

50322  
15



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
"ZARAGOZA"

**"USO DE LODO RESIDUAL PARA MEJORAMIENTO DEL  
SUELO SALINO-SODICO DEL EX LAGO DE TEXCOCO"**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**B I O L O G O**  
P R E S E N T A :  
**EDITH FLORES CHAVEZ**

DIR: DANIEL MUCIRO RAYMUNDO  
ASESOR: RAMIRO RIOS GOMEZ

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



MEXICO, D. F.

NOVIEMBRE DE 2003



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## AGRADECIMIENTOS

Al Biólogo Ramiro Ríos Gómez, por su confianza, orientación académica y su perseverancia, he logrado realizar esta tesis.

Al Proyecto Lago de Texcoco, por facilitarme sus instalaciones para llevar a cabo la parte experimental de esta tesis y a todo su personal, que de alguna manera me orientaron y me brindaron su amistad: Ing. F . Alberto Llerena V., Ing. Miguel A. Solano V., Ing. Jorge Yepes, Ing. J. Luis Lozano., Ing. Edgar F.

A los profesores de la F.E.S. Zaragoza por proporcionarme sus conocimientos y brindarme su amistad, así también a todo el personal que de alguna manera me apoyaron. Y a la F.E.S. por permitirme hacer uso de sus instalaciones y laboratorios.

Al H. Jurado Dictaminador Integrado por:

Dr. Arcadio Monroy Ata.

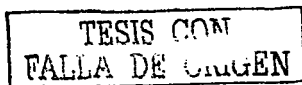
Biol. Ramiro Ríos Gómez.

Biol. Daniel Muciño Raymundo.

Biol. Leticia López Vicente.

Biol. Ana Laura Maldonado Tena.

A todos mis grandes amigos que de una u otra forma intervinieron en la realización de esta tesis, en especial Gilberto Blas M.



## DEDICATORIAS

**A mi madre: A la Señora Soledad Chávez García, que desafortunadamente ya no se encuentra junto a mi lado para poder disfrutar este triunfo, pero siempre la llevo en mi corazón dándome fuerzas para seguir adelante.**

**A mi padre: Al Señor Lucas Flores Gaspar, quien siempre estuvo en los momentos difíciles dando alientos de confianza, cariño y fuerza. Y con su ejemplo de sencillez y nobleza supo guiar mis pasos.**

**A mi esposo: J. Javier Vázquez Martínez, que con su amor, confianza y sus deseos de superación he realizado un sueño que creí que ya no lograría. Gracias por tu apoyo incondicional. Ahora si veras dos títulos.**

**A mis hijas: Ma. Fernanda y D. Monserrat, por haber dispuesto de un tiempo que les pertenecía para finalizar esta tesis, y que espero que algún día puedan comprender este esfuerzo. A mi sobrino Ivan A. Flores N. a quien espero que este trabajo le sirva de algo algún día.**

**A mis hermanos: Maribel, Aida, Leticia, Juan y Jorge, que juntos hemos podido lograr salir adelante a pesar de los obstáculos que se nos han presentado. A Dios le doy gracias por ser mis hermanos.**

**A todos mis familiares que de alguna manera me siguen apoyando para salir adelante y muy en especial a Ángela Flores, Ana Flores y Luz Maria Flores.**

**A la U.N.A.M. por que gracias a ella soy parte de la carrera de Biología.**

TESIS CON  
FALSA DE ORIGEN

## CONTENIDO

	Pag.
<b>I. INTRODUCCIÓN.</b>	1
Justificación.	3
Objetivos.	4
Hipótesis.	4
<b>II. MARCO TEÓRICO.</b>	5
2.1. Generalidades de la salinidad.	5
2.1.1. Distribución geográfica de los suelos salinos.	5
2.1.2. Origen de las sales.	6
2.1.3. Fuente de las sales.	7
2.1.4. Clasificación de los suelos salinos.	10
2.2. Efectos ocasionados por las sales.	12
2.2.1. Efectos de las sales en las propiedades físicas y químicas del suelo.	12
2.2.2. Efecto de las sales solubles sobre el desarrollo de las plantas.	14
2.2.2.1. Efectos específicos de los iones en suelos salinos y presión osmótica	17
2.2.2.2. Efecto de las sales solubles sobre la asimilación de nutrimentos.	19
2.3. Cultivos tolerantes a la salinidad.	20
2.4. Recuperación de suelos con problemas de sales.	21
2.4.1. Recuperación de suelos salinos.	22
2.4.2. Recuperación de suelos salinos-sódicos.	24
2.4.3. Recuperación de suelos sódicos.	26
2.5. Generalidades de los lodos residuales.	27
2.5.1. Disposición final de los lodos residuales.	27
2.5.2. Alternativa para el uso de lodo residual.	28
2.6. Antecedentes.	30
2.7. Generalidades del cultivo <i>Avena sativa</i> L.	33
2.7.1. Características morfológicas	33
2.7.2. Condiciones ecológicas.	33
2.7.3. Ciclo de vida.	35
2.7.4. Preparación del terreno.	36
2.7.5. Forma de siembra.	37
2.7.6. Cosecha.	37
2.7.7. Aprovechamiento.	37
2.7.8. Contenido bromatológico.	38
2.8. Descripción del área de estudio.	38
<b>III. METODOLOGÍA.</b>	41
<b>IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS.</b>	46
4.1. Análisis del suelo natural.	46
4.2. Análisis del lodo residual.	49
4.3. Análisis del suelo en el momento de la cosecha.	50
4.4. Análisis del suelo después de la cosecha.	55
4.5. Análisis comparativo.	61
4.6. Análisis del perfil.	68
4.7. Análisis estadístico de las variables evaluadas de la <i>Avena sativa</i> L.	75
<b>V. CONCLUSIONES.</b>	82
<b>VI. RECOMENDACIONES.</b>	84
<b>VII. REFERENCIAS.</b>	85

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## RESUMEN

El Ex Lago de Texcoco es un proyecto de rehabilitación de suelos más grande del país, presenta una serie de factores altamente limitativos para el desarrollo de cultivos y hasta para vegetación silvestre, factores que por su grado de afectación y coincidencia simultánea hacen de estos suelos un caso único en el mundo. Entre los factores se tiene: elevada concentración salina; exceso de sodio intercambiable; fuerte alcalinidad; niveles freáticos someros y altamente salinos; presencia de un material altamente hidratado con características excepcionales.

En el presente estudio se busco rehabilitar el suelo utilizando lodo residual como mejorador de las propiedades físicas y químicas del suelo, utilizando como indicador de la respuesta al cultivo *Avena sativa* L.

Se aplicó diferentes dosis de lodo residual (10%, 20%, 30%, 40%, y 50 %) en un diseño experimental de bloques al azar con 3 repeticiones, las variables de la respuesta del cultivo evaluadas fueron: altura, densidad, biomasa peso fresco y biomasa peso seco. Se caracterizó el suelo en sus primeras capas de profundidad (0-10, 10-20 y 20-30 cm) antes del tratamiento con lodo residual, así como en el momento de la siembra y después de la cosecha con la finalidad de reconocer el grado de recuperación.

Se obtuvo resultados satisfactorios en la conductividad eléctrica que varían de 1.36 a 3.02  $\text{dSm}^{-1}$ , en pH de 8.25-8.45 y en sodio soluble de 3.00-11.00  $\text{cmol Kg}^{-1}$  con la dosis de 50% de lodo residual, así como también en las variables de respuesta del cultivo: altura de 90 cm, densidad de 1150000 plantas/ha, Biomasa peso fresco de 46023.33 Kg/ha y biomasa peso seco de 7353.333 Kg/ha, resultados satisfactorios del cultivo para suelos del Ex Lago de Texcoco.

Por lo anterior, se concluye que la aplicación de lodo residual en los suelos salino-sódicos del Ex Lago de Texcoco mejora las propiedades físicas y químicas de este suelo, aun que sea temporalmente y para lo cual se requiere de un programa permanente de manejo del subsistema lodo-suelo, para paulatinamente recuperarlo y hacer posible el crecimiento de una cobertura vegetal.

E

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## I. INTRODUCCIÓN.

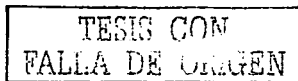
El ensalitramiento de los suelos es uno de los principales problemas que pueden afectar a los terrenos agrícolas, sobre todo en áreas de riego (Szabolcs, 1994). La magnitud del problema es enorme cuando se suman las zonas húmedas y semiáridas sin riego, de las áreas de cultivos de invernadero y de las afectadas por desechos mineros (Bohn, 1993). Esto ha provocado desde hace ya varias décadas el interés por estudiar cultivos resistentes a la salinidad, con la finalidad de manejar la fertilidad del suelo así como su producción (Walters y Doran, 1992).

Se estima que este problema limita los rendimientos agrícolas en 40 000 000 de hectáreas, o sea, un tercio de la tierra bajo riego en el mundo (Maas y Hoffman, 1977; Pla, 1988).

En México, existen aproximadamente 5 millones de hectáreas manejadas en condiciones de irrigación. En estas áreas el 10 % tiene diferentes grados de problemas con sales. De las 500 000 ha afectadas por concentraciones elevadas de sales solubles el 50 % está localizado en la región Noroeste, 16 % en el Norte, 15 % en el Noreste, 18 % en el Centro y 1% en el Sureste. Sin embargo uno de los problemas prioritarios en la República Mexicana es la obtención de alimentos de tal forma que los productos hortícolas son sembrados en estas áreas en un elevado porcentaje por los agricultores de nuestro país (Escobar, 1995).

La mayoría de los suelos afectados por las sales se encuentran localizados en regiones subhúmedas, áridas y semiáridas y en algunas regiones costeras, incluyendo además cuencas endorréicas en zonas templadas del mundo, en donde la precipitación no es suficiente para lixiviar los excesos de sales que llegan al suelo propiciando su acumulación. En consecuencia, la acumulación de sales se debe a condiciones específicas de intemperización geoquímica y biogeoquímica. Además las condiciones hidrológicas determinan la redistribución de los compuestos salinos en los suelos (Grijalva, 1995).

Debido al desarrollo acelerado de los distritos de riego, en los cuales se puso mayor énfasis en las obras de captación y distribución de aguas que en las de drenaje, se



produjo como consecuencia el ensalitramiento de los suelos en grados diversos, por lo que existen extensiones considerables de tierra con este problema, como el Valle de Mexicali, la Laguna de Coahuila, Río Verde San Luis Potosí, Cuitzeo Michoacán, Tehuacán Puebla, Obrajuelo Querétaro, etc.

Existen también zonas ensalitradas en forma natural, como es el caso de la Laguna del Carmen en Puebla o el Ex Lago de Texcoco en el Estado de México.

En el caso del Ex Lago de Texcoco, el crecimiento desordenado de la Ciudad de México ocasionó el problema de inundaciones, lo que motivó la construcción de las siguientes obras de desagüe: El Gran Canal, El Tajo de Nochistongo y los Túneles de Tequisquiác, con lo que no sólo se dio solución a dicho problema sino que también se drenó el Lago de Texcoco, y como producto de los altos volúmenes de agua drenados del Lago y el desequilibrio existente entre la evaporación y la precipitación en una relación de 4:1, se acumularon grandes cantidades de sales en el fondo, que precipitaron al disminuir el volumen de agua (Llerena y Tarín, 1978).

Así el desagüe artificial, al mismo tiempo que disminuyó el problema de inundaciones en la Ciudad de México, provocó que el lecho del Lago de Texcoco fuera quedando expuesto, con tendencia a la acumulación de sales en la superficie, como consecuencia de un fenómeno de evaporación en los suelos, haciéndolos inadecuados para establecimiento de cultivos al afectarse sus propiedades físicas, químicas y mecánicas, generando una alteración ecológica, creándose una extensa zona árida, propensa a erosionarse, cuya extensión llegó a ser de aproximadamente 15 000 ha (SARH, 1985).

La Zona Federal del Lago de Texcoco tiene actualmente una superficie aproximada de 10000 hectáreas y se localiza al Noreste de la Ciudad de México, entre las coordenadas geográficas 19°22' y 19°37' Latitud Norte y 98°58' y 99°03' Longitud Oeste, a una altitud sobre el nivel del mar de 2200 metros. Los suelos son aluviales, derivados de materiales volcánicos, en los que se encuentran depósitos alternos de arena, limo, arcilla y se presenta además una capa llamada "jaboncillo" que tienen una gran capacidad de almacenamiento de agua y baja permeabilidad (Llerena y Tarín, 1978).

Los suelos se clasifican como Solonchak gleyco, clase fina sódica (Buol, 1991), con altos contenidos de sales solubles y un elevado porcentaje de sodio intercambiable. Además,





en la Zona Federal, el drenaje es deficiente y el manto freático es salado y somero (González, 1982).

Para la recuperación de estos suelos, el Gobierno Federal instituyó en 1972 la Comisión del Lago de Texcoco que actualmente es dependiente de la Comisión Nacional del Agua; y las siguientes actividades de recuperación se ejecutan a través de la gerencia Lago de Texcoco: lavado de suelos, construcción de sistemas de drenaje parcelario, aplicación de mejoradores químicos y establecimiento de cultivos.

Respecto al uso de lodos residuales como mejoradores de suelos salinos, investigadores de la Universidad del Estado de Nuevo México (UMSU) confirman el valor nutrimental de los Lodos Residuales, sin embargo, el suelo condiciona las propiedades de lodo (Mc Caslin y O'Connor, 1982). Los microbios liberan macronutrientes y micronutrientes para las plantas por mineralización de la materia orgánica contenida en éstos (O'Connor, 1988) y mientras la materia orgánica fresca permanece, contribuye mejorando las propiedades físicas y químicas de los suelos.

#### **JUSTIFICACIÓN:**

El presente trabajo se relaciona con el uso de los lodos residuales como producto del tratamiento de las aguas residuales, y que en este caso son utilizados como mejoradores de las propiedades físicas y químicas en el suelo del Ex Lago de Texcoco, ello en razón de que este material posee un alto contenido de materia orgánica parcialmente degradada y un alto porcentaje de humedad lo que va a permitir poder utilizar o incorporar los suelos salinos de este lugar a una actividad productiva que hasta este momento no la tienen o es muy reducida en virtud de la problemática que presentan.

## **OBJETIVO GENERAL:**

Determinar el efecto de diferentes dosis de Lodo Residual, sobre las propiedades físicas y químicas del suelo del Ex Lago de Texcoco. El modelo biológico para evaluar el efecto rehabilitador del suelo es la gramínea *Avena sativa* L.

## **OBJETIVOS PARTICULARES:**

- Determinar qué parámetros físicos y químicos del suelo perteneciente al Ex Lago de Texcoco se modifican con la aplicación de lodos residuales.
- Determinar si la modificación favorece el crecimiento vegetal.
- Determinar la dosis más apropiada para mejorar el suelo salino-sódico del Ex Lago de Texcoco.
- Evaluar cómo afectan los lodos las siguientes propiedades del suelo: la concentración de sales solubles, pH, Conductividad Eléctrica (C.E.) y Materia Orgánica (M.O.).
- Evaluar la respuesta del cultivo de *Avena sativa* L. en las diferentes dosis de lodo residual.

## **HIPOTESIS:**

Con la aplicación de lodo residual al suelo del Ex Lago de Texcoco se mejorarán las características físicas y químicas del mismo, esto debido a las siguientes propiedades del lodo: alto porcentaje de humedad, baja concentración de sales y ricos en materia orgánica, se espera por lo tanto una recuperación o mejoramiento del suelo que estará en función de la dosis aplicada.

## II. MARCO TEÓRICO.

### 2.1. GENERALIDADES DE LA SALINIDAD.

#### 2.1.1. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LOS SUELOS SALINOS.

En todos los continentes, hay grandes áreas de suelos alcalinos y salino-sódicos. Los suelos afectados por sales son un problema a nivel mundial y se considera que del área total un 10% tiene problemas de suelos salinos o salino-sódicos, como se muestra en el cuadro No. 1.

**CUADRO No.1 SUELOS AFECTADOS POR SALES**

Continente y subcontinente	Ha(X1000)
América del norte	15,745
México y América Central	1,965
América del sur	29,163
Africa	80,538
Asia del sur	87,608
Norte y Asia central	211,688
Sur este de Asia	19,983
Australia	357,330
Europa	50,804
TOTAL	954,834

De estas se considera que 50,000 ha son las que se encuentran con problemas graves de salinidad en la República Mexicana (Grijalva, 1995).

La salinidad y alcalinidad ocurre en todos los tipos de climas; no obstante este proceso es más frecuente en regiones áridas, esta es una razón por la que la salinidad y la desertificación están relacionadas (Szabolcs, 1994).

Los suelos salino-sódicos han sido descritos por numerosos científicos en todo el mundo, se les encuentra en planicies aluviales de la base de ríos, en delta-aluviales, en innumerables valles de ríos que desembocan en el mar, en las terrazas aluviales, en submontañas con sus afluentes incluyendo montañas y en grandes y pequeños ríos de Mongolia, India, la ex Unión Soviética, Turquía, Ucrania, de la región del Cáucaso, Europa Central y Occidental, Rumania, Bulgaria, Grecia, Italia, España, etc (Grijalva, 1995).

### 2.1.2. ORIGEN DE LAS SALES.

La fuente original y en cierto modo la más directa de la cual provienen las sales, son los minerales primarios que se encuentran en los suelos y en las rocas de la corteza terrestre, liberados mediante procesos geoquímicos y bioquímicos dando lugar a nuevas combinaciones fácilmente atacadas por la intemperización química; hidratación, hidrólisis, solución, oxidación, carbonatación y reducción (Aceves, 1979; Szabolcs, 1993).

Las sales solubles del suelo consisten principalmente en varias proporciones de los cationes;  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ ; así como de los aniones;  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ . El catión  $\text{K}^+$ , y los aniones  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{NO}_3^-$ , se encuentran generalmente en cantidades menores. El contenido medio de cloro y azufre de la corteza terrestre es de 0.05 y 0.06 % respectivamente, mientras que el sodio, calcio y magnesio casi se encuentran a razón de 2-3 % (Richards, 1993).

Los iones bicarbonato se forman como consecuencia de la solubilidad del  $\text{CO}_2$  en agua. El  $\text{CO}_2$  puede ser de origen atmosférico o biológico y 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. Las mayores cantidades de iones carbonato, sólo pueden presentarse para valores de 8.5 y superiores de potencial de hidrógeno (Richards, 1985).

Poynov y Kovda citados por Ramírez (1988), clasifican los elementos en cinco categorías con base en su capacidad de emigración, las cuales se listan en el cuadro No.2.

**CUADRO No. 2 CATEGORIAS DE EMIGRACIÓN DE LOS ELEMENTOS**

<b>CATEGORIAS</b>	<b>ELEMENTOS</b>
1) PRACTICAMENTE NO LAVABLES.	Si
2) POCO LAVABLES.	
3) LAVABLES.	Fe, Al, Si
4) BASTANTE LAVABLES.	Si, Pb, Mn
5) MUY LAVABLES.	Ca, Na, K, Mg, Cu, Co, y Zn Cl, Br, Y, S, C, y B

Fuente: Aceves, 1979.

Los elementos de la cuarta y quinta categoría de emigración son los constituyentes principales de los compuestos que producen la acumulación de sales en zonas áridas y semiáridas, de los cuales los más importantes son: NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, MgCl<sub>2</sub>, CaSO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NaHCO<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub> y MgCO<sub>3</sub> (Aceves, 1979).

Las formas en las cuales se presentan las sales en los suelos son básicamente dos; asociadas y disociadas.

Sales asociadas: Formando parte de los compuestos, la forma asociada de las sales se presenta por combinación de los iones, siendo los más comunes los mostrados en el cuadro No. 3.

### CUADRO No. 3 PRINCIPALES IONES FORMADORES DE SALES.

CATIONES	ANIONES
Ca <sup>++</sup>	Cl <sup>-</sup>
Mg <sup>++</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
Na <sup>+</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
K <sup>+</sup>	BO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Fe <sup>++</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
	SiO <sup>-</sup>

Sales disociadas: Como iones positivos (cationes) y negativos (aniones). De presentarse en esta forma en el suelo se pueden manifestar en 3 disposiciones:

- Solubles en el agua del suelo
- Adsorbido a presión en las arcillas o en el material orgánico muy fino.
- Adsorbido (retenido) con cargas eléctricas en arcillas, limo o material orgánico muy fino.

#### 2.1.3. FUENTE DE LAS SALES.

Las fuentes de las sales consisten en varias proporciones de cationes y aniones siendo la principal fuente los minerales primarios. Sin embargo, existen otras fuentes que liberan estos iones y conducen al problema de la salinización de suelos.

En las zonas costeras se presentan fundamentalmente tres fuentes: sedimentos marinos,

las sales cíclicas y la intrusión salina (Fernández, 1990).

Los sedimentos marinos posiblemente son el problema más grave dentro de la zona costera, prácticamente en todas las planicies cultivadas, ya sea de temporal o de riego, se reporta un alto contenido de sales que en una u otra forma se va reduciendo con el manejo que se le da al terreno. Las sales presentes son solubles, no existe el problema de sodio intercambiable, predominan los cloruros de sodio y los sulfatos de sodio, calcio y de magnesio (Fernández, 1972).

Las sales cíclicas, tienen su origen en el agua de mar. El viento y el oleaje hacen posible la brisa y al soplar el viento, la brisa es transportada hacia el continente adicionándose una buena cantidad de sales en forma de solución que muchas veces llega a 10 Km tierra adentro. Existen datos que indican que esta distancia puede ser hasta de 100 Km. Se les denomina sales cíclicas, por que una vez que caen sobre la superficie de la tierra, la lluvia posteriormente las pone en movimiento y escurren a través de arroyos y ríos nuevamente hacia el mar (Fernández, 1971).

La intrusión salina, se presenta en las planicies costeras en las cuales la explotación de los mantos subterráneos, modifica el equilibrio existente entre la cuña de agua dulce y la cuña de agua salada. Este problema se presenta en la costa de Hermosillo, en el Valle de Guaymas, y en menor escala en algunas otras regiones.

Por lo que respecta al problema de salinidad dentro del continente, se distinguen dos casos: el de las cuencas cerradas o endorreicas y la presencia de materiales salinos de origen geológico.

El problema de las cuencas cerradas se desarrolla por el fenómeno de evaporación. Al evaporarse sólo el agua de los terrenos o de superficies libres de agua, va quedando un residuo salino, que se acumula a través de muchos años, llegando a formar verdaderos depósitos de sales solubles. Tal es el caso del Ex-Lago de Texcoco y de algunas regiones como la Laguna del Carmen.

Por lo que respecta a la presencia de materiales con un alto contenido de sales, este fenómeno se presenta prácticamente en cualquier sitio de la República, con exceso de bicarbonato y sulfatos de calcio en el sureste y bicarbonato de sodio en el Valle de México.



En el caso de zonas ensalitradas en terrenos de cultivo, que aparentemente cubren la mayor superficie nacional, la fuente de sales se debe a prácticas inadecuadas de riego. Se pueden mencionar tres casos principalmente: el manejo, el exceso de agua aplicada y la mala calidad de las aguas (Fernández, 1990).

Con respecto al primer caso, es indispensable que en una zona que se pone bajo riego se realicen las actividades de drenaje necesarias según sus características, a fin de eliminar los excedentes de agua y evitar la elevación del manto freático, también debe considerarse a donde irán a descargar las aguas de drenaje, ya sean aguas de lluvia o el exceso de agua que se aplica como sobreriego. Prácticamente en todas las zonas de riego se presenta este problema. Como solución se han construido drenes, pero después de algunos años se han dejado de conservar, lo que ha ocasionado la elevación del nivel freático que posteriormente, por el fenómeno de capilaridad, alimenta el estrato superior del suelo y asociados con la evaporación se va perdiendo el agua y se van acumulando las sales en la superficie.

En algunos casos en que el agua es muy escasa y prácticamente no hay precipitación, se han puesto bajo riego pequeñas superficies tratando de ahorrar al máximo el agua aplicada; en esta forma se ha cometido el error de no aplicar un exceso de agua o sobreriego que elimine las sales solubles que se van acumulando y generando problemas de salinidad.

En otros casos la calidad de agua utilizada es inadecuada, por ejemplo las aguas negras que se utilizan en el distrito de riego 063 en el Estado de Hidalgo; o las aguas subterráneas que presentan sales disueltas y su concentración depende del contenido salino del suelo y los materiales geológicos con los cuales están en contacto. En ambos casos, cualquier deficiencia en el drenaje o mal manejo en la aplicación del agua ocasiona la acumulación progresiva de sales y un grave problema de salinidad en las zonas de riego (Campoy, 1990).

El clima es otro factor que provoca salinización. En las regiones áridas y semiáridas el lavado de suelos es de naturaleza local y las sales solubles no pueden ser transportadas muy lejos. Esto ocurre no solamente por que hay menos precipitación de la requerida para lavar y transportar las sales, sino también como consecuencia de la elevada evaporación

característica de clima árido, que tiende a concentrar las sales en los suelos y en el agua superficial (Richards, 1985).

#### 2.1.4. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS SALINOS.

En 1906 Hilgard citado por Rámirez (1988) presentó, la primera clasificación de suelos salinos, divididos en Alkali Blanco y Alkali Negro. Los Alkali blanco, son suelos cuya conductividad eléctrica (C.E.) del extracto de saturación es mayor de  $4 \text{ dSm}^{-1}$  a  $25^\circ\text{C}$ , con un Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) menor de 15, generalmente el pH es menor de 8.5. Estos suelos corresponden a los "Solonchaks" de los autores Rusos. Los Alkali Negros, son aquellos suelos cuyo PSI es mayor de 15 y la C.E. del extracto de saturación es menor de  $4 \text{ dSm}^{-1}$  a  $25^\circ\text{C}$ , el pH generalmente varía entre 8.5 y 10, estos corresponden a los "Solonetz" de los autores Rusos.

Gedroitz, clasificó los suelos salinos en tres clases: Solonchakz, Solonetz y Solod. Esta clasificación está basada en el grado de salinidad y en la lixiviación de sodio del suelo.

Scofield, citado por Richards (1985), consideró en 1942, en el informe del Consejo Nacional de los Estados Unidos para la Planeación de los Recursos, que un suelo es salino si la solución extraída de una pasta saturada tiene una C. E. de  $4 \text{ dSm}^{-1}$  o mayor, a  $25^\circ\text{C}$ .

En 1948 Greene citado por Rámirez (1988) presentó, una clasificación de los suelos de acuerdo al contenido de sólidos totales, con base al porcentaje del peso del suelo seco, esto se observa en el cuadro No. 4.

**CUADRO No.4 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS SEGÚN AL PORCENTAJE DE SÓLIDOS TOTALES**

SALINIDAD	CONTENIDO DE SALES %
BAJA	0.1 A 0.4
MEDIA	0.4 A 0.6
MEDIA ALTA	0.6 A 0.8
ALTA	0.8 A 1.0

Richards en 1954, presentó la clasificación de suelos propuesta por el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos, dicha clasificación emplea dos índices para determinar la salinidad en los suelos: la C.E. de las soluciones obtenidas del extracto de saturación, que



indica los efectos de la salinidad sobre las plantas, y el PSI que es un índice de los efectos sobre las propiedades físicas de los suelos. De acuerdo con esta clasificación los suelos se dividen en tres categorías: Suelos Salinos, Suelos Salino-Sódicos y Suelos Sódicos.

Kovda (1973), presentó una clasificación detallada de Suelos Salinos y Alcalinos, basada en la cantidad total de sales solubles; cloruros, sulfatos y bicarbonatos, con relación a su predominancia en el suelo.

Basillevich y Pankova propusieron en 1968 una clasificación tentativa de los suelos por su salinidad, la cual está fundamentada principalmente en su composición catiónica y aniónica.

En la clasificación FAO/UNESCO (Buol, 1981) se consideran dos grupos: Solonchaks, con acumulación de sal soluble, y Solonetz, con alto contenido de sodio.

A pesar de que existen varias clasificaciones de suelos salinos, cada una de ellas con diferentes bases teóricas, las más aceptadas son la Rusa y la Americana (Cuadro No.5). La primera incluye los principios de pedogénesis, geoquímica de sales y fisiología vegetal; mientras que la segunda utiliza la C.E. en las soluciones obtenidas del extracto de saturación y el PSI (Ramírez, 1988).

**CUADRO No. 5 CLASIFICACIÓN DE SUELOS SALINOS RUSA Y AMERICANA**

CLASIFICACIÓN MODERNA DE LA URSS	CLASIFICACIÓN AMERICANA DE SUELOS SALINOS
<p>Solonchaks: Contienen desde la superficie gran cantidad de sales solubles</p> <p>-Hidromorfos: Se desarrollan en lugares de manto freático alto y salino.</p> <p>-Automorfos: Se forman sobre rocas ricas en sales en los lugares de manto freático profundo.</p> <p>Solonetz: Contienen gran cantidad de sodio de intercambio adsorbido y a veces de Mg. Las sales no aparecen desde la superficie sino a cierta profundidad.</p> <p>Solods: Son suelos alcalinos degradados.</p>	<p>Salinos: C.E. en <math>dSm^{-1}</math> a 25 °C &gt; 4.0 ; % PSI &lt; 15; pH &lt; 8.5.</p> <p>Salino-Sódicos: C.E. en <math>dSm^{-1}</math> a 25 °C &gt; 4.0 ; % PSI &gt; 15; pH 8.5.</p> <p>Sódicos: C.E. en <math>dSm^{-1}</math> a 25 °C &lt; 4.0 ; % PSI &gt; 15; pH 8.5 y 10.</p>

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **2.2. EFECTOS OCASIONADOS POR LAS SALES.**

### **2.2.1. EFECTO DE LAS SALES EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO.**

#### **Propiedades físicas y químicas.**

Dentro de las propiedades físicas y químicas de los suelos son importantes: la retención de humedad, la aireación, la temperatura, propiedades mecánicas, la capacidad de intercambio catiónico, pH, así como la cantidad y tipo de partículas minerales. Todas estas características son modificadas drásticamente dependiendo de la cantidad y tipo de sales presentes en la solución del suelo (Aceves, 1979).

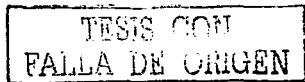
Algunos tipos de suelos son relativamente uniformes lo cual no ocurre en los suelos salino-sódicos, debido a la enorme variabilidad en la concentración y distribución de las sales y del sodio intercambiable. La variación llega a grado tal que se encuentran enormes diferencias en la concentración de sales en sitios separados entre sí a distancias de 50 cm (Ortiz, 1986).

Los suelos con problemas de altas concentraciones de sales y sobre todo de sodio (catión monovalente), conducen a una fuerte dispersión de los coloides del suelo, reduciendo la estabilidad al agua de los agregados, empeorando las propiedades físicas, el régimen acuoso y aéreo del suelo, el cual en estado húmedo se pone viscoso y adhesivo, al secarse forman una corteza densa dificultando las actividades de labor en estos suelos. Los coloides orgánicos y minerales son lavados del suelo el cual empobrece de sustancias nutritivas.

#### **Compactación del suelo.**

La concentración salina en el suelo permite que las arcillas se mantengan floculadas aún cuando existen altos contenidos de sodio intercambiable (suelos sódicos), sin embargo, al lavarse por el agua, las arcillas sufren procesos de expansión o peptización ocasionando a los suelos fuertes compactaciones por su desestabilidad trayendo como consecuencia un colapso en el sistema poroso, o bien debido al llenado de éstos por las partículas dispersas del suelo (Aguirre, 1989).

Debido a la importancia que tiene el agua en el manejo de los suelos, la conductividad



hidráulica (CH) que se relaciona con el movimiento del agua así como su velocidad en el suelo y es alterada por el contenido y tipo de sales, la conductividad hidráulica determina la efectividad de los procesos de recuperación de suelos ensalitrados. La CH depende de la combinación de las siguientes características del suelo y el agua: suelo, porosidad y distribución de poros por tamaño, agua, viscosidad y densidad.

En la mayoría de los suelos la CH no permanece constante debido a diversos procesos químicos, físicos y biológicos, los cuales afectan la geometría de los poros y por tanto la permeabilidad del suelo. Las arcillas minerales son vulnerables al ataque químico de las moléculas de agua, ocasionando su expansión, lo que da lugar a que las fuerzas de atracción entre las arcillas disminuya considerablemente, comportándose en forma independiente unas de otras, originando la defloculación del suelo que destruye su estructura, haciéndolo impemeable al agua y al aire. Las partículas minerales al desplazarse a los estratos bajos del perfil causan el taponamiento de poros afectando la permeabilidad (Aceves, 1979).

En suelos de textura franco limosa o con mayor contenido de arcilla se producen bajos valores de CH, como consecuencia un suelo compactado no permitirá el mejoramiento por percolación con agua de alto contenido de Ca disuelto y más aún, el remplazamiento de Na por Ca, así la permeabilidad no mostrará mejoría alguna (Aguirre, 1989).

La CH es una propiedad que depende más del tamaño de los poros del suelo que de su cantidad total, por lo que los suelos arenosos presentan mayor valor de CH ( $10^2$  y  $10^3$ ) que los suelos arcillosos ( $10^{-4}$  y  $10^{-7}$ ).

Al penetrar el agua al suelo, la CH cambia, como resultado de la interacción de las partículas del suelo y las sales disueltas en el agua, modificando la porosidad debido a la presencia de arcillas expandibles en los macroporos, los cuales se hinchan reduciendo la macroporosidad (Aceves, 1979).

El fenómeno es más notable cuando existen en los sitios de intercambio de las arcillas, iones de sodio. Cuando los cationes predominantes son Ca y Mg, las partículas de arcilla no se expanden ni se repelen entre sí, manteniendo condiciones favorables de permeabilidad. Suelos de textura migajón-arcillosa con la presencia del ión sodio sufren cambios notables de permeabilidad (Aceves, 1979).

La expansión de los agregados al ocasionar la clausura de los poros entre-agregados (responsables del transporte del agua) reducen la CH creando problemas de drenaje (Aguirre,1989).

Las reacciones producidas al suelo dependen del tipo de suelo y de las concentraciones de salinidad en ellos. En suelos arcillosos el incremento del PSI y el descenso de sales aumenta la expansión de los suelos, por lo que al secarse se forman grietas en la superficie así como peptización de las arcillas, esto ocasiona su iluviación al subsuelo y la formación de una capa arcillosa (suelos solonetz) creándose problemas de drenaje al disminuir la infiltración de la superficie del suelo. En suelos francos la reacción es diferente, el poco contenido de arcilla actúa como un cementante de los agregados del suelo. Las arcillas se debilitan en sus puntos de unión, al expandirse en condiciones de sodicidad debilitan su estabilidad y resistencia de la estructura, por lo que cualquier fuerza externa o interna la debilita produciéndose aflojamientos en el subsuelo. A valores bajos de PSI y valores altos de CE, el material que se disgrega se infiltra a profundidades mayores que partículas más gruesas formándose costras estructurales, y en las bases de éstas se pueden formar capas densas de arcilla impermeable impidiendo la infiltración y la difusión de gases (Aguirre, 1989).

En suelos sódicos la dispersión de los coloides orgánicos y minerales producen una migración de éstos al interior del perfil, los coloides orgánicos se mueven hacia arriba con el agua acumulándose en la superficie dando una coloración negra aceitosa ocasionando una mayor absorción de calor modificando la temperatura (Aceves, 1979).

Los suelos arenosos son menos resistentes a cambios bruscos en su reacción, su pH fluctúa fácilmente, su capacidad de amortiguamiento es pequeña, en comparación con los suelos arcillosos y ricos en materia orgánica, los cuales tienen más poder buffer (Manuel, 1982).

### **2.2.2. EFECTO DE LAS SALES SOLUBLES SOBRE EL DESARROLLO DE LAS PLANTAS.**

Las investigaciones de los efectos del estrés salino sobre diferentes plantas de cultivo han tenido un incremento durante los últimos años (Greenway y Munns, 1980; Munns, 1993).

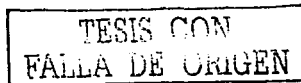


Sin embargo, los mecanismos exactos que involucran la respuesta de las plantas cultivadas a la salinidad no ha sido comprendidos y resulta esencial para afrontar los actuales problemas agronómicos (Munns, 1993; Reza, 1993).

Las plantas de cultivo difieren fuertemente en sus tolerancias a la salinidad y con base en su respuesta pueden ser clasificadas en sensitivas, moderadamente tolerantes y tolerantes (Mass y Hoffman, 1977). Por su parte Campoy (1990) las agrupa en: halófitas: plantas adaptadas a hábitats salinos y glicófitas: aquellas que crecen en hábitats no salinos y su desarrollo se limita a su habilidad de adaptación a la salinidad. Los fisiólogos pueden mejorar la tolerancia de las plantas a la sal por identificación de genes, pero no se conoce qué enzimas o procesos metabólicos son importantes en la tolerancia de sales. Por su parte los biólogos moleculares se esfuerzan buscando las proteínas que inducen el estrés salino. También incierto es el lugar de los mecanismos de tolerancia a la sal. No se conoce si están situados en raíces, o las hojas y si están en el crecimiento o en la maduración de tejidos; si están en la producción o en la utilización de fotosintatos; aún así no sería sorprendente que la búsqueda de proteínas inductoras del estrés tuviera que ser infructuosa (Munns, 1993; Reza 1993). Se conocen muchos efectos nocivos de la salinidad y en general se les agrupa en: A) estrés osmótico, B) actividades metabólicas por exceso iónico, C) interferencia de iones de las sales, dentro de los conductos de los macro o micronutrientes esenciales, D) por la combinación de estos factores (Reza, 1993; Rangel, 1992; Hassan, 1992). Estos efectos adversos se manifiestan en la inhibición de la germinación, inducción del crecimiento y perturbación en el desarrollo (Reza, 1993; Hassan, 1992).

La salinidad tiene la curiosa facultad de limitar el crecimiento de las plantas llegando incluso a frustrarlo, causando así graves daños (Bernstein y Luchli, 1992; Hassan, 1992). En este sentido, el efecto es similar al estrés hídrico en las plantas, ya que las sales retienen el agua del suelo y no la dejan disponible para el vegetal.

En especies muy sensitivas, la clase de sal y la cantidad presente en el ambiente, pueden ocasionar trastornos desde la germinación retardándola y hasta inhibiéndola (Reza, 1993; Carter, 1975). Algunos estudios indican que la emergencia de la radícula es inhibida por exceso de sales solubles al reducirse la absorción de agua como resultado de la exposición al NaCl (Prakash y Prathapasenan, 1988).



No obstante se ha comprobado que la salinidad y el calcio provocan un incremento en el diámetro celular de las raíces, así mismo afecta adversamente el transporte de agua en células. Las concentraciones de sal en la raíz media son conocidas por el efecto en las plantas en su estatus de agua y se mide también, por efecto en la conductividad hídrica (Hassan, 1992).

La talla pequeña y la reducción del crecimiento de la raíz se deben a la salinidad (Hassan, 1992; Greenway y Munns, 1980), así mismo otros estudios muestran que la raíz es particularmente sensitiva a la sal (Rengel, 1992). Se ha sugerido que el efecto primario de la salinidad, a corto tiempo, tiene lugar en la raíz a causa de un déficit de agua en el medio. En contraste al concepto de que la raíz es el sensor primario de la toxicidad de sal, Cramer y Bowman (1991) mostraron que a corto plazo *Zea mays* tuvo una elongación en hoja independiente de las raíces. Alternativamente sugieren que la nutrición del meristemo apical del tallo puede ser perturbada en estadíos iniciales por estrés salino.

Así, el efecto de incremento en el espesor de la hoja puede ser inducido por la exposición de las raíces a grandes concentraciones salinas (Munns, 1993). Bernstein (1975) encontró que el cloruro incrementaba la elongación de las células empalizadas causando incremento en la succulencia.

La salinidad suprime la elongación y la división celular proporcionalmente, pero esto aparentemente no afecta el sistema que regula la síntesis de DNA (Nieman, 1965)

Una exposición prolongada al NaCl, inhibe la expansión de la hoja quizá causado por bajos potenciales de agua en la raíz media; reducción en la asimilación neta de CO<sub>2</sub> o acumulación excesiva de iones, con lo que puede inducir toxicidad de ion, deficiencia iónica o ambas (Bernstein y Luchli; 1993).

Pocas investigaciones se han diseñado en donde se examinan los efectos producidos por las principales sales responsables de la salinización de los suelos, no obstante, se ha encontrado que la supresión del crecimiento difiere de acuerdo con la sal dominante y la especie o variedad vegetal estudiada (Khan *et al.*, 1995; Manchada *et al.*, 1982; Rogers *et al.*, 1998).

### **2.2.2.1. EFECTOS ESPECÍFICOS DE LOS IONES EXISTENTES EN SUELOS SALINOS Y SOBRE LA PRESION OSMÓTICA.**

Las sales pueden tener dos tipos de efectos sobre la planta en crecimiento; los específicos debidos a los iones perjudiciales para la especie y los efectos generales ocasionados por el aumento de la presión osmótica de la solución que rodea a las raíces de las plantas (Russell, 1968).

El efecto ocasionado por estos iones puede ser en forma directa o indirecta sobre la planta y no es generalizado por la diversidad de especies en función de su tolerancia.

El carbonato sódico puede ser perjudicial por sí mismo, pero este efecto es más probable que sea consecuencia del elevado pH que provoca. Así, el aumento de pH disminuye la disponibilidad de nutrimentos, como: fosfatos, hierro, zinc y Magnesio.

El boro causa un desarrollo anormal de la planta, clorosis, necrosis, quemaduras marginales o apicales en hojas maduras, acompañado de clorosis del tejido intervenal en cítricos, aguacate y níspero. El algodón, papa, vid y frijol presentan quemadura marginal, enrollamiento, producto de la restricción en el crecimiento (Richards, 1985).

Algunos iones también pueden tener efecto tóxico a elevadas concentraciones, el cual encarece el efecto perjudicial de la propia concentración. Así, algunas especies como el durazno y alubias son dañadas por los cloruros de la solución del suelo a presiones osmóticas a las que los sulfatos no lo harían, mientras que otras, como el lino y algunas gramíneas pratenses son más tolerantes a los cloruros que a los sulfatos, a igualdad de presión osmótica (Russell, 1968).

El cloro disminuye el desarrollo vegetal originando quemaduras en cultivos (nogal, cítricos, vid, etc.), junto con el ión potasio permiten un ajuste osmótico rápido de la planta al ser absorbido rápidamente acumulándose grandes cantidades en la planta.

Los sulfatos limitan la disponibilidad de Ca, asociándose con Na y K, causando alteraciones con el balance catiónico dentro de la planta.

Los bicarbonatos en el frijol reducen la presencia de Ca aumentando la presencia de K, en la remolacha produce un descenso de Mg e incrementa el contenido de Na, los síntomas son clorosis por deficiencia de Ca.

El sodio causa quemaduras en hojas (algodón) y lesiones apicales (almendro). Causa efectos secundarios por su acción sobre el suelo. A concentraciones de 40-50 % causa alteraciones nutricionales (Thorne, 1945) al remover del complejo al Ca y los tejidos radiculares de la planta puede morir por su deficiencia (Ratner, 1944), originando una menor acumulación de Ca, Mg y K en las plantas (Bower. et. al. 1965).

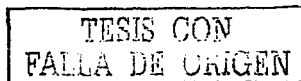
El Mg en concentraciones altas en el sustrato frecuentemente es más tóxico a las plantas que las concentraciones isosmóticas de las sales neutras. Esta toxicidad del Mg se puede atenuar con la presencia de concentraciones relativamente elevadas de iones de Ca en el sustrato.

El Ca en concentraciones bajas en el suelo genera clorosis al cultivo y el Potasio en concentraciones altas puede inducir deficiencias de Mg y clorosis por falta de Fe.

Los efectos generales de la riqueza en sales se muestran por la presencia de plantas raquíticas, enanas, aunque esto a menudo no se manifiesta claramente en el campo si no existen partes con pocas sales que actúen como testigos; pudiendo llegar las pérdidas a 20 % o más del rendimiento de la cosecha sin que el daño ocasionado por las sales se muestre de modo aparente al agricultor (Russell, 1968).

Una elevada proporción de sal alrededor de las raíces reduce marcadamente el poder de la planta para absorber agua. El descenso efectivo de la energía libre del agua en el suelo es la suma del debido a la presión osmótica de la solución del suelo y al menisco curvado aire-agua que enmarca su superficie libre, disminuyendo la facilidad con la cual la raíz de la planta puede extraer agua del suelo a medida que la energía libre de ésta disminuye. Por ello, el aumento de la presión osmótica de la solución del suelo equivale a aumentar la succión del agua retenida por 1, pero se necesitan más investigaciones antes de poder afirmar si esta es la única causa, o solamente una importante, de la reducción que ocasiona la presión osmótica en la velocidad de absorción de agua por las raíces.

Magistad y Reitemeier (1943), demostraron que si la solución del suelo retenido a 15 atmósferas de succión tiene una presión osmótica inferior a 2 atmósferas, es decir, si contiene menos de un 0.4% de sales disueltas, ningún cultivo sufre alteraciones por la sal; pero si la presión osmótica a dicha succión es de 10 atm, la mayor parte de ellos se enfrentan a cambios fisiológicos o metabólicos; si suponemos que la solución del suelo no





tenga cantidades apreciables de carbonatos o de borato sódico, la composición de las sales carece relativamente de importancia en comparación con sus efectos sobre la presión osmótica de la solución.

### **2.2.2.1. EFECTO DE LAS SALES SOLUBLES SOBRE LA ASIMILACIÓN DE NUTRIMENTOS**

La salinidad causa deficiencias nutrimentales, así al aumentar los niveles de salinidad, los rendimientos son menores. El alto contenido de sales afecta la absorción de los siguientes micronutrientes: Fe, Mn y Zn en cultivos como tomate y calabaza (Aceves, 1979).

La inhibición del crecimiento es manifestado mediante la reducción en la talla y producción de materia seca. Se han establecido diversas teorías para explicar estos daños:

1. **DISPONIBILIDAD DEL SUELO.-** Las sales van a disminuir la energía libre del agua reduciendo su disponibilidad para las plantas y afectando su crecimiento. Las sales aumentan la presión osmótica de la solución del suelo haciendo que la disponibilidad de agua a las plantas disminuya, generando una deficiencia de agua la cual afecta su crecimiento. Actualmente, ésta es la teoría más aceptada, las sales disminuyen la disponibilidad hídrica para el vegetal, lo que implica tallas reducidas en las plantas.

2. **INHIBICIÓN OSMÓTICA O AJUSTE OSMÓTICO.-** Barstein (1961) estableció que las plantas en condiciones salinas realizan ajustes osmóticos para mantener un gradiente favorable en sus células permitiéndole extraer agua del suelo. Durante el ajuste osmótico la planta consume energía, la cual en condiciones normales utilizaría en su crecimiento.

Se ha comprobado que las plantas dependiendo de la especie realizan ajustes osmóticos y aún así las plantas en condiciones salinas no manifiestan un mayor tamaño, por lo que no explica por que las plantas no crecen bajo estas condiciones, el consumo de energía es despreciable.

3. **TOXICIDAD ESPECÍFICA.-** Considera que los efectos tóxicos de las sales sobre las plantas se realiza por cambios sobre la actividad metabólica, que son producto de la acumulación de compuestos tóxicos formados debido a cambios producidos en la actividad enzimática, que ocasiona la acumulación de sustancias.

La toxicidad de las sales sobre las plantas o de algunos iones específicos se identifican en forma indirecta, al cambiar las cantidades de ciertas sustancias presentes en la célula o cambios ocurridos en ciertos procesos, no revelándose el mecanismo de toxicidad y por el que las plantas no crecen bajo estas condiciones al no haber una relación directa.

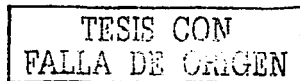
Considerando teorías y sintomatología en cultivos bajo condiciones de salinidad, algunas evidencias experimentales y algunas hipótesis, se ha propuesto otro enfoque.

Las plantas no crecen debido a que la división celular se ve afectada y la pared celular pierde plasticidad prematuramente, al aparecer en ellas, sustancias que le dan rigidez impidiendo el crecimiento, teniéndose plantas con menos células de tamaño reducido, por lo que las plantas presentan menor área foliar, como consecuencia hay menos transpiración, área fotosintética, una talla reducida y por lo tanto menor rendimiento de materia seca por planta (Campoy, 1990).

### **2.3. CULTIVOS TOLERANTES A LA SALINIDAD.**

La tolerancia de una planta a la sal puede ser menor cuando joven, pero elevada cuando está bien arraigada. La planta puede mantenerse viva en presencia de concentraciones salinas elevadas, pero crecerá poco en estas condiciones y sólo lentamente con contenidos moderados de sal, siendo por ello de poco valor comercial. La tolerancia a menudo se relaciona con la resistencia a los álcalis, alto pH, escasez de calcio, y capacidad de resistir un encharcamiento prolongado durante el riego, lo que es una consecuencia común de la alcalinidad.

La experiencia norteamericana reciente ha permitido una gradación de las especies cultivadas en tres categorías: tolerantes, moderadamente tolerantes y sensibles a las sales como se observa en el cuadro No.6. En él se presenta una muestra de tal gradación, agrupando a las plantas aproximadamente por orden de tolerancia a la sal en clases de frutos, de escarda y de prados temporales (Russell, 1968).



**CUADRO No.6 TOLERANCIA RELATIVA DE LAS COSECHAS A LA SALINIDAD**

<b>BUENA TOLERANCIA</b>	<b>TOLERANCIA MODERADA</b>	<b>SENSIBLES</b>
<p>Palmera datilera</p> <p>Cebada, Remolacha azucarera y forrajera, Colza, Col rizada, Algodón.</p> <p><i>Cynodon dactylon</i> y <i>Chloris guayana</i>, <i>Ornithopus sativus</i>.</p>	<p>Granado, Higuera, Olivo, Vid.</p> <p>Centeno, Trigo, Avena, Arroz, sorgo, Maíz, Patatas Guizantes.</p> <p>Meliloto, Ballico, <i>Trifolium fragiferum</i>, Alfalfa, <i>Dactylis glomerata</i></p>	<p>Peral, Manzano, Toronja, Almendro, Melocotonero, Albaricoquero. Habas, Judías verdes.</p> <p>Tréboles blancos, híbrido y rojo, trébol blanco ladino.</p>

Fuente: Russell, 1968

#### **2.4. RECUPERACIÓN DE SUELOS CON PROBLEMAS DE SALES.**

En los trabajos de mejoramiento de suelos se aplican metodologías basadas en mantener o transformar las características estructurales de su perfil, para obtener condiciones afines que faciliten la solubilidad y el transporte de las sales, fuera del espesor radicular ocupado por las plantas.

Aceves (1981), clasificó los métodos de recuperación para suelos en físicos, químicos, biológicos, eléctricos, hidrotécnicos y químico-hidrotécnicos.

Moctezuma (1987), describe las técnicas para la recuperación de suelos con problemas de sales de la siguiente manera:

##### **Técnicas básicas:**

- 1) Métodos Químicos.- Aplicación de correctivos químicos.
- 2) Métodos Hidrotécnicos.- Aplicación de láminas de lavado.

### **Técnicas auxiliares:**

- 1) Métodos Físicos.- Mejoradores orgánicos, vegetación tolerante, abonos y mejora de resistencia de cultivos.
- 2) Técnicas de Riego.- bordeos, láminas parciales, técnicas de riego.

La metodología aplicada en los trabajos de recuperación de las áreas de riego del país es la establecida por el Departamento de Ingeniería de Riego y Drenaje de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, la cual utiliza 4 diferentes métodos para mejorar las condiciones del suelo, estos son:

- 1.- Labores culturales (físicos).
- 2.- Mejoradores orgánicos o biológicos.
- 3.- Mejoradores químicos.
- 4.- Láminas de lavado y profundidad de drenaje.

La selección y aprovechamiento de ellos o de cada uno de estos métodos requiere del conocimiento de las características estructurales de los suelos, del tipo y clase de sales, del lugar, de las concentraciones más altas de las condiciones físicas del perfil, así como de la capacidad natural del drenaje.

#### **2.4.1. RECUPERACIÓN DE SUELOS SALINOS.**

La disminución del contenido de sales se lleva a efecto mediante la aplicación de "láminas de lavado", aprovechando que en este grupo de suelos los contenidos químicos de  $\text{Ca}^{2+}$  son dominantes sobre el  $\text{Na}^+$ , raras ocasiones requiere de mejoradores químicos, en su mejoramiento se utilizan principalmente los siguientes:

##### **1. Procesos Físicos:**

- a) Realización de labores culturales tendientes a la nivelación de la superficie del terreno para aplicar uniformemente el agua de riego.
- b) Uniformizar la permeabilidad mediante un barbecho con el fin de eliminar la posibilidad de tener diferentes grados de permeabilidad.



c) Utilización de implementos de labranzas profundas (cinceles o sub-suelos), para romper las posibles costras duras de  $\text{CaCO}_3$  y mejorar la fuente natural del Calcio.

d) Mejoramiento de los espesores de arcilla para activar el movimiento de las aguas con sales hacia abajo y mejorar la permeabilidad del suelo con la acumulación de sales de Calcio.

## 2. Técnicas de lavado:

El cálculo de la lámina de lavado consiste principalmente en alcanzar mediante agua el transporte de sales fuera del espesor que ocupa la zona radical de las plantas; así como también lograr menores valores de CE en el perfil, para reducir el efecto de la presión osmótica.

Para determinar los volúmenes de las láminas de lavado, se han propuesto una serie de fórmulas de cálculo y escala. Estas fórmulas y escalas poseen un carácter general y están diseñadas para determinar láminas de lavado para cualesquiera de las condiciones naturales de los suelos salinos (Díaz, 1986).

a) Fórmula de Volobuyev (1959)  $N = K \text{Log} (S_i/S_o)^{14}$

b) Fórmula de Panin (1968)  $Q_a = \Pi \text{cc} K L_n (S_i/S_o)$

c) Fórmula de Safonov (1976)  $Q_a = 28.6 \Pi \text{cc} (S_i - S_o/S_i)^{2.7}$

d) Fórmula de Rhoades (1974)  $D_{lw}/D_s = C_{el}/5(C_{ef}) + 0.15$

e) Fórmula de Sejas (1978)  $L = 9.0 (p)^{0.75} \times (70 - C_{el}/C_{el} - C_{ef})^{0.30} \text{log} (CE/CE_f)$

Donde:

N= norma de lavado,  $\text{m}^3/\text{ha}$

K de Volobuyev= 10,000 cuando  $N = \text{m}^3/\text{ha}$

K de Panin= coeficiente que expresa la dependencia de lixiviar sales de los suelos con respecto a la composición química de las sales.

$\Pi \text{cc}$  = contenido de humedad a capacidad de campo,  $\text{m}^3/\text{ha}$ .

$\Pi \text{ccs}$  = contenido de humedad a saturación,  $\text{m}^3/\text{ha}$

Si= contenido inicial de sales del espesor del suelo considerado, expresado en % o ton/ha.

So= contenido final de las sales del espesor del suelo considerado, expresado en %, o ton/ha.

Dlw/Ds= lámina de lavado por profundidad de lavado.

Cei= salinidad inicial en el suelo antes del lavado,  $dSm^{-1}$

Cef= salinidad final en el suelo después del lavado,  $dSm^{-1}$

Cer= conductividad eléctrica en el agua de riego,  $dSm^{-1}$ .

### **3. Procesos biológicos:**

Se selecciona cultivos semi-tolerantes para la última fase del lavado, principalmente aquellos que presentan alta germinación en suelos con salinidades cuya conductividad eléctrica en el extracto de saturación varían de 10 a 20  $dSm^{-1}$ .

El método por el cual se obtienen mejores resultados es proporcionando láminas pequeñas e intermitentes sobre franjas con menos anchura y longitud para manejar mejor el agua aplicada.

#### **2.4.2. RECUPERACIÓN DE SUELOS SALINO-SÓDICOS.**

Se han previsto la utilización de algunos métodos, así como mejoradores químicos y orgánicos que mantengan las buenas condiciones físicas y químicas del suelo.

##### **1. Métodos físicos:**

La secuencia de las labores culturales tiene que ser distinta cuando los suelos presentan diferentes características químicas C.E. ( $dSm^{-1}$ ), pH y según el contenido de sales (ver cuadro No. 7).

##### **2. Métodos químicos:**

Los mejoradores químicos deberán agregarse antes de aplicar los lavados complementarios de 20 hasta 30  $dSm^{-1}$ , para que los análisis químicos proporcionen valores más reales de la necesidad del mejorador.

### 3. Láminas de lavado:

Se calculan en forma semejante que los "suelos salinos" utilizando las fórmulas propuestas. Es conveniente utilizar aguas con calcio en la aplicación del riego, pero cuando este no es posible, sin duda el mejoramiento total necesitará de la aplicación de mejoradores y un lavado mucho más largo.

### 4. Proceso biológico:

Es semejante a la de los "suelos salinos", aún que han dado muy buenos resultados cuando los cultivos seleccionados se asocian con una rotación de abonos verdes.

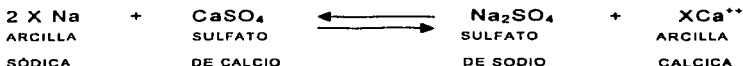
**CUADRO No.7 MÉTODOS FÍSICOS DE REHABILITACION DE SUELOS.**

C.E.(dSm <sup>-1</sup> ) > 30 y PSI>15 %	C.E.(dSm <sup>-1</sup> ) < 30 Y PSI>15 %
CINCELEO	CINCELEO
BARBECHO	BARBECHO
RASTREO	RASTREO
EMPAREJAMIENTO (IMPORTANTE)	EMPAREJAMIENTO
BORDEO	APLICAR MEJORADORES
CANALIZACIÓN	BORDEO
APLICACIÓN DE LÁMINAS DE LAVADO HASTA 30 dSm <sup>-1</sup>	CANALIZACIÓN
SECADO	APLICAR LÁMINAS DE LAVADO
SIEMBRA DE CULTIVO (CUANDO LA SALINIDAD BAJE A 30 dSm <sup>-1</sup> )	DETERMINACIÓN DE LABORATORIO
RASTREO	SIEMBRA DE CULTIVO.
APLICACIÓN DE MEJORADORES	
BORDEO	
APLICACIÓN DE LÁMINAS DE LAVADO	
DETERMINACIÓN DE PARAMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL SUELO.	
SIEMBRA DE CULTIVO	

### 2.4.3. RECUPERACIÓN DE SUELOS SÓDICOS.

Son sin duda los más difíciles de recuperar y más caros, se requiere proporcionar calcio soluble en el suelo o bien aumentar la solubilidad del ya existente, con el fin de mejorar la permeabilidad del suelo.

Basados en que el proceso de recuperación de suelos sódicos tiene como base, desplazar del complejo coloidal del suelo al ión sodio ( $\text{Na}^+$ ), ya sea agregando calcio o removiendo al calcio existente en el suelo, se ha fijado el siguiente lineamiento que es necesario que se verifique la siguiente reacción:



#### 1. Métodos físicos:

En estos suelos como el porcentaje de arcilla es alto se agudiza el deterioro estructural, la baja penetración del agua y las raíces y consecuentemente una infiltración casi nula.

Con lo anterior, la penetración del agua es muy lenta y el intercambio de los productos químicos difícilmente entra en función. Sin embargo, la penetración de estos requiere de la utilización de implementos agrícolas más pesados y de arados de sub-suelo y/o "tapas" que benefician la permeabilidad en un espesor de cuando menos 0.60 m.

El problema se agudiza cuando la posición del estrato deteriorado se presenta a una profundidad mayor de 0.80m, donde la penetración de los implementos de "sub-suelo" normales no llegan a destruirlo.

#### 2. Métodos químicos:

El criterio para estimar la selección y aplicación de los mejoradores químicos, está sujeta a 3 principios:

1) Tipo de mejorador según el suelo que se aplica.



2) Cálculo del mejorador en atención al mejorador seleccionado y las características químicas del suelo.

3) Aspecto Económico: En atención al costo de la cantidad requerida de mejorador.

## **2.5. GENERALIDADES DE LOS LODOS RESIDUALES.**

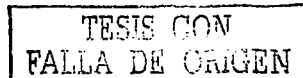
### **2.5.1. DISPOSICIÓN FINAL DE LOS LODOS RESIDUALES.**

El tratamiento de las aguas residuales mediante lodos biológicos activos, produce como resultado agua residual tratada y lodos residuales. El agua puede ser utilizada en riego agrícola o en otros usos según su calidad. En cambio los lodos una vez eliminados del proceso de tratamiento deben manejarse como residuos sólidos y su disposición final debe hacerse en forma sanitaria para evitar la contaminación del suelo y los acuíferos.

Aun cuando los lodos residuales contienen materiales contaminantes, las empresas que los manejan no siempre aplican las medidas sanitarias para evitar riesgos, en algunos casos no disponen del equipo para desecar el lodo, de tal forma que los lodos residuales son eliminados del proceso como suspensión con un contenido de 2 a 5 % de sólidos sedimentables, esta suspensión se dispersa en el suelo hasta su anegación, el resto se descarga al mismo cuerpo receptor donde se vierten las aguas tratadas. En otros casos, el lodo se deposita en un terreno y cuando se rebasa la cantidad de acumulación en el área, los lodos se transportan a otros sitios y se disponen sin tomar las medidas sanitarias; otro caso conocido es el vertimiento de lodos residuales a cuerpos receptores motivado por fallas en el equipo de filtrado y prensado para eliminar los excedentes de agua.

Lo anterior refleja una problemática ocasionada por falta de una tecnología para el manejo de lodos y por el desconocimiento de las características físicas, químicas y biológicas de estos residuos que permitan cuantificar los contaminantes orgánicos, evaluar su toxicidad y proponer medidas de prevención y control de la contaminación que pueden causar.

Por otra parte, las inversiones económicas para el tratamiento de las aguas residuales y los esfuerzos que presentan, pierden su significado cuando las empresas que operan las plantas de tratamiento vierten los lodos en el mismo cuerpo receptor donde descargan las



aguas tratadas o bien cuando los vierten en solución sobre un suelo donde se van formando costras de lodo por desecación y filtración, estos suelos con el tiempo quedarán inutilizados para sustentar cualquier tipo de vegetación, además desde el punto de vista de la ingeniería civil, pueden llegar a ser suelos mecánicamente inestables con problemas para la construcción.

La Planta de Tratamiento de Aguas Negras de la Gerencia del Ex Lago de Texcoco genera 225 Kg de lodos residuales por cada 1,000 m<sup>3</sup> de agua tratada, con un promedio de 19.4 ton de lodo/día, con una humedad promedio de 95%. Desde 1983, los lodos generados por esta planta de tratamiento, se han estado depositando a cielo abierto en un terreno aledaño a la planta. El agua residual tratada se utiliza en riego agrícola y una parte se descarga al Río Churubusco (S.A.R.H.-I.M.T.A., 1987).

### **2.5.2. ALTERNATIVA PARA EL USO DE LODO RESIDUAL.**

En suelos la aplicación de residuos y de lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ha sido practicada en muchos países. La utilización agrícola beneficia el municipio generador de lodos siempre que sea ambientalmente aceptable como medios de deposición. El beneficio para el granjero (o campesino) al utilizar o emplear los lodos residuales será siempre que sustituya o suplemente a los fertilizantes convencionales.

Los investigadores en la Universidad del Estado de Nuevo México (UMSU) confirman el valor nutricional y el suelo acondiciona las propiedades del lodo (Mc Caslin y O'Connor, 1982). Los microbios liberan esencialmente macronutrientes de los lodos, mientras la desmineralización del lodo libera micronutrientes para las plantas (O'Connor, 1988).

Los metales pesados (Cd, Ni, Pb, Cr) son fuerte e irreversiblemente adsorbidos o precipitados como sales muy insolubles (O'Connor, 1984). Cuando los lodos son adicionados en proporciones razonables, los niveles traza de metales pesados son fuertemente adsorbidos por los minerales arcillosos y la materia orgánica. La reacción es altamente energética (rápida adsorción como es esencialmente irreversible, otros metales son precipitados como sales muy insolubles en suelos con alto pH. Ciertamente el pH es un buen amortiguador, un alto pH es probable que permanezca y los metales son permanentemente removidos de la solución. Los metales pesados no están disponibles



para las plantas (no tóxicos, niveles metálicos no excesivos en plantas) e indisponibles en el agua.

Los compuestos orgánicos tóxicos en el lodo que son (PCBs, DEHP) están muy fuertemente ligados a la superficie extensiva de los suelos, especialmente en la materia orgánica (O'Connor y Fairbanks, 1982). Los microorganismos atacan algunos compuestos (2,4,DNP, PCP) y son rápidamente degradados a pequeños compuestos no disponible para la planta (O'Connor, 1988).

El suelo ha demostrado su habilidad para aceptar y asimilar toda clase de desechos. Muchas de las propiedades que hacen un suelo excelente para el crecimiento de las plantas (desarrollo de carga, área superficial extensiva, población microbiana dinámica, capacidad amortiguadora del pH) también lo hacen excelente para aceptar desechos.

Por esta razón, los desechos no necesitan, o mejor dicho no deberían, ser concentrados en sitios específicos de almacenamiento, donde se incrementan las oportunidades para que se produzca un movimiento de las sustancias contaminantes que contienen. Una alternativa al manejo anterior es su aplicación en dosis bajas a sistemas suelo-planta, donde la capacidad de asimilación del propio sistema permite resolver el problema de los contaminantes.

Cuando la aplicación de desechos al suelo se maneje responsablemente, los lodos residuales del drenaje, los ácidos concentrados y los materiales derivados del petróleo no provocan problemas que amenacen la seguridad, la clave del asunto consiste en hacer coincidir las características del residuo y la carga de aplicación con la capacidad de asimilación del suelo. Si esto se logra, una gran proporción de los metales pesados es retenida en forma no disponible, y los compuestos orgánicos son degradados o fuertemente retenidos. De esta manera se minimiza la toxicidad y la contaminación de los cuerpos de agua subterráneos (O'Connor, 1988).

## 2.6. ANTECEDENTES.

Hilgard (1906) citado por Rámirez (1988) fue uno de los primeros en reconocer el significado de ciertas plantas como indicadores de las características de los suelos y en utilizarlas para determinar la utilidad agrícola de los suelos salino-sódicos.

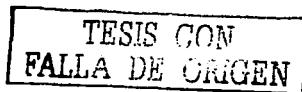
Guerrero (1961) y Díaz (1982) citados por Rámirez (1988) estudiaron en laboratorio el efecto del azufre en suelos del Ex Lago de Texcoco, y aunque Guerrero concluye que el desarrollo de las bacterias oxidantes del azufre se inhibe en suelos extremadamente ensalitrados Díaz encontró que en suelos del Ex Lago con niveles menos críticos de afectación, la transformación de azufre era eficiente.

Ureña (1975) comparó 5 mejoradores, en un experimento de campo con suelos muy afectados del Ex Lago; en general no encontró efectos significativos de los mejoradores, pero posiblemente se debió a la utilización de dosis elevadas de mejorador a la vez que se usaron láminas de lavado bajas.

Ortega (1976) realizó un trabajo de investigación sobre los cambios físico-químicos de suelos del Ex Lago de Texcoco, sometidos a lavado con diferentes soluciones salinas, entre sus conclusiones menciona que las aguas freáticas del Ex Lago con sus altas concentraciones electrolíticas ofrecen una posibilidad de uso para lavado de suelos a través de diluciones con agua de lluvia, sin propiciar abatimientos considerables en la conductividad hidráulica.

Sejas (1978), estudio los efectos de lavado sobre algunas propiedades de suelos del Ex Lago de Texcoco usando aguas de diferentes concentraciones y composición iónica. Concluye que es posible recuperar los suelos ensalitrados del Ex Lago con base a lavados exclusivamente hasta un cierto límite o concentración en el cual no se afecte la conductividad hidráulica del suelo, pudiendo utilizar posteriormente otros métodos de recuperación que contemplen la aplicación de mejoradores.

Rasco (1979) compara cuatro mejoradores en otro experimento en campo, añadió al suelo después de aplicar un lavado de 2 m de agua y plantando a continuación especies arbóreas. Aunque en algunas variables no se manifestó respuesta, la supervivencia de los árboles un año después de plantados fue mejor donde se aplicó yeso o azufre; sin



embargo en este experimento también se tuvieron circunstancias que pudieron impedir una adecuada manifestación de efectos del mejorador.

A partir de 1981 se iniciaron varios trabajos experimentales en la Comisión del Lago de Texcoco sobre recuperación de suelos, y las conclusiones y experiencias de 3 experimentos (Becerra, 1983; Anguiano, 1984; Serrano, 1985) son las siguientes:

1. Es técnicamente factible recuperar los suelos del lado este del Ex Lago de Texcoco mediante la incorporación de azufre y lavado eficiente con aguas negras.
2. Con sólo aguas negras es posible lavar suelos del Ex Lago hasta niveles de salinidad por de bajo de  $10 \text{ dSm}^{-1}$ .
3. Al pretender recuperar suelos del Ex Lago, es importante considerar entre otros aspectos, la disminución del pH y la modificación de la composición en la solución del suelo, pues los niveles comúnmente presentes en estos suelos son críticos para el desarrollo de los cultivos.
4. En general los suelos del Ex Lago presentan baja conductividad hidráulica, sobre todo en donde el jaboncillo está en su nivel original de hidratación; por esta razón, al pretender drenarlos con fines de recuperación se requiere drenes con separaciones tan bajas como 10-20 m.
5. El drenaje parcelario subterráneo ofrece algunas ventajas sobre drenes a cielo abierto, pues éste implica altos costos de mantenimiento y reduce fuertemente el área útil para cultivo cuando los drenes están poco separados.
6. El mejor indicador de la mejora alcanzada en un suelo bajo recuperación, es el desarrollo de un cultivo, pues las variables químicas del suelo consideradas aisladamente pueden conducir a conclusiones erróneas.

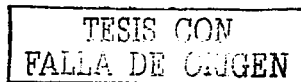
Anguiano (1984), probó una variante del método hidrotécnico en la rehabilitación de los suelos salino-sódicos del Ex Lago de Texcoco utilizando diluciones de agua freática salina con aguas residuales de la Ciudad de México. Concluyó que la combinación de aguas residuales y aguas freáticas presentan efectos positivos en la rehabilitación de dichos suelos cuando se aplican láminas grandes; las aguas residuales fueron más eficientes en la recuperación de estos suelos. La eficiencia de los lavados se incrementó cuando se

utilizó menor número de diluciones, disminuyendo su efecto a medida que la conductividad eléctrica del suelo disminuía; por último las condiciones resultantes del suelo después de aplicar los lavados, fueron todavía inadecuados para que se desarrollaran los cultivos semitolerantes.

Richards (1985) cita Flowers que indica que un reconocimiento vegetal puede ser útil para la evaluación de una área si hay datos cuantitativos disponibles relativos al suelo, a la ecología y fisiología de las plantas indicadoras. Sin embargo, se debe tomar ciertas precauciones en el uso de las plantas indicadoras como una base para el diagnóstico de los suelos salino y sódico

Llerena y Solano, (1990) realizaron un trabajo sobre "Utilización de lodos residuales de plantas de tratamiento de aguas residuales para la producción de especies forestales". En este se logró generar una metodología para utilizarlos como sustrato en la producción de especies forestales en vivero. Consiste en realizar una serie de actividades que son: obtención de lodo, deshidratación, preparación de mezclas (lodo+tierra de monte), composteo, lavado de exceso de sales y utilización como sustrato para vivero. Y las conclusiones a las que llegaron fueron:

- a) Los suelos obtenidos con un sistema experimental, aportan los parámetros de diseño para el aprovechamiento total de lodos de la planta de tratamiento del Ex Lago de Texcoco.
- b) Con la metodología de composteo utilizada, puede lograrse la estabilización de lodos y eliminar los patógenos a niveles no dañinos para el hombre y sin riesgo para los vegetales, con lo que se transforman en un producto con propiedades favorables para ser usados como sustrato para vivero.
- c) El contenido de humedad de los lodos al momento de preparar la mezcla, depende del material a adicionar; en el caso de la mezcla de lodos más tierra de monte el contenido de humedad deberá ser de 35 al 50 %.
- d) La mezcla de lodo más tierra de monte proporción 3:1 fue con la que mejores resultados se obtuvo en los procesos de composteo y pruebas en vivero, por lo que su utilización en forma masiva podría abatir las necesidades de tierra de monte del vivero en un 70 %.



e) La lámina de riego promedio necesaria para lavar las sales contenidas en los lodos que se generan en el Ex Lago de Texcoco es de 3.0 m.

En el presente trabajo, el cultivo que se empleó como indicador del cambio de las propiedades del suelo salino-sódico del Ex Lago de Texcoco después de haber sido tratado con lodo residual fue, la *Avena sativa* L, ésta se clasifica como un cultivo con tolerancia moderada a la salinidad (Russell, 1968).

## **2.7. GENERALIDADES DEL CULTIVO AVENA (*Avena sativa* L.)**

### **2.7.1. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS.**

Es originaria del Asia menor, planta herbácea anual hasta de 1.4 m. de altura; lígula hasta de 5 mm de largo, láminas foliares hasta de 45 cm de largo y 2 cm de ancho; panícula piramidal o contraída y unilateral, hasta de 40 cm de largo, espiguillas de 1.6 a 3 cm de largo, por lo general con 2 flores; glumas subiguales, agudas, 7 a 9 nervadas; lema de 1.2 a 2.5 cm de largo, emarginada o bidentada en el ápice, por lo general glabra, con arista a menudo nula o reducida (con frecuencia una por espiguilla), a veces hasta de 4 cm de largo, comúnmente recta y poco torcida, pálea un poco más corta que la lema; grano de 8 a 11 mm de largo (Rzedowski, 2001).

### **2.7.2. CONDICIONES ECOLÓGICAS.**

#### **DISTRIBUCIÓN**

Se distribuye entre los 65° latitud Norte y 45° latitud Sur, exceptuando las regiones ecuatoriales cálidas y húmedas. La avena es un cultivo que se encuentra desde altitudes de 6 a 3000 m.s.n.m. (Clerici, 1972 y Robles, 1978).

Se adapta a gran variedad de climas secos y presenta cierta tolerancia al frío, siendo su mejor adaptación a lugares de clima templado. Se puede cultivar en climas semicálidos templados y fríos, en climas semicálidos puede presentar una prematura maduración del grano al estar en desarrollo masoso-lechoso; en climas calientes y húmedos se presentan incidencias de enfermedades; roya del tallo y hoja (López, 1986)

## TEMPERATURA

Existe una relación directa entre el crecimiento y la temperatura en esta especie, para un rango de temperatura entre 10-20 °C, el crecimiento es continuo y se detienen a los 4.4 °C, cuando la temperatura asciende a 7.2 °C nuevamente se reinicia el crecimiento (Medina, 1986; Elizondo, 1976).

Temperaturas mayores de 33 °C durante la floración dan lugar a la marchitez o a la caída de las flores, es decir, no es tolerante al calor. Los límites de temperatura para la avena son: mínima 4-8 °C, óptima 25-31 °C y máxima 31-37 °C.

## HUMEDAD

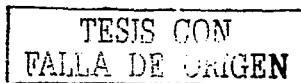
La avena es muy exigente en agua por tener un coeficiente de transpiración elevado, aunque le puede perjudicar un exceso de humedad. Por esta razón la avena exige primaveras muy abundantes de agua, y cuando estas condiciones climatológicas se dan, se obtienen buenas producciones (Guerrero, 1981).

Parece ser que las precipitaciones bien distribuidas influyen en su producción más que el suelo. Necesita cierta humedad, y el éxito de su cultivo, en seco, está condicionado a la aptitud del terreno para retener el agua y a las prácticas culturales conducentes a su conservación (Sánchez, 1972).

## SUELO

La *Avena sativa* L. se desarrolla en diferente tipo de suelo cuando los factores de temperatura y humedad son favorables. Requiere suelos franco-ligeros o franco-arcillosos, y es más propia de ser cultivada en tierras de secano que de riego. Es una de las especies menos exigentes en fertilizantes, la cantidad de éste depende de las características del suelo en fórmulas equilibradas. Se produce muy bien en suelos frescos de aluvión (Baudillo, 1983; Sánchez, 1972).

Respecto al pH: Se desarrolla perfectamente en terrenos recién roturados, con pH de 5.5 a 7.0, que es el índice de acidez más adecuado. Por consiguiente no debe cultivarse en terrenos calizos (Sánchez, 1972 y Guerrero 1981).





**PLAGAS Y ENFERMEDADES:** Sufre la avena en el granero ataques de gorgojos, aunque son bastante menos intensos que en trigo. A la avena le ataca el carbón vestido (*Ustilago levis*), mismo que se comporta de un modo parecido al tizón del trigo (*T. caries*), y por lo cual puede desinfectarse por vía húmeda con sulfato de cobre, para prevenir la enfermedad al año siguiente aunque, el tratamiento es complicado.

También le ataca el carbón desnudo que destruye toda la panícula, dejando sólo el eje central. Es específica de la avena la roya anaranjada de la avena (*Puccinia coronifera*). Los uredosoros son de un color anaranjado vivo. Las pisculas son a veces pequeñas y otras alcanzan casi el tamaño de un centímetro. Puede causar daños importantes (Guerrero, 1981).

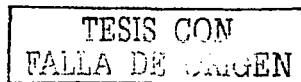
### 2.7.3. CICLO DE VIDA.

**LA GERMINACIÓN:** Requiere de una temperatura óptima de 25°C, si la temperatura se excede, se presenta una germinación irregular, la temperatura mínima es de 3.9 a 5 °C. En condiciones favorables se inicia entre 4 y 5 días después de la siembra, pudiendo haber diferencias en la velocidad de ésta.

**EL CRECIMIENTO DE LAS RAÍCES:** Son de tipo fibrosas y el sistema principal de raíces brota adventiciamente de los nudos del tallo principal y de los tallos secundarios, los cuales se encuentran bajo la superficie del suelo (Coffman, 1961; Martínez, 1981).

El macollamiento presente en cada planta de 3 a 5 macollos, los cuales son huecos. Principia cuando el tallo principal incrementa su tamaño y su número de hojas. Son producto del desarrollo de las yemas axilares de las hojas para formar brotes, cuyos entre nudos permanecen muy cortos, al igual que aquellos del tallo que proceden. El establecimiento de siembras demasiado profundas reduce el amacollamiento además de características varietales, bajas densidades de siembra promueven el amacollamiento, densidades elevadas lo reducen así como el tamaño de semilla pequeña comparada con las que producen de semilla grande, la fertilidad y la humedad del suelo en condiciones óptimas la estimulan, al igual que las bajas temperaturas del suelo y del aire al principio del cultivo (Reeves, 1976; Chapman, 1976).

Cerca del amacollamiento principia la parte reproductiva. La panícula inicia su formación



cerca de los 22 a 36 días después de la siembra, dependiendo de la variedad, la fecha de siembra y las condiciones posteriores a la siembra. Apparently la precocidad de la variedad conjuntamente con el fotoperiodo y la temperatura son los factores principales que determinan el inicio de la panícula. El tallo es una caña herbácea y herguida con nudos llenos y entrenudos huecos en números de 4 a 8, generalmente crecen de 0.6 a 1.5 y tienen de 3 a 5 tallos cada mata, que varían de 0.32 a 0.64 cm de diámetro (Díaz del Pino, 1953, Elizondo, 1976 y Clerici, 1972).

**FLORACIÓN:** La inflorescencia inicial puede ser observada en un estado avanzado de la planta, la panoja no emerge de la vaina de la hoja envolvente, se presenta hasta las 6 o 7 semanas (Coffman, 1961 y Medina, 1986).

En resumen, en relación con los cambios morfológicos el ciclo de vida de la avena se divide en 4 etapas, donde cada una de estas se distingue de la otra por las características siguientes:

**ETAPA VEGETATIVA:** Se producen hojas, brotes, retoños axilarmente y el sistema permanente de raíces (adventicias) inicia su desarrollo, el ápice de tallo principal brota primero y los demás tallos alrededor de la punta, el sistema de entrenudos es usualmente corto.

**TRANSICIÓN:** Es de corta duración y dificulta la identificación en avena, puesto que solo consiste en una ligera elongación del ápice del tallo que procede a la formación de la panícula.

**REPRODUCTIVA:** La panícula y sus partes se diferencian y desarrollan, los entrenudos del tallo se alargan.

**MADUREZ:** Se inicia con la fecundación y termina con la madurez del fruto (Medina, 1986).

#### **2.7.4. PREPARACIÓN DEL TERRENO.**

Es frecuente que la avena sea un cultivo muy poco cuidado, tanto en labores preparatorias como en abono, sin embargo, si se abonara y preparara el terreno con más esmero, la avena sería capaz de tener producciones relativamente altas, sobre todo en los años de primavera lluviosas (Guerrero, 1981).



Por lo tanto es importante proporcionar a la semilla una buena "cama de siembra", preparando bien el terreno (barbecho y rastreo), principalmente en cultivos de semilla pequeña como la avena, en donde no se darán labores posteriores (S.A.R.H., 1982).

#### **2.7.5. FORMA DE SIEMBRA.**

La siembra puede hacerse con maquina sembradora o manualmente "al voleo". Si se cuenta con sembradora conviene depositar la semilla a una profundidad de 4 a 5 cm, si se siembra al voleo y se va a usar riego por gravedad se recomienda hacerlo en melgas de 4 a 6 m de ancho; o sin melgas en siembra de temporal, o cuando se emplea riego por aspersión. En siembras al voleo, la "tapa" se puede hacer mediante el uso de una rastra de discos, picos o ramas, a la cual se le añade en la parte de atrás un tablón, o un pedazo de siel para que el suelo quede parejo (S.A.R.H.,1982).

La cantidad de semilla empleada suele ser muy variable, considerando una dosis corriente de 80-100 Kg/ha (Guerrero, 1981).

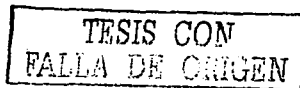
#### **2.7.6. COSECHA.**

El momento oportuno para el corte, tanto si se consume en verde o si se henifica o ensila, es al inicio de floración hasta el estado lechoso-masoso del grano (no endurecido), ya que después de esta etapa disminuye la calidad del forraje y el rendimiento no se incrementa (S.A.R.H., 1982; Baudillo, 1983).

#### **2.7.7. APROVECHAMIENTO.**

Se cultiva para la obtención de grano o como especie forrajera. En su calidad de forraje puede consumirse en estado verde, henificada ensilada, constituyendo en cualquier estado un forraje apetecible y digestible para el ganado bovino y equino, y en particular para las vacas lecheras, por la notables cantidad de azúcar que contiene (Baudillo, 1983).

El grano es un magnífico alimento para el ganado equino, vacuno y ovino. Es buena para animales de trabajo y reproductores por su alto contenido en vitamina E. Se emplea también en productos dietéticos para la alimentación humana, así como en fabricación de alcohol y bebidas (Guerrero, 1981).



### 2.7.8. CONTENIDO BROMATOLÓGICO.

Analizando este forraje en estado verde, en el momento señalado, en el cuadro No. 8 se observa el contenido bromatológico que ofrece como término medio (Baudillo,1983).

**CUADRO No. 8 CONTENIDO BROMATOLÓGICO DE LA AVENA  
EN ESTADO VERDE**

CONTENIDO QUÍMICO	PORCENTAJE
AGUA	82-88 %
MATERIA SECA	17.8-18.1 %
PROTEÍNA DIGESTIBLE	1.7-2.0 %
GRASAS	0.4-0.6 %
EXTRACTOS INAZOADOS	8.9-9.5 %
FIBRAS	5.8-6.5 %
CENIZAS	1.6-1.7 %

### 2.8. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

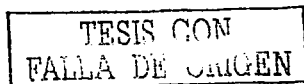
La zona del Ex Lago de Texcoco comprende una superficie de aproximadamente 10 000 ha (ver figura No.1), de las cuales la mayor parte ya presentan condiciones adecuadas de recuperación (establecimiento de vegetación).

**GEOGRAFÍA:** Se sitúa dentro del Valle de México y ocupa la parte Sur de la mesa central de la República Mexicana, quedando dentro de las coordenadas 19°22' y 19°37' latitud Norte, 98°54' y 99°03' latitud Oeste.

La zona abarca los municipios de Texcoco, Tezoyuca, Acolman, Atenco, Chicoloapan, Chimalhuacan, Ecatepec y la Paz en el estado de México, limitando con el D.F. en la parte este.

**CLIMA:** La zona se encuentra situada al sur del paralelo 20° N, ubicándola geográficamente dentro de la zona tropical, sin embargo, el hecho de estar a una altitud de los 2200 m.s.n.m. la hacen presentar características de una zona templada.

Con base a la clasificación de Thorthwaite el clima de la zona se ubica como C<sub>1</sub>d, B<sub>2</sub>O;



semiseco con pequeña o nula demasía de agua, templado frío con baja concentración térmica en verano. El periodo de lluvias se presenta en los meses de mayo, octubre y la estación seca hacia finales de octubre y abril.

La distribución de lluvias (precipitación) es en forma y torrencial, siendo julio el mes más lluvioso y febrero el de mínima precipitación.

De acuerdo al sistema de Köppen modificado por Enriqueta García (1974), el clima corresponde; Bs kw (x)(i): semiseco con verano fresco, la temperatura del mes más caliente superior a los 18 °C, lluvioso en invierno con un total de lluvias menor del 5% del total anual.

Se presentan diversos tipos de vientos; de altura, rasantes, polares, del sureste y convectivos. La presencia de heladas es en los meses de noviembre y abril (Velázquez, 1981).

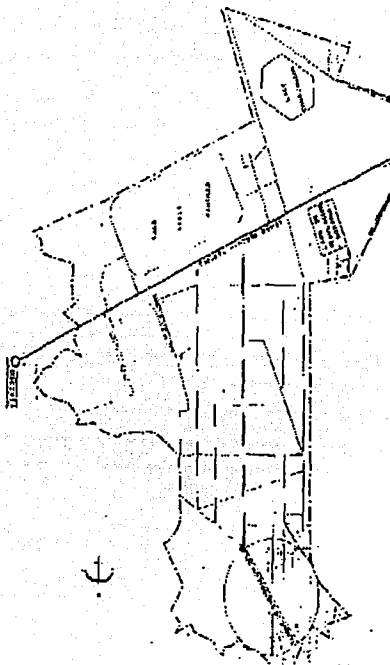
**SUELOS:** Con base a la clasificación de suelos de FAO-UNESCO modificado por INEGI, el área presenta tres clases de suelos dominantes en la superficie dentro de la zona: andosol, litosol y chernozems.

**HIDROLOGÍA:** A la zona confluyen por el norte los ríos: San Juan Teotihuacan, Papalotla, Xalapango, Coxacoaco, Texcoco, Chapingo, San Bernardino, Santa Mónica y Coatepec; por el sur los ríos: San Francisco, La Compañía y Churubusco.

Característica de la zona es la existencia de un acuífero de alta concentración salina, localizado a una profundidad de 30 cm.

**VEGETACIÓN:** Presenta una vegetación inducida, adaptada por sus características fisiológicas y anatómicas, siendo las especies en la zona: *Bouteloua* sp (planta herbácea), *Muhlenbergia repens* (zacatón), *hordeum jubatum* (cola de zorrillo), *Cynodon dactylon* (pata de gallo) y *Chenopodium* sp (quelite), *Distichlis spicata* (pasto salado), *Eragrostis obtusiflora* (pasto), *Suaeda nigra* (romero); flotantes como *Lemna gibba* (lentejilla de agua, chichicastle), *Eichhornia crassipes* (lirio acuático); y plantas que fueron inducidas como la *Casuarina* sp y *Tamarix* sp (Rzedowski, 2001).

FIGURA No.1  
PLANO DEL EXLAGO DE TEXCOCO



### III. METODOLOGÍA.

El área experimental se ubica al norte de la Planta de Tratamiento de Aguas Negras (P.T.A.N.) en la zona Federal del Proyecto Lago de Texcoco (ver fig. No. 2). En este sitio se establecieron las 18 unidades experimentales de 5X5 m, encontrándose separadas por bordos de 1.5 m de ancho (ver figura No.3). Así también se contó con un canal rústico para conducción de lodos residuales de la P.T.A.N. hacia las parcelas. Unido a este se construyeron 6 canales que desembocan en las parcelas. Esto con la finalidad de proporcionar la dosis respectiva de los lodos residuales (ver fig. No. 3).

Se usaron 5 dosis de lodo residual con 90% de humedad; 0.92, 1.83, 2.75, 3.66 y 4.5 toneladas de lodo residual/ha. Cada dosis se trabajó por triplicado, dejando un grupo de tres parcelas testigo, cada parcela o repetición representa una unidad experimental. El diseño experimental consistió en un factorial de 6 tratamientos con tres repeticiones, haciendo un total de 18 unidades experimentales.

La dosis de lodo residual representaron el 10, 20, 30, 40 y 50 % del peso seco de suelo, considerando una capa arable de 30 cm de profundidad. La distribución de los tratamientos se hizo en bloques al azar, quedando como se indica en la figura No. 2.

Se realizó un muestreo del suelo previo al tratamiento, obteniéndose 3 muestras originales y formando una muestra compuestas a 3 profundidades; 0-10, 10-20 y 20-30 cm, abarcando el área total que conforman las parcelas empleando el método aleatorio complejo complementando con observaciones en el campo (Peterson y Cavin, 1965; Cuanalo, 1971). Adicionalmente se realizó la apertura de un perfil de suelo, tomando muestras de cada 10 cm hasta 2.3 m de profundidad, se describió morfológicamente y se caracterizó con el fin de evaluar las reservas de sales en la zona y así elaborar el perfil salino, esto permitió conocer la gravedad de la potencialidad del problema del suelo del Ex Lago de Texcoco.

Se caracterizó el lodo residual tomando muestras en el canal de distribución a las unidades experimentales utilizando frascos de vidrio de boca ancha de 1000 ml. Esto se realizó en el tiempo que duró el suministro de lodos a las unidades experimentales (3 muestras en promedio).

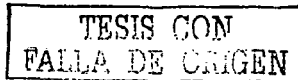
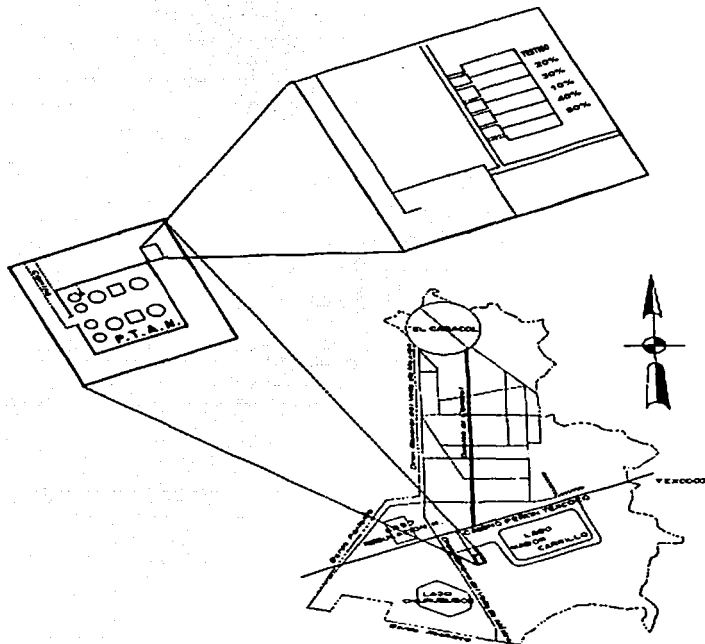


FIGURA No. 2 LOCALIZACION DE LA ZONA EXPERIMENTAL





Después de la aplicación de las diferentes dosis de lodos residuales en las parcelas, se procedió de la siguiente manera: mezclar el lodo con el suelo hasta homogenizarlo, se realizó manualmente con pala.

Para caracterizar el sustrato después de los tratamientos, se obtuvieron muestras compuestas de cada parcela experimental de 0-30 cm de profundidad, procediendo de la misma forma que para la estimación inicial.

Posteriormente se estableció el cultivo *Avena sativa* L., como indicador biológico de la nueva condición del terreno, para lo cual se efectuaron las labores culturales necesarias para su desarrollo. Así mismo se registraron datos de: fecha de emergencia, porcentaje de emergencia, número de vástagos, altura y densidad de planta, además se determinó la productividad expresada en biomasa peso fresco y seco del cultivo. Estas variables se evaluaron al término del experimento excepto la altura que se cuantificó a lo largo de su desarrollo.

Finalmente se volvió a caracterizar el suelo tratado con lodo residual después de la cosecha del cultivo, tomando muestras de 0-10, 10-20 y 20-30 cm de profundidad de la misma manera antes mencionada.

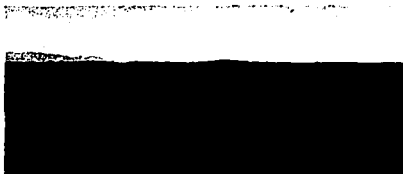
Los datos cuantitativos de las variables evaluadas del cultivo recibieron un tratamiento estadístico de Análisis de Varianza con el programa Statistics/Data Análisis 5.0 (STATA 5.0), con la finalidad de observar diferencias estadísticas que apoyen los resultados obtenidos.

Para la caracterización de el lodo residual, suelo natural, suelo tratado con lodo residual y suelo después de la cosecha, se tomaron en cuenta los parámetros y los métodos que se utilizaron para su determinación se encuentran en el cuadro No. 9.

**CUADRO No. 9 PARÁMETROS Y MÉTODOS**

<b>PARAMETRO</b>	<b>MÉTODO</b>
Color seco y húmedo	Por comparación con las tablas Munsell, 1975.
Textura	Del hidrómetro (modificado por Villegas, 1977)
Densidad aparente	De la probeta (Am. Soc. For. Test. And Mat. 1958).
Densidad real	Del picnómetro (Am. Soc. For. Test. And. Mat. 1958)
Porosidad	Vosomil, 1965
Potencial de hidrógeno	Determinación Potenciométrica, en una suspensión de suelo-agua de relación 1:5
Conductividad eléctrica	Usando un conductímetro, en una suspensión de suelo-agua de relación 1:5
Materia orgánica	Técnica de Walkey y Black (modificada por Grande, 1974).
Sodio y potasio	Espectrofotométrico (citado por Grande, 1974)
calcio y magnesio	Extracción con Acetato de Sodio titulado con E.D.T.A. (citado por Grande, 1974)
Carbonatos y Bicarbonatos	Por titulación con ácido (Bower y Wilcox, 1965).
Cloruros	De Mohr (Bower y Wilcox, 1965).
Sulfatos	Turbimétrico (APHA, 1980)
Residuos Secos Evaporados (R.S.E.) y Residuos Secos Calcinados (R.S.C.)	Gravimétrico.

FIGURA No.3  
PREPARACION DE LAS PARCELAS EXPERIMENTALES Y  
APLICACIÓN DE LA DOCIS DE LODO RESIDUAL.



a) Preparación del terreno



b) Parcela experimental



c) Inicio de la aplicación de lodo



d) Parcela con lodo residual

## IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

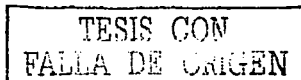
### 4.1 SUELO NATURAL

Los suelos de la zona de estudio presentan texturas migajón arcillo arenoso con proporciones relativamente uniformes en los tres componentes arcilla, limo y arena en los primeros 30 cm de profundidad, esto se puede apreciar en la tabla No. 1. Estas texturas son apropiadas para el desarrollo de los cultivos en virtud de que una proporción equilibrada de los 3 componentes permiten una adecuada formación de la estructura y porosidad, lo cual trae consigo la posibilidad de un intercambio gaseoso, entre el ambiente edáfico y aéreo, este favorece la respiración de las raíces y la biota del suelo, así mismo, favorece la retención de humedad necesaria para el abasto de agua de las plantas y con ello la asimilación de nutrimentos.

Miramontes (1978), menciona que la densidad real tiene un valor medio aceptado internacionalmente de 2.65 g/cc y la densidad aparente varía desde menos de 1.0 hasta no más de 2.0 g/cc para suelos con uso agrícola, lo que nos indica que los valores obtenidos tanto para la densidad real como para la densidad aparente en las tres profundidades del suelo estudiado del Ex Lago de Texcoco caen dentro del rango que menciona Miramontes (1978) y por lo tanto estos suelos pueden ser utilizados para la agricultura. Lo antes mencionado se ve reforzado por los valores obtenidos en la porosidad del suelo que varían de 47.59 a 51.84% y que de acuerdo con el mismo autor, un suelo apropiado para la agricultura tiene un porcentaje de espacio poroso alrededor 50%.

El suelo del Ex Lago de Texcoco presentó para sus tres profundidades porcentajes de materia orgánica que van desde 0.94 a 1.71% que indican según Moreno (1970), que estos suelos están clasificados entre pobres y medianamente pobres. Esta presencia de materia orgánica se debe a la incorporación de plantas y organismos acuáticos que existieron tiempo atrás, así como de algunas especies vegetales tolerantes a la salinidad.

Se encontraron tres factores restrictivos para el uso agrícola del suelo, primero el pH, que varía de 9.91 a 10.11 y de acuerdo con Cepeda (1991) este suelo está clasificado como fuerte a excesivamente alcalino, lo que indica que bajo estas condiciones el efecto que causa el pH es la inhibición de la asimilabilidad de los nutrimentos como es el caso del



Hierro, Manganeseo, Cobre, Zinc, Nitrógeno, Fósforo y Boro, lo que provocaría una baja productividad (Gaucher, 1971 y Foth, 1980).

Otro factor limitante es la alta concentración de sales solubles reflejadas por las conductividades eléctricas que oscilan entre 6.4 a 10.7 dSm<sup>-1</sup>, bajo estas condiciones las plantas se ven afectadas en tres formas: la presión osmótica, toxicidad de iones y desbalance nutrimental. Este último a consecuencia de la alta absorción de iones específicos no esenciales que alcanzan niveles tóxicos, en este caso particular el sodio es el responsable, constituyéndose en el tercer factor que limita el establecimiento y desarrollo de plantas glicofitas, se encontraron concentraciones de sodio superiores a los 40 cmol Kg<sup>-1</sup>, es por todos conocido que es el principal catión responsable de la destrucción de coloides orgánicos y minerales del suelo, que alteran las propiedades físicas y químicas de los suelos y a nivel biológico es tóxico (Aguirre, 1989 y Aceves, 1979). Así también el incremento de los niveles del sodio origina una menor acumulación de calcio, magnesio y potasio en las plantas (Richard, 1985).

Considerando la composición aniónica obtenida en estos suelos de estudio como se muestra en la gráfica No.7, se encontró que los cloruros y carbonatos son los más predominantes, con base en ello se deduce que las sales más abundantes en los suelos del Ex Lago de Texcoco son los cloruros y carbonatos de sodio, de aquí que se considere a este suelo como salino con fase sódica (Llerena y Tarín, 1978).

De acuerdo con Llerena (1986) los suelos salino-sódicos tienen las siguientes desventajas: elevados contenidos de sales solubles (conductividad eléctrica superior a 100 dSm<sup>-1</sup> en el extracto de saturación), contenidos excesivos de sodio intercambiable (PSI 75-100), fuerte alcalinidad (pH de 9 a 10), baja conductividad hidráulica, mala estructura, desfavorable para las labores de labranza y la presencia de sales que causan la muerte de las plantas. Por su parte la diferencia entre el residuo seco evaporado y el residuo seco calcinado nos confirman los datos obtenidos de materia orgánica, lo que nos indica que es pobre en elementos nutritivos para las plantas.

TABLA No.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DEL SUELO SALINO-SÓDICO DEL EX-LAGO DE TEXCOCC

PROF. (cm)	TEXTURA (%)			CLASE TEXTURAL	COLOR SECO	COLOR HUMEDO	D.A. (g/cc)	D.R. (g/cc)	E.P. (%)	pH	M.O. (%)
	ARC.	LIMO	ARE.								
00-10	34.02	21.26	44.72	MIGAJON ARCILLO ARENOSO	5Y 6/2 GRIS OLIVO CLARO	5Y 3/2 GRIS OLIVO OSCURO	1.23	2.55	51.84	9.91	1.71
10-20	23.42	24.06	52.52	MIGAJON ARCILLO ARENOSO	5Y 6/2 GRIS OLIVO CLARO	5Y 3/2 GRIS OLIVO OSCURO	1.22	2.32	47.59	10.11	1.21
20-30	21.78	26.73	51.49	MIGAJON ARCILLO ARENOSO	2.5Y 6/2 CAFE GRIS CLARO	5Y 2.5/2 NEGRO	1.22	2.38	48.63	10.02	0.94

PROF. (cm)	C.E. dSm <sup>1</sup>	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> <sup>2-</sup> *	Σ CATIONES *	Σ ANIONES *	R.S.E. **	R.S.C. **
00-10	6.4	0.05	0.1	47.2	2.61	28.56	N.C.	39.95	4.89	49.96	73.4	3.48	2.975
10-20	10.7	0.05	0.1	41.45	2.79	25.70	N.C.	42.77	3.36	44.39	71.83	2.99	2.55
20-30	10.0	0.05	0.15	40.35	2.28	23.92	N.C.	36.43	3.38	42.83	63.72	2.985	2.64

\* cmolKg<sup>-1</sup>

\*\* g/100g de suelo

N.C.= no cuantificables.

R.S.E.= Residuo Seco Evaporado.

R.S.C.= Residuo Seco Calcinado.

TESIS CON  
 FALLA DE JUZGEM

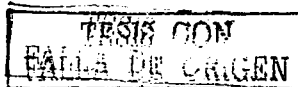
## 4.2 LODO RESIDUAL

Los resultados que a continuación se analizan de los parámetros del lodo residual, son comparados con datos de suelo, debido a que no existen datos de comparación que nos mencionen el grado de uso de estos lodos residuales.

El valor de la materia orgánica que presenta el lodo residual es de 57.15%, éste valor comparado con la propuesta de Moreno (1970) para suelos, nos indica que el lodo residual es extremadamente rico, y esto se debe a que es el residuo del tratamiento de aguas residuales que provienen del uso doméstico de la ciudad de México.

El resultado del pH del lodo residual fue de 6.73, el cual se considera ligeramente ácido (Moreno, 1970). La densidad real es de 2.14 g/cc y comparándola con valores que expresa el mismo autor para la materia orgánica es de 1.5 a 1.6 g/cc, es decir, se encuentra arriba del intervalo propuesto, pero es baja en comparación con densidades reales para suelo, esto es debido a que si existe un porcentaje alto de materia orgánica combinada con otros componentes como son algunos minerales. La densidad aparente también se considera baja ya que esta es de 0.73 g/cc y entra en la clasificación de los suelos humíferos que presentan un rango de 0.66 a 0.93 g/cc, desde luego, esto se debe a la presencia de la materia orgánica. Otro factor que se ve influenciado por la materia orgánica y que es resultado de las densidades antes mencionadas es el espacio poroso, que fue de 66.13%, debido a que la materia orgánica favorece la formación de agregados e incrementa los macroporos y microporos.

El valor de la conductividad eléctrica es de  $6.9 \text{ dSm}^{-1}$  lo cual nos indica el contenido de sales presentes en el lodo residual y estas podrían restringir el desarrollo de algunas leguminosas pero algunos cultivos pueden desarrollarse satisfactoriamente (Gaucher, 1971). Considerando los valores de los cationes y aniones, las principales sales que se presentan en los lodos residuales, son las de cloruros y bicarbonatos de sodio en mayor importancia, seguidas las de potasio, esto se puede apreciar en la tabla No. 2.



**TABLA No. 2 CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LODO RESIDUAL**

COLOR SECO Y HUMEDO	HUMEDAD (%)	D.A. (g/cc)	D.R. (g/cc)	E.P. (%)	PH	M.O. (%)	C.E. (dSm <sup>-1</sup> )
5Y 2.5/2 (NEGRO)	98	0.73	2.14	66.13	6.73	57.15	6.9

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> <sup>2-</sup>	Σ CATIONES	Σ ANIONES
0.05	1.6	27.4	3.88	7.85	33.56	29.85	2.86	32.93	74.117

\* cmol Kg<sup>-1</sup>

### 4.3 ANÁLISIS DEL SUELO EN EL MOMENTO DE LA SIEMBRA

Una vez realizadas las mezclas de las diferentes dosis de lodo residual con el suelo del Ex Lago de Texcoco, se encontraron las siguientes características del suelo en el momento de la siembra de *Avena sativa* L.

Para el caso de la dosis 50% de lodo residual con el suelo del Ex Lago de Texcoco, se obtuvo un 3.45% de materia orgánica, la cual fue aportada por el lodo residual y ahora este suelo está clasificado como rico en materia orgánica, esto indica que nos va a favorecer el suministro de elementos nutritivos como son N, P, S, y micronutrientes para el desarrollo de las plantas, así como una buena retención de humedad gracias a que la materia orgánica es capaz de retener más de 100% de su peso en agua (Cepeda, 1991).

Por otro lado la materia orgánica ayudó a favorecer la estructura del suelo, esto se ve reflejado en la disminución de las densidades real y aparente como se muestran en la tabla No. 3 (Richard, 1985) y también permitió aumentar el espacio poroso que llegó a ser de 56.33%, estas características van a favorecer el drenaje, reducir la pérdida de agua por evaporación, mejor aireación, crecimiento y funcionamiento de las raíces. Así también la materia orgánica debido a sus componentes químicos ayudan a acidificar el suelo y esto se ve reflejado en el pH que llegó a ser de 6.3 clasificado por Moreno (1970), como un suelo medianamente alcalino, aunque a este pH todavía puede haber efectos adversos en el desarrollo de las plantas, ya que algunos nutrientes no se encuentran disponibles como el hierro, manganeso, fósforo y boro (Foth, 1980).



Otro parámetro que se redujo satisfactoriamente con la aplicación de dicha dosis de lodo residual, fue el contenido de sales solubles en el suelo ya que esto se observa en el valor de la conductividad eléctrica que fue de  $1.6 \text{ dSm}^{-1}$ , lo que nos indica que los efectos de la salinidad son despreciables para el desarrollo de las plantas (Miramontes, 1978 y Richard, 1985). Esta disminución se debe gracias al contenido de humedad que presentó el lodo residual, ya que se llevó a cabo un arrastre de sales solubles presentes en el suelo.

Para el caso del suelo tratado con 40% de dosis de lodo residual, se encontró que la materia orgánica fue de 2.61% lo que Moreno (1970) clasifica como un suelo medianamente rico, el suministro de nutrientes por lo tanto tiende a ser favorable, así como una buena retención de humedad gracias a los coloides orgánicos. Este aporte de materia orgánica sigue favoreciendo las densidades real y aparente, ya que disminuyeron como se aprecia en la tabla No. 3 y son buenas para suelos de uso agrícola (Miramontes, 1978). Otro parámetro favorecido es el espacio poroso que fue de 55.22%. Estas propiedades físicas van a ayudar a que exista una buena estructura para el desarrollo adecuado de las raíces de las plantas, un mejor intercambio gaseoso y drenaje, así como una buena retención de la humedad gracias a los coloides orgánicos (Cepeda, 1991).

Gracias a los componentes químicos de la materia orgánica, el pH se redujo a 8.2 clasificado como medianamente alcalino (Moreno, 1970) y por lo tanto algunos nutrientes serán asimilados por las plantas con dificultades entre ellos están: fósforo, manganeso, boro, hierro (Gaucher, 1971 y Foht, 1980).

La conductividad eléctrica para este suelo tratado con una dosis de 40% de lodo residual fué de  $2.49 \text{ dSm}^{-1}$ , de acuerdo con lo que indica Richard (1985), los rendimientos de los cultivos muy sensibles pueden ser restringidos. Aún así se logró disminuir considerablemente los niveles de sales solubles presentes en el suelo ya que presentaban una CE de 6.4 a  $10.7 \text{ dSm}^{-1}$ .

En el caso del suelo tratado con 30% de lodo residual se obtuvo 2.51 % de materia orgánica, clasificado también como un suelo medianamente rico (Moreno, 1970) en este parámetro, por lo tanto habrá aporte de nutrientes y retención de humedad (Cepeda, 1991).

Las densidades aparente y real, así como el porcentaje de espacio poroso, fueron

ligeramente modificados como se muestra en la tabla No.3. Aún así tienen las características propias para el uso agrícola (Miramontes, 1978).

El valor de pH del suelo con este tratamiento es de 8.9 y está clasificado como fuertemente alcalino (Moreno, 1970), esto indica que se presentan problemas de disponibilidad de algunos nutrimentos como son: cobre, zinc, hierro, manganeso y nitrógeno, por lo que el desarrollo de las plantas va a ser limitado (Gaucher, 1971 y Foht, 1980).

Otra limitante para el desarrollo de las plantas es el contenido de las sales solubles ya que la conductividad eléctrica obtenida para este suelo tratado es de  $2.89 \text{ dSm}^{-1}$ , en conductividades eléctricas de esta magnitud, los rendimientos de los cultivos muy sensibles pueden ser restringidos (Richard, 1985). Aunque si disminuyeron las cantidades de sales solubles iniciales.

El suelo tratado con 20% de lodo residual tuvo un resultado de 2.23% de materia orgánica, considerado como mediano en este parámetro por Moreno (1970), aquí se puede observar que el aporte de materia orgánica fue menor, sin embargo, hay aporte de elementos nutritivos.

Las densidades real y aparente ligeramente aumentaron y el espacio poroso por lo tanto disminuyó, esto se puede observar en la tabla No.3, sin embargo, todavía se consideran accesibles para el uso agrícola (Miramontes, 1978).

El pH fue de 8.9, lo que indica problemas de disponibilidad de elementos nutritivos por la planta, como en el caso del tratamiento con dosis de 30% de lodo residual.

También se considera un factor limitante a la salinidad debido a los valores de conductividad eléctrica ya que esta fue de  $4.5 \text{ dSm}^{-1}$ , por lo que los rendimientos de muchos cultivos son restringidos (Richard, 1985). En la tabla No. 3 se puede observar la diferencia de los valores de cationes y aniones respecto a los tratamientos anteriores.

Los resultados obtenidos para la dosis de 10% de lodo residual nos indican que el suelo tiene problemas para el desarrollo de las plantas, es medianamente pobre en materia orgánica (Moreno, 1970) y esto empieza a reflejarse en las densidades real y aparente, así como en el porcentaje de espacio poroso (ver tabla No.3). Bajo estas condiciones el suelo

presenta problemas de estructura de suelo y con ello mal drenaje, aireación, el crecimiento de las raíces es limitada, así también el aporte de nutrimentos disminuye y la retención de humedad también (Cepeda, 1991). El suelo es considerado como fuertemente alcalino (Moreno, 1970) debido a que presenta un pH de 8.9, por lo que hay problemas de disponibilidad de nutrimentos como en el caso del tratamiento con dosis de 30% de lodo residual.

En el caso del testigo los resultados obtenidos se observan en la tabla No. 3 y por lo tanto se considera a este suelo pobre en materia orgánica (Moreno, 1970), la densidad real y aparente son altas y el espacio poroso bajo (Miramontes, 1978), por lo que presenta problemas de drenaje, mala aireación, no hay aporte de elementos nutritivos, hay baja retención de humedad y el desarrollo de las raíces de las plantas se limita, esto concuerda con lo reportado por Cepeda (1991). El suelo se considera extremadamente alcalino ya que presenta un pH de 9.2 (Moreno, 1970), lo que es un factor limitante para la disponibilidad de elementos nutritivos (Foht, 1980). Otro factor que restringe los rendimientos de muchos cultivos es el contenido de sales solubles en el suelo, esto se observa en el valor de la conductividad eléctrica que fue de  $6.31 \text{ dSm}^{-1}$  (Richard, 1985). Esto se aprecia en los valores de los cationes y aniones.

Un análisis del contenido de los cationes básicos permite observar que el catión sodio es el elemento más abundante de ellos, generando consigo sodicidad edáfica y toxicidad para la planta. Por otra parte el respectivo análisis de los aniones permite observar que los carbonatos están siempre presentes, de manera que el carbonato de sodio es una de las sales relativamente abundantes en estos suelos, el cual hace elevar el pH en todos los casos. Dicho sea de paso, el cloruro de sodio es una de las sales más abundantes y a pesar de ser una sal neutra con el tiempo se forman bicarbonato y carbonato de sodio al disolverse el  $\text{CO}_2$  de la atmósfera, este proceso es permanente en tanto el catión sodio y el anión cloruro estén presentes, de manera que el pH tenderá siempre a permanecer alto, es decir, se requiere de un programa permanente de manejo de lodos residuales para paulatinamente ir recuperando el suelo hasta un límite en el que las plantas moderadamente sensibles puedan desarrollarse normalmente.

TABLA No. 3 CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LOS SUELOS EN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS  
EN EL MOMENTO DE LA SIEMBRA

DOSIS LODO RESIDUAL	COLOR SECO	COLOR HUMEDO	D.A. g/cc	D.R. g/cc	E.P. %	PH 1:5	M.O. %	C.E. dSm	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> <sup>2-</sup>	Σ CATION	Σ ANION	R.S.E. **	R.S.C. **
DOSIS 50%	5Y 4/2 GRIS OLIVO	5Y 2,5/1 NEGRO	1.074	2.46	56.33	8.3	3.45	1.6	0.85	2.1	0.95	0.24	0.25	0.5	0.74	2.55	4.14	4.03	0.29	0.13
DOSIS 40%	5Y 5/1 GRIS	5Y 3/2 GRIS OLIVO OSCURO	1.061	2.37	55.22	8.2	2.61	2.49	0.35	1.4	2.04	0.72	0.2	0.3	0.49	2.86	4.51	3.85	0.29	0.14
DOSIS 30%	5Y 5/2 GRIS OLIVO	5Y 4/2 GRIS OLIVO	1.216	2.51	51.36	8.9	2.51	2.89	0.35	0.9	1.77	0.56	0.65	0.15	6.13	1.93	3.58	8.86	0.43	0.32
DOSIS 20%	5Y 5/1 GRIS OLIVO	5Y 5/2 GRIS OLIVO OSCURO	1.31	2.52	48.01	8.9	2.23	4.5	0.25	0.8	5.03	0.65	0.72	0.25	8.42	1.73	6.73	11.12	0.62	0.46
DOSIS 10%	5Y 6/1 GRIS	5Y 4/3 OLIVO	1.461	2.86	48.95	8.9	1.5	1.44	0.25	1.0	1.63	0.56	0.4	0.1	2.21	1.15	3.44	4.22	0.27	0.15
TESTIGO	5Y 5/2 GRIS OLIVO	5Y 3/2 GRIS OLIVO OSCURO	1.48	2.77	46.57	9.2	1.21	6.31	0.13	0.6	29.01	1.55	1.57	N.C.	17.85	2.45	31.29	21.87	2.10	1.78

R.S.E: residuo seco evaporado; R.S.C: residuo seco calcinado; D.A: densidad aparente; D.R: densidad real; E.P: espacio poroso.

M.O: materia orgánica; C.E: conductividad eléctrica.

\* expresado en cmolKg<sup>-1</sup>

\*\* expresado en g/100g suelo

N.C. = no cuantificables.

#### 4.4. ANÁLISIS DEL SUELO DESPUÉS DE LA COSECHA.

Una vez cosechada la *Avena sativa* L., se caracterizó el suelo para conocer sus propiedades físicas y químicas de acuerdo con cada tratamiento, los resultados se muestran en la tabla No.4.

El suelo tratado con 50% de lodo residual quedó pobre en materia orgánica en la capa 10 a 30 cm de profundidad, la transformación de esta permitió que la avena utilizara satisfactoriamente los nutrimentos liberados y los presentes en el suelo, lo cual se tradujo en un crecimiento de cultivos, sin embargo, la capa superior de 0 a 10 cm quedó extremadamente rica en materia orgánica debido a los restos de raíces o vegetación que se desarrolló en el sitio.

Las propiedades físicas del suelo: densidad aparente, real y el espacio poroso de la capa de 0 a 30 cm de profundidad disminuyeron ligeramente (ver tabla No.4), sin embargo, todavía se encuentran dentro del rango apropiado de un suelo con uso agrícola, es decir, el suelo presentara buen drenaje, aireación y no representa un factor que limite el desarrollo de las raíces del cultivo.

El pH del suelo se incrementa ligeramente a 8.45 quedando caracterizado en la capa de 10 a 30 cm de profundidad como fuertemente alcalino en tanto que la capa de 0 a 10 cm alcanzan un pH de 8.25 y clasificada como moderadamente alcalina (Moreno, 1970), esto influye en la disponibilidad de elementos nutritivos como hierro, zinc, manganeso, cobre, fósforo, y boro (Gaucher, 1971 y Foht, 1980).

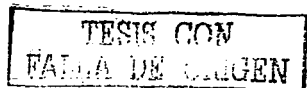
Otro factor que se eleva ligeramente, pero que no causa problemas es la conductividad eléctrica, alcanzando en la capa superficial valores de  $1.36 \text{ dSm}^{-1}$  y en la de 20-30 de profundidad de  $3.02 \text{ dSm}^{-1}$ , por lo cual solamente el rendimiento de cultivos sensibles a la salinidad podría ser restringido (Richard, 1985).

Los valores de las propiedades del suelo tratado con 40% de lodo residual después de la cosecha se aprecian en la tabla No.4, y estas indican que el suelo se considera pobre a medianamente pobre en materia orgánica (Moreno, 1970), las densidades real y aparente aumentaron ligeramente y el espacio poroso se encuentra en un rango favorable, es decir, estas propiedades físicas permiten que este suelo se pueda utilizar para uso agrícola (Miramontes, 1978), aunque empiece a haber deficiencias de materia orgánica. El pH

también viene a ser una limitante, ya que éste aumentó de 8.2 que tenía en el momento de la siembra a 8.6 y 9.1 después de la cosecha en sus dos capas de 10 a 20 y 20 a 30 cm de profundidad respectivamente, por lo tanto el suelo es considerado por Moreno (1970) como fuertemente alcalino y con ello los elementos zinc, cobre, hierro, manganeso y nitrógeno no se encontrarán disponibles para las plantas (Gaucher 1971 y Focht, 1980). La cantidad de sales solubles no son un problema, ya que únicamente los cultivos muy sensibles a la salinidad pueden tener rendimientos restringidos (Richard, 1985), lo anterior desde luego esto apoyado por los valores de la conductividad eléctrica que quedaron de 1.44, 2.29, 2.25 en las capas de 0 a 10, 10 a 20 y 20 a 30 cm de profundidad respectivamente.

Con respecto a los valores del suelo tratado con 30% de lodo residual quedaron de la siguiente manera, las propiedades físicas de densidad aparente, real y el espacio poroso que se indican en la tabla No.4 mostraron una recuperación y favorecieron el desarrollo de las raíces de las plantas, por lo que el suelo presentó un buen drenaje y aireación. El valor de la conductividad eléctrica que se obtuvo en este tratamiento para sus tres profundidades varía de 1.66 a 3.88  $dSm^{-1}$  lo que indica que las sales solubles no son problema, ya que sólo los cultivos muy sensibles a la salinidad tendrán rendimientos restringidos (Richard, 1985). Sin embargo, existen dos factores que limitarían el desarrollo de los cultivos, por un lado la materia orgánica, ya que el suelo quedó extremadamente pobre en materia orgánica en sus capas de 10 a 20 y 20 a 30 cm de profundidad (0.54 y 0.41 %), esto se debe a la total descomposición de ésta, lo que condujo al aprovechamiento de nitrimentos por el cultivo y la capa superior quedó rica en este parámetro (3.12%) por la presencia de restos de raíces o cultivo que se desarrolló en el lugar. Y por otro lado el pH que en sus tres capas de profundidad varía de 8.35 a 9.7, esto indica que el suelo quedó fuertemente alcalino (Moreno, 1970) y esto va a reducir la disponibilidad de elementos nutritivos por las plantas.

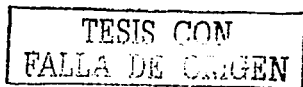
En el suelo tratado con 20% de lodo residual sus características físicas son favorables, es decir, la densidad aparente y real, así como el espacio poroso son apropiadas para un buen desarrollo de las raíces, drenaje y aireación. Sin embargo, la presencia de sales solubles empiezan a causar problemas, ya que en sus capas de 10 a 20 y 20 a 30 cm de profundidad presentan una conductividad eléctrica de 5.17 y 9.40  $dSm^{-1}$  respectivamente,



lo que indica que solamente cultivos tolerantes a la salinidad pueden desarrollarse (Richard, 1985). También se observa que la principal sal que se forma es cloruro de sodio. Este incremento de sales se observa de las capas inferiores a las superiores, debido por un lado el lavado de estos en la superficie por el agua del lodo residual y por otro al fenómeno de capilaridad, lo cual los hace ascender a la superficie del suelo, por lo que en la capa superior el valor de la conductividad eléctrica es mucho menor ( $1.93 \text{ dSm}^{-1}$ ). Otro factor que también se incrementó en comparación con el suelo caracterizado en el momento de la siembra y causa limitantes para el desarrollo de las plantas es el pH, ya que está clasificado por Moreno (1970) como un suelo de fuerte a extremadamente alcalino (8.3, 8.55, 9.9 en sus tres capas respectivamente) y esto va a reducir la disponibilidad de elementos nutritivos, a pesar de que las capas del suelo hayan quedado con un porcentaje de materia orgánica que este mismo autor lo clasifica como mediano a rico en materia orgánica como se observa en la tabla No.4. Esta presencia de materia orgánica es debido a que el cultivo presentó problemas por el pH y salinidad del suelo, ambos afectaron el desarrollo del cultivo sobre todo en la asimilación de nutrimentos necesarios.

Los valores de las propiedades físicas (densidad aparente, densidad real y espacio poroso) del suelo tratado con 10% de lodo residual todavía entran dentro de los valores que propone Miramontes (1978) para suelos con uso agrícola como se pueden apreciar en la tabla No.4. Los valores de conductividad eléctrica que presentó el suelo en este tratamiento nos indican que el rendimiento de cultivos sensibles a la salinidad puede ser restringido, ya que ésta fue para sus tres profundidades de 1.58, 2.26 y 2.28  $\text{dSm}^{-1}$  respectivamente. Sin embargo, se presenta un problema de disponibilidad de elementos nutritivos como son: nitrógeno, hierro, zinc, cobre, manganeso, etc. ya que el suelo quedó extremadamente alcalino con pH's que varían en sus tres profundidades de 8.6, 9.2 y 9.7 respectivamente. Y por otro lado para sus tres capas de profundidad, el suelo está clasificado por Moreno (1970) como pobre a medianamente pobre en materia orgánica como lo indican los valores en la tabla No. 4.

El testigo mantuvo en todo momento los mismos problemas iniciales, es decir, la densidad real y aparente como el espacio poroso presentaron valores cercanos a los propuestos por Miramontes (1978) para suelos con uso agrícola, sin embargo, es medianamente



pobre en materia orgánica, es decir, se obtuvieron valores de 1.21, 1.39 y 1.46% en sus tres capas del suelo. Es un suelo extremadamente alcalino (Moreno, 1970) con pH's que varían en sus capas de 9.6 a 10.1 y con ello la disponibilidad de elementos nutritivos es limitada. Por su parte los valores de la conductividad eléctrica que son de 4.76, 6.28 y 10.9 en sus tres capas de profundidad indican que el rendimiento de muchos cultivos se restringe, debido a la salinidad que afecta el crecimiento de las plantas como la disminución del crecimiento de los cultivos en condiciones de alta presión osmótica en la solución de suelo (Greenway, 1980), o como se observa en la tabla No. 4 que las concentraciones del ión de cloro son altos y esto produce clorosis o muerte del cultivo (Greenway y Munns, 1980), o el desbalance nutrimental ocasionado por el catión sodio que se encuentra en altas concentraciones y tiene a veces un efecto perjudicial secundario en suelos pobres en calcio como se muestran los valores de este ión en la tabla No. 4, por lo cual las cosechas sufrirán por este elemento, o formando sal con el carbonato, que puede ser perjudicial por sí mismo, pero este efecto es más probable que sea consecuencia del elevado pH que provoca y con ello diferentes elementos nutrimentales se hacen inasimilables (Russell, 1968).



TABLA No. 4 CARACTERIZACIÓN FÍSICO Y QUÍMICA DEL SUELO SALINO-SÓDICO DESPUÉS DE LA COSECHA.

DOSIS DE LODO RESIDUAL	PROF. (cm)	COLOR EN SECO	COLOR EN HUMEDO	D.A. g/cc	D.R. g/cc	E.P. %	pH	M.O. %	C.E. dSm <sup>-1</sup>	R.S.E *	R.S.C *
DOSIS 50%	00-10	5Y 5/2 GRIS OLIVO	10YR 2/1 NEGRO	1.10	2.27	51.72	8.25	6.84	1.36	0.54	0.42
	10-20	5Y 5/2 GRIS OLIVO	2.5Y 3/2 CAFE GRIS OSCURO	1.09	2.27	51.98	8.45	1.48	2.22	0.76	0.61
	20-30	5Y 5/3 OLIVO	2.5Y 4/2 CAFE GRIS OSC	1.03	2.38	56.64	8.45	1.18	3.02	1.09	0.89
DOSIS 40%	00-10	5Y 5/2 GRIS OLIVO	10YR 2/1 NEGRO	1.05	2.08	49.71	8.05	2.88	1.44	0.60	0.47
	10-20	5Y 5/2 GRIS OLIVO	5Y 4/2 GRIS OLIVO	1.10	2.77	60.43	8.60	1.28	2.29	0.90	0.78
	20-30	5Y 5/2 GRIS OLIVO	5Y 4/2 GRIS OLIVO	1.15	2.77	58.41	9.10	1.11	2.25	3.07	2.67
DOSIS 30%	00-10	5Y 5/2 GRIS OLIVO	5Y 3/2 GRIS OLIVO	1.21	2.77	56.46	8.35	3.12	1.66	0.67	0.54
	10-20	5Y 5/2 GRIS OLIVO	5Y 3/2 GRIS OLIVO	1.06	2.27	53.30	9.20	0.54	2.66	4.51	3.89
	20-30	5Y 5/2 GRIS OLIVO	5Y 4/2 GRIS OLIVO	1.04	2.00	48.20	9.70	0.41	3.88	2.73	2.31
DOSIS 20%	00-10	5Y 5/2 GRIS OLIVO	2.5Y 3/2 CAFE GRIS OSC	1.05	2.17	51.52	8.30	3.52	1.93	1.58	1.31
	10-20	5Y 5/2 GRIS OLIVO	5Y 3/2 GRIS OLIVO OSC	0.98	2.00	51.10	8.55	2.23	5.17	1.59	1.29
	20-30	5Y 4/2 GRIS OLIVO	5Y 4/3 OLIVO	0.87	1.72	49.65	9.90	1.12	9.40	3.44	2.46
DOSIS 10%	00-10	2.5Y 5/2 CAFE GRIS	5Y 4/1 GRIS OSCURO	1.10	2.27	51.45	8.60	1.75	1.58	1.91	1.66
	10-20	2.5Y 5/2 CAFE GRIS	5Y 4/2 GRIS OLIVO	1.13	2.77	59.13	9.20	1.18	2.26	6.04	5.33
	20-30	2.5Y 5/2 CAFE GRIS	5Y 4/2 GRIS OLIVO	1.15	2.94	60.82	9.70	0.88	2.28	4.48	3.78
TESTIGO	00-10	5Y 4/2 GRIS OLIVO	5Y 3/2 GRIS OLIVO OSC	0.94	2.17	56.59	9.60	1.21	4.76	1.71	1.49
	10-20	5Y 5/2 GRIS OLIVO	5Y 4/3 OLIVO	0.96	2.50	61.76	9.80	1.39	6.28	1.85	1.58
	20-30	5Y 6/1 GRIS	5Y 4/4 OLIVO	0.86	2.17	60.55	10.1	1.46	10.9	5.32	5.27

\* g/100 g de suelo

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

TABLA No. 4 CONTINUACIÓN.

DOSIS DE LODO RESIDUAL	PROF. Cm	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> <sup>2-</sup> *	Σ CATIONES	Σ ANIONES
DOSIS 50%	00-10	1.4	4.4	3.00	0.64	0.6	1.86	2.35	1.56	9.44	6.37
	10-20	0.4	1.9	7.00	0.99	0.48	0.54	2.12	3.12	10.29	6.26
	20-30	0.2	1.3	11.00	1.35	0.42	0.96	2.35	3.67	13.85	7.4
DOSIS 40%	00-10	0.55	2.2	3.90	0.72	0.66	1.08	3.29	1.87	7.37	6.9
	10-20	0.2	0.9	4.60	0.85	0.48	0.66	2.59	3.07	6.55	6.80
	20-30	0.2	0.8	9.00	2.10	0.84	0.9	4.7	1.72	12.10	8.16
DOSIS 30%	00-10	0.4	3.2	5.45	0.90	0.72	1.02	10.12	2.39	9.95	14.24
	10-20	0.35	1.9	10.00	2.47	0.96	0.3	6.82	1.43	14.72	9.51
	20-30	0.3	1.2	14.85	1.89	3.12	0	8.46	2.32	18.04	13.9
DOSIS 20%	00-10	0.35	2.6	6.15	1.26	0.72	1.2	10.34	1.74	10.36	14.0
	10-20	0.2	1.0	16.70	1.54	0.84	0.66	45.12	2.97	19.44	49.59
	20-30	0.2	0.4	42.50	3.15	6.24	0	39.72	4.01	46.25	49.97
DOSIS 10%	00-10	0.35	1.4	5.65	1.36	0.48	0.78	2.35	1.66	8.76	5.27
	10-20	0.3	1.4	9.75	3.29	1.02	0.48	4.47	1.87	14.74	7.84
	20-30	0.2	0.9	9.25	2.69	1.32	0	1.88	1.3	12.94	4.5
TESTIGO	00-10	0.2	0.8	17.35	1.48	3.12	0	15.28	2.45	19.83	20.85
	10-20	0.1	0.8	23.15	1.78	3.72	0	20.45	3.15	25.81	27.32
	20-30	0.1	0.6	43.80	3.15	8.52	0	33.37	4.16	47.65	46.05

\* Cmol Kg<sup>-1</sup>

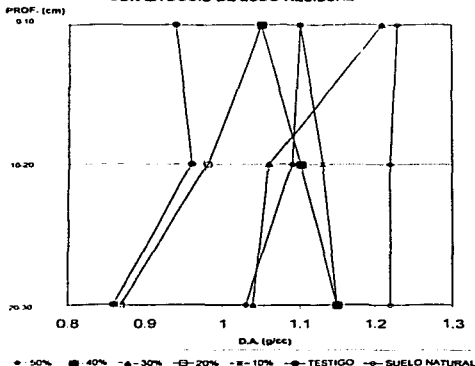
TESIS CON FALLA DE ORIGEN

#### 4.5. ANÁLISIS COMPARATIVO

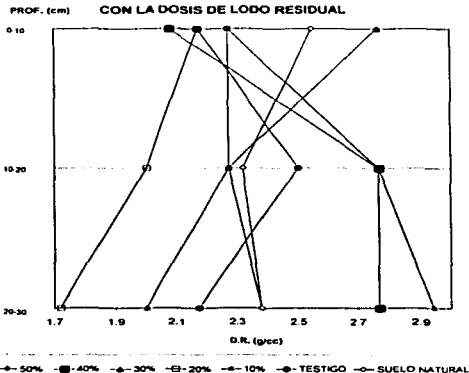
En el siguiente análisis se comparan los tres suelos caracterizados, el suelo natural, el suelo con las dosis de lodo residual en el momento que se sembró *Avena sativa* L. y el suelo después de la cosecha del cultivo, con la finalidad de conocer su grado de recuperación en las tres capas de 0 a 10, 10 a 20 y 20 a 30 cm de profundidad.

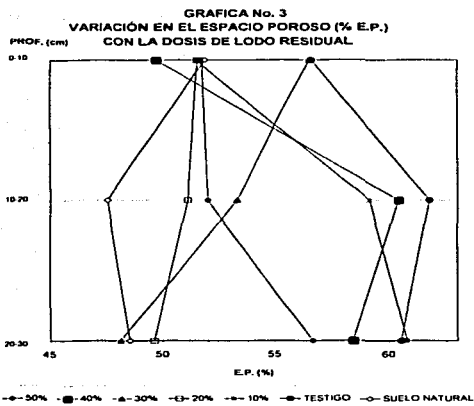
Como ya se ha mencionado anteriormente las propiedades físicas del suelo: densidad aparente, densidad real y espacio poroso del suelo natural, de los tratamientos del suelo en el momento de la siembra (ver tabla No. 4) y del suelo después de la cosecha, permanecen dentro del rango que propone Miramontes (1978) para suelos con uso agrícola. Sin embargo con la aplicación de las dosis de lodo residual la densidad aparente y real en todos los casos disminuyó quedando al final por debajo del suelo natural, esto se debe a la incorporación de la materia orgánica del lodo residual y a los restos del cultivo (ver gráfica 1 y 2). En cuanto al espacio poroso se mejoró el porcentaje ya que al disminuir las densidades el porcentaje aumentó en todos los suelos con las diferentes dosis de lodo residual (ver gráfica No.3). Por lo tanto estos suelos no presentarán problemas de practicas de labranza, drenaje, intercambio gaseoso y las raíces de las plantas podrán

GRAFICA No. 1  
VARIACIÓN EN LA DENSIDAD APARENTE  
CON LA DOSIS DE LODO RESIDUAL



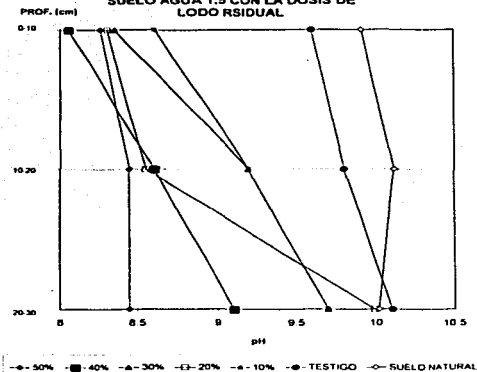
GRAFICA No. 2  
VARIACIÓN EN LA DENSIDAD REAL  
CON LA DOSIS DE LODO RESIDUAL





El pH del suelo fue una de las propiedades que se logró remediar aunque fuera temporalmente, esto se aprecia en la gráfica No.4 en donde se observa que el suelo natural presentó pH por arriba de 9.5 y con una aplicación del 50, 40, 30, 20, 10 % de lodo residual se reduce este pH a 8.3, 8.2, 8.9, 8.9, 8.9, y 9.2 respectivamente en el momento de la siembra, sin embargo, esta mejora fue temporal ya que el pH del suelo después de la cosecha en todos los tratamientos tiende a aumentar, pero se encuentran por debajo de pH del suelo natural. Se observa que el pH tiende a aumentar de las capas inferiores hacia la superficie en todos los tratamientos, debiéndose a la presencia de sales solubles nuevamente que tienden a ascender. Sin embargo, con la aplicación de 50% de lodo residual se aprecia un mejor pH y más homogéneo en las capas del suelo, no olvidando que aún con este pH se presentan problemas de disponibilidad de nutrientes y que esta corrección es temporal, para lo cual sería bueno seguir con las aplicaciones de dicha dosis para una mejora permanente.

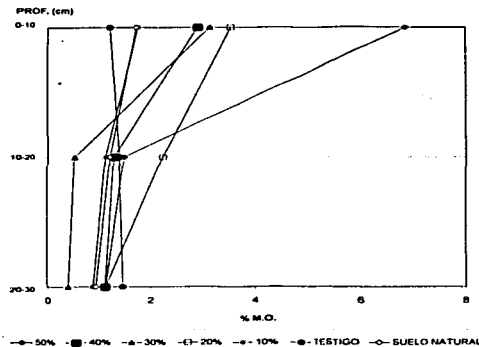
GRAFICA No. 4  
 VARIACIÓN EN EL pH EN UNA RELACION DE  
 SUELO AGUA 1:5 CON LA DOSIS DE  
 LODO RESIDUAL



Otro factor donde se observan variaciones significativas es en la materia orgánica, el suelo natural del Ex Lago de Texcoco presentó valores por debajo de 1.7% y con las aplicaciones de lodo residual 50, 40, 30, 20, 10% y el testigo alcanzo valores de 3.45, 2.61, 2.51, 2.23, 1.5 y 1.21 % de materia orgánica respectivamente en el momento de la siembra de *Avena sativa* L., sin embargo, el suelo después de la cosecha para todos sus tratamientos en las capas de 10 a 20 y 20 a 30 cm de profundidad vuelve a estar por debajo 2.3 % en materia orgánica, quedando en la capa superior con la dosis de 50% como extremadamente rico en este parámetro y va disminuyendo en los demás tratamientos conforme disminuye la dosis, sin embargo, quedan por arriba del porcentaje de materia orgánica del suelo natural (ver gráfica No. 5). El testigo siempre fue clasificado como medianamente pobre tanto en el momento de la siembra como en la cosecha, aunque se aprecia un ligero incremento, debido a la presencia de restos de cultivos que sólo se desarrolló durante 7 días.

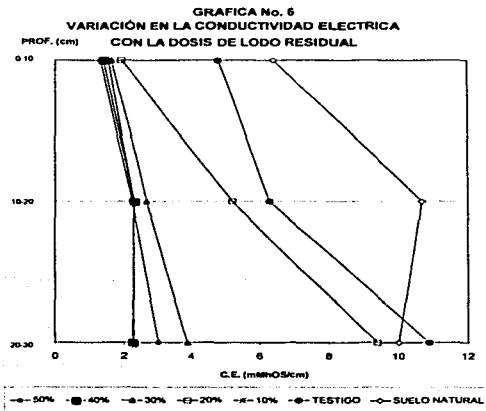
TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

GRAFICA No. 5  
VARIACIÓN EN EL % DE LA MATERIA ORGÁNICA  
CON LA DOSIS DE LODO RESIDUAL



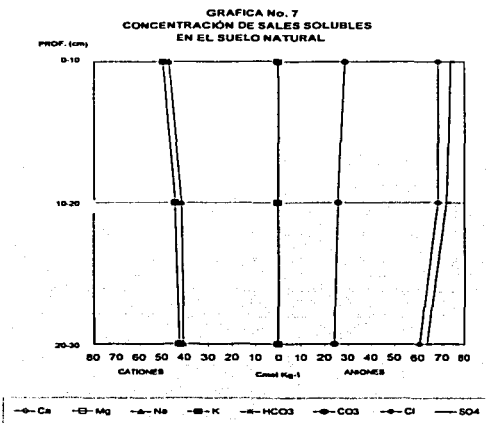
La conductividad eléctrica del suelo natural estuvo en sus capas por arriba de  $6 \text{ dSm}^{-1}$  lo que indicaría Richard (1985) que el rendimiento de cultivos tolerantes a la salinidad se verían restringidos, y con aplicaciones de las dosis 50, 40, 30, y 10 % de lodo residual se reduce satisfactoriamente en el momento de la siembra de *Avena sativa* L. a  $1.6, 2.49, 2.89$  y  $1.44 \text{ dSm}^{-1}$  respectivamente y se observa en la gráfica No.6, el incremento después de la cosecha para quedar dentro de un rango de  $1.5$  a  $4 \text{ dSm}^{-1}$  donde solamente el rendimiento de cultivos muy sensibles a la salinidad se vería restringido (Miramontes, 1978). En el suelo tratado con una dosis de 20% de lodo se redujo la C.E. a  $4.5 \text{ dSm}^{-1}$  en el momento de la siembra y se incrementó hasta alcanzar valores de  $9.4 \text{ dSm}^{-1}$  después de la cosecha. El testigo siempre presentó valores por arriba de  $4 \text{ dSm}^{-1}$  tanto en el momento de la siembra como después de la cosecha y por lo tanto el rendimiento de muchos cultivos se ve afectado. Se observa en la gráfica No.6 que conforme aumenta la dosis de lodo residual la conductividad eléctrica disminuye favorablemente, aunque esta mejora es temporal ya que comparando los valores de las

diferentes etapas del suelo se observa un ligero incremento, claro esta que con las dosis de lodo residual no sobrepasa los valores del suelo natural, al contrario, quedó el suelo con buenos valores de conductividad eléctrica. También se observa una misma tendencia para todos los tratamientos, un incremento de la conductividad en las capas inferiores y este aumenta hacia la superficie. Por lo que es bueno seguir con la aplicación de las dosis siendo la mejor la de 50% de lodo residual.



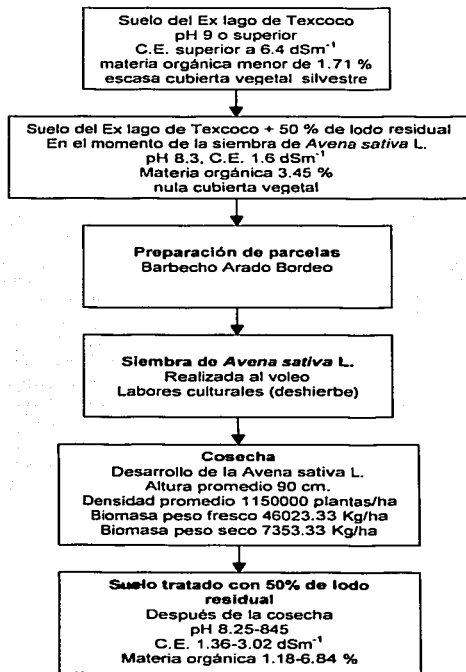
**TESIS CON**  
**FALLA DE ORIGEN**

En la gráfica No. 7 se observa la concentración de las principales sales solubles que forman al suelo natural y que son parecidas a las del testigo, ya que éste siempre mantuvo sus propiedades de salinidad todo el tiempo igual, es decir, por un lado el catión en mayor concentración es el sodio y por el otro lado el anión con mayor concentración es el cloruro, juntos estos dos iones son los responsables de los daños ocasionados a la planta y suelo, no olvidando a la siguiente sal que se forma con el carbonato y el sodio, responsable del pH arriba de 9 presente en el suelo. También podemos observar la aparente ausencia de calcio y magnesio, esto debido a las altas concentraciones de sodio.





**DIAGRAMA INTEGRATIVO SOBRE LA MEJOR DOSIS DEL MEJORAMIENTO DEL SUELO  
DEL EX LAGO DE TEXCOCO.**

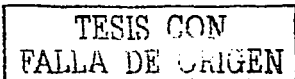


#### 4.6. ANÁLISIS DEL PERFIL

El análisis físico y químico practicado a un perfil típico en el Ex Lago de Texcoco ubicado al costado norte de la Planta de tratamiento de aguas negras (Tabla No. 5), permite ubicar a este suelo en los primeros 120 cm de profundidad con una textura migajón arcillo arenosa, a partir de esta profundidad se incrementan los valores de arcilla, dando origen a un horizonte B, cuya profundidad máxima alcanza los 200 cm, finalmente de 200 a 230 cm; la textura es nuevamente de migajón arcillo arenosa, de acuerdo con los colores obtenidos en el perfil del suelo, refleja evidencias claras de hidromorfismo reflejadas por colores grises-olivo, neutros.

Se encontró una tendencia de incremento de materia orgánica de la superficie hasta los primeros 200 cm de profundidad, en general el contenido de materia orgánica se incrementa de tal suerte que encontramos niveles entre 6 y 7 % de materia orgánica humificada a los 200 cm de profundidad. Esto puede explicarse por una migración descendente del humus influenciada por la infiltración del agua al subsuelo, arrastrando consigo al humus hidrosoluble que ha sido dispersado por la presencia de sales de sodio. En general este suelo desde la superficie posee contenidos de materia orgánica superiores al 1.5% que de acuerdo con Moreno (1970) son clasificados como medianamente pobres, sin embargo, a los 80cm de profundidad el contenido es superior al 2.3 % alcanzando como se ha indicado ya, contenidos de materia orgánica superior al 7%, es decir, estos espesores quedan clasificados de ricos a extremadamente ricos. El origen de esta materia orgánica se debe principalmente a la productividad primaria que el Ex Lago de Texcoco tenía, y que año con año, a través del planctón, era aportada al sedimento. Es importante señalar que los resultados de materia orgánica cuantificados por el método de Walkley-Black modificada por Grande (1974) se ven apoyados por los resultados obtenidos de residuos secos calcinados, es decir, que los mayores valores de residuos secos calcinados también se obtuvieron a partir de los 80 cm de profundidad.

Entre los factores que limitan el uso agropecuario de este suelo, están el pH, conductividad eléctrica y el contenido de carbonatos y cloruros de sodio. No son pocos los autores que señalan que existen pocas especies vegetales capaces de desarrollarse en suelos cuyo pH es de 10 o superior, como el que está presente en la zona de estudio, pues el perfil del suelo indica pH de 10 o mayores en los primeros 120 cm de espesor.

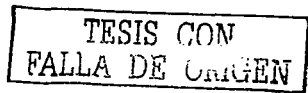


desde luego este simple factor reclama enmiendas a fin de lograr el establecimiento y desarrollo de especies vegetales, tarea nada fácil, ya que las reservas de alcalinidad son altas, representadas principalmente por el carbonato de sodio, que como se muestran en la tabla No.5 son de las sales más abundantes, coexistiendo con las de cloruro de sodio, ambas sales afectan severamente a las especies vegetales de 3 maneras, la primera por la alta concentración de sales afectando procesos fisiológicos como la absorción de agua, nutrimentos y alterando la estructura y estabilidad de las membranas celulares, por otra parte estas sales afectan a través de la toxicidad de iones, específicamente el ión sodio, catión sumamente tóxico para las plantas, seguido de anión cloruro ( $\text{Cl}^-$ ) que también es tóxico para algunas especies, un tercer efecto causado por estas sales es el efecto hidrolítico de ambas, ya que la presencia del sodio conduce a la formación de hidróxido de sodio al reaccionar con el agua para posteriormente, estos productos reaccionar con el  $\text{CO}_2$  del aire dando como resultado la formación de carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) altamente alcalina y responsable de el pH superior a 10 o más encontrados en el suelo (Russell, 1968).

Como se ha mencionado antes existe una competencia por el agua entre el suelo y las plantas ocasionada por la concentración de sales, sin embargo, un efecto muy importante que estas sales producen y que guardan una relación en la absorción del agua por parte de las especies vegetales es la alta presión osmótica de la solución del suelo, que aún cuando no fue determinada se infiere por la alta conductividad eléctrica medida en todos los espesores del perfil del suelo, pues de manera regular y desde los 10 cm de profundidad encontramos conductividades eléctricas superiores a  $21 \text{ dSm}^{-1}$ .

En estos suelos los cationes calcio y magnesio están precipitados, posiblemente formando fosfatos, compuestos altamente insolubles, bajo estas condiciones, esto puede constituirse como una cuarta limitación del suelo para el crecimiento de vegetal.

Con base en lo señalado hasta ahora encontramos que las propiedades del suelo principalmente las químicas deben ser corregidas para ser posible el establecimiento y desarrollo de especies vegetales. En el presente estudio el uso de dosis variables de todo residual rico en materia orgánica demostraron una rehabilitación temporal del suelo al menos en los primeros 30 cm de espesor, lo cual permitió el crecimiento de *Avena sativa* L.



Por otra parte en la gráfica No. 8 y tabla No.5 aparecen la suma de cationes y aniones a lo largo del perfil del suelo, en ellos se observa una buena correspondencia entre la concentración de cationes y aniones, las diferencias se deben a la presencia de otros cationes y aniones que en el presente estudio no fueron cuantificados, se observa sin embargo, que las mayores concentraciones de sales se encuentran entre los 120 y 200 cm de profundidad, desde luego reservas importantes y cuyas concentraciones no podemos especificar se encuentran a mayores profundidades de las aquí estudiadas. Por su parte se encontró que el residuo seco evaporado confirma el perfil salino, es decir, las más altas concentraciones se encuentran de 120 cm de profundidad en adelante.

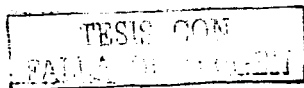


TABLA No. 5 ANALISIS FÍSICO Y QUÍMICO DEL PERFIL REALIZADO EN EL SUELO DEL EX-LAGO DE TEXCOCO

PROF. (cm)	TEXTURA (%)			CLASE TEXTURAL	SECO	COLOR	HUMEDO	D.A. (g/cc)	D.R. (g/cc)	E.P. (%)	pH	M.O. (%)
	ARC.	LIMO	ARENA									
00-10	24.36	21.36	54.28	Migajón arcillo arenoso	5Y 6/1 Gris	5Y 3/2 Olivo	0.92	2.51	63.36	10.24	1.96	
10-20	18.42	24.42	57.16	Migajón arcillo arenoso	5Y 6/1 Gris	5Y 3/2 Olivo	0.90	2.25	59.79	10.38	1.58	
20-30	22.76	24.36	52.88	Migajón arcillo arenoso	5Y 6/2 Gris olivo claro	2.5Y 3/2 Negro	1.03	2.33	55.6	10.20	1.58	
30-40	12.71	34.72	52.56	Migajón arcillo arenoso	5Y 5/2 olivo claro	2.5Y 3/2 Gris olivo	1.03	2.34	56.00	10.23	2.06	
40-50	27.44	18.00	54.56	Migajón arcillo arenoso	5Y 6/2 Gris olivo claro	2.5Y 3/2 Olivo	1.08	2.37	54.32	10.31	1.46	
50-60	24.44	18.36	57.20	Migajón arcillo arenoso	5Y 5/2 olivo claro	2.5Y 3/2 Gris olivo	1.12	2.36	52.53	10.41	1.45	
60-70	26.72	18.72	54.56	Migajón arcillo arenoso	5Y 5/2 olivo claro	5Y 2.5/2 Gris olivo	0.99	2.41	58.79	10.04	1.51	
70-80	29.44	14.36	56.20	Migajón arcillo arenoso	5Y 6/2 Gris olivo claro	5Y 3/2 Gris olivo	1.14	2.37	51.9	10.41	1.38	
80-90	26.16	12.00	61.84	Migajón arcillo arenoso	5Y 6/2 Gris olivo claro	5Y 2.5/2Gris olivo osc	1.07	2.39	55.09	10.11	2.33	
90-100	29.49	20.00	50.56	Migajón arcillo arenoso	5Y 5/1 gris	5Y 2.5/1Gris olivo	1.16	2.34	50.63	10.40	2.53	
100-110	26.16	12.00	61.84	Migajón arcillo arenoso	5Y 5/2 olivo claro	5Y 2.5/1Gris olivo osc	1.01	2.32	56.67	10.03	2.16	
110-120	33.44	10.72	55.84	Migajón arcillo arenoso	5Y 6/2 Gris olivo claro	5Y 3/2Gris olivo	1.12	2.38	52.94	10.00	3.19	
120-130	38.16	12.00	49.84	Arcillo arenoso	5Y 7/1 Gris claro	5Y 3/2 Negro	1.17	2.30	49.09	9.99	3.80	
130-140	35.80	10.00	54.20	Arcillo arenoso	5Y 6/2 Gris olivo claro	5Y 3/2 Negro	1.15	2.30	50.06	10.27	3.30	
140-150	28.16	35.64	36.20	Migajón arcillo arenoso	5Y 5/2 olivo claro	3/2 5Y Negro	1.14	2.19	48.02	9.95	4.78	
150-160	30.72	22.72	46.56	Migajón arcillo arenoso	5Y 6/2 Gris olivo claro	5Y 3/2 Gris olivo	1.09	2.29	52.5	9.95	5.52	
160-170	38.72	10.72	50.56	Arcillo arenoso	6/2 5Y Gris olivo claro	5Y 3/2 Negro	1.23	2.14	42.27	9.81	7.97	
170-180	38.72	8.72	52.56	Arcillo arenoso	5Y 6/2 Gris olivo claro	5Y 3/2 Café gris osc.	1.03	2.28	54.83	9.81	7.56	
180-190	39.08	16.36	44.56	Arcillo arenoso	5Y 7/2 Gris claro	5Y 4/3 Café gris	1.10	2.24	51.14	9.99	7.16	
190-200	38.72	14.00	47.28	Arcillo arenoso	5Y 6/2 Gris olivo claro	5Y 3/2Café gris osc.	1.20	2.43	50.85	10.05	6.33	
200-210	34.72	12.00	53.28	Migajón arcillo arenoso	6/2 5Y Gris olivo claro	5Y 2.5/2 Café gris	1.12	2.48	55.31	9.84	3.27	
210-220	32.72	14.00	53.28	Migajón arcillo arenoso	5Y 7/2 Gris claro	5Y 4/4 Gris olivo osc.	1.16	2.27	48.88	9.92	3.11	
220-230	34.72	12.00	53.28	Migajón arcillo arenoso	5Y 5/3 olivo	5Y 4/4Gris olivo osc.	1.11	2.22	50.24	10.24	3.55	

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

TABLA No. 5 CONTINUACIÓN.

PROF. (cm)	C.E. (dSm <sup>-1</sup> )	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>c</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>•</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>c</sup>	Σ CATIONES	Σ ANIONES	R.S.E. **	R.S.C. **
0-10	14.2	0.05	0.10	187.09	12.23	62.83	N.C.	76.14	6.76			8.18	7.59
10-20	22.2	0.05	0.05	250.50	15.16	78.54	N.C.	88.83	12.49	265.76	179.86	8.44	7.88
20-30	27.2	0.05	0.05	258.19	17.93	86.04	N.C.	114.92	16.14	276.22	217.10	10.20	9.47
30-40	22.0	0.05	0.05	235.74	17.77	98.18	N.C.	107.87	14.57	253.61	220.62	10.04	9.27
40-50	28.0	0.05	0.05	273.15	16.30	106.74	N.C.	117.27	17.18	289.55	241.19	11.52	9.54
50-60	26.0	0.05	0.05	254.44	16.63	112.46	N.C.	117.27	15.62	271.17	245.35	9.63	9.05
60-70	24.0	0.05	0.10	226.77	15.00	96.747	N.C.	92.36	7.03	235.92	196.14	9.11	8.34
70-80	22.0	0.05	0.05	224.51	13.69	107.81	N.C.	97.96	3.12	238.3	208.89	9.43	9.00
80-90	21.5	0.05	0.10	209.54	14.67	98.18	N.C.	87.42	6.76	224.36	192.36	13.23	12.54
90-100	27.5	0.05	0.05	261.93	17.12	129.95	N.C.	117.50	7.03	276.15	254.48	10.47	9.83
100-110	21.2	0.05	0.05	194.79	14.02	99.96	N.C.	82.25	6.77	208.91	188.98	14.09	13.39
110-120	26.0	0.05	0.10	228.25	16.79	94.96	N.C.	100.13	21.34	245.19	216.43	10.59	9.63
120-130	23.7	0.05	0.10	333.02	22.50	144.59	N.C.	172.73	29.15	355.67	346.47	13.65	13.09
130-140	35.0	0.05	0.10	336.76	21.85	160.29	N.C.	157.22	46.51	358.76	304.02	19.19	18.48
140-150	24.5	0.05	0.10	280.63	19.57	103.89	N.C.	119.85	21.34	300.35	245.08	12.65	11.68
150-160	23.5	0.05	0.10	217.03	15.00	72.47	N.C.	83.66	20.82	232.18	176.95	10.15	9.43
160-170	27.5	0.05	0.15	329.28	21.52	125.66	N.C.	160.04	24.98	351.00	310.68	19.96	18.86
170-180	27.7	0.05	0.10	362.96	23.15	124.24	N.C.	160.27	21.34	386.26	305.85	-	-
180-190	31.0	0.05	0.05	303.09	21.85	127.81	N.C.	133.72	17.18	325.04	278.71	19.61	18.83
190-200	34.0	0.05	0.10	333.02	22.50	139.59	N.C.	139.59	26.55	355.67	305.727	14.06	13.48
200-210	24.5	0.05	0.10	288.12	18.59	102.82	N.C.	123.85	21.34	306.86	248.01	12.25	11.57
210-220	29.0	0.05	0.05	254.44	17.45	103.89	N.C.	109.98	20.82	271.99	240.69	11.56	10.69
220-230	35.0	0.05	0.05	288.12	20.38	109.94	N.C.	114.92	27.85	308.6	252.71	16.67	16.03

\* CmolKg<sup>-1</sup>

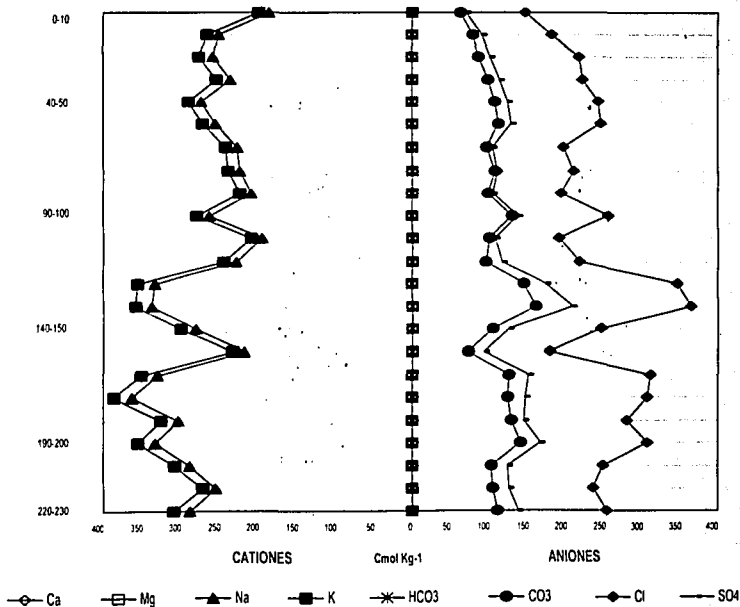
\*\* g/100g suelo

N.C. = no cuantificables.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

GRAFICA No. 8  
 CONCENTRACIÓN DE SALES SOLUBLES DEL PERFIL DEL  
 EX-LAGO DE TEXCOCO

PROF. (cm)



TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

TABLA No. 6 VARIABLES EVALUADOS EN EL CULTIVO *Avena sativa* L. PARA CADA TRATAMIENTO

DOSIS DE LODO RESIDUAL	REPETICIÓN	ALTURA MÁXIMA (cm)	PROMEDIO (cm)	DENSIDAD (No. PLANTAS/Ha)	PROMEDIO (No. PLANTA/Ha)	B. P.F. (Kg/Ha)	PROMEDIO B.P.F.	B.P.S. (Kg/Ha)	PROMEDIO B.P.S.
DOSIS 50%	1	90		1360000		44970		7400	
	2	90	90	1040000	1150000	47120	46023.33	7600	7353.333
	3	90		1050000		45980		7060	
DOSIS 40%	1	85		1360000		29320		5500	
	2	85	85	1020000	1113333	45520	35915	7060	5271.667
	3	85		960000		32905		4600	
DOSIS 30%	1	71		860000		35440		6300	
	2	71	66.68	970000	680000	32820	25603.33	5040	4288.333
	3	58.5		210000		8550		1520	
DOSIS 20%	1	60		910000		35224		5600	
	2	60	60	630000	770000	21830	28527	4360	4980.0
	3	N.D.		N.D.		N.D.		N.D.	
DOSIS 10%	1	70		780000		8785		1910	
	2	70	71.66	1030000	873333.3	29880	19140	4360	3846.667
	3	75		810000		27540		5270	
TESTIGO	1	N.D.		N.D.		N.D.		N.D.	
	2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	3	N.D.		N.D.		N.D.		N.D.	

N.D.=INDICA QUE EL CULTIVO NO SE DESARROLLO DESPUÉS DE LOS 7 DIAS DE LA SIEMBRA.

B.P.F.=BIOMASA PESO FRESCO

B.P.S.=BIOMASA PESO SECO

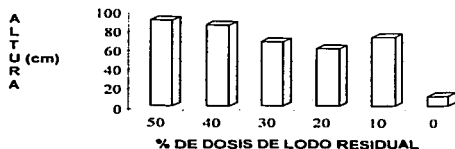
TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



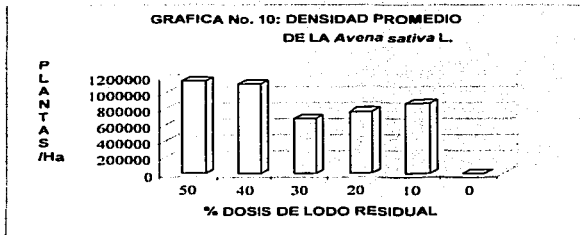
#### 4.7. ANALISIS DE LAS VARIABLES EVALUADAS EN LA *Avena sativa* L.

En la tabla No. 6 se observa que la altura de la *Avena sativa* L. en general fue aumentando conforme se fue incrementando la dosis de lodo residual aplicado, es decir, en el suelo con dosis 50, 40, 30, 20 y 10% la avena alcanzó una altura promedio de 90, 83, 66.68, 60 y 71cm respectivamente (ver figura No. 4). Cabe aclarar que el corte de la avena fue en el estado de grado lechoso recomendado por Baudillo (1983), alcanzando una mejor altura en el suelo con la dosis del 50% de lodo residual, la cual se encuentra dentro del rango que propone López (1986) que es de 0.60-1.5m y comparándola con trabajos hechos por Bejar (1968) con avena en suelos sin problemas de salinidad donde se obtuvieron alturas de 91.7 a 90.5 cm, se considera esta altura favorable. En el testigo la avena sólo se desarrollo durante 7 días, ello se debe a las restricciones de pH, alta concentración de sales, alto contenido de  $\text{NaHCO}_3$  y a la baja cantidad de nutrimentos que le impone el suelo de la zona (ver gráfica No.9 y figura No.4.).

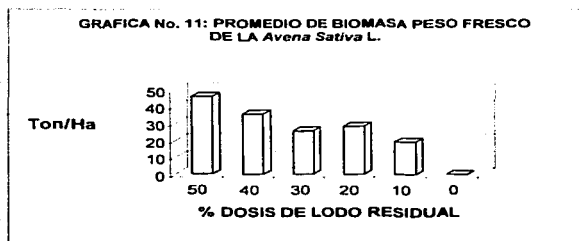
GRAFICA No. 9: ALTURA PROMEDIO DE LA *Avena sativa* L.  
EN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS



Con relación a la densidad de plantas, se observó que a medida que la dosis de lodo residual se incrementa, emerge un mayor número de plantas por unidad de superficie que alcanzan la etapa adulta, observándose un comportamiento ligeramente descendente en el número de plantas obtenidas para la dosis de 50% (1,150,000 plantas/Ha) con respecto a la de 40% (1,113,333). Esto se debe a que la dosis de mejorador fue disminuyendo a tal grado que las concentraciones bajas no alcanzaron una densidad del cultivo apropiada para ser económicamente redituable (ver gráfica No. 10), comparando las densidades de plantas entre los tratamientos de 50 y 20% de lodo residual encontramos una reducción del número de plantas equivalente a un 34%.

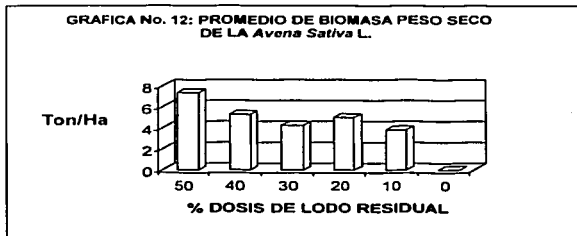


En cuanto a la biomasa peso fresco con la dosis de 50% de lodo residual se obtuvo el valor mas alto de esta variable siendo este de 46.02 ton/ha siguiendo la dosis de 40, 20, 30 y 10% como se aprecia en la gráfica No. 11, esta biomasa se considera satisfactoria comparándola con trabajos hechos por Bejar (1988) y Muñoz (1990) donde obtuvieron 25.96 y 32 ton/ha de materia verde respectivamente.



En cuanto a la biomasa peso seco los valores mas altos se obtuvieron en la dosis de 50% de lodo residual (7.35 ton/ha) y el valor mas bajo en la dosis de 10% (3.846 ton/ha) por lo que se considera que mientras mayor es la dosis de lodo residual aplicada en el suelo, se

obtienen mejores resultados de biomasa peso seco, estando en función de la recuperación de las propiedades físicas y químicas del suelo, esto se puede observar en la gráfica No. 12 donde el testigo mantuvo sus propiedades de suelo del Ex Lago de Texcoco y por ello el crecimiento del cultivo sólo se desarrolló durante 7 días, debido a los efectos de las altas concentraciones de las sales solubles y a un pH mayor a 9 (ver figura No.4). El valor de la biomasa peso seco se considera satisfactoria ya que en trabajos realizados por Bejar (1988) y Muñoz (1990) obtuvieron 8 y 3.7 ton/ha respectivamente.



El análisis de varianza practicado a las variables del cultivo con relación a la dosis de lodo residual, reportó que no existe diferencia significativa entre los tratamientos en cuanto a la densidad, biomasa peso fresco y biomasa peso seco (ver tabla No.7), excepto para la altura de las plantas en la dosis de 10 y 20% con respecto a las dosis 30, 40, y 50% de lodo residual, esto se puede apreciar en la tabla No.8 donde la única variable con probabilidad menor de 0.05 es la altura. Sin embargo, cuantitativamente si existen diferencias en las variables densidad, biomasa peso fresco y biomasa peso seco del cultivo, ya que los valores más altos se obtuvieron con la dosis de 50% de lodo residual.

TABLA No. 7 ANÁLISIS DE VARIANZA  
(APLICADO A LOS PARAMETROS DEL CULTIVO *Avena sativa* L.)

PARAMETRO	FUENTE	SUMA DE CUADRADOS (SS)	GRADOS DE LIBERTAD (DF)	CUADRADO MEDIO (MS)	RAZON DE F	PROBABILIDAD >F
ALTURA	Entre grupos	1650.54167	4	412.635417	30.73	0.0000
	Dentro de grupos	120.833333	9	13.4259259		
	TOTAL	1771.375	13	136.259615		
DENSIDAD	Entre grupos	4.9430e+11	4	1.2358e+11	1.94	0.1878
	Dentro de grupos	5.7313e+11	9	6.3681e+10		
	TOTAL	1.0674e+12	13	8.2110e+11		
BIOMASA PESO FRESCO (BPF)	Entre grupos	930043840	4	232510960	3.66	0.0558
	Dentro de grupos	507664251	8	63458031.4		
	TOTAL	1.4377e+09	12	119809008		
BIOMASA PESO SECO (BPS)	Entre grupos	22772142.9	4	5693035.71	2.29	0.1384
	Dentro de grupos	22331800.0	9	2481311.11		
	TOTAL	45103942.9	13	3469534.07		

**TABLA No. 8 COMPARACIÓN POR DOSIS  
PARA LOS PARAMETROS DEL CULTIVO Avena sativa L.**

**COMPARACIÓN DE ALTURA POR DOSIS  
(PRUEBA BONFERRONI)**

DOSIS	50%	40%	30%	20%
40%	0.069			
30%	1.000	0.714		
20%	0.016	0.000	0.002	
10%	0.002	0.000	0.000	1.000

**COMPARACIÓN DE LA DENSIDAD POR DOSIS  
(PRUEBA BONFERRONI)**

DOSIS	50%	40%	30%	20%
40%	1.000			
30%	1.000	1.000		
20%	1.000	1.000	0.648	
10%	1.000	1.000	0.485	1.000

**COMPARACIÓN DE BIOMASA PESO FRESCO POR DOSIS  
(PRUEBA BONFERRONI)**

DOSIS	50%	40%	30%	20%
40%	1.000			
30%	1.000	1.000		
20%	0.659	1.000	1.000	
10%	0.062	0.428	1.000	1.000

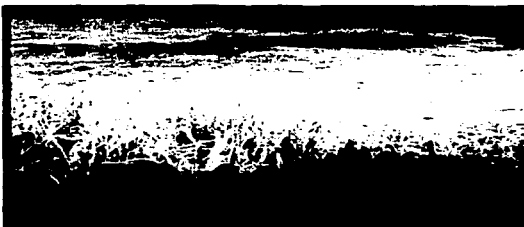
**COMPARACIÓN DE BIOMASA PESO SECO POR DOSIS  
(PRUEBA BONFERRONI)**

DOSIS	50%	40%	30%	20%
40%	1.000			
30%	1.000	1.000		
20%	1.000	1.000	1.000	
10%	0.234	1.000	0.409	1.000

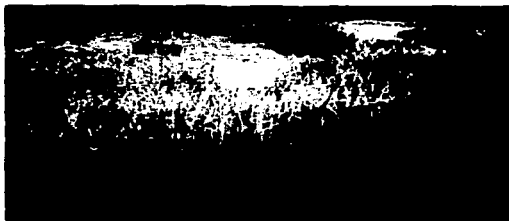
FIGURA No.4  
RESPUESTA DE LA *Avena sativa* L A LOS TRATAMIENTOS  
DE LODO RESIDUAL APLICADOS COMO MEJORADOR A LOS  
SUELOS SALINO-SODICOS DEL EXLAGO DE TEXCOCO



a) Testigo

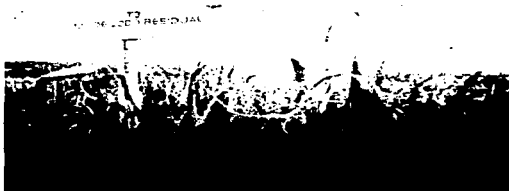


b) 10% de lodo residual



c) 20% de lodo residual

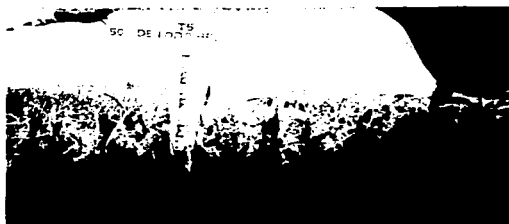
FIGURA No. 4(continuación)



d) 30 % de lodo residual



e) 40 % de lodo residual



d) 50 % de lodo residual

## V. CONCLUSIONES

1. Las propiedades del suelo del Ex Lago de Texcoco que limitan el establecimiento y desarrollo de una cubierta vegetal son el pH, la concentración total de sales y la alta concentración de bicarbonato y cloruro de sodio.
2. Aplicando una dosis de 50% y 40 % de lodo residual se logró reducir el pH del suelo encontrado de 9.91-10.11 hasta un valor de 8.3 y 8.2, la conductividad eléctrica de 6.4-10.7 hasta 1.6 y 2.49  $\text{dSm}^{-1}$  y los valores de sodio de 40.35-47.2 hasta 0.95 y 2.04  $\text{cmolKg}^{-1}$  respectivamente en el momento en que se realizó la siembra de la *Avena sativa* L.
3. El sodio es el catión más abundante en estos suelos y su concentración es responsable de su toxicidad para las plantas y para el suelo, es por ello que el cultivo de *Avena sativa* L. no se desarrolló en el suelo testigo, ya que éste siempre mantuvo sus mismos problemas de salinidad.
4. Una dosis del 50 % de lodo residual es suficiente para mejorar durante 4 meses las propiedades físicas y químicas de los suelos salino-sódicos del Ex Lago de Texcoco y obtener rendimientos económicos redituables.
5. Las dosis con las cuales se obtuvieron mejores resultados en las propiedades físicas y químicas del suelo del Ex Lago de Texcoco fueron con la aplicación de 50 y 40 % de lodo residual.
6. Una prueba del grado de recuperación de las propiedades físicas y químicas del suelo con la dosis del 50% de lodo residual, es el desarrollo de la *Avena sativa* L. utilizada como cultivo indicador, ya que se obtuvieron resultados de altura, densidad, biomasa peso fresco y biomasa peso seco satisfactorios para el suelo del Ex Lago de Texcoco.
7. De acuerdo con los resultados obtenidos tanto en los parámetros de respuesta de la *avena sativa* L. así como de las propiedades físicas y químicas del suelo postcosecha, la hipótesis planteada se acepta.



8. La aplicación de lodo residual como mejorador de los suelos salino-sódicos del Ex Lago de Texcoco mejora temporalmente las propiedades del suelo y se requiere de un programa permanente de manejo del subsistema lodo-suelo para paulatinamente recuperar el suelo y hacer posible el crecimiento vegetal de una manera sostenida.

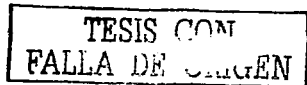
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## VI. RECOMENDACIONES

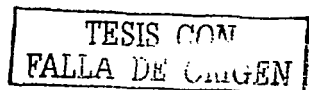
- ❖ Es altamente recomendado verificar o analizar el suelo en los primeros 30 cm de profundidad después de cada ciclo agrícola, momento que de acuerdo con esta experiencia experimental el lodo empieza a perder su capacidad mejorante al ser agotado por biodegradación. Particularmente se recomienda verificar el pH, conductividad eléctrica y porcentaje de sodio intercambiable.
- ❖ En virtud de que se esta utilizando lodo residual como mejorador y dado que en nuestro país las aguas residuales son resultado de una mezcla de las aguas utilizadas en diferentes actividades incluyendo la industrial, es posible que los lodos sean portadores de cantidades importantes de metales tóxicos que afecten a los suelos y a los productos que de ellos se obtienen y a quienes los consuman, por lo cual se requiere de hacer un análisis que asegure la calidad de los lodos en este sentido.
- ❖ Los lodos residuales también deben ser analizados desde un punto de vista biológico sobre todo si en los terrenos se producen hortalizas que mantienen un contacto estrecho con el suelo.
- ❖ Algunas especies que pueden ser establecidas en los suelos mejorados del Ex Lago de Texcoco y que pueden contribuir de manera significativa a la conservación del suelo y a mantener su recuperación por un tiempo mayor son: *Distichlis spicata* (pasto salado), *Suaeda nigra* (romero), *Chenopodium sp* (quelite), *Muhlenbergia repens* (zacatón), Casuarina y Tamarix.

## VII. REFERENCIAS.

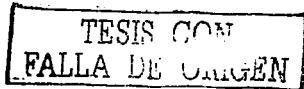
1. Aceves N. L. A. 1979. El ensaltramiento de los suelos bajo riego. Rama de riego y drenaje. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México. 4-37 p.
2. Aceves N. L. A. 1981. Los terrenos ensaltrados y los métodos para su recuperación. Departamento de suelos. Universidad Autónoma de Chapingo. PATUACH. Chapingo, México. 244 p.
3. Anguiano L.J., 1984. Evaluación de la metodología de diluciones sucesivas de agua freáticas y aguas negras en los suelos salino-sódicos del exlago de Texcoco. Reporte Interno. Comisión del Lago de Texcoco-SARH.
4. Baudillo J. 1983. Forrajes, fertilizantes y valor nutritivo, 2ª ed. Ed. AEDOS., Barcelona, España. 88-89 p
5. Bazilevich y Pankova 1968, Classification of soil According to Their Chemistry and Degree of salinization. Dokuchaev Soil Science Institute Moscow URSS. Agrokemia Es Talajtan **18**: 219-225 p.
6. Becerra, M.A. 1983. Evaluación de la aplicación de azufre durante la recuperación de suelos salino-sódicos del Ex Lago de Texcoco. Reporte Interno, Comisión del Lago de Texcoco-SARH.
7. Bejar H. M. 1988. Rendimiento y calidad de dos variedades de avena forrajera (*Avena sativa* L.) evaluadas en 4 estados de desarrollo fenológico en la región de Villa de Arista. S. L. P. Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia. U. A. Ch. Chapingo, México. 4-54 p.
8. Bernstein L. 1975. Effects of salinity and sodicity on plant by salinity, *Plant Physiology* **40**: 156-161 p.
9. Bernstein L. 1961. Osmotic adjustment of plants to saline media. Steady- State. *Amer Bot.* **48**: 909-918.
10. Bohn H. L, B. L. McNeal, y G. A. O' Connor. 1993. Química del suelo. Ed. Limusa México. 168,370 pp.
11. Bower C.A. et. al. 1965. Index of the tendency of  $\text{CaCO}_3$  to precipitate from irrigation water soil. *Sci. Soil. Amer. Proc.* **29**: 91-92
12. Buol S. W. 1991. Génesis y Clasificación de suelos. Edit. Trillas S. A. México D.F. 222-253 p.
13. Carter D. L. 1975. Problems of salinity in agriculture. In: *Plant in saline environments.* by A. Poljakoff-Marber and J. Gale. Springer-Verlang New York Heidelberg Berlin. p.25-35.
14. Cepeda D.J.M., 1991, Química de suelos, Editorial Trillas, 2da edición, México. 46-49, 108-109 p.



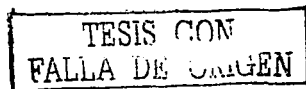
15. Clerici M.E. 1972. Determinación de la función, producción para forraje en avena. Tesis profesional. I.T.E.S.M., Monterrey, México. 147-148 p
16. Coffman, A.F. 1961. Oats An oat improvement. American Society of agronomy, Madison, Wisconsin E.U.A.
17. Cramer G. R. y D. C. Bowman. 1991. Short-term leaf elongation kinetics of maize in response to salinity are independent of the root. *Plant Physiology*. 95:965-967.
18. Cuanalo de la Cerda, H. 1971. Manual para descripción de perfiles de suelo en el campo. C.P., E.N.A. Chapingo. México. 40 p.
19. Chapman S. Y L. Carter. 1976. Crop production. Ed. WH. Freeman y Co. San Francisco California. E.U.A. 292 p.
20. Diaz del Pino A. 1953. Cereales de primavera. 1ª ed. Ed. Salvat, Barcelona España. 239-249 p.
21. Diaz E. L. F. 1986. Descripción de las regularidades del proceso de lavado de los suelos salinos. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Hidrociencias Colegio de Posgraduados. Chapingo, México. 265 p.
22. Diaz Espino, 1986. Descripción de las regularidades del proceso de lavado de los suelos salinos. *Terra* 4: 144-146, 149-152 p
23. Elizondo G.F. 1976. Efecto y evaluación económica de la época de cosecha y fertilización nitrogenada en el rendimiento y calidad forrajera de una variedad de avena. Tesis profesional. I.T.E.S.M., Monterrey, México. 15, 625-632.
24. Escobar R. E., 1995. Efectos de diversas soluciones salinas de composición total y cualitativa sobre la emergencia de variedades criollas de frijol y maíz bajo condiciones de invernadero. Tesis, UNAM, FES-ZARAGOZA. 1, 12-19 p.
25. Fernández G. R. 1990. Algunas experiencias y proposiciones sobre recuperación de suelos con problemas de sales en México. *Terra* 8: 227-233 p
26. Fernández G.R. 1971. Reseña histórica de las obras realizadas en las cuencas de México. Inédito. 49 p.
27. Fernández G.R. 1972. El problema de salinidad de suelos en México y trabajos de recuperación de tierras. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Boletín internomensual. 37 p.
28. Foth H. D., 1980. Fundamentos de la ciencia del suelo. Campaña Editorial Continental, 4ta impresión. 41-47, 218 p.
29. Gaucher G., 1971. Tratado de pedología agrícola, El suelo y sus características agronómicas. Ediciones Omega S.A. Barcelona. 348, 349, 147 p.
30. Gedroitz K. K. 1955. La Química coloidal en los problemas de la pedología. Ed. Moscú. URRS. 432 P.



31. González G. R. Del C. 1982. Establecimiento de relaciones funcionales entre láminas de lavado, sales desplazadas y sales residuales en suelos salinos. Tesis de Maestría en Ciencias, centro de Hidrociencias. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México. 141 p.
32. Greenway H. y R. Munns. 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Annual Review of Plant Physiology*. 31: 149-190.
33. Grijalva S. B., 1995, Efecto de la salinidad en 6 cultivos hortícolas. Tesis de Licenciatura UNAM FES-ZARAGOZA 2, 3, 7 y 8 p
34. Guerrero G. A. 1981. Cultivos herbáceos extensivos, 2ª ed. Editorial Mundi-Prensa, Madrid, España. 83-87 p
35. Hassan A. B. Gunse y E. Steudle. 1992. Effects of NaCl on water transport across root cells of maize (*Zea mays* L. ) Seedlings. *Plant physiology*. 99:886-894
36. Khan A. H, M. Y. Ashraf, S. S. M. Naqui, B. Khanzada y M. Ali. 1995. Growth, ion and solute contents of sorghum grown under NaCl and Na2SO4 salinity stress. *Acta Physiol. Plant.* 17: 261-268.
37. Kovda U. A. 1973. URRS nomenclature and clasification of saline soil. In: V. A. Kovda, C. Vandert berg y R. M. Hagan eds. Irrigation, Drainage, salinity an International Sourse Book Hutwhison/FAO/UNESCO. 69-73 p.
38. López M. M., 1986, Avena, Alpiste y Mijo, Editorial Albatros. SACI, Buenos Aires, Argentina, 37-38 p.
39. Llerena V. F. A. 1986. Recuperación extensiva de suelos altamente salinosódicos del Ex Lago de Texcoco. Terra 4: 173-179.
40. Llerena V. F. A. y Solano V. M. A. 1990. Utilización de lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales para la producción de especies forestales. XXII Congreso AIDIS Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. San Juan Puerto Rico.
41. Llerena V. F. A. y Tarín V. M. 1978. Establecimiento de pasto salado *Distichis spicata* como cubierta vegetal en los suelos extremadamente salino-sódicos del Ex Lago de Texcoco. XI Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Villa Hermosa Tabasco.
42. Magistad O. C. et. al. 1943. Effect of salt concentration, kind of salt, and climate on plant growth in sand cultures. *Plant Physiology*. 18: 151-166
43. Manchada H. R, S. K. Sharma y D. K. Bhandary. 1982. Response of barley and wheat to phosphorus in the presence of chloride and sulphate salinity. *Plant and Soil*. 66: 233-241.
44. Martínez E.A. 1981. Efectos de diferentes niveles de fertilización y densidades de siembra en avena. Tesis profesional UACH, Chapingo, México. 5-50 p.
45. Mass E. V. y G.J. Hoffman. 1977. Crop tolerance-current assesment. *ASCE journal of Irrigation and Drainage Division*. 103:559-564.



46. McCaslin, B. D. Y G. A. O'Connor. 1982. Potencial fertilizer value of gamma-irradiated sewage sludge on calcareous soil. New México. USA. Agric. Exp. Sta. Bull. No.692.
47. Medina M. S. 1986. Dosis de eficiencia de la fertilización en avena forrajera *Avena sativa* L. var. Chihuahua. FES-Cuautitlan. UNAM Edo. de México. 1-30 p.
48. Miramontes F. B., 1978, Interpretación Agronómica de datos de análisis físicos y químicos de suelos y plantas, SARH, Subsecretaría de planeación, Dirección General de Estudios, Subdirección de Agrología. México D.F. 3-33 p.
49. Moreno R. 1970, Análisis químico de suelos en: Miramontes F.B.1978, Interpretación Agronómica de datos de análisis físicos y químicos de suelos y plantas, SARH, Subsecretaría de planeación, Dirección General de Estudios, Subdirección de Agrología. México D.F.40-45 p.
50. Munns. R. 1993. Physiological processes, limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypothesis. *Plant Cell and Enviroment*. 16: 15-24.
51. Munsell soil color chart, 1975. Editorial Color Company Inc. Marylan, U.S.A. 8 p.
52. Muñoz Ch. O. 1990. Evaluación de la producción de un cultivo de avena Forrajera (*Avena sativa* L.) Variedad Cuauhtemoc y variedad Chihuahua bajo diferentes dosis de fertilización en la zona de Marín Nuevo León. Tesis profesional. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Agronomía. 1-35 p.
53. Nieman R. H. 1965. Expansion of bean leaves and its suppression
54. O'Connor G. A. 1984. Trace metal sorption in sludge-amended soil. New México. USA.
55. O'Connor G. A. 1988. Soil as a waste disposal media. Department of Agronomy and Horticulture, New México State University. USA. Terra 6: 166-169.
56. O'Connor G. A. y B.C. Fairbanks. 1982. Fate of toxic organics in sludge-amended soil. Proc. National Conf. Composting Munic. And Industrial Sludge. New México. USA. 6-14 p.
57. Ortega E. H. M. 1976. Cambios físico-químicos de suelos del Vaso del Ex Lago de Texcoco, sujetos a lavado con diferentes soluciones. Tesis de Maestría en ciencias. Especialidad riego y drenaje. ENA. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México. 109 p.
58. Ortiz O. M. 1986. El muestreo de suelos salinos y sódicos. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. 13-23 p
59. Petersen R. Y L. Calvin, 1965. Sampling. En : Black, C Methods of soil Analysis. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin 54-72 p
60. Pizarro F. 1978. Drenaje Agrícola y recuperación de suelos salinos. Ed Agrícola Española. S.A. Madrid . 521p
61. Pla S.I. 1988. Riego y desarrollo de suelos afectados por sales en condiciones tropicales. *Soil Technology*. 1:13-35.
62. Prakash L., M. Dutt y G. Prathapasenan. 1988. NaCl alters contents of nucleic acids, protein,



- polyamines and the activity of agmatine diaminase during germination and seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.) . *Australian Journal of Plant Physiology*, **15**: 769-776
63. Ramirez M. O. M. 1988. Determinación experimental de la capacidad germinativa de algunos cultivos agrícolas en soluciones salinas de diferente concentración total y composición cualitativa. Tesis de Maestría en Ciencia, Colegio de Posgraduados. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas Centro de Hidrociencias. Chapingo, México. 217 p.
64. Reeves D.L. y S.H. Sraon , 1976. How an oat plant develops. Bolletín 643 Agricultural experiments station. South Dakota State University. Dakota del sur E.U.A.
65. Rengel Z. 1992. The role of calcium in salt toxicity, Plant cell and growth, *Annual review of phytopatology*, **13**:295-310.
66. Reza, S., P. Yung y D. Lefebvre, 1993. Mutants of arabisidopsis thaliana capable of germination under saline conditions. *Plant Physiology*, **101**: 839-845.
67. Richard L.A. 1954. Diagnostico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Manual 60 Dpto. de Agricultura de los Estados Unidos de America. Ed. Limusa, México. 9-16 p.
68. Richards L.A. 1985. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Ed. Limusa, México. 1-5,9,33-34 p
69. Richards, L.A. 1993. Diagnosticos y rehabilitación de suelos salino-sódicos. Personal de Laboratorio de salinidad de los E.U.A. sexta edición Séptima reimpresión. 3-10 p.
70. Robles S.R. y Merlo C.H. 1978. Cultivo de la avena. En S.R. Robles. Producción de granos y forrajes. 2da. Edición, Ed. Limusa, México.
71. Rogers M. E, Grive C. M. y M. C. Shannon. 1998. The response of lucerne (*Medicago sativa* L.) to sodium sulphate and chloride salinity. *Plant and Soil*. **202**: 271-280.
72. Rogers M. E., Grive C. M. Y M. C. Shannon. 1998. The response of Luceme (*Medicago sativa* L.) to sodium sulphate an Chloride salinity. *Plant and soil* **202**: 271-280.
73. Russell J. Y W. Russell, 1968. Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas. 4ª Ed. Aguilar. Madrid. 615-617, 701-715 p
74. Rzedowski J. 2001. Flora Fanerogámica del valle de México. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa. Veracruz. 115-414, 1002-1200 p.
75. S.A.R.H. 1985. Boletín informativo año 1, vol. 1 Comisión Lago de Texcoco. 22 p.
76. Sánchez G.L. 1972. Guia del agricultor 3ª ed. Ed. AEDOS, Barcelona, España. 146 p
77. SARH.-IMTA, 1982. Guia para cultivar avena forrajera en el Valle de México. Folleto No. 16, Chapingo, México.
78. Sejas A. J. 1978. Comportamiento físico y químico de los suelos ensalitrados sometidos a lavado con diluciones graduales. Tesis de Maestría en Ciencias. Rama de riego y drenaje.

Colegio de Posgraduados. Chapingo, México. 136 P.

79. Serrano P. R. 1985. Estudio de la conductividad hidráulica y velocidad de infiltración del Ex Lago de Texcoco. Reporte interno. Comisión Lago de Texcoco, México.
80. Szabolcs I. 1994. Soil and Water Salinization and Desertification. Proceedings of the IV International Conference on Desert Development. México. p. 85-94.
81. Thorne D.W., Ph. O. 1978. Técnicas de riego, fertilidad y explotación de los suelos. Ed. C.E.C.S.A. México. 496 p.
82. Ureña C., C. F. 1975. Estudio preliminar para la utilización de diversos mejoradores y laminas de lavado para la recuperación de suelos salino-sódicos del Ex Lago de Texcoco. Tesis profesional. Departamento de Irrigación. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. 1-6 p.
83. Velazquez L. A., Luna O. P. y F. A. Llerena V. 1981. Estudio agrológico detallado del Ex Lago de Texcoco, Reporte interno. Comisión Lago de Texcoco-SARH en: Llerena V. F. A. et al. 1986. Recuperación extensiva de suelos altamente salino-sódicos del Ex Lago de Texcoco. Terra 4: 173-174 p.
84. Walter, D. T., M.S. Aulakh y J.W. Doran. 1992. Effects of soil aeration, legume residue, and soil texture on transformation of macro- and micronutrients in soil. *Soil Science*. 153: 100-107.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN