	80.3	31.4	48.0	11.1	4.0	94.5	13.8
	Promedio	7.8	26.5	24.0	14.9	8.7	75.0	32.9	47.7	10.1	3.5	94.1	13.6

pH en agua, MO= Materia orgánica, C= Carbono orgánico, C.E= Conductividad eléctrica, C.Ee= Conductividad eléctrica del extracto, CIC=Capacidad de Intercambio Catiónico, PSB= Porcentaje de Saturación de bases, PSI= Porcentaje de Sodio Intercambiable.

## Anexo 10

## PROPIEDADES QUÍMICAS

Muestra No.	Profundidad cm	pH 1:2	C.E dS/m	C.Ee dS/m	MO %	C %	CIC Cmol (+) Kg <sup>-1</sup>	Bases intercambiables Cmol (+) Kg <sup>-1</sup>				PSB %	PSI %
								Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>		
Tratamiento (MO)		6/11/2007											
1	0 - 20	7.3	33.6	32.6	15	8.7	80.5	6.8	54.0	12.5	2.9	76.2	15.5
2	0 - 20	7.7	32.4	30.4	16	9.3	66.7	6.6	55.8	12.2	2.8	77.4	18.3
3	0 - 20	7.9	33.3	32.3	15.0	8.7	69.0	5.2	48.0	12.7	2.4	68.3	18.4
4	0 - 20	7.4	33.5	31.5	15.3	8.9	78.2	5.0	51.0	12.6	2.4	71.0	16.1
Promedio		7.6	33.2	31.7	15.3	8.9	73.6	5.9	52.2	12.5	2.6	73.2	17.1
1	20 - 40	7.2	27.3	28.6	14.0	8.1	71.3	4.0	48.0	11.9	2.3	66.2	16.7
2	20 - 40	7.6	26.2	28.6	15.9	9.2	80.5	3.0	48.0	12.2	2.2	65.4	15.2
3	20 - 40	7.4	26.3	29.3	14.8	8.6	70.2	4.0	45.0	11.3	2.1	62.4	16.1
4	20 - 40	7.3	25.5	29.5	15	8.7	64.4	5.0	48.0	11.7	2.4	67.1	18.2
Promedio		7.4	23.3	29.0	14.9	8.7	71.6	4.0	47.3	11.8	2.3	65.3	16.5
Tratamiento (MO)		6/01/2008											
1	0 - 20	7.4	32.2	30.2	14.0	8.1	80.5	8.2	42.0	11.9	2.8	64.9	14.8
2	0 - 20	7.9	32.3	32.3	15.2	8.8	66.7	8.8	42.0	12.7	3.5	67.0	19.0
3	0 - 20	7.7	33.3	29.3	15.0	8.7	69.0	9.6	43.2	12.7	4.0	69.5	18.4
4	0 - 20	7.7	37.6	31.6	14.7	8.5	78.2	6.0	54.0	12.8	3.1	75.9	16.4
Promedio		7.6	33.9	30.9	14.7	8.5	73.6	8.2	45.3	12.5	3.4	69.3	17.1
1	20 - 40	7.2	32.8	29.4	16	9.3	71.3	8.6	41.4	12.6	3.2	65.8	17.7
2	20 - 40	7.8	31.9	28.3	13.4	7.8	80.5	8.2	40.8	13.4	2.9	65.3	16.6
3	20 - 40	7.4	32.8	28.2	13.3	7.7	70.2	7.4	42.6	11.8	2.8	64.6	16.8
4	20 - 40	7.5	32.4	30.4	14.7	8.5	64.4	4.2	47.8	10.0	2.6	64.6	15.5
Promedio		7.5	32.5	29.1	14.4	8.3	71.6	7.1	43.2	12.0	2.9	65.1	16.7

pH en agua, MO= Materia orgánica, C= Carbono orgánico, C.E= Conductividad eléctrica, C.Ee= Conductividad eléctrica del extracto, CIC=Capacidad de Intercambio Catiónico, PSB= Porcentaje de Saturación de bases, PSI= Porcentaje de Sodio Intercambiable.

Anexo 11

## PROPIEDADES QUÍMICAS

Muestra No.	Profundidad cm	pH 1:2	C.E dS/m	C.Ee dS/m	MO %	C %	CIC Cmol <sup>(+)</sup> Kg <sup>-1</sup>	Bases intercambiables Cmol <sup>(+)</sup> Kg <sup>-1</sup>				PSB %	PSI %
								Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>		
Tratamiento (MO) 6/03/2008													
1	0 - 20	7.8	36.6	28.6	15.0	8.7	66.7	13.4	44.6	12.0	2.3	72.3	18.0
2	0 - 20	7.9	34.8	28.2	15.2	8.8	65.6	12.6	44.4	11.3	1.4	69.7	17.2
3	0 - 20	7.9	37.8	28.8	16.0	9.3	74.8	9.2	58.8	11.8	1.9	81.7	15.8
4	0 - 20	7.8	38.4	29.4	15.3	8.9	72.5	11.2	45.6	13.0	2.3	72.1	17.9
Promedio		7.8	36.9	28.8	15.4	8.9	69.9	11.6	48.4	12.0	2.0	74.0	17.2
1	20 - 40	7.8	33.8	26.8	14.7	8.5	64.4	12.2	41.8	10.2	2.3	66.5	15.8
2	20 - 40	7.8	36.4	27.4	14.8	8.6	62.1	13.2	43.8	11.5	1.4	69.9	18.5
3	20 - 40	7.6	35.8	27.2	15.7	9.1	62.1	13.2	45.0	11.1	1.9	71.2	17.9
4	20 - 40	7.7	34.5	28.5	15.0	8.7	71.3	11.4	53.4	11.1	2.4	78.3	15.6
Promedio		7.7	35.1	27.5	15.1	8.7	65.0	12.5	46.0	11.0	2.0	71.5	16.9
Tratamiento (MO) 6/05/2008													
1	0 - 20	7.8	38.8	32.8	15.0	8.7	79.4	26.6	48.0	13.9	3.2	91.7	17.5
2	0 - 20	8.0	29.5	29.5	15.3	8.9	77.1	27.6	47.4	12.4	3.6	91.0	16.1
3	0 - 20	7.9	30.3	30.3	15.3	8.9	74.8	27.0	48.6	13.7	3.6	92.9	18.3
4	0 - 20	8.0	31.8	31.8	14.7	8.5	79.4	25.8	48.0	13.8	2.9	90.5	17.4
Promedio		7.9	32.6	31.1	15.1	8.8	77.6	26.8	48.0	13.5	3.3	91.5	17.3
1	20 - 40	7.8	28.6	29.6	14.7	8.5	73.6	25.0	48.0	13.0	3.6	89.6	17.7
2	20 - 40	8.0	29.9	27.3	15.2	8.8	74.8	28.4	51.6	12.2	3.2	95.4	16.3
3	20 - 40	7.8	27.5	26.5	15.2	8.8	72.5	25.6	47.4	12.3	3.1	88.4	17.0
4	20 - 40	7.9	28.6	30.6	14.8	8.6	74.8	24.0	43.8	12.2	2.6	82.6	16.3
Promedio		7.9	28.7	28.5	15.0	8.7	73.9	25.8	47.7	12.4	3.1	89.0	16.8

pH en agua, MO= Materia orgánica, C= Carbono orgánico, C.E= Conductividad eléctrica, C.Ee= Conductividad eléctrica del extracto, CIC=Capacidad de Intercambio Catiónico, PSB= Porcentaje de Saturación de bases, PSI= Porcentaje de Sodio intercambiable.

## Anexo 12

## PROPIEDADES QUÍMICAS

Muestra No.	Profundidad cm	pH 1:2	C.E dS/m	C.Ee dS/m	MO %	C %	CIC Cmol (+) Kg <sup>-1</sup>	Bases intercambiables Cmol (+) Kg <sup>-1</sup>				PSB %	PSI %
								Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>		
Tratamiento (TESTIGO) 6/11/2007													
1	0-20	7.4	34.6	32.6	14.1	8.2	71.3	6.0	49.2	11.8	2.8	69.8	16.5
2	0-20	7.4	33.5	29.5	15.2	8.8	74.8	6.0	42.0	12.6	3.1	63.7	16.9
3	0-20	7.4	33.7	31.7	15.0	8.7	70.2	5.6	48.0	12.7	3.2	69.5	18.1
4	0-20	7.5	32.5	30.5	15.0	8.7	72.5	5.8	57.6	11.9	2.4	77.7	16.4
	Promedio	7.4	33.6	31.1	14.8	8.6	72.2	5.9	49.2	12.3	2.9	70.2	17.0
1	20-40	7.4	27.3	28.3	13.8	8.0	69.0	4.6	47.4	10.3	2.9	65.2	14.9
2	20-40	7.2	24.3	27.3	15.0	8.7	73.6	4.2	39.0	13.5	3.2	59.9	18.3
3	20-40	7.1	24.9	28.9	14.8	8.6	64.4	4.8	45.0	10.0	2.6	62.4	15.5
4	20-40	7.4	28.4	28.4	15.2	8.8	74.8	3.0	54.0	12.5	2.2	71.7	16.7
	Promedio	7.3	26.2	28.2	14.7	8.5	70.4	4.2	46.4	11.6	2.7	64.8	16.4
Tratamiento (TESTIGO) 6/01/2008													
1	0-20	7.7	32.7	32.7	15.0	8.7	71.3	8.3	43.2	12.8	4.3	68.6	18.0
2	0-20	7.8	33.7	31.7	13.8	8.0	74.8	9.2	43.8	13.9	3.5	70.4	18.6
3	0-20	7.8	34.4	32.4	14.5	8.4	70.2	6.4	47.4	10.7	4.2	68.7	15.3
4	0-20	7.4	34.3	32.3	15.0	8.7	72.5	5.2	46.8	11.9	3.6	67.5	16.4
	Promedio	7.7	33.8	32.3	14.6	8.5	72.2	7.3	45.3	12.3	3.9	68.8	17.1
1	20-40	7.6	31.8	31.8	14.5	8.4	69.0	7.8	42.6	12.4	3.5	66.3	18.0
2	20-40	7.4	30.6	30.6	13.3	7.7	73.6	9.2	42.6	12.0	3.1	66.9	16.3
3	20-40	7.7	31.1	30.1	14.0	8.1	64.4	4.2	43.8	11.2	3.2	62.4	17.4
4	20-40	7.3	37.3	30.3	14.8	8.6	74.8	6.2	45.0	10.8	3.6	65.6	14.4
	Promedio	7.5	32.7	30.7	14.2	8.2	70.4	6.9	43.5	11.6	3.4	65.3	16.5

pH en agua, MO= Materia orgánica, C= Carbono orgánico, C.E= Conductividad eléctrica, C.Ee= Conductividad eléctrica del extracto, CIC=Capacidad de Intercambio Catiónico, PSB= Porcentaje de Saturación de bases, PSI= Porcentaje de Sodio Intercambiable.

## Anexo 13

## PROPIEDADES QUIMICAS

Muestra No.	Profundidad cm	pH 1:2	C.E dS/m	C.Ee dS/m	MO %	C %	CIC Cmol (+) Kg <sup>-1</sup>	Bases intercambiables Cmol (+) Kg <sup>-1</sup>				PSB %	PSI %
								Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>		
Tratamiento (TESTIGO) 6/03/2008													
1	0-20	7.9	41.3	35.3	14.7	8.9	69.0	13.6	45.9	15.4	4.2	79.1	22.3
2	0-20	7.8	38.7	35.7	14.7	8.9	69.0	11.8	47.8	15.4	4.0	79.0	22.3
3	0-20	7.8	39.2	36.2	15.2	8.8	63.3	9.8	47.4	13.9	2.9	74.0	22.0
4	0-20	7.9	41.6	36.6	13.3	8.7	72.5	13.4	46.6	17.8	5.3	83.1	24.6
	Promedio	7.8	40.2	36.0	14.5	8.8	68.4	12.2	46.9	15.6	4.1	78.8	22.8
1	20-40	7.8	35.9	32.4	14.8	8.6	67.9	13.2	46.4	15.2	3.7	78.5	22.4
2	20-40	7.8	30.6	31.6	14.2	8.8	67.9	10.2	46.2	15.0	4.6	76.0	22.1
3	20-40	7.6	35.2	33.2	14.3	8.9	59.8	11.6	45.4	13.0	2.8	72.8	21.7
4	20-40	7.9	34.6	32.6	14.1	8.6	69.0	13.1	46.2	15.7	3.7	78.7	22.8
	Promedio	7.8	34.1	32.5	14.4	8.7	66.1	12.0	46.1	14.7	3.7	76.5	22.3
Tratamiento (TESTIGO) 6/05/2008													
1	0-20	7.9	33.3	33.3	15.0	8.7	78.2	17.6	45.0	16.5	4.4	83.5	21.1
2	0-20	7.9	29.2	31.2	14.7	8.5	77.1	18.4	48.0	15.0	4.2	85.6	19.5
3	0-20	7.9	30.5	33.5	15.3	8.9	78.2	17.4	48.6	12.2	3.5	81.7	15.6
4	0-20	7.8	29.5	33.5	15.0	8.7	77.1	18.6	47.8	15.0	4.4	85.8	19.5
	Promedio	7.9	30.6	32.9	15.0	8.7	77.6	18.0	47.4	14.7	4.1	84.2	18.9
1	20-40	7.8	30.8	32.8	14.7	8.5	72.5	17.0	42.0	13.0	3.7	75.7	17.9
2	20-40	7.8	29.1	30.1	14.3	8.3	66.7	17.6	47.4	12.2	3.7	80.9	18.3
3	20-40	7.8	29.4	32.4	14.8	8.6	75.9	16.2	48.0	10.9	3.2	78.3	14.4
4	20-40	7.8	28.8	32.9	14.5	8.4	73.6	17.2	47.6	13.7	4.0	82.5	18.6
	Promedio	7.8	29.5	32.1	14.6	8.5	72.2	17.0	46.3	12.5	3.7	79.4	17.3

pH en agua, MO= Materia orgánica, C= Carbono orgánico, C.E= Conductividad eléctrica, C.Ee= Conductividad eléctrica del extracto, CIC=Capacidad de Intercambio Catiónico, PSB= Porcentaje de Saturación de bases, PSI= Porcentaje de Sodio Intercambiable.

## Anexo 14

## Valores promedio de las propiedades químicas

Muestras	Prof. Cm	pH 1:2	C.E dS/m	C.Ee dS/m	MO	C	CIC	Bases intercambiables				PSB	PSI
								Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>		
					%	Cmol <sub>(+)</sub> Kg <sup>-1</sup>				%			
Tratamiento 1 (yeso)													
06/11/2007	0 - 20	7.6	34.5	33.9	15.6	9.0	77.3	7.1	53.9	14.1	3.4	78.4	18.2
06/11/2007	20 - 40	7.3	29.6	31.6	14.8	8.6	77.0	5.4	52.8	13.6	2.9	74.7	17.7
06/01/2008	0 - 20	7.7	31.7	29.0	14.9	8.9	74.8	8.3	49.2	12.1	3.4	72.9	16.1
06/01/2008	20 - 40	7.4	30.8	27.8	14.8	8.6	74.5	7.6	47.7	11.3	3.0	69.5	15.2
06/03/2008	0 - 20	7.9	26.9	29.2	15.8	9.2	70.6	16.9	56.0	12.3	3.3	88.4	17.4
06/03/2008	20 - 40	7.8	26.2	26.7	14.9	8.6	66.2	16.4	53.7	10.6	2.6	83.2	16.1
06/05/2008	0 - 20	7.9	27.8	27.6	15.4	9.0	80.9	32.0	44.2	12.2	3.3	91.6	15.1
06/05/2008	20 - 40	7.9	25.9	26.0	15.1	8.2	75.1	31.7	43.7	10.9	3.1	89.3	14.6

pH en agua; C.E= Conductividad eléctrica; C.Ee=Conductividad Eléctrica del Extracto;  
 MO=Materia Orgánica; C=Carbono Orgánico; CIC=Capacidad de Intercambio Catiónico;  
 PSB=Porcentaje de Saturación de Bases; PSI=Porcentaje de Sodio Intercambiable

## Anexo 15

## Valores promedio de las propiedades químicas

Muestreos	Prof. cm	pH 1:2	C.E dS/m	C.Ee dS/m	MO	C	CIC	Bases intercambiables				PSB	PSI
								Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>		
								Cmol <sup>(+)</sup> Kg <sup>-1</sup>					
Tratamiento 2 (yeso + MO)													
06/11/2007	0 - 20	7.6	33.0	35.8	15.6	9.1	78.7	6.6	54.3	14.5	3.2	78.5	18.4
06/11/2007	20 - 40	7.5	29.5	32.0	15.0	8.7	74.0	6.4	50.3	13.1	3.3	73.1	17.7
06/01/2008	0 - 20	7.6	31.0	29.5	15.5	9.0	74.8	9.0	52.7	12.4	4.1	78.1	16.6
06/01/2008	20 - 40	7.3	29.4	28.6	14.5	8.4	73.9	8.7	48.7	11.7	2.9	71.9	15.8
06/03/2008	0 - 20	7.8	26.5	27.0	15.7	9.1	72.1	18.4	54.5	12.5	2.9	88.3	17.4
06/03/2008	20 - 40	7.7	25.7	24.3	15.4	8.9	66.0	18.3	53.6	10.7	2.8	85.2	16.2
06/05/2008	0 - 20	7.9	27.2	25.5	16.6	9.3	78.7	35.5	48.1	11.7	3.7	98.9	14.8
06/05/2008	20 - 40	7.8	26.5	24.0	14.9	8.7	75.0	32.9	47.7	10.1	3.5	94.1	13.6

pH en agua; C.E= Conductividad eléctrica; C.Ee=Conductividad Eléctrica del Extracto;  
 MO=Materia Orgánica; C=Carbono Orgánico; CIC=Capacidad de Intercambio Catiónico;  
 PSB=Porcentaje de Saturación de Bases; PSI=Porcentaje de Sodio Intercambiable

Anexo 16

## Valores promedio de las propiedades químicas

Muestras	Prof. cm	pH 1:2	C.E dS/m	C.Ee dS/m	MO	C	CIC	Bases intercambiables				PSB	PSI
								Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>		
								Cmol <sup>(+)</sup> Kg <sup>-1</sup>					
Tratamiento 3 (MO)													
06/11/2007	0 - 20	7.6	33.2	31.7	15.3	8.9	73.6	5.9	52.2	12.5	2.6	73.2	17.1
06/11/2007	20 - 40	7.4	26.3	29.0	14.9	8.7	71.6	4.0	47.3	11.8	2.3	65.3	16.5
06/01/2008	0 - 20	7.6	33.9	30.9	14.7	8.5	73.6	8.2	45.3	12.5	3.4	69.3	17.1
06/01/2008	20 - 40	7.5	32.5	29.1	14.4	8.3	71.6	7.1	43.2	12.0	2.9	54.1	16.7
06/03/2008	0 - 20	7.8	36.9	28.8	15.4	8.9	69.9	11.6	48.4	12.0	2.0	74.0	17.2
06/03/2008	20 - 40	7.7	35.1	27.5	15.1	8.7	65.0	12.5	46.0	11.0	2.0	71.5	16.9
06/05/2008	0 - 20	7.9	32.6	31.1	15.1	8.8	77.6	26.8	48.0	13.5	3.3	91.5	17.3
06/05/2008	20 - 40	7.9	28.7	28.5	15.0	8.7	73.9	25.8	47.7	12.4	3.1	89.0	16.8

pH en agua; C.E= Conductividad eléctrica; C.Ee=Conductividad Eléctrica del Extracto;  
 MO=Materia Orgánica; C=Carbono Orgánico; CIC=Capacidad de Intercambio Catiónico;  
 PSB=Porcentaje de Saturación de Bases; PSI=Porcentaje de Sodio Intercambiable

## Anexo 17

## Valores promedio de las propiedades químicas

Muestreos	Prof. cm	pH 1:2	C.E dS/m	C.Ee dS/m	MO	C	CIC	Bases intercambiables				PSB	PSI
								Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>		
								Cmol (+) Kg <sup>-1</sup>					
Tratamiento 4 (Testigo)													
06/11/2007	0 - 20	7.4	33.6	31.1	14.8	8.6	72.2	5.9	49.2	12.3	2.9	70.2	17.0
06/11/2007	20 - 40	7.3	26.2	28.2	14.7	8.5	70.4	4.2	46.4	11.6	2.7	64.8	16.4
06/01/2008	0 - 20	7.7	33.8	32.3	14.6	8.5	72.2	7.3	45.3	12.3	3.9	68.8	17.1
06/01/2008	20 - 40	7.5	32.7	30.7	14.2	8.2	70.4	6.9	43.5	11.6	3.4	65.3	16.5
06/03/2008	0 - 20	7.8	40.2	36.0	14.5	8.8	68.4	12.2	46.9	15.6	4.1	78.8	22.8
06/03/2008	20 - 40	7.8	34.1	32.5	14.4	8.7	66.1	12.0	46.1	14.7	3.7	76.5	22.3
06/05/2008	0 - 20	7.9	30.6	32.9	15.0	8.7	77.6	18.0	47.4	14.7	4.1	84.2	18.9
06/05/2008	20 - 40	7.8	29.5	32.1	14.6	8.5	72.2	17.0	46.3	12.5	3.7	79.4	17.3

pH en agua; C.E= Conductividad eléctrica; C.Ee=Conductividad Eléctrica del Extracto;  
 MO=Materia Orgánica; C=Carbono Orgánico; CIC=Capacidad de Intercambio Catiónico;  
 PSB=Porcentaje de Saturación de Bases; PSI=Porcentaje de Sodio Intercambiable

## Anexo 18

## Valores promedio de las propiedades químicas

Muestras	Prof. cm	pH 1:2	C.E dS/m	C.Ee dS/m	MO	C	CIC	Bases intercambiables				PSB	PSI
								Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>		
								Cmol (+) Kg <sup>-1</sup>					
Tratamiento 1 (yeso)													
06/11/2007	0 - 20	7.6	34.5	33.9	15.6	9.0	77.3	7.1	53.9	14.1	3.4	78.4	18.2
06/11/2007	20 - 40	7.3	29.6	31.6	14.8	8.6	77.0	5.4	52.8	13.6	2.9	74.7	17.7
06/05/2008	0 - 20	7.9	27.8	27.6	15.4	9.0	80.9	32.0	44.2	12.2	3.3	91.6	15.1
06/05/2008	20 - 40	7.9	25.9	26.0	15.1	8.2	75.1	31.7	43.7	10.9	3.1	89.3	14.6

pH en agua; C.E= Conductividad eléctrica; C.Ee=Conductividad Eléctrica del Extracto; MO=Materia Orgánica; C=Carbono Orgánico; CIC=Capacidad de Intercambio Catiónico; PSB=Porcentaje de Saturación de Bases; PSI=Porcentaje de Sodio Intercambiable

## Anexo 19

## Valores promedio de las propiedades químicas

Muestras	Prof. cm	pH 1:2	C.E dS/m	C.Ee dS/m	MO	C	CIC	Bases intercambiables				PSB	PSI
								Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>		
								Cmol (+) Kg <sup>-1</sup>					
Tratamiento 2 (yeso + MO)													
06/11/2007	0 - 20	7.6	33.0	35.8	15.6	9.1	78.7	6.6	54.3	14.5	3.2	78.5	18.4
06/11/2007	20 - 40	7.5	29.5	32.0	15.0	8.7	74.0	6.4	50.3	13.1	3.3	73.1	17.7
06/05/2008	0 - 20	7.9	27.2	25.5	16.6	9.3	78.7	35.5	48.1	11.7	3.7	98.9	14.8
06/05/2008	20 - 40	7.8	26.5	24.0	14.9	8.7	75.0	32.9	47.7	10.1	3.5	94.1	13.6

pH en agua; C.E= Conductividad eléctrica; C.Ee=Conductividad Eléctrica del Extracto; MO=Materia Orgánica; C=Carbono Orgánico; CIC=Capacidad de Intercambio Catiónico; PSB=Porcentaje de Saturación de Bases; PSI=Porcentaje de Sodio Intercambiable

## Anexo 20

## Valores promedio de las propiedades químicas

Muestras	Prof. cm	pH	C.E dS/m	C.Ee dS/m	MO	C	CIC	Bases intercambiables				PSB	PSI
								Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>		
								Cmol <sub>(+)</sub> Kg <sup>-1</sup>					
Tratamiento 3 (MO)													
06/11/2007	0 - 20	7.6	33.2	31.7	15.3	8.9	73.6	5.9	52.2	12.5	2.6	73.2	17.1
06/11/2007	20 - 40	7.4	26.3	29.0	14.9	8.7	71.6	4.0	47.3	11.8	2.3	65.3	16.5
06/05/2008	0 - 20	7.9	32.6	31.1	15.1	8.8	77.6	26.8	48.0	13.5	3.3	91.5	17.3
06/05/2008	20 - 40	7.9	28.7	28.5	15.0	8.7	73.9	25.8	47.7	12.4	3.1	89.0	16.8

pH en agua; C.E= Conductividad eléctrica; C.Ee=Conductividad Eléctrica del Extracto; MO=Materia Orgánica; C=Carbono Orgánico; CIC=Capacidad de Intercambio Catiónico; PSB=Porcentaje de Saturación de Bases; PSI=Porcentaje de Sodio Intercambiable

## Anexo 21

## Valores promedio de las propiedades químicas

Muestras	Prof. cm	pH	C.E dS/m	C.Ee dS/m	MO	C	CIC	Bases intercambiables				PSB	PSI
								Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>		
								Cmol <sub>(+)</sub> Kg <sup>-1</sup>					
Tratamiento 4 (Testigo)													
06/11/2007	0 - 20	7.4	33.6	31.1	14.8	8.6	72.2	5.9	49.2	12.3	2.9	70.2	17.0
06/11/2007	20 - 40	7.3	26.2	28.2	14.7	8.5	70.4	4.2	46.4	11.6	2.7	64.8	16.4
06/05/2008	0 - 20	7.9	30.6	32.9	15.0	8.7	77.6	18.0	47.4	14.7	4.1	84.2	18.9
06/05/2008	20 - 40	7.8	29.5	32.1	14.6	8.5	72.2	17.0	46.3	12.5	3.7	79.4	17.3

pH en agua; C.E= Conductividad eléctrica; C.Ee=Conductividad Eléctrica del Extracto; MO=Materia Orgánica; C=Carbono Orgánico; CIC=Capacidad de Intercambio Catiónico; PSB=Porcentaje de Saturación de Bases; PSI=Porcentaje de Sodio Intercambiable

## Anexo 22

## Valores promedio de las propiedades químicas

Muestras	M	Prof. Cm	P mg/kg	Cationes Solubles				Aniones Solubles				C.E dS/m	PSB
				Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub>		
				mmol (+) L <sup>-1</sup>				mmol (+) L <sup>-1</sup>					
11/6/2007	M4T4	20 - 40	3.6	158.078	0.0109	0.010	0.02	2.00	1.0	8.8	11.3	28.4	378.1
11/6/2007	M3T1	0 - 20	5.3	218.066	0.0215	0.014	0.06	6.00	2.0	21.13	16.2	33.2	558.3
11/6/2007	M2T3	0 - 20	4.1	245.069	0.0174	0.015	0.04	4.00	1.0	9.4	13.5	30.4	530.9
11/6/2007	M1T2	0 - 20	4.5	241.063	0.0135	0.019	0.06	6.00	2.0	20.9	18.4	35.5	505.3
1/6/2008	M2T3	0 - 20	4.8	144.066	0.096	0.13	0.04	4.00	1.0	12.8	12.2	32.3	349.0
1/6/2008	M1T2	20 - 40	5.2	246.060	0.0148	0.018	0.06	6.00	2.0	17.5	16.2	28.2	513.7
3/6/2008	M1T3	0 - 20	4.6	131.075	0.0135	0.015	0.04	4.00	2.0	11.0	8.2	28.6	381.2
3/6/2008	M3T2	20 - 40	5.6	124.060	0.0152	0.019	0.06	6.00	1.0	12.1	11.3	22.4	385.4
3/6/2008	M1T1	20 - 40	5.8	135.069	0.0135	0.015	0.06	6.00	1.0	12.7	10.2	26.8	383.9
3/6/2008	M2T4	0 - 20	3.2	161.069	0.0152	0.015	0.02	2.00	1.0	8.5	8.3	35.7	416.8
5/6/2008	M3T1	0 - 20	4.8	165.081	0.0137	0.015	0.04	4.00	2.0	19.5	12.2	29.8	435.7
5/6/2008	M4T4	20 - 40	2.3	134.078	0.0152	0.017	0.02	2.00	1.0	9.7	10.2	32.9	403.9
5/6/2008	M3T3	0 - 20	4.3	161.063	0.0135	0.013	0.02	2.00	1.0	10.7	8.6	30.3	394.3

M=Muestra; P=Fósforo; PSB=Porcentaje de Saturación de Bases.

## Anexo 23

## Valores promedio de las propiedades químicas

pH					
0 - 20 cm					
Tratamientos	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Promedio
	Noviembre	Enero	Marzo	Mayo	
	2007	2008	2008	2008	
Yeso	7.6	7.7	7.9	7.9	7.8
Yeso + MO	7.6	7.6	7.8	7.9	7.7
MO	7.4	7.6	7.8	7.9	7.7
Testigo	7.4	7.7	7.8	7.9	7.7

## Anexo 24

## Valores promedio de las propiedades químicas

pH					
20 - 40 cm					
Tratamientos	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Promedio
	Noviembre	Enero	Marzo	Mayo	
	2007	2008	2008	2008	
Yeso	7.3	7.4	7.8	7.9	7.6 a
Yeso + MO	7.5	7.3	7.7	7.8	7.6 a
MO	7.4	7.5	7.7	7.9	7.6 a
Testigo	7.3	7.5	7.8	7.8	7.6 a

## Anexo 25

## Valores promedio de las propiedades químicas

Tratamientos	C.E dS/m				Promedio
	0 - 20 cm				
	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	
	Noviembre 2007	Enero 2008	Marzo 2008	Mayo 2008	
Yeso	34.5	31.7	26.9	26.2	29.8
Yeso + MO	33.0	31.0	26.5	27.2	29.4
MO	33.2	33.9	36.9	32.6	34.2
Testigo	33.6	33.8	40.2	30.6	34.6

## Anexo 26

## Valores promedio de las propiedades químicas

Tratamientos	C.E dS/m				Promedio
	20 - 40 cm				
	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	
	Noviembre 2007	Enero 2008	Marzo 2008	Mayo 2008	
Yeso	29.6	30.8	26.2	25.9	28.1
Yeso + MO	29.5	29.4	25.7	27.2	28.0
MO	26.3	32.5	35.1	28.7	30.7
Testigo	26.2	32.7	40.2	29.5	32.2

## Anexo 27

## Valores promedio de las propiedades químicas

MO %					
0 - 20 cm					
Tratamientos	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Promedio
	Noviembre 2007	Enero 2008	Marzo 2008	Mayo 2008	
Yeso	15.6	14.8	15.8	15.4	15.4
Yeso + MO	15.6	15.5	15.7	16.0	15.7
MO	15.3	14.7	15.4	15.1	15.1
Testigo	14.8	14.6	14.5	14.6	14.6

## Anexo 28

## Valores promedio de las propiedades químicas

MO %					
20 - 40 cm					
Tratamientos	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Promedio
	Noviembre 2007	Enero 2008	Marzo 2008	Mayo 2008	
Yeso	14.8	14.8	14.9	15.1	15.4
Yeso + MO	15.0	14.5	15.4	14.9	15.0
MO	14.9	14.4	15.1	15.0	14.9
Testigo	14.7	14.2	14.4	14.6	14.5

## Anexo 29

Valores promedio de las propiedades químicas					
PSI %					
0 - 20 cm					
Tratamientos	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Promedio
	Noviembre	Enero	Marzo	Mayo	
	2007	2008	2008	2008	
Yeso	18.2	16.1	17.4	15.1	16.7
Yeso + MO	18.4	16.6	17.4	14.8	16.8
MO	17.1	17.1	17.2	17.3	17.2
Testigo	17.0	17.1	22.8	18.9	19.0

## Anexo 30

Valores promedio de las propiedades químicas					
PSI %					
20 - 40 cm					
Tratamientos	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Promedio
	Noviembre	Enero	Marzo	Mayo	
	2007	2008	2008	2008	
Yeso	17.7	15.2	16.1	14.6	15.9
Yeso + MO	17.7	15.8	16.2	14.8	16.1
MO	16.5	16.7	16.9	16.8	16.7
Testigo	16.4	16.5	22.3	17.3	18.1

## Anexo 31

## Valores promedio de las propiedades químicas

pH					
0 - 40 cm					
Tratamientos	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Promedio
	Noviembre	Enero	Marzo	Mayo	
	2007	2008	2008	2008	
Yeso	7.5	7.6	7.9	7.9	7.7
Yeso + MO	7.6	7.5	7.8	7.9	7.7
MO	7.4	7.6	7.8	7.9	7.7
Testigo	7.4	7.6	7.8	7.9	7.7

## Anexo 32

## Valores promedio de las propiedades químicas

C.E dS/m					
0 - 40 cm					
Tratamientos	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Promedio
	Noviembre	Enero	Marzo	Mayo	
	2007	2008	2008	2008	
Yeso	32.1	31.3	26.6	26.1	29.0
Yeso + MO	31.3	30.2	26.1	27.2	28.7
MO	29.8	33.2	36.0	30.7	32.4
Testigo	29.9	33.3	40.2	30.1	33.4

## Anexo 33

## Valores promedio de las propiedades químicas

MO %					
0 - 40 cm					
Tratamientos	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Promedio
	Noviembre	Enero	Marzo	Mayo	
	2007	2008	2008	2008	
Yeso	15.2	14.8	15.4	15.3	15.2
Yeso + MO	15.3	15.0	15.6	15.5	15.3
MO	15.1	14.6	15.3	15.1	15.0
Testigo	14.8	14.4	14.5	14.6	14.6

## Anexo 34

## Valores promedio de las propiedades químicas

PSI %					
0 - 40 cm					
Tratamientos	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Promedio
	Noviembre	Enero	Marzo	Mayo	
	2007	2008	2008	2008	
Yeso	18.0	15.7	16.8	14.9	16.3
Yeso + MO	18.1	16.2	16.8	14.8	16.5
MO	16.8	16.9	17.1	17.1	17.0
Testigo	16.7	16.8	22.6	18.1	18.5

## Anexo 35

**Promedios de pH en tratamiento de yeso  
noviembre 2007 a mayo 2008**

Tratamiento	Análisis	Tiempo meses	Promedio 0-20cm	Promedio 20-40cm
yeso	pH	Noviembre	7.6 cd	7.3 ab
		Enero	7.7 cd	7.4 ab
		Marzo	7.9 ab	7.8 cd
		Mayo	7.9 ab	7.9 cd
Alfa= 0.05		Error estándar=	3.89	5.25

## Anexo 36

**Promedios de C.E dS/m en tratamiento de yeso  
noviembre 2007 a mayo 2008**

Tratamiento	Análisis	Tiempo meses	Promedio 0-20cm	Promedio 20-40cm
yeso 0-20cm	C.E dS/m	Noviembre	34.5 bcd	29.6 cd
		Enero	31.7 acd	30.8 cd
		Marzo	26.9 ab	26.1 ab
		Mayo	27.8 ab	25.9 ab
Alfa= 0.05		Error estándar=	0.64	0.78

## Anexo 37

**Promedios de %MO en tratamiento de yeso  
noviembre 2007 a mayo 2008**

Tratamiento	Análisis	Tiempo meses	Promedio 0-20cm	Promedio 20-40cm
yeso	MO %	Noviembre	15.6	14.8
		Enero	14.9	14.8
		Marzo	15.8	14.8
		Mayo	15.4	15.0
Alfa= 0.05		Error estándar=	0.35	0.28

## Anexo 38

**Promedios de %PSI en tratamiento de yeso  
noviembre 2007 a mayo 2008**

Tratamiento	Análisis	Tiempo meses	Promedio 0-20cm	Promedio 20-40cm
yeso	PSI %	Noviembre	18.2	18.2
		Enero	16.1	16.1
		Marzo	17.4	17.4
		Mayo	15.1	15.1
Alfa= 0.05		Error estándar=	0.88	0.88

## Anexo 39

**Promedios de pH en tratamiento de yeso + MO  
noviembre 2007 a mayo 2008**

Tratamiento	Análisis	Tiempo meses	Promedio 0-20cm	Promedio 20-40cm
yeso + MO	pH	Noviembre	7.6 d	7.5 d
		Enero	7.6 d	7.3 d
		Marzo	7.8	7.7
		Mayo	7.9 ab	7.9 ab
Alfa= 0.05		Error estándar=	6.16	9.24

## Anexo 40

**Promedios de C.E dS/m en tratamiento de yeso + MO  
noviembre 2007 a mayo 2008**

Tratamiento	Análisis	Tiempo meses	Promedio 0-20cm	Promedio 20-40cm
yeso + MO	C.E dS/m	Noviembre	34.4 cd	29.5 cd
		Enero	31.7 cd	29.4 cd
		Marzo	26.9 ab	25.7 ab
		Mayo	27.7 ab	26.5 ab
Alfa= 0.05		Error estándar=	0.66	0.44

## Anexo 41

**Promedios de %MO en tratamiento de yeso + MO  
noviembre 2007 a mayo 2008**

Tratamiento	Análisis	Tiempo meses	Promedio 0-20cm	Promedio 20-40cm
yeso + MO	MO %	Noviembre	15.6	14.9
		Enero	15.4	14.5
		Marzo	15.7	15.3
		Mayo	16.0	14.9
Alfa= 0.05		Error estándar=	0.24	0.27

## Anexo 42

**Promedios de %PSI en tratamiento de yeso + MO  
noviembre 2007 a mayo 2008**

Tratamiento	Análisis	Tiempo meses	Promedio 0-20cm	Promedio 20-40cm
yeso + MO	PSI %	Noviembre	18.4 d	17.7 d
		Enero	16.6	15.8
		Marzo	17.4	16.2
		Mayo	14.8 a	13.5 a
Alfa= 0.05		Error estándar=	0.64	0.66

## Anexo 43

**Promedios de pH en tratamiento de MO  
noviembre 2007 a mayo 2008**

Tratamiento	Análisis	Tiempo meses	Promedio 0-20cm	Promedio 20-40cm
MO	pH	Noviembre	7.6	7.4 cd
		Enero	7.7	7.5 d
		Marzo	7.8	7.7 a
		Mayo	7.9	7.9 ab
Alfa= 0.05		Error estándar=	9.04	8.30

## Anexo 44

**Promedios de C.E dS/m en tratamiento de MO  
noviembre 2007 a mayo 2008**

Tratamiento	Análisis	Tiempo meses	Promedio 0-20cm	Promedio 20-40cm
MO	C.E dS/m	Noviembre	33.2	26.3 bcd
		Enero	33.9	32.5 acd
		Marzo	36.9	35.1 abd
		Mayo	32.6	28.6 abc
Alfa= 0.05		Error estándar=	1.30	0.44

## Anexo 45

**Promedios de %MO en tratamiento de MO  
noviembre 2007 a mayo 2008**

Tratamiento	Análisis	Tiempo meses	Promedio 0-20cm	Promedio 20-40cm
MO	MO %	Noviembre	15.3	14.9
		Enero	14.7	14.3
		Marzo	15.4	15.0
		Mayo	15.1	15.0
Alfa= 0.05		Error estándar=	0.22	0.40

## Anexo 46

**Promedios de %PSI en tratamiento de MO  
noviembre 2007 a mayo 2008**

Tratamiento	Análisis	Tiempo meses	Promedio 0-20cm	Promedio 20-40cm
MO	PSI %	Noviembre	17.1	16.6
		Enero	17.2	16.7
		Marzo	17.2	16.8
		Mayo	17.3	16.9
Alfa= 0.05		Error estándar=	0.70	0.56

## Anexo 47

**Promedios de pH en tratamiento Testigo  
noviembre 2007 a mayo 2008**

Tratamiento	Análisis	Tiempo meses	Promedio 0-20cm	Promedio 20-40cm
Testigo	pH	Noviembre	7.4 bcd	7.3 cd
		Enero	7.7 a	7.5 d
		Marzo	7.8 a	7.8 a
		Mayo	7.9 a	7.8 ab
Alfa= 0.05		Error estándar=	5.25	6.70

## Anexo 48

**Promedios de C.E dS/m en tratamiento Testigo  
noviembre 2007 a mayo 2008**

Tratamiento	Análisis	Tiempo meses	Promedio 0-20cm	Promedio 20-40cm
Testigo	C.E dS/m	Noviembre	33.6 cd	26.2 bc
		Enero	33.8 cd	32.7 a
		Marzo	40.2 abd	34.1 a
		Mayo	30.6 abc	29.5
Alfa= 0.05		Error estándar=	0.66	1.11

## Anexo 49

**Promedios de %MO en tratamiento Testigo  
noviembre 2007 a mayo 2008**

Tratamiento	Análisis	Tiempo meses	Promedio 0-20cm	Promedio 20-40cm
Testigo	MO %	Noviembre	14.8	14.7
		Enero	14.6	14.1
		Marzo	14.5	14.3
		Mayo	15.0	14.6
Alfa= 0.05		Error estándar=	0.28	0.24

## Anexo 50

**Promedios de %PSI en tratamiento Testigo  
noviembre 2007 a mayo 2008**

Tratamiento	Análisis	Tiempo meses	Promedio 0-20cm	Promedio 20-40cm
Testigo	PSI %	Noviembre	16.9 c	16.3 c
		Enero	17.1 c	16.5 c
		Marzo	22.8 abd	22.2 abd
		Mayo	18.9 c	17.3 c
Alfa= 0.05		Error estándar=	0.78	0.74