

41  
209



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES  
CUAUTITLAN

DETERMINACION EXPERIMENTAL DE LA CAPACI-  
DAD GERMINATIVA DE ALGUNOS CULTIVOS HORTI-  
COLAS EN SOLUCIONES SALINAS DE DIFERENTE  
CONCENTRACION TOTAL Y COMPOSICION  
CUALITATIVA

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERA AGRICOLA  
P R E S E N T A :  
ROSA RIVERA LOPEZ

Directores de Tesis: Dr. Manuel Ortega Escobar  
M.C. Edvino Josafat Vega Rojas



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 está 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.

# INDICE

	Página
RESUMEN .....	1
I. INTRODUCCION.....	1
II. HIPOTESIS Y OBJETIVOS.....	3
2.1. Hipótesis.....	3
2.2. Objetivos.....	3
III. REVISION DE LITERATURA.....	5
3.1. Generalidades.....	5
3.2. Geoquímica de los suelos salinos.....	8
3.3. Clasificación de suelos con problemas de ensalitramiento.....	11
3.4. Distribución de los suelos con problemas de ensalitramiento.....	12
3.5. Evaluación de la salinidad en los suelos.....	17
3.6. Tolerancia de las plantas a las sales.....	20
3.7. Efecto de las sales solubles en la anatomía y fisiología de las plantas .....	27
3.8. Efecto de las sales solubles en la germinación.....	34
IV. MATERIALES Y METODOS.....	39
4.1. Materiales.....	39
4.2. Métodos.....	40
4.2.1. Diseño de tratamientos.....	40
4.2.2. Preparación de los tratamientos.....	42
4.3. Diseño experimental.....	57
4.4. Instalación del experimento.....	57
4.5. Determinaciones y observaciones durante el desarrollo de la investigación.....	58
4.5.1. Determinaciones.....	58
4.5.2. Observaciones.....	62
4.6. Análisis estadístico.....	62
4.6.1. Análisis de varianza.....	62

4.6.2. Análisis de regresión.....	62
4.6.2.1. Modelo lineal sin ordenada al origen.....	62
4.6.2.2. Modelo lineal con ordenada al origen.....	64
<b>V. RESULTADOS Y DISCUSION.....</b>	<b>65</b>
5.1. Efecto de las sales sobre la germinación.....	65
5.1.1. Respuesta a las sales del cultivo de calabacita.....	65
5.1.2. Respuesta a las sales del cultivo de cebolla.....	70
5.1.3. Respuesta a las sales del cultivo de chile... ..	74
5.1.4. Respuesta a las sales del cultivo de jitonate.....	77
5.1.5. Respuesta a las sales del cultivo de lechuga.....	81
5.1.6. Respuesta a las sales del cultivo de zanahoria.....	84
5.2. Relación de la conductividad eléctrica y el contenido de sales en la solución.....	87
5.2.1. Relación de la conductividad eléctrica y el contenido de sales expresado en partes por millón (ppm).....	87
5.2.2. Relación de la conductividad eléctrica y el contenido de sales expresado en miliequivalentes por litro (meq/L).....	94
5.2.3. Relación de la conductividad eléctrica y el contenido de sales expresado como presión osmótica (atm).....	99
5.2.4. Análisis conjunto de la relación de la conductividad eléctrica ( $CE \times 10^3$ ), con la concentración en ppm o mg/L, con la concentración en meq/L y con la presión osmótica para cinco tipos de salinidades cualitativas.....	104
<b>VI. CONCLUSIONES.....</b>	<b>108</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>110</b>
<b>VIII. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>111</b>
<b>ANEXO 1 .....</b>	<b>122</b>
<b>ANEXO 2 .....</b>	<b>125</b>

<b>ANEXO 3</b> .....	<b>128</b>
<b>ANEXO 4</b> .....	<b>131</b>
<b>ANEXO 5</b> .....	<b>134</b>
<b>ANEXO 6</b> .....	<b>137</b>

## INDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
3.1. Ensalitramiento de suelos bajo riego en diferentes condiciones climáticas.....	6
4.1. Conductividad Eléctrica y concentración de los tratamientos con salinidad Clorhídrica, según el cultivo.....	46
4.2. Conductividad Eléctrica y concentración de los tratamientos con salinidad Sulfático-Clorhídrica, según el cultivo.....	48
4.3. Conductividad Eléctrica y concentración de los tratamientos con salinidad Clorhídrico-Sulfática, según el cultivo.....	50
4.4. Conductividad Eléctrica y concentración de los tratamientos con salinidad Sulfática, según el cultivo.....	52
4.5. Conductividad Eléctrica y concentración de los tratamientos con salinidad Sulfático-Sódica, según el cultivo.....	56
5.1. Conductividad Eléctrica en $\text{milimhos/cm}^{-1}$ , en las diferentes salinidades para el cultivo de calabacita.....	66
5.2. Porcentajes de germinación expresados en forma relativa en el cultivo de calabacita.....	67
5.3. Días a germinación del cultivo de calabacita para las diferentes concentraciones y tipos de salinidad..	69
5.4. Modelos para los Días a Germinación del cultivo de calabacita, según la presión osmótica y la conductividad eléctrica de soluciones con diferentes salinidades.....	69a
5.5. Conductividad Eléctrica en $\text{milimhos/cm}^{-1}$ en las diferentes salinidades para el cultivo de cebolla.....	70
5.6. Porcentajes de germinación expresados en forma relativa en el cultivo de cebolla.....	71
5.7. Días a germinación del cultivo de cebolla para las diferentes concentraciones y tipos de salinidad..	73
5.8. Conductividad Eléctrica en $\text{milimhos/cm}^{-1}$ en las diferentes salinidades para el cultivo de chile.....	74
5.9. Porcentajes de germinación expresados en forma relativa en el cultivo de chile.....	75

5.10. Días a germinación del cultivo de chile para las diferentes concentraciones y tipos de salinidad.....	77
5.11. Conductividad Eléctrica en $\text{millimhos/cm}^{-1}$ en las diferentes salinidades para el cultivo de jitomate.....	78
5.12. Porcentajes de germinación expresados en forma relativa en el cultivo de jitomate .....	79
5.13. Días a germinación del cultivo de jitomate para las diferentes concentraciones y tipos de salinidad.....	80
5.14. Conductividad Eléctrica en $\text{millimhos/cm}^{-1}$ en las diferentes salinidades para el cultivo de lechuga.....	81
5.15. Porcentajes de germinación expresados en forma relativa en el cultivo de la lechuga.....	82
5.16. Modelos para los Días a Germinación del cultivo de lechuga, según la presión osmótica y la conductividad eléctrica de soluciones con diferentes salinidades.....	83
5.17. Días a germinación del cultivo de lechuga para las diferentes concentraciones y tipos de salinidad.....	84
5.18. Conductividad Eléctrica en $\text{millimhos/cm}^{-1}$ en las diferentes salinidades para el cultivo de zanahoria.....	84
5.19. Porcentajes de germinación expresados en forma relativa en el cultivo de zanahoria.....	85
5.20. Días a germinación del cultivo de zanahoria para las diferentes concentraciones y tipos de salinidad.....	86
5.21. Concentraciones de las soluciones con salinidad Clorhídrica en partes por millón (ppm).....	89
5.22. Concentraciones de las soluciones con salinidad Sulfático-Clorhídrica en partes por millón (ppm).....	89
5.23. Concentraciones de las soluciones con salinidad Clorhídrico-Sulfática en partes por millón (ppm).....	89
5.24. Concentraciones de las soluciones con salinidad Sulfática en partes por millón (ppm).....	90
5.25. Concentraciones de las soluciones con salinidad Sulfático-Sódica en partes por millón (ppm).....	90
5.26. Conductividad Eléctrica en $\text{millimhos/cm}$ a $25^{\circ}\text{C}$ de las soluciones con salinidad Clorhídrica.....	90
5.27. Conductividad Eléctrica en $\text{millimhos/cm}$ a $25^{\circ}\text{C}$ de las soluciones con salinidad Sulfático-Clorhídrica.....	91
5.28. Conductividad Eléctrica en $\text{millimhos/cm}$ a $25^{\circ}\text{C}$ de las soluciones con salinidad Clorhídrico-Sulfática.....	91

5.29. Conductividad Eléctrica en milimhos/cm a 25°C de las soluciones con salinidad Sulfática.....	91
5.30. Conductividad Eléctrica en milimhos/cm a 25°C de las soluciones con salinidad Sulfático-Sódica.....	92
5.31. Modelos obtenidos para la relación de la conductividad Eléctrica y el contenido de sales expresado en partes por millón (ppm).....	92
5.32. Concentraciones de las soluciones con salinidad Clorhídrica en miliequivalentes por litro (meq/L).....	95
5.33. Concentraciones de las soluciones con salinidad Sulfático-Clorhídrica en miliequivalentes por litro (meq/L).....	95
5.34. Concentraciones de las soluciones con salinidad Clorhídrico-Sulfática en miliequivalentes por litro (meq/L).....	95
5.35. Concentraciones de las soluciones con salinidad Sulfática en miliequivalentes por litro (meq/L).....	96
5.36. Concentraciones de las soluciones con salinidad Sulfático-Sódica en miliequivalentes por litro (meq/L).....	96
5.37. Modelos obtenidos para la relación de la conductividad Eléctrica y el contenido de sales expresados en meq/L.....	97
5.38. Presión osmótica en atmósferas (atm) de las soluciones con salinidad Clorhídrica.....	100
5.39. Presión osmótica en atmósferas (atm), de las soluciones con salinidad Sulfático-Clorhídrica.....	100
5.40. Presión osmótica en atmósferas (atm), de las soluciones con salinidad Clorhídrico-Sulfática.....	100
5.41. Presión osmótica en atmósferas (atm), de las soluciones con salinidad Sulfática.....	101
5.42. Presión osmótica en atmósferas (atm), de las soluciones con salinidad Sulfático-Sódica.....	101
5.43. Modelos obtenidos para la relación de la conductividad Eléctrica y el contenido de sales expresados como presión osmótica (atm.).....	102
5.44. Modelos obtenidos para el análisis de la relación conjunta de la conductividad Eléctrica ( $CE \times 10^3$ ), con la concentración en partes por millón (ppm) o mg/L, con la concentración en meq/L y con la presión osmótica en (atm), para cinco tipos de salinidades cualitativas.....	105



## INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
3.1. Principales Distritos de Riego de México afectados por la salinidad, S.R.H (1971), INEGI (1981).....	16
4.1. Esquematzación del Invernadero donde se instaló el experimento .....	59
4.2. Mesas con las macetas experimentales .....	60
4.3. Vista de las macetas y el termómetro.....	60
4.4. Representación esquemática de la maceta y su contenido...	61
5.1. Concentraciones de soluciones con mezclas de sales en partes por millón o miligramos por litro y su relación con la conductividad eléctrica.....	93
5.2. Concentraciones de soluciones con mezclas de sales en miliequivalentes por litro y su relación con la conductividad eléctrica.....	98
5.3. Presión Osmótica de soluciones cualitativas y su relación con la conductividad eléctrica.....	103
5.4. Concentraciones de soluciones en partes por millón o miligramos por litro, en miliequivalentes por litro y presión osmótica en atmósferas y su relación con la conductividad eléctrica, para cinco tipos de salinidades.....	106

## RESUMEN

Se desarrolló una investigación para determinar la capacidad germinativa de seis cultivos hortícolas en soluciones salinas de diferente concentración total y composición cualitativa en las instalaciones del Centro de Hidrociencias del Colegio de Postgraduados en Montecillo, México.

El objeto de este trabajo fue, además de determinar la capacidad de germinación de los cultivos seleccionados en condiciones de salinidad, obtener las relaciones funcionales entre el contenido de sales en  $mg/L$ ,  $meq/L$  y presión Osmótica con respecto a la Conductividad Eléctrica de soluciones salinas, y obtener una relación lineal entre los días necesarios a la germinación y la presión osmótica de una solución, para cada cultivo.

El experimento se instaló en invernadero, utilizándose macetas adaptadas para ensayo de germinación, agrolita como sustrato y seis tipos de semillas diferentes: calabacita, var. "Gray Zucchini"; cebolla, var. "Sta. Cruz"; chile serrano, var. "Tampiqueño 74"; jitomate, var. "ACE 55 VF"; lechuga, var. "Parris Island Cos"; zanahoria, var. "Nantes". Las mezclas de sales que se usaron fueron diluidas en agua destilada.

Se consideró un diseño experimental de bloques al azar, con seis tratamientos y tres repeticiones.

Con los datos obtenidos del experimento se realizó un análisis de varianza, para determinar la variabilidad de respuesta de la germinación y establecer la probable diferencia estadística entre los tratamientos aplicados, habiéndose considerado el porcentaje y los días necesarios para la germinación.

Los modelos estadísticos utilizados mostraron su validez, ya que los resultados obtenidos sugieren que en los cultivos de cebolla, chile y zanahoria, se presenta un efecto diferencial de las sales probadas sobre la germinación, al contrario de los otros tres, lo cual los muestra como menos tolerantes a la salinidad en la etapa germinativa.

## I. INTRODUCCION

Desde épocas remotas la salinidad de suelos y aguas es un problema de importancia mundial, presentándose en tierras dedicadas a la agricultura de riego. Antes de la Era Cristiana, en Egipto se practicaba el riego por inundación en suelos fértiles y productivos así como en la Mesopotamia en tiempos posteriores; actualmente son regiones con acumulaciones de sales en el perfil del suelo y por lo tanto, ejemplos del efecto que producen estas sobre los cultivos y suelos.

En general, regiones que en otras épocas destacaban por su fertilidad, con el paso del tiempo se han transformado en zonas improductivas originadas por el ensalitramiento de suelos o aguas.

Este problema se presenta en el país, en donde la agricultura bajo riego se practica desde tiempos del Rey Netzahualcóyotl, incrementándose en tiempos de la colonia, en donde se construyeron un gran número de pequeñas obras de riego, para dar sustento a la población. En la actualidad es posible percatarse de la gravedad del problema, ya que 33% de la superficie bajo riego, se encuentra afectada en mayor o menor grado por la salinidad, disminuyendo la productividad de algunos distritos de riego importantes y causando pérdidas económicas considerables al país. Las regiones donde se presentan los suelos salinos muestran ciertos rasgos característicos como son: alta temperatura, baja humedad relativa y alta capacidad de

evaporación la mayor parte del año.

El drenaje deficiente es un factor que contribuye a la salinización de los suelos, pudiendo llevar consigo la presencia de una capa freática poco profunda que afecte el desarrollo de los cultivos.

La salinidad excesiva es un factor limitante para el desarrollo de los cultivos; por una parte, la presencia de grandes cantidades de sales originan una alta presión osmótica en la solución de los suelos; por otro lado, algunas sales pueden resultar fitotóxicas en altas concentraciones y si son de reacción alcalina, conferirán propiedades físicas inadecuadas a los suelos.

La respuesta de las plantas a la salinidad es diferente de acuerdo a su etapa de desarrollo y el tipo de sales presente; existen investigaciones que muestran que algunas plantas son tolerantes en la etapa de germinación, o bien que su tolerancia es en otras etapas posteriores de desarrollo.

Dado que la tolerancia de los cultivos a las sales depende de la especie, estado del ciclo de desarrollo, concentración y tipo de sales, la presente investigación pretende estudiar la respuesta de algunos cultivos hortícolas a soluciones salinas de diferente concentración y composición cualitativa en la etapa de germinación.

## II. HIPOTESIS Y OBJETIVOS

### 2.1. Hipótesis

- 2.1.1. *La germinación de los cultivos hortícolas: calabacita, cebolla, chile, jitonate, lechuga y zanahoria, se afecta cuando se someten a soluciones salinas de diferente concentración total y composición cualitativa.*
- 2.1.2. *Existen relaciones funcionales entre el contenido de sales en mg/L, meq/l. y P.O. (presión osmótica), con respecto a la conductividad eléctrica de una solución.*
- 2.1.3. *Es posible obtener una relación funcional entre los días necesarios para la germinación de los mismos cultivos y la concentración total de la solución, así como la composición cualitativa.*

### 2.2. Objetivos

- 2.2.1. *Determinar el efecto que se produce en la germinación de cultivos que muestran sensibilidad cuando se someten a soluciones salinas de diferente concentración total y composición cualitativa.*
- 2.2.2. *Obtención de las relaciones funcionales entre el contenido*

de sales en mg/L, meq/L y P.O. (presión osmótica), con respecto a la conductividad eléctrica de una solución de diferente concentración y composición cualitativa.

- 2.2.3. Obtener una relación lineal entre días necesarios a la germinación y la P.O. de una solución.

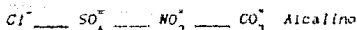
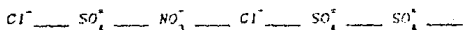
### III. REVISION DE LITERATURA

#### 3.1. Generalidades

La salinidad es quizás el problema más importante que afecta la agricultura de riego a nivel mundial. Se ha estimado que la salinidad limita la producción de cultivos en  $4 \times 10^7$  ha o un tercio de la tierra de regadío en el mundo. En suma, millones de hectáreas de tierra potencialmente irrigable podrían convertirse en salinas si se dedicaran a la producción. Por consiguiente, es imperativo que se proporcionen la mayor cantidad de datos posibles de la tolerancia a las sales en la selección de cultivos para el manejo de decisiones en estas áreas (Maas y Hoffman, 1977).

Las Áreas salinas aparecen en las regiones del mundo donde el clima es caliente y seco, y por lo mismo el equilibrio del agua está dominado por la evaporación de la superficie del suelo.

Los suelos salinos se encuentran fundamentalmente en zonas donde la evaporación supera los 1,000 mm al año e incluso en regiones de 500 mm. Cuando el clima se suaviza, se pasa progresivamente por los siguientes tipos de sales dominantes:



El cuadro siguiente explica con mayor claridad lo anterior:



Cuadro 3.1. Ensalitramiento de suelos bajo riego en diferentes condiciones climáticas.

CONDICIONES CLIMATICAS	SALES	ENSALITRAMIENTO DE SUELOS BAJO RIEGO
Desérticas	NaCl, MgCl <sub>2</sub> , CaCl <sub>2</sub> , KNO <sub>3</sub> NaNO <sub>3</sub> , MgSO <sub>4</sub> , CaSO <sub>4</sub>	Muy alto
Áridas	NaCl, Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , CaSO <sub>4</sub> , MgSO <sub>4</sub>	Frecuentemente
Semiaridas	NaCl, Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , NaCO <sub>3</sub> , NaHCO <sub>3</sub>	Anormal
Semiáridas	NaSO <sub>4</sub> , NaCO <sub>3</sub> , NaHCO <sub>3</sub>	No se conoce

De los tres primeros tipos climáticos se puede resumir lo siguiente:

- a) En las zonas desérticas donde prácticamente no hay precipitación, los suelos y capas freáticas son salinas o extremadamente salinas. El riego siempre debe ir acompañado del control de salinidad.
- b) En las zonas áridas con precipitaciones de 150-300 mm, el drenaje natural juega un papel importante; si es libre conduce a la desalinización si fuese necesario, pero si es pobre ocasionará serios problemas de salinización secundaria.

- c) En las zonas semiáridas o subhúmedas el riego es pequeño y generalmente al regar se contribuye a la desalinización. Sin embargo, pueden aparecer problemas de anegamiento y alcalinización (Adán, 1980).

Los casos de suelos afectados de salinidad primaria están diseminados en áreas de suelos pedológicamente jóvenes, los cuales se encuentran frecuentemente en valles cerrados que tienen drenajes naturales de descarga inadecuados, y en los que por lo menos durante una parte del año, la capa freática se eleva mucho.

En la mayoría de los casos siempre existen condiciones anormales de las aguas del suelo, excepto en los que se pudieran llamar suelos salinos fosilizados en donde el clima se ha hecho seco desde que las sales se acumularon.

El origen primitivo de todas las sales solubles es la meteorización de los materiales de la roca. Por ello no es raro que en las montañas que rodean los valles salinos se encontrasen granitos y esquistos sódicos cuya meteorización, en presencia de pirritas, diesen lugar a la formación de sulfato de sodio.

La dolomita, la olivina, la hornablenda y muchas otras rocas ígneas pueden originar sales magnésicas.

En los suelos jóvenes normales, estos productos solubles provenientes de la meteorización se van moviendo continuamente hacia

abajo a medida que se forman, y eventualmente encuentran su destino en el mar.

Por el contrario, en los suelos salinos, estas sales tienden a permanecer en el agua del suelo, por medio de lo cual se pueden mover lateralmente y reaparecer en otras Áreas o también subir por el perfil del suelo por el proceso de capilaridad. La tensión superficial del agua ocasiona un movimiento capilar ascendente, el cual es la causa fundamental de la salinidad de los suelos (López-Ritas, 1978).

### 3.2. Geoquímica de los suelos salinos.

Los principales constituyentes catiónicos de las sales solubles en los suelos salinos son el sodio, el calcio y el magnesio, y los aniónicos más significativos son: el sulfato, el cloruro y el bicarbonato. Entre los iónicos menos importantes se incluyen el potasio, el carbonato, el nitrato y otros en pequeñas cantidades, dos constituyentes secundarios, que en ocasiones adquieren gran importancia por su toxicidad para las plantas, son el litio y el borato (Black, 1975).

Aunque el exceso de sales solubles en los suelos proviene sobre todo de la meteorización de minerales primarios, esto no implica que la proporción relativa de los distintos elementos se mantenga en las sales solubles, pues éstas tienden a contener proporcionalmente más sodio y cloro y menos calcio, magnesio, potasio y azufre. La razón de este cambio en la proporción de los elementos no es causada

tanto por una variación en la tasa de liberación de los minerales primarios, sino por una diferencia en la propensión a formar minerales secundarios de baja solubilidad. El calcio, el magnesio, el potasio y el azufre forman una cantidad de estos minerales.

Kovda citado por Aceves (1981), desarrolló un esquema donde se identifican los diferentes tipos de suelos salinos, basado en la clase de sal predominante y su origen.

- a) Suelos salinos del tipo cloruros-nitratos, en ocasiones con boratos. Se asocian a deltas de ríos, planicies bajas inundadas y deltas sumergidos.
- b) Suelos salinos del tipo sulfatos-cloruros. Se asocian a terrazas de lagos y ríos recientes.
- c) Suelos salinos del tipo mezclado, cloruros-sulfatos con carbonatos de sodio. Se asocian a depósitos de aguas continentales interiores sin salida.
- d) Suelos salinos del tipo cloruros-sulfatos. Se asocian a depósitos de aguas interiores, lagos, orillas de lagos parcialmente drenados y terrazas de ríos recientes, pobremente drenados.
- e) Suelos salinos del tipo sulfato-carbonato de sodio. Se asocian a depresiones secundarias antiguas bien drenadas,

terrazas terceras de ríos, cuencas y playas de lagos abiertos de esas regiones.

f) Suelos salinos del tipo sulfatos-yeso. Se asocian a primeras y segundas terrazas de lagos y ríos, relativamente bien drenadas.

g) Suelos salinos del tipo carbonato de sodio. Se asocian a rasgos geomorfológicos similares a los del sexto grupo con un nivel base menor de erosión.

h) Suelos salinos costeros del tipo sulfatos-cloruros. Se asocian a terrazas marinas y terrazas de deltas.

i) Suelos salinos de laguna del tipo cloruros-sulfatos-yeso. Se asocian a lechos de lagos y bahías separadas del océano.

j) Salinización de lechos del tipo sulfatos-cloruros-carbonato de calcio. Se asocian a depósitos de litorales.

Las sales solubles son un rasgo inherente de la constitución del perfil no estructurado del suelo salino; sin embargo, para que se forme cualquiera de los diez tipos de suelos mencionados, deben prevalecer ciertas condiciones de equilibrio, ya que el percolado, lixiviado u otro factor natural no pueden remover las sales acumuladas o aquellas en proceso de acumulación, sin romper este equilibrio y

desencadenar una serie de reacciones que aproximaría a los suelos a la siguiente etapa, la desalinización (Aceves, 1981).

El grado de solubilidad de las sales es una propiedad importante que es necesario considerar, ya que el efecto perjudicial sobre los cultivos es proporcional a su concentración, produciendo mayores daños aquellas sales que son más solubles, en cambio las poco solubles se precipitan, antes de alcanzar niveles perjudiciales. También es importante el aspecto cualitativo, ya que las diferentes relaciones catiónicas y aniónicas en una solución influyen sobre los procesos que ocurren en los suelos; así, por ejemplo, los cloruros y los carbonatos son diametralmente opuestos en sus efectos sobre los suelos (Pizarro, 1978).

### 3.3. Clasificación de suelos con problemas de enalitramiento.

Hilgard citado por Boyko (1966), fue el primero en clasificar estos suelos, dividiéndolos en álcali blanco y álcali negro; posteriormente, Gedroiz citado por Boyko (1966) utilizó los lineamientos de los rusos Solonchak y Solonetz, equivalentes a álcali blanco y álcali negro respectivamente. Por su parte, De Sigmond citado por Arany (1952-53), clasificó como suelos salinos, a los que tenían cantidades de sales mayores a 0.1 por ciento en base a peso de suelo seco, y un porcentaje de sodio intercambiable (PSI) menor de doce; así mismo, clasificó como suelos salino-sódicos, a los que contienen sales mayores de 0.1 por ciento y un porcentaje de sodio intercambiable mayor de doce.

Otra clasificación, propuesta en 1954 por el personal del Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos de Norteamérica, utiliza los mismos criterios que De Sigmond, pero expresa el contenido de sales mediante la conductividad eléctrica del extracto de saturación y proporciona un límite diferente para PSI (Richards, 1982).

Existen varias clasificaciones de suelos salinos, cada una de ellas con diferentes bases teóricas, por lo que no se recomienda su uso generalizado. Sin embargo, las más importantes son la Rusa y la Americana. Así la clasificación Rusa combina los principios de pedogénesis, geoquímica de sales y fisiología vegetal, mientras que la Americana utiliza la CE en las soluciones obtenidas del extracto de saturación y el PSI.

#### 3.4. Distribución de los suelos con problemas de ensalitramiento.

Los suelos con problemas de sales y/o sodio se encuentran en los suelos normales mezclados e intercalados a lo largo de extensas fajas, o más frecuentemente en manchones intrusivos por ciertas características topográficas. Se localizan en las regiones áridas y semiáridas del mundo, definidas entre las latitudes 56° Sur y 59° Norte y entre las longitudes 120° Oeste y 150° Este (Boyko, 1966). De las 220 millones de hectáreas bajo riego, en el mundo, casi la mitad está en condiciones inadecuadas para ser cultivadas debido a los procesos degradativos del ensalitramiento. Así mismo, existen

alrededor de 300 millones de hectáreas ensalitradas en todo el mundo que ocupan aproximadamente 39 por ciento de la superficie total de las regiones áridas y semiáridas. Sin embargo, los suelos salinos y/o sódicos no se restringen a las regiones Áridas y semiáridas; aparecen también en regiones húmedas (tropical y subtropical), principalmente en áreas adyacentes a las costas: lagos de agua salada, lagos, estuarios, ríos, arroyos, etc. y en lugares donde el manejo del agua de riego es inadecuado, a latitudes mayores de las mencionadas.

En México, el problema del ensalitramiento es de gran relevancia, ya que las zonas áridas y semiáridas ocupan el 75 por ciento del territorio nacional y la mayoría de los distritos de riego se ubican en estas zonas. Aproximadamente, de un 30 a un 40 por ciento de las áreas bajo riego presenta este problema, que varía en grados de importancia (Martínez, 1964).

Los distritos de riego en México, de acuerdo a su problema de ensalitramiento, se dividen en tres grupos:

De importancia secundaria, de regular importancia y de importancia básica.

Los de importancia secundaria comprenden los siguientes distritos de riego:

*Distrito de riego del Río Culiacán, Sinaloa.*

*Distrito de riego de Guasave, Sinaloa.*



*Distrito de riego del Valle del Fuerte, Sinaloa.*

*Distrito de riego del Bajo Río San Juan, Tamaulipas.*

*Distrito de riego de la Fresa Abraham González, Chih.*

*Distrito de riego de San Buenaventura, Chih.*

*Estos distritos se abastecen únicamente de agua almacenada y no presentan escasez de agua por períodos prolongados. Su ensalitramiento se debe, exclusivamente, a elevados niveles freáticos o a sales contenidas en los suelos, originalmente en horizontes poco profundos antes de que fueran sometidos al riego.*

Los de regular importancia comprenden los siguientes distritos:

*Distrito de riego del Río Mayo, Sonora.*

*Distrito de riego del Valle del Yaqui, Sonora.*

*Distrito de riego del Bajo Río Bravo, Tamaulipas.*

*Distrito de riego de Delicias, Chihuahua.*

*Estos se abastecen de aguas almacenadas, pero sufren períodos prolongados de sequía que se subsanan con aguas de retornos de drenaje en pequeña escala. Aquí el ensalitramiento es causado por elevados niveles freáticos y mala calidad de aguas de riego (en especial, las de bombeo).*

Los de importancia básica, comprenden los siguientes distritos y zonas de riego:

*Distrito de Riego del Rio Colorado, Baja California.*

*Distrito de Riego del Valle de Juárez, Chihuahua.*

*Distrito de Riego de la Region Lagunera, Coahuila y Durango.*

*Distrito de Riego por Bombeo de las Costa de Hermosillo,  
Sonora.*

*Distrito de Riego de Ceballos, Dgo.*

*Zona de Riego por Bombeo de Bufalo, Chih.*

*Zona de Riego por Bombeo de Pradillo, Chih.*

*Zona de Riego por Bombeo de Jiménez, Chih.*

*Zona de Riego por Bombeo de Raíces, Nuevo León.*

*Estos presentan fuertes deficiencias de almacenamiento, pues se ubican en las zonas más áridas del país. El riego se lleva a cabo por bombeo exclusivo en algunos; en otros, se utilizan aguas contaminadas que se vuelven a emplear de manera escalonada por medio de retornos de drenaje. El ensaltramiento se origina por acumulaciones de sales, aguas de mala calidad y balance salino desfavorable (Figura 3.1.).*

*Lo anterior, solamente se refiere a los terrenos agrícolas bajo riego. En el área restante del país, la superficie ensaltrada se encuentra distribuida, aproximadamente de la siguiente manera (Arana, 1970):*



Figura 3.1. Principales Distritos de Riego de México afectados por la salinidad. Tomado de Ingeniería Hidráulica de México. S.R.H. México, 1971 y Atlas Nacional del Medio Físico, INEGI, 1981

A lo largo de las costas. Zonas sin riego 800 000 ha  
(principalmente áridas).

Cuencas cerradas como laguna de Mairán, 1,000 000 ha  
Lago de Texcoco, Lago de Chalco,

Valles Libres y Oriental, Puebla. 1,000 000 ha

Subtotal..... 2,800 000 ha

Sumado lo anterior al 30-40% del área bajo riego ensalitrada, existe un total de aproximadamente 4,300 000 ha afectadas en todo el territorio nacional.

### 3.5. Evaluación de la salinidad en los suelos.

Desde el punto de vista de la alteración del sistema agua-suelo pueden distinguirse en principio dos procedimientos claramente diferenciados: (1) métodos destructivos, en los que se extrae la solución del suelo (o una dilución de la misma) por diversas técnicas para determinar posteriormente la salinidad de esa solución, y (2) métodos no destructivos, en los que se mide "in-situ" la salinidad de la solución del suelo o algún parámetro relacionado con la misma.

Del primer tipo pueden citarse los extractos de suelo "per se" y los extractos acuosos. Del segundo tipo, los métodos resistimétricos, los electromagnéticos, los reflectométricos y los

sicrométricos, dado que la reflectrometría como método de medida de la salinidad está en la fase de desarrollo inicial, y que la sicrometría se utiliza preferentemente para la medida del potencial total del agua (del que la salinidad o potencial osmótico es sólo uno de sus componentes).

Desde un punto de vista práctico, los métodos de medida de la salinidad pueden clasificarse de acuerdo con los instrumentos desarrollados a tal fin y disponibles comercialmente, citándose por ejemplo la sonda de succión, el sensor de salinidad, el sensor de cuatro electrodos y el sensor electromagnético.

Uno de los métodos mayormente usados hoy en día es el de la Conductividad Eléctrica, el cual consiste básicamente en la medición de la resistencia eléctrica entre dos electrodos de geometría definida, inmersos en la solución a medir.

Aunque inicialmente los valores se daban en resistencia y este procedimiento fue utilizado para estimar las sales solubles del suelo hace casi cien años por Whitney y Means, hoy en día se ha generalizado el término conductividad eléctrica específica, CE (o conductancia por unidad de superficie de dos electrodos separados por la unidad de longitud), que es la inversa de la resistencia específica, m(ohm cm).

$$CE = \frac{1}{R}$$

COMO:

$$m = R \frac{A}{d} = R \frac{1}{K}$$

donde:

$A$  = área electrodos ( $\text{cm}^2$ ) y

$d$  = distancia entre electrodos ( $\text{cm}$ ), quedando:

$$CE = \frac{K}{R}$$

donde:

$K$  es la constante de la célula ( $\text{cm}^{-1}$ ) y

$R$  es la resistencia ( $\text{ohm}$ ).

La unidad de CE comúnmente utilizada en suelos es el milimho  $\text{cm}^{-1}$  ( $1 \text{ mho} = 1 \text{ ohm}^{-1}$ ), aunque más recientemente la normalización de unidades al sistema internacional ha introducido el término Siemen ( $1 \text{ Siemen} = 1 \text{ mho}$ ) como unidad básica de conductancia, de tal manera que las equivalencias de las unidades más empleadas de conductividad son:  $1 \text{ milimho cm}^{-1} = 1 \text{ deciSiemen m}^{-1} = 1000 \text{ microhho cm}^{-1}$  ( $1 \text{ mho cm}^{-1} = 1 \text{ dS m}^{-1} = 1000 \text{ } \mu\text{hho cm}^{-1}$ ).

Por otro lado, dado que la CE sufre aproximadamente un 2% por  $^{\circ}\text{C}$  es preciso referir la misma a una temperatura estándar, que generalmente es de  $25^{\circ}\text{C}$ . La conversión de la CE a  $25^{\circ}\text{C}$  ( $CE_{25}$ ) a partir de la CE medida a la temperatura  $t$  ( $CE_t$ ) puede realizarse por medio de

la ecuación:

$$CE_{25} = CE_t \left[ 1 + 0.02(25-t) \right]$$

aunque, rigurosamente, el valor 0.02 no es una constante, dado que la variación de la movilidad de los iones con la temperatura es característica de cada uno de ellos y, por tanto, depende de la composición iónica de la solución. Así, para pH's muy ácidos (de 3.5 a 5.2), se ha calculado un valor de 0.149 a 0.0186. Sin embargo, para los pH's comunes de los suelos (entre 6.5 y 8.5), el valor de 0.02 puede considerarse constante.

Una vez fijadas la temperatura estándar y la geometría de la célula, puede considerarse que la CE es función única del número de especies iónicas presentes (o concentración), de la carga, y de la movilidad de esas especies (Araglés, 1986).

### 3.6. Tolerancia de las plantas a las sales.

Las plantas se enfrentan con problemas de salinidad en varias formas. La mayoría de ellas evitan la salinidad, algunas la evaden o la resisten y unas cuantas la toleran. La evasión de las sales es frecuentemente realizada por la limitación de la germinación, el desarrollo y la reproducción en estaciones específicas durante el año, por el desarrollo de raíces en sustratos no salinos o por el límite en el depósito de sal. Tal evasión puede ser alcanzada por la acumulación de sales en células específicas o por la secreción del

exceso de sales.

La tolerancia de sales es alcanzada sólo por plantas en las que el protoplasma funciona normalmente y resiste un alto contenido de sales sin daño aparente (Hjin, citado por Waisel, 1972).

La tolerancia de sales difiere entre varios órganos de la misma planta, entre tejidos y entre varias fases del desarrollo. Además también cambia con la composición y la concentración de la sal.

Cuando se discuten las respuestas de las plantas a la salinidad, no sólo se consideran las concentraciones máximas de sales toleradas, sino también los requerimientos mínimos y los periodos de salinidad durante largo tiempo en la zona radicular (Waisel, 1972).

La tolerancia de las plantas a las sales se define frecuentemente como la disminución del rendimiento esperado para un nivel dado de sales solubles en el medio radicular comparada con los rendimientos obtenidos bajo condiciones no salinas.

Sin embargo, la tolerancia a las sales es un valor relativo basado en condiciones culturales bajo las que el cultivo se desarrolla. Varias interacciones entre planta, suelo, agua, además de factores medioambientales influyen en la capacidad de la planta para tolerar las sales (Maas y Hoffman, 1977).



Para expresar la resistencia de las plantas a la salinidad, Hayward y Wadleigh (1949), y Richards (1954), citados por Waisel (1972), utilizaron los tres criterios siguientes: (1) Disponibilidad de las plantas para sobrevivir y para completar su ciclo de vida bajo condiciones salinas. Esta es una categoría ecológica que mide la capacidad de supervivencia, la apariencia, el desarrollo y el rendimiento de las plantas. Es un criterio importante para las plantas silvestres, ya que muchas especies son capaces de enfrentar largos períodos de alta salinidad sin crecimiento adicional. (2) la capacidad relativa de algunas especies de crecer en suelos salinos, en comparación a su desarrollo en suelos no salinos. Esta es una categoría fisiológico-ecológica de resistencia a la sal. (3) La capacidad relativa de ciertas especies a desarrollarse y poder dar rendimientos sobre suelos salinos en comparación con otras especies. Esta última es una categoría de tipo agrícola, debido a que está relacionada con la producción y por lo tanto con los rendimientos que se obtienen de ella (Waisel, 1972).

La confiabilidad de los datos relativos a la tolerancia de sales depende del grado en el que las reducciones de rendimiento no sean afectadas por la interacción con otros factores esenciales. Si las reducciones en el rendimiento relativo son independientes de las diferencias en rendimiento absoluto provocadas por el riego, el clima, la fertilidad u otras variables, la relación rendimiento relativo-salinidad permite una útil expresión de la tolerancia de las plantas.

La salinidad afecta a las plantas en todos sus estados de desarrollo, pero la sensibilidad de éstas varía algunas veces de un estado de desarrollo a otro. Una comparación de la tolerancia a las sales durante la germinación y la emergencia con la de estados de desarrollo tardíos, resulta difícil debido a los diferentes criterios que deben usarse para evaluar la respuesta de la planta.

La tolerancia en la emergencia se basa en la supervivencia de las plantas, mientras que la tolerancia después de la emergencia se basa en disminuciones en el desarrollo o en el rendimiento. Frecuentemente, los cultivos son bastante tolerantes, sino es que más en la fase germinativa que en estados tardíos. Aunque una excepción conocida es la remolacha, la cual es más sensible durante la germinación. Otros cultivos, por ejemplo, la cebada, el maíz, el chícharo de vaca, el arroz y el trigo son más sensibles durante el desarrollo temprano de la plántula y después se tornan muy tolerantes durante sus estados tardíos de desarrollo (Maas, 1986). El sorgo es considerablemente más tolerante a las sales en la germinación que posteriormente (François, 1983).

De acuerdo con Allen et al., (1986), la selección de semillas de alfalfa tolerantes al NaCl durante la germinación, originó dos tipos de tolerancia: tolerancia de un efecto inhibitorio específico al NaCl y la tolerancia de un potencial hídrico disminuido. La selección para la tolerancia al NaCl de la alfalfa en la germinación, no pareció influir en la acumulación de iones o en la razón del depósito imbibicional de agua.

Francois (1986), realizó un experimento con trigo seleniano (*Triticum aestivum*, L.) y trigo durum (*Triticum durum*, L.), los cuales fueron menos tolerantes en la germinación que en su estado de desarrollo posterior durante la aparición de tres hojas.

Muchos factores medio ambientales y edáficos interactúan con la salinidad influyendo en la tolerancia a las sales de los cultivos. La temperatura, la humedad relativa y la contaminación del aire son factores climáticos importantes que influyen en la respuesta de las plantas a la salinidad. La mayoría de los cultivos son más sensibles a la salinidad bajo calor y condiciones de sequía, que bajo condiciones húmedas o frías (Maas, 1986).

Miyamoto et al., (1986), realizaron una investigación en la que utilizaron plántulas de zanahoria (*Daucus carota*, L.) y guayule (*Parthenium argentatum*, L.), exponiéndolas a un régimen de altas temperaturas (22-32°C y 24-40°C). Ambos cultivos experimentaron cerca del 30% de mortalidad en soluciones salinas de  $6.2 \text{ dSm}^{-1}$  ó  $3.6 \text{ dSm}^{-1}$  en CE.

También la contaminación del aire aumenta la aparente tolerancia a las sales de cultivos sensibles. El ozono, uno de los mayores contaminantes del aire, disminuye más los rendimientos de algunos cultivos bajo condiciones no salinas que bajo condiciones salinas. Las condiciones del suelo también influyen en la aparente tolerancia a la salinidad de muchos cultivos. Las plantas que crecen

en suelos infértiles pueden observarse más tolerantes a las sales, que aquellas que crecen con adecuada fertilidad, debido a que la fertilidad, antes que la salinidad es el factor primario limitante del desarrollo. La fertilización apropiada debería incrementar los rendimientos si el suelo fuese o no salino, pero proporcionalmente más si no fuese salino. La presión hídrica es otro factor importante. Como las plantas extraen agua del suelo, el agua que queda en él se torna más concentrada, consecuentemente, las plantas experimentan un aumento en la presión salina así como en la presión hídrica cuando se agota el agua del suelo (Maas, 1986).

La tarea más difícil al evaluar los datos de la tolerancia de los cultivos a las sales es la contabilidad de tantos factores que pueden influir en la respuesta de la planta a la salinidad. Existen dos parámetros esenciales para expresar la tolerancia a las sales: (1) la máxima salinidad permisible sin reducción de rendimiento bajo el tratamiento de control sin salinidad y (2) la disminución del porcentaje de rendimiento por unidad de salinidad incrementada más allá del límite. Los valores se reportan como CE, en milimhos por centímetro a 25°C y se redondean a dos dígitos significativos (Maas y Hoffman, 1977).

La búsqueda de germoplasma resistente a las sales se ha tomado como medida para combatir el problema de la salinidad en el mundo. Sin embargo, la búsqueda para fuentes confiables, presentes o potenciales de germoplasma tolerante a las sales requiere no solo de métodos convenientes, rápidos y precisos de búsqueda, sino también de

una evaluación correcta de su tolerancia a las sales (Shannon, 1984).

Los progresos hechos en la producción, para la tolerancia a las sales en la germinación, pueden ser difíciles de evaluar cuando solo se usan limitados números de niveles de salinidad para la comparación de genotipos. Los patrones de respuesta a las sales pueden distinguirse cuando las semillas germinan bajo numerosos potenciales osmóticos. Un gradiente de potenciales osmóticos pueden crearse fácilmente al hacer una serie de pequeñas diluciones de una solución concentrada de sales. Esta técnica involucra el uso de un gran número de tratamientos con NaCl que difieren por pequeños incrementos y cubren un amplio rango de potenciales osmóticos (Robinson, 1986).

Schaler et al., (1981), citados por Martínez-Cob (1987), afirmaron que una prueba rápida y conveniente para la búsqueda de un gran número de genotipos, podría ser cuando la tolerancia a la salinidad en la fase de germinación, el período hasta el que la primera hoja emerge del coleoptilo, pudiese ser estandarizado a través de tales modelos, los cuales hasta ahora solo han sido usados en plantas maduras.

El criterio agronómico más importante para establecer la tolerancia a las sales de las plantas es el rendimiento económico de los cultivos. El rendimiento biológico aunque se usa frecuentemente no siempre es una guía infalible o confiable para predecir la producción de frutos o semillas (Maas y Hoffman, 1977).

### 3.7. Efecto de las sales solubles en la anatomía y fisiología de las plantas.

La salinidad afecta muchos aspectos del metabolismo de las plantas e induce cambios en su anatomía y morfología. Estos cambios son considerados frecuentemente como adaptaciones que asientan a su vez los cambios de la planta, para enfrentar el stress impuesto por la salinidad; alternatively pueden ser considerados como signos de daño e interrupción del equilibrio normal de los procesos vitales. Las características anatómicas y morfológicas típicas de las halófitas son consideradas frecuentemente como adaptaciones a la salinidad.

Se ha mostrado que la salinidad afecta el tiempo y el porcentaje de germinación, el tamaño de plantas, el tamaño de ramas y hojas y sobre todo, la anatomía de la planta. La succulencia es una de las características más comunes de las halófitas y aparece también en muchas glicofitas después de la exposición a la salinidad por apreciables períodos de tiempo (Poljakoff-Mayber, 1975).

Strogonov, citado por Poljakoff-Mayber (1975), realizó en 1962 una investigación sobre el efecto de la salinidad, principalmente en la URSS durante el período 1920-1960, enfatizando la importancia de los estudios anatómico-fisiológicos combinados para un mejor entendimiento de los efectos de la salinidad sobre las plantas.

El exceso de sales solubles y de sodio ejerce gran influencia

en el crecimiento vegetal, en muchas regiones, la producción agrícola se ve limitada por los efectos perjudiciales que derivan de estas condiciones (Black, 1975).

Waisel (1972), citado por Poljakoff-Mayber (1975), revisó varios efectos de salinidad sobre las plantas, incluyendo los cambios morfológicos y anatómicos que ocurren en respuesta a la salinidad y que a su vez, son típicos de las halófitas.

Tanto Stroganov (1962), como Waisel (1972), atribuyen a la salinidad la inducción de numerosos cambios estructurales:

- a) aumento de succulencia
- b) cambios en el número y tamaño de los estomas
- c) el grosor de la cutícula
- d) el desarrollo extensivo de las tilosas
- e) la aparición más temprana de la lignificación
- f) la inhibición de la diferenciación
- g) cambios en el diámetro y el número de vasos del xilema

La extensión y frecuencia de manchones desecados en muchas áreas, se pueden tomar como un índice de la concentración de sales en el suelo. Debido a que la mayoría de las plantas son más sensibles a la salinidad durante la germinación, que en las últimas etapas de su desarrollo, los manchones son más bien indicadores de salinidad alrededor de la semilla durante su germinación, que del estado general de salinidad del perfil del suelo. Frecuentemente las

prácticas de cultivo contribuyen a la acumulación de sales alrededor de la semilla, con la consiguiente falla en su germinación. El vigor de las plantas adyacentes a los manchones puede dar idea de la distribución de las sales en el suelo. Las plantas desarrolladas vigorosamente en zonas adyacentes a manchones exentos de vegetación, sugieren una concentración local de sales, en tanto que la presencia de plantas achaparradas en la misma posición, indica una distribución mas general de la salinidad en el área. Si el grado de salinidad no es lo suficientemente elevado como para producir ese tipo de manchones, la característica principal en la apariencia del cultivo puede ser una marcada irregularidad en su vigor vegetativo (Richards et al., 1982).

Las plantas que crecen en suelos salinos tienden a tener menor tamaño, pero el follaje, por lo general, no registra características específicas. En algunos casos, las plantas que crecen en suelos salinos tienen un color verde azulado más oscuro que aquellas plantas que crecen en condiciones comparables, en suelos no salinos. El color del follaje resulta de su alto contenido de clorofila y de un recubrimiento excepcionalmente grueso de la cutícula. A veces se registran síntomas tales como quemaduras de ápices y partes marginales o interiores de las hojas, moteado o enrollamiento de las hojas y clorosis incipiente (amarillamiento). (Black, 1975). Muchos frutales de hueso como el aguacate, la toronja y algunas de las variedades de algodón menos tolerantes de sales, pertenecen a esta categoría (Richards et al, 1982).



En lo interno, pueden darse cambios morfológicos; por ejemplo, en los tomates se reduce la proporción de tejido vascular o conductor y aumenta el espesor de los tabiques de las células del tejido conductor. A medida aumenta el grosor de las hojas (Black, 1975).

La remolacha, las crucíferas (col, mostaza y especies relacionadas), alfalfa, algunos tréboles, pastos y otros cultivos, generalmente desarrollan una coloración verde-azulosa notable, cuando crecen en suelos salinos (Richards et al., 1982).

Existen muchas regiones en donde las plantas pueden desarrollar una clorosis intensa debido a ciertas condiciones del suelo. Las causas de la clorosis no se reconocen completamente, pero esta condición se debe con frecuencia a suelos calcáreos o, en algunos casos, al uso de aguas de riego con un elevado contenido de bicarbonatos (Harley y Lindner, 1945, citados por Richards et al., 1982). Aún cuando el carbonato de calcio es relativamente insoluble, gran parte del daño en el cultivo se debe a su presencia. Debido a que esta condición del suelo ocurre frecuentemente en ausencia de una acumulación de sales solubles, la clorosis no puede ser considerada como un síntoma definido de salinidad.

El enrollamiento de las hojas es una manifestación común de la deficiencia de humedad en las plantas, pero estos síntomas pueden ser indicativos de salinidad cuando ocurren en presencia de una humedad del suelo aparentemente adecuada; sin embargo, otros factores que causan mal funcionamiento del sistema radicular, tales como

enfermedades de la raíz y nantos freáticos elevados, pueden producir síntomas foliares similares. Por lo tanto, aún cuando la apariencia del cultivo pueda indicar condiciones de salinidad, un diagnóstico seguro sobre ésta requiere de evidencia adicional que se obtenga por pruebas analíticas del suelo y de las plantas (Richards et al., 1982).

Los factores de salinidad primarios que influyen en el desarrollo de las plantas son el tipo y la concentración de sales presentes en la solución del suelo. Los iones solubles predominantes en los suelos y aguas salinas son el sodio, el calcio, el magnesio, el bicarbonato, el cloruro y el sulfato. Excepto donde los porcentajes de estos iones son extremos, la mayoría de las plantas responden a la salinidad como una función de la concentración total de sales o el potencial osmótico del agua del suelo sin considerar el tipo de sales presentes (Bernstein, 1961, citado por Mass y Hoffman, 1977). No obstante, algunas plantas herbáceas y la mayoría de las especies leñosas son susceptibles a las toxicidades de los iones específicos. Por ejemplo, muchos frutos y bayas son susceptibles al daño del cloruro y del sodio. El boro, un elemento esencial para el desarrollo de las plantas, se encuentra frecuentemente en suelos salinos, en concentraciones tóxicas para muchas plantas. Ocasionalmente, la salinidad induce desbalances o deficiencias nutricionales que provocan distorsión en el desarrollo y el daño de la planta no atribuyéndose a efectos osmóticos (Bernstein, 1964; Bernstein y Hayward, 1958, citados por Mass y Hoffman, 1977). El sulfato inducido por la deficiencia de calcio es un ejemplo común. Obviamente la relación entre el total de sales solubles en el medio radicular y el

rendimiento del cultivo debe corregirse para estos casos especiales.

En 1988, Vinizky realizó un experimento para observar los efectos de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{KCl}$  y  $\text{NaCl}$  en plántulas de alfalfa, resultando una supervivencia más alta de plántulas con aplicaciones de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , pero a la vez, un efecto más drástico en la elongación de las radículas de alfalfa que con los iones cloruro.

De acuerdo con Eddleman y Romo (1987), el rápido depósito de  $\text{Na}^+$  por los embriones y las plántulas germinantes, es un mecanismo adaptativo para el desarrollo y la mantención de un balance favorable de agua en suelos con bajos potenciales osmóticos.

El sodio puede funcionar directa o indirectamente para modificar el desarrollo de la planta a través de un efecto diferencial sobre el depósito de iones asociados (Wallace et al., 1982, citados por Eddleman y Romo, 1987).

Hsiao (1973), citado también por el mismo autor, afirmó que el sodio puede involucrarse en el desarrollo y el mantenimiento de un balance de agua favorable dentro de *Y. veniculatus* (conocido como "Chico"), en todas las fases de desarrollo, debido al ajuste de potenciales osmóticos internos que facilitan a la planta mantener la turgencia, el desarrollo y los procesos metabólicos en potenciales hídricos disminuidos.

Si la solución del suelo se vuelve muy concentrada, las

plantas se ven impedidas de absorber agua. Muchos cultivos que sufren de un exceso de sales parece como si sufrieran de falta de agua. Casi podría decirse que mientras que el equivalente de humedad de un suelo salino es aproximadamente el mismo que tendría si no fuera salino, su punto de marchitamiento está muy aumentado al estar salinizado, reduciendo por tanto, la cantidad de agua aprovechable en el suelo. Sin embargo, el marchitamiento causado por la salinidad no es tan definitivo como el producido por la sequía. Frecuentemente, las plantas quedan turgidas, pero simplemente cesan de crecer. La reducción de la asimilabilidad del agua se debe al aumento del potencial osmótico en la solución del suelo. Mientras que la presión osmótica de la savia celular es generalmente de 10 a 20 atmósferas, la de la solución del suelo (en un suelo normal), en su punto de marchitamiento pocas veces alcanza las dos atmósferas. Sin embargo, si esta presión osmótica sube, la planta intenta mantener una diferencia de 10 atmósferas entre su savia a la solución del suelo por subir su propia presión osmótica.

Aparte de los efectos osmóticos, la naturaleza dispersa de los suelos es un factor perjudicial para las plantas. Los suelos se vuelven sumamente compactos y encharcados, su espacio poroso casi desaparece y las plantas sufren todas las consecuencias de las condiciones anaerobias. La nitrificación se detiene, la respiración y penetración de las raíces queda restringida y aumentan las enfermedades radiculares (López-Ritas, 1978).

Bernstein (1974), citado por Miyamoto (1986), asume que la

mortalidad de algunas plántulas se debe a la alta presión osmótica y/o a la excesiva absorción de sales, cuando las raíces de las plántulas se exponen a soluciones de suelo altamente salinas, presentes a lo largo de las canas o surcos regados. Sin embargo, la mortalidad ocurre también a través del contacto foliar con depósitos salinos provocados por riegos ligeros (Miyamoto et al., 1984), y por riego por aspersión con aguas salinas (Ehling y Bernstein, 1959; Moore y Murphy, 1979; Maas et al., 1982).

Algunos sostienen que las plántulas pueden morir por el contacto con la alta salinidad presente en la superficie del suelo, especialmente cuando los tallos son dañados durante tormentas acompañadas con viento (Miyamoto, 1986).

### 3.8. Efecto de las sales solubles en la germinación.

Bajo condiciones salinas, la primer fase, germinación y crecimiento de plántula es crítico, ya que la capacidad de una variedad dada para germinar y establecer la plántula, frecuentemente es el factor limitante en la producción del cultivo (Hayward y Wadleigh, 1949, citados por Murty et al., 1984).

El primer obstáculo en el cultivo sobre suelos salinos es la baja germinación y la difícil penetración de raíces seguidas por un crecimiento adicional (Murty et al., 1984).

Las semillas maduras de la mayoría de las plantas, normalmente tienen un período de descanso antes de desarrollarse en nuevas plantas conocido como dormancia. Durante su estado temprano de crecimiento, antes de que esté totalmente independiente del alimento guardado en la semilla, la nueva planta se denomina plántula, denominándosele germinación a la etapa fenológica que ocurre desde el momento en que el embrión reinicia su crecimiento hasta que la plántula se establece (Cronquist, 1981).

El proceso de germinación puede dividirse en tres estados diferentes: primero, después del proceso de rompimiento de dormancia o escarificación (si la semilla es dormante), la semilla toma agua mediante el proceso fisiológico de imbibición, el cual se realiza a favor del gradiente de potencial hídrico. Segundo, aparecen los procesos metabólicos directamente relacionados con la germinación. Finalmente, la emergencia y el subsecuente desarrollo y crecimiento de la plántula (Ting, 1982).

Todas las semillas requieren un suministro de humedad y oxígeno para la germinación, así como una temperatura adecuada. Algunas semillas requieren también luz, aun cuando ésta inhiba la germinación de algunos otros tipos de semillas.

Las semillas de ordinario tienen un contenido de agua relativamente bajo, y los procesos fisiológicos necesarios para la germinación ocurren sólo cuando la proporción de agua ha aumentado. La mayoría de las semillas germinan mejor cuando el contenido de

humedad del suelo está cerca de la capacidad de campo, pero algunas semillas pueden absorber suficiente agua para llevar a cabo la germinación aun cuando el contenido de agua del suelo esté cerca del porcentaje de marchitamiento permanente. Las semillas en germinación respiran rápidamente y es necesaria una provisión de oxígeno.

La temperatura óptima para la germinación varía de acuerdo con las especies y las condiciones ambientales. Para cualquier especie existe un máximo y un mínimo por arriba o por debajo de los cuales la germinación difiere con las distintas especies. La germinación de muchas otras clases de semillas como las de cebollas y algunas de otros miembros de la familia *Anacardiaceae* se retarda o no se efectúa por el efecto de la luz. Este puede variar también de acuerdo con otras condiciones ambientales y la historia pasada de la semilla. La influencia de la luz en la germinación de las semillas se ejerce a través del pigmento fitocromo (Cronquist, 1981).

La salinidad y la temperatura son los principales factores ambientales que limitan la germinación. El efecto de las sales es crítico durante la germinación, ya que afecta los parámetros de densidad y por consiguiente los rendimientos.

La interacción de la temperatura y de las sales no solo afecta el porcentaje de germinación sino que ambas afectan el tiempo de la misma y la aparición de la radícula (Vinizky, 1988).

El riego con agua salina es una de las causas de la pobre

germinación de semillas y del bajo rendimiento del cultivo. La germinación juega un papel muy importante en la producción de los cultivos (Bernstein, 1964).

La inhibición de la germinación se debe tanto al efecto osmótico como a los altos niveles de salinidad. Es evidente que los efectos osmóticos y de ión específico del sustrato salino son directa o indirectamente responsables para una germinación reducida y retardada, como se mostró en la investigación realizada en berenjena por Sharma et al., en 1984. El comportamiento diferencial de distintos genotipos de berenjena pudieron deberse a su potencial genético individual para tolerar los excesos de sales. Estos resultados fueron compatibles con los reportados en frijol (Ayers y Hayward, 1949); (Prisco y O'Leary, 1970); chícharo, pimiento, zanahoria y jitomate (Palfi, 1960); chiles (Kallapan y Rajagopal, 1970); jitomate (Fernández et al., 1975) y chícharo (Malik et al., 1977), todos ellos citados por Sharma et al. (1984).

Singh et al. (1980), observaron que el efecto de la salinidad sobre la germinación era análogo al rendimiento de grano del trigo.

Chauhan y Singh (1987), obtuvieron resultados relacionados al efecto del agua salina en la germinación y en el rendimiento de materia seca de plantas de trigo.

Mahmoud y Hill (1981), mostraron diferencias en la tolerancia a las sales de las remolachas a altas temperaturas. De acuerdo a sus



investigaciones, la germinación disminuyó sustancialmente cuando las temperaturas se elevaron a más de 25°C.

Maftoun y Sepaskhan (1978), mostraron efectos similares con girasol (*Helianthus annuus*, L.) y cártamo (*Carthamus tinctorius*, L.), encontrando que un alto número de plántulas emergieron a temperaturas más bajas que a temperaturas más altas en combinación con altas concentraciones de sales.

Stone et al. (1979), reportaron que el aumento de temperatura combinado con la salinidad, redujeron la germinación de semilla de alfalfa.

## IV. MATERIALES Y METODOS

### 4.1. Materiales

La presente investigación se realizó en las instalaciones del Centro de Hidrociencias del Colegio de Postgraduados, Montecillo, México; en el laboratorio de agua-planta-suelo del Centro de Genética, así como en el invernadero perteneciente a Hidrociencias.

La localización geográfica correspondiente al lugar del experimento es: latitud 19° 31' Norte; longitud 98° 53' Oeste; 2247 msnm; temperatura media anual de 15°C; precipitación promedio anual de 626 mm; evaporación media anual de 1491 mm y una humedad relativa de 67.7%.

Los principales materiales y aparatos utilizados para desarrollar la investigación fueron:

#### a) Mezclas de sales:

Clorhídrica ( $\text{NaCl}$  y  $\text{MgSO}_4$ )

Sulfático-Clorhídrica ( $\text{NaCl}$  y  $\text{MgSO}_4$ )

Clorhídrico-Sulfática ( $\text{NaCl}$  y  $\text{MgSO}_4$ )

Sulfática ( $\text{NaCl}$  y  $\text{MgSO}_4$ )

Sulfático-Sódica ( $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  y  $\text{NaHCO}_3$ )

#### b) Agua destilada

#### c) Cristalería y equipo de laboratorio

#### d) Botellas de plástico de 500 ml

- e) Macetas adaptadas para ensayo de germinación de semillas.
- f) Material inerte a base de Agrolita
- g) Malla de plástico
- h) Estantería para colocación de macetas
- i) Semillas tratadas de los seis cultivos hortícolas siguientes:
  - Cucurbita pepo*, L. - Calabacita, var. "Gray Zucchini"
  - Allium cepa*, L. - Cebolla, var. "Sta. Cruz"
  - Capsicum annum*, L. - Chile serrano, var. "Tampiqueño 74"
  - Lycopersicon esculentum*, Mill. - Jitomate, var. "ACE 55 VF"
  - Lactuca sativa*, L. - Lechuga, var. "Parris Island Cos"
  - Daucus carota*, L. - Zanahoria, var. "Nantes"
- j) Osmómetro modelo 5100B, marca WESCOR, INC.
- k) Termómetro con escala para temperaturas máximas y mínimas
- l) Potenciómetro marca Beckman
- m) Conductímetro o Puente de Wheatstone, de corriente alterna adecuada para medidas de conductividad eléctrica de soluciones

## 4.2. Métodos

### 4.2.1. Diseño de Tratamientos

Los tratamientos consistieron en someter las semillas de los cultivos ya mencionados a soluciones con diferente concentración total y composición cualitativa. Los niveles de concentración fueron cinco con un testigo.

Ya que existe poca información actualmente sobre la respuesta de los cultivos hortícolas a la salinidad durante la etapa germinativa, dificultando ésto la posibilidad de definir rangos para el experimento, originó que se utilizaran las curvas que publicaron Maas y Hoffman (1977), para la disminución de los rendimientos de estos cultivos debido a la salinidad, pudiéndose así escoger los valores en conductividad eléctrica acordes a las soluciones. Las disminuciones seleccionadas fueron de 0% (T<sub>1</sub>), 50% (T<sub>2</sub>), 75% (T<sub>3</sub>), y 100% (T<sub>4</sub>), y con la finalidad de explorar el rango de respuesta se incluyó un (T<sub>5</sub>) que es igual a 1.5 veces más la salinidad que disminuye el rendimiento en 100%, por último se incluyó un testigo con agua destilada (T<sub>0</sub>).

Las concentraciones pueden prepararse con sales puras o mezclas de sales, en este experimento se consideró que es más representativa la respuesta de los cultivos en las mezclas, ya que rara vez en los suelos predomina una sola sal, así que haciendo uso de la metodología propuesta por la URSS, publicada en el manual de análisis químico de Arinushkina (1970), se determinó la proporción de solutos, pudiéndose definir cada tipo de salinidad.

La metodología establece las siguientes relaciones aniónicas, correspondientes a los cinco tipos de salinidad escogidos para la realización de este trabajo:

$$a) \text{ Salinidad Clorhídrica: } \frac{\text{Cl}^-}{\text{SO}_4^{2-}} = 2.5$$

$$b) \text{ Salinidad Sulfática-Clorhídrica: } \frac{\text{Cl}^-}{\text{SO}_4^{2-}} = 1.5$$

$$c) \text{ Salinidad Clorhídrico-Sulfática: } \frac{\text{Cl}^-}{\text{SO}_4^{2-}} = 0.6$$

$$d) \text{ Salinidad Sulfática: } \frac{\text{Cl}^-}{\text{SO}_4^{2-}} = 0.15$$

$$e) \text{ Salinidad Sulfático-Sódica: } \frac{\text{Cl}^-}{\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}} = 2.0$$

Para cada concentración se probaron las relaciones de los tipos de salinidades descritas anteriormente, esto en cada uno de los cultivos seleccionados.

#### 4.2.2. Preparación de los tratamientos

Una vez definidos los niveles y tipos de salinidad fue necesario calcular cuales eran las cantidades de cada una de las sales que se emplearían para que se conservaran los niveles, además de las relaciones aniónicas en los tratamientos, para lo cual se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$\text{ppm} = 640 (\text{CE} \times 10^3) \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

$$\text{meq/L} = 10 (\text{CE} \times 10^3) \quad (\text{Ecuación 4.2})$$

$$\pi = 0.36 (\text{CE} \times 10^3) \quad (\text{Ecuación 4.3})$$

donde:

ppm = concentración de sales en solución en partes por millón

$(\text{CE} \times 10^3)$  = conductividad eléctrica de la solución, en  $\mu\text{mhos/cm}$  ó decisiemen / m a 25°C

meq/L = concentración de la solución en miliequivalentes por litro

$\pi$  = presión osmótica de la solución en atmósferas

Utilizando estas relaciones se prepararon las soluciones en las proporciones y con las sales que se requerían, el procedimiento es descrito a continuación:

#### a) Salinidad Clorhídrica

Fuentes: Cloruro de sodio (NaCl) y sulfato de magnesio (MgSO<sub>4</sub>)

Concentración total de 0.64 g/L para generar una conductividad eléctrica teórica en la solución de 1.0  $\mu\text{mho/cm}$ .

El procedimiento para calcular la concentración de cada sal es el siguiente:

Si el (NaCl) tiene un peso molecular de 58.44 g y el (Cl) un peso atómico de 35.45 g, entonces el (Cl) representa un 60.66% del peso molecular del (NaCl) y 17.11 meq/L en el (NaCl).

Si el ( $\text{HgSO}_4$ ) tiene un peso molecular de 120.37 g y el ( $\text{SO}_4$ ) pesa 96.06 g, entonces, el ( $\text{SO}_4$ ) representa un 79.8% del peso molecular del ( $\text{HgSO}_4$ ) y 16.61 meq/L en el ( $\text{HgSO}_4$ ).

Si se representa con A a la sal de  $\text{Cl}^-$  y con B a la del  $\text{SO}_4^{2-}$ , se tiene que:

$$\frac{17.11A}{16.61B} = 2.5 \quad (\text{Ecuación 4.4})$$

$$A + B = 0.64 \quad (\text{Ecuación 4.5})$$

La resolución de las ecuaciones (4.4) y (4.5), permiten obtener la cantidad de cada sal para preparar la solución. Así, para una

concentración total de 0.64 g/L que teóricamente genera una conductividad eléctrica en el extracto de saturación de 1.0  $\mu\text{mho/cm}$ , se requieren:

$$A = 0.453 \text{ g/L de (NaCl)}$$

$$B = 0.187 \text{ g/L de (MgSO}_4\text{)}$$

En general, el procedimiento se aplicó para todas las concentraciones totales de los tratamientos de cada cultivo, manteniendo constante la ecuación (4.4) y variando la concentración total de la ecuación (4.5). La concentración de cada sal para la preparación de los tratamientos utilizando salinidad Clorhídrica se presenta en el cuadro 4.1.

#### b) Salinidad Sulfático-Clorhídrica

En esta salinidad, al igual que en la Clorhídrica, solamente varían las relaciones aniónicas entre las dos sales usadas, manteniéndose el mismo porcentaje del anión dentro de cada sal. Así se tiene que:

$$\frac{17.11A}{16.61B} = 1.5 \quad (\text{Ecuación 4.6})$$

$$A + B = 0.64 \text{ g/L} \quad (\text{Ecuación 4.7})$$



Cuadro 4.1. Conductividad Eléctrica y concentración de los tratamientos con salinidad Clorhídrica, según el cultivo.

CULTIVO	T1				
	CE	meq/L	ppm mg/L	NaCl mg/L	MgSO <sub>4</sub> mg/L
Calabacita	2.6	26.0	1664.0	1178.4	485.6
Cebolla	1.2	12.0	768.0	543.9	224.1
Chile	1.6	16.0	1024.0	725.2	295.8
Jitomate	2.6	26.0	1664.0	1178.4	485.6
Lechuga	1.4	14.0	896.0	634.5	261.5
Zanahoria	1.0	10.0	640.0	453.2	186.7
CULTIVO	T2				
	CE	meq/L	ppm mg/L	NaCl mg/L	MgSO <sub>4</sub> mg/L
Calabacita	6.4	64.0	4096.0	2900.7	1195.2
Cebolla	4.2	42.0	2688.0	1903.6	784.4
Chile	5.2	52.0	3328.0	2356.9	971.1
Jitomate	7.6	76.0	4864.0	3444.7	1419.3
Lechuga	5.2	52.0	3328.0	2356.9	971.1
Zanahoria	4.6	46.0	2944.0	2084.9	859.0
CULTIVO	T3				
	CE	meq/L	ppm mg/L	NaCl mg/L	MgSO <sub>4</sub> mg/L
Calabacita	8.4	84.0	5376.0	3807.3	1568.7
Cebolla	5.7	57.0	3648.0	2583.5	1064.5
Chile	6.8	68.0	4352.0	3082.0	1269.9
Jitomate	10.2	102.0	6528.0	4623.0	1904.9
Lechuga	7.1	71.0	4544.0	3218.0	1325.9
Zanahoria	6.4	64.0	4096.0	2900.8	1195.2
CULTIVO	T4				
	CE	meq/L	ppm mg/L	NaCl mg/L	MgSO <sub>4</sub> mg/L
Calabacita	10.2	102.0	6528.0	4623.0	1904.0
Cebolla	7.4	74.0	4736.0	3354.0	1361.9
Chile	8.6	86.0	5504.0	3897.9	1606.0
Jitomate	12.6	126.0	8064.0	5710.9	2353.1
Lechuga	9.0	90.0	5760.0	4079.2	1680.8
Zanahoria	8.1	81.0	5184.0	3671.3	1512.7

Cuadro 4.1. (Continuación)

CULTIVO	T <sub>s</sub>				
	CE	meq/L	ppm mg/L	NaCl mg/L	MgSO <sub>4</sub> mg/L
Calabacita	15.3	153.0	9792.0	6934.6	2857.4
Cebolla	11.1	111.0	7104.0	5031.0	2072.9
Chile	12.9	129.0	8256.0	5846.9	2409.1
Jitomate	18.9	189.0	12096.0	8566.3	3529.7
Lechuga	13.5	135.0	8640.0	6118.8	2521.2
Zanahoria	12.1	121.0	7744.0	5484.3	2259.7

Resolviendo las ecuaciones (4.6) y (4.7), se tiene que:

$$A = 0.379 \text{ g/L de (NaCl)}$$

$$B = 0.261 \text{ g/L de (MgSO}_4\text{)}$$

En el Cuadro 4.2 se presentan las concentraciones de cada sal.

### c) Salinidad Clorhídrico-Sulfática

El procedimiento de cálculo de las concentraciones de cada sal es igual que en el caso anterior, solamente se cambia la relación aniónica. Así, se tiene que:

$$\frac{17.11A}{16.61B} = 0.6 \quad (\text{Ecuación 4.8})$$

$$A + B = 0.64 \text{ g/L} \quad (\text{Ecuación 4.9})$$

Cuadro 4.2. Conductividad Eléctrica y concentración de los tratamientos con salinidad Sulfático-clorhídrica, según el cultivo.

CULTIVO	T <sub>1</sub>				
	CE	meq/L	ppm mg/L	NaCl mg/L	MgSO <sub>4</sub> mg/L
Calabacita	2.6	26.0	1664.0	986.5	677.5
Cebolla	1.2	12.0	768.0	455.3	312.7
Chile	1.6	16.0	1024.0	607.0	416.9
Jitomate	2.6	26.0	1664.0	986.5	677.5
Lechuga	1.4	14.0	896.0	531.2	364.8
Zanahoria	1.0	10.0	640.0	379.4	260.6
CULTIVO	T <sub>2</sub>				
	CE	meq/L	ppm mg/L	NaCl mg/L	MgSO <sub>4</sub> mg/L
Calabacita	6.4	64.0	4096.0	2428.4	1667.6
Cebolla	4.2	42.0	2688.0	1593.6	1094.4
Chile	5.2	52.0	3328.0	1973.0	1354.9
Jitomate	7.6	76.0	4864.0	2883.7	1980.3
Lechuga	5.2	52.0	3328.0	1973.0	1354.9
Zanahoria	4.6	46.0	2944.0	1745.4	1198.6
CULTIVO	T <sub>3</sub>				
	CE	meq/L	ppm mg/L	NaCl mg/L	MgSO <sub>4</sub> mg/L
Calabacita	8.4	84.0	5376.0	3187.2	2188.8
Cebolla	5.7	57.0	3648.0	2162.8	1485.2
Chile	6.8	68.0	4352.0	2580.1	1771.9
Jitomate	10.2	102.0	6528.0	2870.2	2657.8
Lechuga	7.1	71.0	4544.0	2693.9	1850.0
Zanahoria	6.4	64.0	4096.0	2428.4	1667.6
CULTIVO	T <sub>4</sub>				
	CE	meq/L	ppm mg/L	NaCl mg/L	MgSO <sub>4</sub> mg/L
Calabacita	10.2	102.0	6528.0	3870.2	2657.8
Cebolla	7.4	74.0	4736.0	2807.8	1928.2
Chile	8.6	86.0	5504.0	3263.1	2240.9
Jitomate	12.6	126.0	8064.0	4780.8	3283.1
Lechuga	9.0	90.0	5760.0	3414.9	2345.1
Zanahoria	8.1	81.0	5184.0	3452.8	2371.2

Cuadro 4.2. (Continuación)

CULTIVO	T <sub>s</sub>				
	CE	meq/L	ppm mg/L	KaCl mg/L	HgSO <sub>4</sub> mg/L
Calabacilla	15.3	153.0	9792.0	5805.3	3986.7
Cebolla	11.1	111.0	7104.0	4211.7	2892.3
Chile	12.9	129.0	8256.0	4894.7	3361.3
Jitomate	18.9	189.0	12096.0	7171.2	4924.8
Lechuga	13.5	135.0	8640.0	5122.3	3517.7
Zanahoria	12.1	121.0	7744.0	4591.1	3152.9

Resolviendo las ecuaciones (4.8) y (4.9), se tiene que:

$$A = 0.236 \text{ g/L de (KCl)}$$

$$B = 0.404 \text{ g/L de (MgSO}_4\text{)}$$

La concentración de cada sal para cada tratamiento se presenta en el cuadro 4.3.

#### d) Salinidad Sulfática

Para las mismas fuentes de sales, las ecuaciones son las siguientes:

$$\frac{17.11A}{16.61B} = 0.15 \quad (\text{Ecuación 4.10})$$

$$A + B = 0.64 \text{ g/L} \quad (\text{Ecuación 4.11})$$

Cuadro 4.3. Conductividad Eléctrica y concentración de los tratamientos con salinidad Clorhídrico-Sulfática, según el cultivo.

CULTIVO	T <sub>1</sub>				
	CE	meq/L	ppm mg/L	NaCl mg/L	MgSO <sub>4</sub> mg/L
Calabacita	2.6	26.0	1664.0	612.5	1051.5
Cebolla	1.2	12.0	768.0	282.7	465.3
Chile	1.6	16.0	1024.0	376.9	647.0
Jitomate	2.6	26.0	1664.0	612.5	1051.5
Lechuga	1.4	14.0	896.0	329.8	566.2
Zanahoria	1.0	10.0	640.0	235.6	404.4
CULTIVO	T <sub>2</sub>				
	CE	meq/L	ppm mg/L	NaCl mg/L	MgSO <sub>4</sub> mg/L
Calabacita	6.4	64.0	4096.0	1507.6	2588.3
Cebolla	4.2	42.0	2688.0	989.4	1698.6
Chile	5.2	52.0	3328.0	1224.9	2103.0
Jitomate	7.6	76.0	4864.0	1790.3	3013.7
Lechuga	5.2	52.0	3328.0	1224.9	2103.0
Zanahoria	4.6	46.0	2944.0	1083.6	1860.4
CULTIVO	T <sub>3</sub>				
	CE	meq/L	ppm mg/L	NaCl mg/L	MgSO <sub>4</sub> mg/L
Calabacita	8.4	84.0	5376.0	1978.8	3397.2
Cebolla	5.7	57.0	3648.0	1342.7	2305.3
Chile	6.8	68.0	4352.0	1601.9	2750.1
Jitomate	10.2	102.0	6528.0	2402.8	4125.2
Lechuga	7.1	71.0	4544.0	1672.5	2871.5
Zanahoria	6.4	64.0	4096.0	1507.6	2588.3
CULTIVO	T <sub>4</sub>				
	CE	meq/L	ppm mg/L	NaCl mg/L	MgSO <sub>4</sub> mg/L
Calabacita	10.2	102.0	6528.0	2402.8	4125.2
Cebolla	7.4	74.0	4736.0	1743.2	2992.8
Chile	8.6	86.0	5504.0	2025.9	3478.1
Jitomate	12.6	126.0	8064.0	2958.2	5095.8
Lechuga	9.0	90.0	5760.0	2120.1	3639.9
Zanahoria	8.1	81.0	5184.0	1908.1	3275.9

Cuadro 4.3. (Continuación)

CULTIVO	Ts				
	CE	meq/L	ppm mg/L	NaCl mg/L	MgSO <sub>4</sub> mg/L
Calabacita	15.3	153.0	9792.0	3604.2	6187.8
Cebolla	11.1	111.0	7104.0	2614.8	4489.2
Chile	12.9	129.0	8256.0	3038.8	5217.2
Jitomate	18.9	189.0	12096.0	4452.2	7643.8
Lechuga	13.5	135.0	8640.0	3180.2	5459.8
Zanahoria	12.1	121.0	7744.0	2850.41	4893.6

Resolviendo las ecuaciones (4.10) y (4.11), se tiene que:

$$A = 0.081 \text{ g/L de (NaCl)}$$

$$B = 0.559 \text{ g/L de (MgSO}_4\text{)}$$

En el Cuadro 4.4 se presentan las concentraciones de cada sal, de acuerdo a las concentraciones totales de cada tratamiento.

#### e) Salinidad Sulfático-Sódica

Fuentes de sales: Cloruro de magnesio ( $MgCl_2$ ), sulfato de sodio ( $Na_2SO_4$ ) y bicarbonato de sodio ( $NaHCO_3$ ). Concentración total de 0.64 g/L.

Cuadro 4.4. Conductividad Eléctrica y concentración de los tratamientos con Salinidad Sulfática, según el cultivo.

CULTIVO	T <sub>1</sub>				
	CE	meq/L	ppm mg/L	NaCl mg/L	HgSO <sub>4</sub> mg/L
Calabacita	2.6	26.0	1664.0	212.1	1451.9
Cebolla	1.2	12.0	768.0	97.9	670.0
Chile	1.6	16.0	1024.0	130.6	893.5
Jitomate	2.6	26.0	1664.0	212.1	1451.9
Lechuga	1.4	14.0	896.0	114.2	781.8
Zanahoria	1.0	10.0	640.0	81.6	558.4
CULTIVO	T <sub>2</sub>				
	CE	meq/L	ppm mg/L	NaCl mg/L	HgSO <sub>4</sub> mg/L
Calabacita	6.4	64.0	4096.0	522.2	3573.8
Cebolla	4.2	42.0	2688.0	342.7	2345.3
Chile	5.2	52.0	3328.0	424.3	2903.7
Jitomate	7.6	76.0	4864.0	620.0	4243.9
Lechuga	5.2	52.0	3328.0	424.3	2903.7
Zanahoria	4.8	48.0	2944.0	375.3	2568.7
CULTIVO	T <sub>3</sub>				
	CE	meq/L	ppm mg/L	NaCl mg/L	HgSO <sub>4</sub> mg/L
Calabacita	8.4	84.0	5376.0	685.4	4690.6
Cebolla	5.7	57.0	3648.0	465.0	3182.9
Chile	6.8	68.0	4352.0	554.8	3797.2
Jitomate	10.2	102.0	6528.0	832.2	5695.8
Lechuga	7.1	71.0	4544.0	579.3	3964.7
Zanahoria	6.4	64.0	4096.0	522.2	3573.8
CULTIVO	T <sub>4</sub>				
	CE	meq/L	ppm mg/L	NaCl mg/L	HgSO <sub>4</sub> mg/L
Calabacita	10.2	102.0	6528.0	832.2	5695.8
Cebolla	7.4	74.0	4736.0	603.8	4132.2
Chile	8.6	86.0	5504.0	701.7	4802.3
Jitomate	12.6	126.0	8064.0	1028.0	7035.9
Lechuga	9.0	90.0	5760.0	734.3	5025.7
Zanahoria	8.1	81.0	5184.0	660.9	4523.1

Cuadro 4.4. (Continuación)

CULTIVO	Ts				
	CE	meq/L	ppm mg/L	NaCl mg/L	MgSO <sub>4</sub> mg/L
Calabacita	15.3	153.0	9792.0	1248.3	8543.7
Cebolla	11.1	111.0	7104.0	905.7	6198.3
Chile	12.9	129.0	8256.0	1052.5	7203.5
Jitomate	18.9	189.0	12096.0	1547.0	10553.9
Lechuga	13.5	135.0	8640.0	1101.5	7538.5
Zanahoria	12.1	121.0	7744.0	987.2	6756.8

Procedimiento: Si el  $(MgCl_2)$  tiene un peso molecular de 95.22 g y el  $(Cl_2)$  pesa 70.91 g, entonces el  $(Cl_2)$  representa un 74.47% del peso molecular del  $(MgCl_2)$  y 21.0 meq/L en el  $(MgCl_2)$ .

Si el  $(Na_2SO_4)$  tiene un peso molecular de 142.04 g y el  $(SO_4^{2-})$  pesa 96.06 g, entonces el  $(SO_4^{2-})$  representa un 67.63% del peso molecular del  $(Na_2SO_4)$  y 14.08 meq/L en el  $(Na_2SO_4)$ .

Si el  $(NaHCO_3)$  tiene un peso molecular de 84.0 g y el  $(HCO_3^-)$  pesa 61.0 g, entonces el  $(HCO_3^-)$  representa un 72.63% del peso molecular del  $(NaHCO_3)$  y 11.91 meq/L en el  $(NaHCO_3)$ .

Si se representa con A al  $(MgCl_2)$ , con B al  $(Na_2SO_4)$  y con C al  $(NaHCO_3)$ , se tiene:

$$\frac{11.91C}{21.00A + 14.08B} = 2.0 \quad (\text{Ecuación 4.12})$$

$$A + B + C = 0.64 \text{ g/L} \quad (\text{Ecuación 4.13})$$



En la ecuación (4.12) se puede apreciar que existen muchos valores de A, B y C que satisfacen una relación de 2.0, sin embargo, se escogieron aquellos valores más pequeños cuya relación sea igual a 2.0. Así se tiene que:

$$\frac{c}{a + b} = 2.0 \quad a=1.0; b=1.0; c=4.0$$

$$\frac{4}{1 + 1} = 2.0$$

Como los valores de a, b y c representan meq/L de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{HCO}_3^-$ , se pueden escribir las relaciones siguientes:

$$21.00 A_0 = a = 1 \quad \text{---} \quad A_0 = 0.0476$$

$$14.08 B_0 = b = 1 \quad \text{---} \quad B_0 = 0.0710$$

$$11.91 C_0 = c = 4 \quad \text{---} \quad C_0 = 0.3359$$

$A_0$ ,  $B_0$  y  $C_0$  son las cantidades en gramos de  $(\text{HgCl}_2)$ ,  $(\text{Na}_2\text{SO}_4)$  y  $(\text{NaHCO}_3)$ , necesarias para preparar un litro de solución que contenga 1.0 meq/L de  $(\text{Cl}^-)$ , 1.0 meq/l de  $(\text{SO}_4^{2-})$  y 4.0 meq/L de  $(\text{HCO}_3^-)$ .

Como los valores de  $A_0$ ,  $B_0$  y  $C_0$  son proporcionales con los de A, B y C, se tiene que:

$$A = \frac{(A + B + C)}{(A_0 + B_0 + C_0)} = 0.670 \text{ g/L de MgCl}_2$$

$$B = \frac{(A + B + C)}{(A_0 + B_0 + C_0)} = 0.100 \text{ g/L de Na}_2\text{SO}_4$$

$$C = \frac{(A + B + C)}{(A_0 + B_0 + C_0)} = 0.473 \text{ g/L de NaHCO}_3$$

La concentración de cada una de las sales de los tratamientos se calcularon siguiendo el procedimiento anterior, variando solamente la concentración total de la ecuación (4.13). Los valores se presentan en el cuadro 4.5.

Los cálculos de las concentraciones de los tratamientos con mezclas de sales, se realizaron considerando sales anhidras, por lo que fue necesario aplicar el criterio de que un equivalente de una sustancia química (A) reacciona con un equivalente de una sustancia química (B), para calcular las concentraciones equivalentes del sulfato de magnesio heptahidrato ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), el cloruro de magnesio hexahidrato ( $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), y el sulfato de sodio decahidrato ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), utilizados como fuentes para la preparación de las mezclas de sales, obteniéndose en consecuencia los tratamientos con salinidad cualitativa.

Cuadro 4.5. Conductividad Eléctrica y concentración de los tratamientos con salinidad Sulfático-Sódica, según el cultivo.

CULTIVO	T <sub>1</sub>					
	CE	meq/L	ppm mg/L	NaHCO <sub>3</sub> mg/L	MgCl <sub>2</sub> mg/L	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> mg/L
Calabacita	2.6	26.0	1664.0	1229.9	175.2	252.8
Cebolla	1.2	12.0	768.0	567.6	80.8	116.7
Chile	1.6	16.0	1024.0	756.9	107.8	155.6
Jitomate	2.6	26.0	1664.0	1229.9	175.1	252.8
Lechuga	1.4	14.0	896.0	662.2	94.3	136.1
Zanahoria	1.0	10.0	640.0	473.0	67.4	97.2
CULTIVO	T <sub>2</sub>					
	CE	meq/L	ppm mg/L	NaHCO <sub>3</sub> mg/L	MgCl <sub>2</sub> mg/L	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> mg/L
Calabacita	6.4	64.0	4096.0	3027.4	431.2	622.3
Cebolla	4.2	42.0	2688.0	1986.7	282.9	408.4
Chile	5.2	52.0	3328.0	2459.8	350.3	505.6
Jitomate	7.6	76.0	4864.0	3595.0	511.9	738.9
Lechuga	5.2	52.0	3328.0	2459.8	350.3	505.6
Zanahoria	4.6	46.0	2944.0	2175.9	309.9	447.3
CULTIVO	T <sub>3</sub>					
	CE	meq/L	ppm mg/L	NaHCO <sub>3</sub> mg/L	MgCl <sub>2</sub> mg/L	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> mg/L
Calabacita	8.4	84.0	5376.0	3973.5	565.9	816.7
Cebolla	5.7	57.0	3648.0	2696.3	383.9	554.2
Chile	6.8	68.0	4352.0	3216.6	458.1	661.2
Jitomate	10.2	102.0	6528.0	4824.9	687.1	991.8
Lechuga	7.1	71.0	4544.0	3358.5	478.3	690.3
Zanahoria	6.4	64.0	4096.0	3027.4	431.2	622.3
CULTIVO	T <sub>4</sub>					
	CE	meq/L	ppm mg/L	NaHCO <sub>3</sub> mg/L	MgCl <sub>2</sub> mg/L	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> mg/L
Calabacita	10.2	102.0	6528.0	4824.9	687.2	991.8
Cebolla	7.4	74.0	4736.0	3500.4	498.5	719.5
Chile	8.6	86.0	5504.0	4068.0	579.4	836.2
Jitomate	12.6	126.0	8064.0	5960.2	848.8	1225.1
Lechuga	9.0	90.0	5760.0	4257.3	606.3	875.0
Zanahoria	8.1	81.0	5184.0	3831.6	545.7	787.6

Cuadro 4.5. (Continuación)

CULTIVO	Ts					
	CE	meq/L	ppm mg/L	NaHCO <sub>3</sub> mg/L	MgCl <sub>2</sub> mg/L	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> mg/L
Calabacita	15.3	153.0	9792.0	7237.3	1030.7	1487.7
Cebolla	11.1	111.0	7104.0	5250.6	747.8	1079.3
Chile	12.9	129.0	8256.0	6102.1	869.0	1254.7
Jitomate	18.9	189.0	12096.0	8940.3	1273.3	1837.7
Lechuga	13.5	135.0	8640.0	6385.9	909.5	1312.6
Zanahoria	12.1	121.0	7744.0	5723.7	815.2	1176.5

El procedimiento para la preparación de cada tratamiento, consistió en vaciar en una probeta las concentraciones de cada una de las fuentes de sales que lo constituyen y luego se aforsó hasta un volumen de un litro de solución con agua destilada.

#### 4.3. Diseño Experimental

El diseño utilizado fue en bloques al azar, con cinco mezclas de sales, seis niveles de concentración y tres repeticiones.

#### 4.4. Instalación del Experimento

Para la instalación del experimento se utilizaron macetas de

95.24 cm<sup>2</sup> y 1 000 cm<sup>3</sup> (un litro) de capacidad, las cuales se pintaron de color negro para uniformizarlas.

La cantidad de semillas sembradas en cada maceta fue de 50, sólo en el caso de la calabacita se sembraron 25.

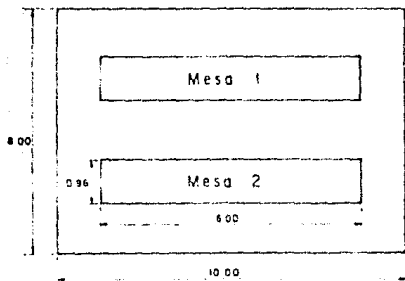
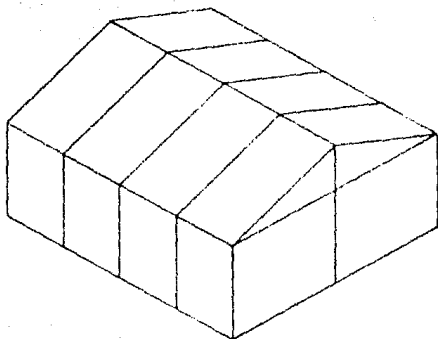
En la figura 4.1, se presenta una esquematización general del invernadero donde se realizó el experimento de germinación; en la figura 4.2 se observan las mesas con las macetas; en la figura 4.3 se aprecian las macetas con el detalle del termómetro y en la figura 4.4 se muestra la representación esquemática de la maceta y su contenido.

Antes de la instalación de los experimentos se realizó una prueba preliminar de germinación para verificar la capacidad germinativa de las semillas de los cultivos a utilizar.

#### 4.5. Determinaciones y observaciones durante el desarrollo de la investigación.

##### 4.5.1. Determinaciones.

Después de preparar las soluciones que constituyeron los tratamientos de salinidad, se procedió a medirles el pH, la conductividad eléctrica y la presión osmótica.



ACOTACIONES EN metros

Figura 4.1 Esquemática del invernadero donde se instaló el experimento



Figura 4.2. Mesa con las macetas experimentales.

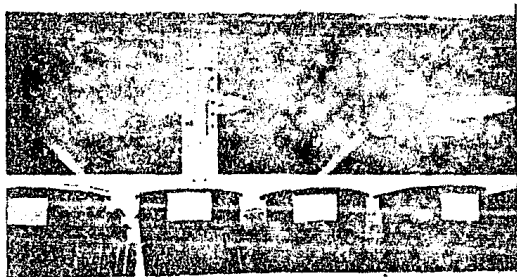


Figura 4.3. Vista de las macetas y el termómetro.

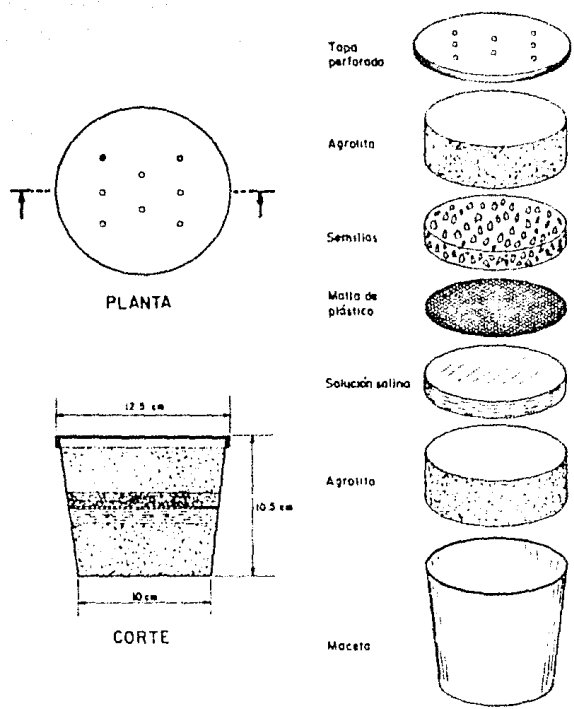


Figura 4.4. Representación esquemática de la maceta y su contenido.



#### 4.5.2. Observaciones

La germinación de las semillas, se observó diariamente anotando el número de semillas germinadas cada día (durante 18 días). También durante la etapa de germinación, se llevó un registro de las temperaturas máximas y mínimas ocurridas diariamente (Cuadro 5.1 del Anexo 5).

#### 4.6. Análisis estadístico.

##### 4.6.1. Análisis de Varianza.

Con las observaciones de cada experimento, se realizó un análisis de varianza para determinar su variabilidad y establecer mediante una prueba si existe diferencia estadística entre los tratamientos de estudio.

##### 4.6.2. Análisis de Regresión.

###### 4.6.2.1. Modelo lineal sin ordenada al origen.

Para cada tipo de sal se calibró un modelo lineal ajustado por el origen, empleando la técnica de análisis de regresión, el cual relaciona la conductividad eléctrica de cada solución con su concentración y con su presión osmótica.

El modelo en forma general, tiene la estructura siguiente:

$$Y = \beta_1^* X \quad (\text{Ecuación 4.14})$$

donde:

Y - representa la concentración de la solución, en ppm ó mg/L en un primer caso; la concentración de la solución en un segundo caso y la presión osmótica en atmósferas, desarrollada por la solución en un tercer caso.

$\beta_1^*$  - es la pendiente de la recta, o sea, el número de unidades en (ppm, meq/L ó ata) que aumenta la solución (Y) por cada unidad de conductividad eléctrica en milimhos/cm que aumenta la misma solución.

X - es la conductividad eléctrica de la solución en milimhos/cm ( $CE \times 10^3$ ).

El ajuste del modelo (4.14) se realizó relacionando primero la ( $CE \times 10^3$ ) con la concentración de las soluciones de los tratamientos en ppm ó mg/l, luego con la concentración en meq/l y finalmente con la presión osmótica ( $\pi$ ) en atmósferas, empleando el método de mínimos cuadrados.

#### 4.6.2.2. Modelo lineal con ordenada al origen.

Con el propósito de predecir el comportamiento de la germinación a partir de los valores de la presión osmótica desarrollada por la solución de cada tratamiento, se ajustó un modelo de línea recta, empleando la técnica de análisis de regresión. En su forma generalizada, el modelo se expresa como sigue:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X \quad (\text{Ecuación 4.15})$$

donde:

Y - representa los días a la germinación (DG), de acuerdo con la presión osmótica de la solución.

$\beta_0$  - es la ordenada al origen, o sea, los días a la germinación cuando la presión osmótica de la solución toma el valor de cero.

$\beta_1$  - es la pendiente de la recta, o sea, el número de unidades (días), que aumenta o disminuye la germinación por cada unidad de presión osmótica que aumenta en la solución.

X - es la presión osmótica ( $\pi$ ) de la solución en atmósferas.

El ajuste del modelo (4.15) se hizo con las observaciones de los días requeridos para la germinación de las semillas de acuerdo a los valores de presión osmótica de cada tratamiento, utilizando el método de mínimos cuadrados.

## V. RESULTADOS Y DISCUSION

### 5.1. Efecto de las sales sobre la germinación.

Las Investigaciones sobre la respuesta de las plantas a la salinidad durante la etapa de germinación son importantes debido a que ésta repercute en la población que producirá las cosechas, así que fallas en la germinación redundarían en bajos rendimientos por hectárea, además del gasto de insumos que disminuyen las ganancias de los agricultores.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el experimento, en el cual se sometieron seis cultivos hortícolas a diferentes condiciones de salinidad. Ya que los valores de salinidad para cada cultivo no son iguales sino que se escogieron en base a su tolerancia respecto a la producción, se discutirá por cultivo y no por salinidad o tolerancia.

#### 5.1.1. Respuesta a las sales del cultivo de calabacita.

En este experimento y para este cultivo, los valores de conductividad eléctrica que se utilizaron fueron entre 2.19 y 12.83 milimhos/cm en las diferentes salinidades (Cuadro 5.1), presentándose pequeñas variaciones en los valores entre ellas mismas y esperando que se cumpliera una disminución semejante en la producción [0, 50, 75, 100 y 1.5(100) %]. Se observa que los valores más bajos probados

correspondieron a la salinidad sulfática; estas diferencias se deben a que los factores utilizados para calcular las ppm ó los meq/L son generales y se presentan desviaciones cuando las sales son diferentes, esto se explica con más detalle en la parte de relaciones funcionales. En general, los valores más altos son los de la salinidad Clorhídrica.

Cuadro 5.1. Conductividad eléctrica en  $\text{milimhos/cm}^{-1}$ , en las diferentes salinidades para el cultivo de calabacita.

SALINIDAD	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Clorhídrica	0.01	2.76	6.53	8.38	9.93	12.83
Sulfático-Clorhídrica	0.01	2.86	6.03	7.88	8.78	12.47
Clorhídrico-Sulfática	0.01	2.53	5.53	6.44	7.95	10.70
Sulfática	0.01	2.19	4.46	5.48	6.37	8.79
Sulfático-Sódica	0.01	2.44	5.28	6.62	7.96	11.21

Las diferencias que se observan con los datos que teóricamente se contemplan como los tratamientos, se explican por la razón ya mencionada anteriormente.

Los valores de pH en las soluciones (Cuadro 1.1 del Anexo 1), muestran que en este cultivo la variación fue entre 5.4 y 8.9, los más altos corresponden a la salinidad Sulfático-Sódica como era de esperarse y los más bajos a la salinidad Clorhídrica, los demás valores corresponden a las otras salinidades.

En el Cuadro 5.2, se presentan los valores de la germinación en los diferentes tratamientos expresada en forma relativa (en forma absoluta en el Cuadro 2.1 del Anexo 2), observándose que los porcentajes de germinación son altos respecto a lo que se esperaba, ya que a partir del tratamiento cuatro, se consideraba que el nivel de germinación fuera cero, los resultados coinciden en cierta forma con los publicados por Maas (1986), en donde el valor de conductividad eléctrica para disminuir un 50% la germinación es de 6.4 milimhos/cm. Para el (T<sub>5</sub>), se obtuvo en promedio un 69% de germinación, es decir un 31% de disminución, esto viene a consolidar que el cultivo de la calabacita es más tolerante en la germinación que en la etapa de la producción a las sales, lo cual coincide con el trabajo de Francois (1985).

Cuadro 5.2. Porcentajes de Germinación expresados en forma relativa en el cultivo de Calabacita.

SALINIDAD	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	$\bar{X}$
Clorhídrica	100	95	82	100	86	64	88
Sulfático-Clorhídrica	100	95	109	109	100	77	98
Clorhídrico-Sulfática	100	95	100	82	91	91	93
Sulfática	100	91	104	104	86	68	92
Sulfático-Sódica	100	86	77	95	68	45	78.5
$\bar{X}$	100.0	92.4	94.0	98.0	86.0	69.0	

Sin embargo, cuando se analiza la respuesta con respecto al tipo de sales en la prueba de Tukey, se observa (Cuadro 3.1. Anexo 3), que solo existe diferencia significativa en la salinidad Sulfático-Sódica, donde los porcentajes son más pequeños, pero hay poco efecto entre la mayoría de las sales probadas, es decir, la calabacita presenta poca diferenciación del efecto a las distintas sales utilizadas en este experimento. El análisis respecto a los niveles en las pruebas de T (Cuadro 3.2, Anexo 3), se observa que existe poca variación dentro de los niveles, ya que no hay diferencia significativa sólo respecto al (T<sub>5</sub>), que es el de mayor conductividad eléctrica, pero sin que sea un valor suficiente para disminuir la germinación en los valores esperados. En el Cuadro 4.1 del Anexo 4, que presenta el análisis de varianzas general, se observa que no existe diferencia significativa entre repeticiones, lo cual difiere de lo detectado por otros investigadores como González (1982), ya que las condiciones climáticas dentro de los invernaderos son variables en los diferentes puntos y estos tienen una gran influencia en la respuesta de las plantas a la salinidad, por lo que los períodos de prueba de la tolerancia son importantes para comparar investigaciones.

Después se analizan los resultados de los días a germinación bajo las diferentes condiciones de tipos y cantidades de sales (Cuadro 5.3), observándose en general, que a medida que aumenta la concentración, de todas formas, las diferencias son pequeñas; esto se debe a lo que ya se definió en la parte anterior, donde los niveles

probados fueron de poca variación, por lo que este parámetro está poco afectado.

Cuadro 5.3. Días a germinación del cultivo de Calabacita, para las diferentes concentraciones y tipos de salinidad.

SALINIDAD	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Clorhídrica	4	4	4	4	4	6
Sulfático-Clorhídrica	4	4	4	4	5	6
Clorhídrico-Sulfática	4	4	4	4	5	6
Sulfática	4	5	4	5	5	6
Sulfático-Sódica	4	5	5	5	5	6

Después se procedió a calcular los días en los que el cultivo llegó a un 70% de germinación y utilizando un procedimiento de SAS (Statistical Analysis System), se calcularon las ecuaciones de tipo lineal con ordenada al origen que muestran la dependencia de los días a germinación con respecto a la conductividad eléctrica de la solución y de la presión osmótica de la misma (Cuadro 5.4). En este cuadro se observa que se refleja una baja variación en coeficientes, ya que como se mencionó con anterioridad, la escasa diferenciación entre los tratamientos origina este tipo de respuesta, demostrando como se dijo antes que la calabacita es más tolerante en la germinación que en la etapa de producción.



Cuadro 5.4. Modelos para los días de germinación del cultivo de calabacita, según la presión osmótica y la conductividad eléctrica de soluciones con diferentes salinidades.

SALINIDAD	ECUACION II	R <sup>2</sup>	C.V (%)
Clorhídrica	DG = 4.30 + 1.30π	0.812	18.62
Sulfático-Clorhídrica	DG = 3.33 + 1.44π	0.667	18.62
Clorhídrico-Sulfática	DG = 2.76 + 1.95π	0.850	18.05
Sulfática	DG = 4.72 + 1.04π	0.783	13.70
Sulfático-Sódica	DG = 4.07 + 1.34π	0.604	19.81
SALINIDAD	ECUACION (CEx10 <sup>3</sup> )	R <sup>2</sup>	C.V (%)
Clorhídrica	DG = 4.32+0.59(CEx10 <sup>3</sup> )	0.764	20.87
Sulfático-Clorhídrica	DG = 3.85+0.60(CEx10 <sup>3</sup> )	0.690	25.99
Clorhídrico-Sulfática	DG = 3.85+0.68(CEx10 <sup>3</sup> )	0.674	26.64
Sulfática	DG = 4.87+0.57(CEx10 <sup>3</sup> )	0.822	12.39
Sulfático-Sódica	DG = 5.31+0.51(CEx10 <sup>3</sup> )	0.629	19.17

DG = Días a germinación.

(CEx10<sup>3</sup>) = Conductividad eléctrica en millimhos/cm. a 25°C.

π = Presión osmótica.

### 5.1.2. Respuesta a las sales del cultivo de Cebolla.

En este cultivo se escogieron los tratamientos considerando las funciones reportadas por Maas y Hoffman (1977), presentando las soluciones preparadas una variación entre 1.14 a 10.64 milimhos/cm, lo cual se reporta en el Cuadro 5.5.

Cuadro 5.5. Conductividad eléctrica en milimhos/cm<sup>-1</sup> en las diferentes salinidades para el cultivo de cebolla.

SALINIDAD	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Clorhídrica	0.01	1.55	4.59	5.70	6.95	10.64
Sulfático-Clorhídrica	0.01	1.37	4.10	5.40	6.81	9.73
Clorhídrico-Sulfática	0.01	1.27	3.67	4.76	5.80	8.35
Sulfática	0.01	1.14	3.09	3.93	4.83	6.69
Sulfático-Sódica	0.01	1.22	3.70	5.06	6.01	8.40

Los valores que se calcularon para el experimento variaban entre 1.2 a 11.1 en conductividad eléctrica (Cuadro 4.1), y se observan algunas variaciones; esto se explica por los factores de conversión utilizados. Los datos de pH de las soluciones con las que se trabajó, se encuentran en el Cuadro 1.2 del Anexo 1, variando entre 6.2 a 6.5, correspondiendo los valores más altos a la salinidad Sulfático-Sódica y la menor a la Clorhídrica.

En el análisis de resultados de los porcentajes de germinación expresados en forma relativa, es decir en relación con el testigo

(Cuadro 5.6), se observa que con respecto a la concentración, en promedio sólo se tuvieron disminuciones hasta casi del 40%, pero cuando se analiza por salinidades, sólo en las Clorhídrico-Sulfática, Sulfática y Sulfático-Sódica se presentaron en los tratamientos, ya que en las Clorhídrica y Sulfático-Clorhídrica, los tratamientos de salinidad fueron más altos que el testigo en todos ellos, esto podría mostrar que existe una tolerancia de acuerdo al tipo de salinidad, aún cuando también se muestra esta tolerancia con respecto a otras etapas de desarrollo, ya que las disminuciones fueron más bajas que las esperadas en los tratamientos.

Cuadro 5.6. Porcentajes de germinación expresados en forma relativa en el cultivo de cebolla.

SALINIDAD	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	$\bar{x}$
Clorhídrica	100	157	157	143	200	100	142.8
Sulfático-Clorhídrica	100	157	100	228	100	128	135.5
Clorhídrico-Sulfática	100	185	100	43	29	29	81.0
Sulfática	100	66	43	29	29	29	49.3
Sulfático-Sódica	100	157	29	29	14	29	59.6
$\bar{x}$	100.0	144.4	85.8	94.4	74.4	63.0	

Al analizar las pruebas de Tukey (Cuadros 3.3 y 3.4 del Anexo 3), se comprueba que existe una tolerancia por grupos de sales, destacándose la salinidad Clorhídrica, en la cual no hay efectos drásticos y la Sulfática donde se tienen efectos significativos. Los

valores de salinidades a los cuales se sometió este cultivo son más altos que los reportados por Maas (1986), en los que reporta 5.6-7.5 para una disminución del 50%. En los tratamientos sobre todo de las salinidades Sulfática, Clorhídrico-Sulfática y Sulfático-Sódica, se obtuvieron porcentajes de germinación hasta más del 85%, con niveles de salinidad de 8.4 a 10.6, aun cuando Miyamoto (1989), reporta valores más altos para obtener disminuciones menores. Sin embargo, con los resultados se muestra que este cultivo responde en forma diferente de acuerdo al tipo de salinidad presente, por lo que los resultados que se obtienen con un tipo de salinidad no pueden compararse con otra. En el Cuadro 2.2 del Anexo 2, se muestran los datos del porcentaje de germinación absoluta a partir de los cuales se calcularon los relativos.

El análisis de varianza del factorial (Cuadro 4.2, Anexo 4), muestra diferencia significativa en los factores probados, a excepción de la variable bloques, en la cual no se encontró significancia, lo cual demuestra que no hubo efecto en las repeticiones. En general, se concluye que este cultivo también muestra una tolerancia elevada en la germinación con respecto a la producción, pero además muestra un efecto significativo respecto al tipo de sales que se presentan en la solución, obteniéndose las mayores disminuciones cuando la salinidad es Sulfática y Sulfático-Sódica.

En la respuesta a los días a germinación (Cuadro 5.7), se

observa que se sigue una respuesta general, en la cual, aumentan los días en cuanto se incrementa la concentración, variando desde seis días para el testigo, hasta doce días para el tratamiento de mayor concentración; en este caso no se obtuvieron modelos de respuesta de días de germinación con respecto a presión osmótica o conductividad eléctrica, ya que en la mayoría de los tratamientos no se alcanzó el 70% especificado como límite para considerarse como una germinación adecuada, por lo que aquí no existen los modelos ya mencionados, pero se observa que en las salinidades sulfáticas, además de que se incrementaron los días a germinación, los porcentajes fueron bajos, en cambio en las salinidades Clorhídricas, si se presentó la diferencia en días a germinación, siguiendo el esquema general, pero los porcentajes de germinación fueron altos, lo cual significa que en estas sales se afecta el tiempo pero no el porcentaje final; en estas salinidades se presenta lo ya encontrado por Ramírez (1988), en otros cultivos, y especialmente en maíz, o bien, cuando los niveles probados son de poco espaciamiento se presenta esta particularidad.

Cuadro 5.7. Días a germinación del cultivo de cebolla, para las diferentes concentraciones y tipos de salinidad.

SALINIDAD	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Clorhídrica	6	7	7	7	8	11
Sulfático-Clorhídrica	6	6	7	7	10	8
Clorhídrico-Sulfática	6	7	7	10	11	9
Sulfática	6	7	7	8	10	12
Sulfático-Sódica	6	7	12	11	11	12

### 5.1.3. Respuesta a las sales del cultivo de Chile.

Los tratamientos expresados en conductividad eléctrica se muestran en el Cuadro 5.8, en el cual se observa que los valores variaron entre 1.41 - 11.33, para el más bajo y alto respectivamente, pero además en este caso se muestran que en un mismo tratamiento por ejemplo el (T<sub>5</sub>), las diferencias en las distintas salinidades ya son significativas, porque existen desde 7.28 - 11.33, lo cual es algunas veces más que la separación entre tratamientos, esto es importante para poder realizar una mejor evaluación de los niveles de salinidad entre las diferentes sales; lo anterior debe evitarse utilizando mejores factores de conversión entre conductividad eléctrica y meq/L ó ppm, lo cual será un tema posterior de esta tesis.

Cuadro 5.8. Conductividad eléctrica en milimhos/cm<sup>-1</sup> en las diferentes salinidades para el cultivo de Chile.

SALINIDAD	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Clorhídrica	0.01	1.81	5.16	5.08	8.15	11.33
Sulfático-Clorhídrica	0.01	1.82	6.35	6.36	7.76	10.86
Clorhídrico-Sulfática	0.01	1.62	4.34	5.38	6.73	7.76
Sulfática	0.01	1.41	3.53	4.39	5.27	7.28
Sulfático-Sódica	0.01	1.58	4.33	5.54	6.40	8.73

Los datos de pH se muestran en el Cuadro 1.3 del Anexo 1, presentando una variación semejante a las soluciones de los demás cultivos entre la acidez 5.7 y la alcalinidad 8.8 para las salinidades Clorhídrica y Sulfático-Sódica, los demás valores se encuentran dentro de este rango.

En el Cuadro 5.9, se muestran los resultados de los porcentajes de germinación relativa con respecto al testigo, se observa que el comportamiento de este cultivo en general presenta una disminución fuerte en los niveles de salinidad, ya que el menor en promedio disminuye casi un 60% desde el (T<sub>1</sub>), lo cual quiere decir que en este cultivo, en particular, los tratamientos o niveles causaron una disminución más rápida desde el primer nivel y después una corta estabilización, pero en niveles de germinación muy bajos como en un 17%; cuando se observa la variación respecto a los tipos de sales se encuentra que el comportamiento de mayor efecto es en la salinidad Clorhídrica, la cual difiere de las demás.

Cuadro 5.9. Porcentajes de Germinación expresados en forma relativa en el cultivo de chile.

SALINIDAD	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	$\bar{X}$
Clorhídrica	100	11	0	5	9	7	22
Sulfático-Clorhídrica	100	11	9	25	27	20	32
Clorhídrico-Sulfática	100	59	25	25	27	23	43
Sulfática	100	50	23	16	20	25	39
Sulfático-Sódica	100	57	27	16	11	9	37
$\bar{X}$	100	38	17	17	19	17	

Cuando se analiza la prueba de Tukey para medidas de significancia (Cuadros 3.5 y 3.6 del Anexo 3), se comprueba que la salinidad de mayor efecto sobre la germinación es la Clorhídrica con respecto a la Clorhídrico-Sulfática y la Sulfática, pero es igual a la Sulfático-Sódica y la Sulfático-Clorhídrica. Esto se puede comprobar con el análisis de varianza del Cuadro 4.2 del Anexo 4, donde existen diferencias significativas en niveles y salinidades pero no en repeticiones. De lo anterior se concluye que los niveles de salinidad probados se asemejan en su efecto con los propuestos por Maas (1986), para la producción del cultivo, solo que en los niveles altos no se produjeron los valores de 0% de germinación, pero estos fueron muy bajos. Las salinidades sí mostraron un breve efecto diferencial, sobre todo la Clorhídrica, lo cual es importante para la implantación de este cultivo donde las sales predominantes sean cloruros.

En el Cuadro 5.10, se muestran los días a la germinación en el cual se observa que a mayor concentración, hay retardo en el tiempo de germinación hasta de cinco días y además los porcentajes fueron más bajos; esto es de extrema importancia cuando el cultivo se establece bajo condiciones de campo, ya que los días de retraso en la germinación permiten que se concentren las sales en las zonas donde están las semillas, además el ataque de hongos es muy frecuente, este detalle se observó en las semillas que se establecieron en las macetas.



Cuadro 5.10. Días a germinación del cultivo de chile, para las diferentes concentraciones y tipos de salinidad.

SALINIDAD	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Clorhídrica	7	11	0	14	12	12
Sulfático-Clorhídrica	7	11	12	11	10	11
Clorhídrico-Sulfática	7	9	11	10	11	11
Sulfática	7	8	8	9	11	11
Sulfático-Sódica	7	9	10	10	10	11

De estos datos no se desarrollaron modelos de regresión, dado que no se obtuvo el 70% de germinación en la mayoría de los tratamientos.

#### 5.1.4. Respuesta a las sales de cultivo de jitomate.

Los valores probados en este cultivo varían entre 2.12-16.21 dS m<sup>-1</sup>, para los niveles bajos y altos (Cuadro 5.11), presentando una variación hasta de cinco unidades, la variación mayor corresponde a los tratamientos de nivel más alto, esto como ya se mencionó antes, se debe al uso de coeficientes generales, pero además dificulta la comparación precisa de los tratamientos respecto al tipo de salinidades, ya que los niveles no son iguales, siendo este punto un estudio introductorio para precisar los valores de conductividad eléctrica en la cual se presentan disminuciones en la germinación.

Cuadro 5.11. Conductividad Eléctrica en  $\text{mS/cm}^{-1}$  en las diferentes salinidades para el cultivo de jitomate.

SALINIDAD	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Clorhídrica	0.01	2.86	7.31	9.63	11.58	16.21
Sulfático-Clorhídrica	0.01	2.61	7.03	9.00	10.97	15.41
Clorhídrico-Sulfática	0.01	2.45	6.01	7.78	9.29	13.14
Sulfática	0.01	2.12	4.77	6.11	7.16	9.89
Sulfático-Sódica	0.01	2.22	4.82	7.66	8.90	12.65

En el cuadro 1.4 del Anexo 1, se presentan los valores del pH de las soluciones, observándose que ésta podría ser una variable que influencia el efecto de las salinidades, ya que hay variación en el tipo de sales, presentándose los valores más alcalinos en la salinidad Sulfático-Sódica y los más Ácidos en la Clorhídrica. Sin embargo, esta variable no se consideró en el análisis, sólo la conductividad eléctrica de la solución.

En el cuadro 5.12, se presentan los datos de los porcentajes de germinación relativa con respecto al testigo. Es posible ver que en los niveles de disminución respecto a los niveles de salinidad, hay una disminución rápida de la germinación, ya que en el (T<sub>1</sub>) se presenta una disminución del 54%, cuando se esperaba una del 25%, por lo que en este cultivo, para este experimento, la tolerancia es menor en la germinación que en la etapa de producción, lo cual difiere de los datos presentados por Maas (1986), donde reporta para el cultivo de jitomate un valor de 7.6 dS m<sup>-1</sup> para un 50% de disminución, ya

sea en la germinación o en la cosecha. En este experimento con un valor promedio de 7.6, se obtiene una disminución del 90%, que es más alto del aportado por otros investigadores como McNaught y Houston (1956), lo que probablemente se debe a la variedad utilizada, la cual puede presentar una menor tolerancia.

Cuadro 5.12. Porcentajes de germinación expresados en forma relativa en el cultivo de jitomate.

SALINIDAD	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	$\bar{x}$
Clorhídrica	100	48	12	12	2	0	29.0
Sulfático-Clorhídrica	100	64	16	5	7	0	32
Clorhídrico-Sulfática	100	39	12	14	9	0	29
Sulfática	100	26	12	12	7	5	27
Sulfático-Sódica	100	52	17	12	14	2	32.8
$\bar{x}$	100.0	45.6	13.8	11.0	8.0	1.4	

Respecto a las salinidades, en todas se presenta en promedio la misma disminución en forma aproximada, lo cual se comprueba con las pruebas de Tukey (Cuadros 3.7 y 3.8, Anexo 3), en donde se observa que las salinidades son iguales en sus efectos, además del análisis de varianza (Cuadro 4.4 del Anexo 4). En este cultivo es importante probar tratamientos de concentraciones más pequeñas para definir en cuales valores se empieza a afectar la germinación y la rapidez con que disminuye ésta con el incremento de la conductividad eléctrica. En el cuadro 2.4 del Anexo 2, se muestran los valores de porcentajes de germinación absolutos, a partir de los cuales se calcularon los porcentajes relativos.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

En el cuadro 5.13, se presentan los días a germinación en los tratamientos probados, encontrándose que la tendencia a aumentar los días a la germinación es fuerte, ya que hay diferencias hasta de siete días, es decir, el doble de lo necesario en el agua destilada, además, disminuyen drásticamente los porcentajes de germinación total, por lo que no se cumplió la necesidad del 70% para tratar de encontrar los modelos que relacionan días a germinación y presión osmótica o conductividad eléctrica, motivo por el cual no se utilizó este procedimiento.

Cuadro 5.13. Días a germinación del cultivo de jitomate, para las diferentes concentraciones y tipos de salinidad.

SALINIDAD	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Clorhídrica	7	10	11	11	12	-
Sulfático-Clorhídrica	7	9	11	11	12	-
Clorhídrico-Sulfática	7	9	13	11	13	-
Sulfática	7	10	11	11	13	11
Sulfático-Sódica	7	9	11	14	14	14

En este cultivo de acuerdo con la investigación realizada por Kazim (1978), quien trabajó con algunas de las mismas sales utilizadas en los tratamientos de este experimento, declinan marcadamente el desarrollo del jitomate, y en este caso también la germinación, lo cual se observa mejor en el (T<sub>5</sub>), en el cual no germinaron las plantas, a lo que se añade lo alto de los niveles de conductividad obtenidos entre tipos de sales, aún y cuando las diferencias no son significativas de acuerdo al análisis con la prueba de Tukey.

### 5.1.5. Respuesta a las sales del cultivo de lechuga.

En el caso del cultivo de lechuga, se obtuvieron valores que fluctuaron entre 1.21 y 12.14 (Cuadro 5.14), comprendiendo las cinco sales cualitativas. Estos valores comparados a los establecidos teóricamente variaron poco, puesto que fueron de 1.4 a 13.5 y como se explicó anteriormente, esto se debe a los factores de conversión utilizados.

Cuadro 5.14. Conductividad Eléctrica en millimhos/cm<sup>-1</sup> en las diferentes salinidades para el cultivo de lechuga.

SALINIDAD	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Clorhídrica	0.01	1.63	5.15	6.64	8.36	12.14
Sulfático-Clorhídrica	0.01	1.59	4.85	6.42	7.95	11.14
Clorhídrico-Sulfática	0.01	1.43	4.25	5.55	6.78	9.61
Sulfática	0.01	1.28	4.49	4.55	4.79	7.59
Sulfático-Sódica	0.01	1.21	3.95	5.23	6.48	10.18

En lo referente al pH (Cuadro 1.5 del Anexo 1), los valores oscilaron entre 5.35 como valor más ácido y 8.60 como valor más alcalino, correspondiendo el primero a la salinidad Sulfática y el segundo a la salinidad Sulfático-Sódica. Estos valores quedan fuera de los límites establecidos para que la lechuga tenga un desarrollo propio (6.0-6.8), aunque se puede afirmar también que de acuerdo con Hester et al., citados por Yazaguchi (1983), la lechuga es tolerante a un pH ácido, lo cual se puede observar haciendo una

comparación de los resultados obtenidos de germinación relativa con los valores de reacción pH correspondientes.

Respecto a los valores de germinación relativa en los diferentes tratamientos (Cuadro 5.15), se observa una marcada disminución en la germinación de los tratamientos cinco de todas las salinidades utilizadas. Era de esperarse que las máximas disminuciones resultaran para la salinidad Sulfático-Sódica, por ser ésta la que contiene  $\text{NaHCO}_3$ , ya que de acuerdo con Sonneveld et al., (1975), ésta es la sal que afecta más los rendimientos de lechuga desde la germinación, pero fueron aun menores en las salinidades Clorhídrico-Sulfática y Sulfática, aunque de estas formas se puede notar que a medida que aumentó la concentración de sales la disminución de rendimiento fue también mayor.

Cuadro 5.15. Porcentajes de germinación expresados en forma relativa en el cultivo de lechuga.

SALINIDAD	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	$\bar{X}$
Clorhídrica	100	130	80	110	150	70	106.6
Sulfático-Clorhídrica	100	150	160	100	60	30	100.0
Clorhídrico-Sulfática	100	60	40	20	100	20	56.6
Sulfática	100	60	60	10	40	20	48.3
Sulfático-Sódica	100	160	80	50	40	20	75.0
$\bar{X}$	100.0	112.0	84.0	58.0	78.0	32.0	

Comparando lo anteriormente expuesto a los resultados obtenidos en la prueba de Tukey (Cuadros 3.9 y 3.10, Anexo 3), se confirma que la diferencia significativa mayor resulta en los tratamientos de más alta concentración (T<sub>5</sub>), por lo que hay una disminución también mayor en la germinación, aunque entre las salinidades no se observa diferencia significativa.

En esta ocasión, al igual que en el caso de la calabacita, si se pudieron desarrollar modelos de regresión para los días a germinación, ya que existieron tratamientos que cumplieron con el 70% de germinación, aunque no para todas las salinidades, sólo para las Clorhídrica y la Sulfático-Clorhídrica (Cuadro 5.16).

Cuadro 5.16. Modelos para los días de germinación del cultivo de lechuga, según la presión osmótica y la conductividad eléctrica de soluciones con diferentes salinidades.

SALINIDAD	ECUACION R	R <sup>2</sup>	C.V.(%)
Clorhídrica	DG = 10.60 - 0.32π	0.121	16.23
Sulfático-Sódica	DG = 2.55 + 5.55π	1.000	0.00
SALINIDAD	ECUACION (CEx10 <sup>3</sup> )	R <sup>2</sup>	C.V.(%)
Clorhídrica	DG=10.76 - 0.17(CEx10 <sup>3</sup> )	0.133	16.11
Sulfático-Sódica	DG= 4.79 + 1.82(CEx10 <sup>3</sup> )	1.000	0.00

DG = Días a germinación.

(CEx10<sup>3</sup>) = Conductividad eléctrica en millimhos/cm a 25°C.

π = Presión osmótica.

De acuerdo a las ecuaciones obtenidas, se puede ver que a medida que se incrementan ya sea la presión osmótica o la conductividad eléctrica, aumentan los números de días para que puedan

germinar las semillas, lo cual refleja la importancia de las concentraciones de sales en la germinación y la tolerancia proporcional que mostrarán las semillas de lechuga de acuerdo al medio salino en que se desarrollen (Cuadro 5.17).

Cuadro 5.17. Días a germinación del cultivo de lechuga, para las diferentes concentraciones y tipos de salinidad.

SALINIDAD	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Clorhídrica	5	5	5	6	7	10
Sulfático-Clorhídrica	5	5	5	6	7	8
Clorhídrico-Sulfática	5	9	9	9	5	10
Sulfática	5	8	9	9	9	12
Sulfático-Sódica	5	5	6	6	7	7

#### 5.1.6. Respuesta a las sales del cultivo de zanahoria.

En este cultivo las soluciones preparadas presentaron valores de conductividad eléctrica entre 0.89 a 11.01 milimhos/cm, siendo mayores como era de suponerse para los (T<sub>5</sub>), o sea los tratamientos de solución más concentrada (Cuadro 5.18).

Cuadro 5.18. Conductividad eléctrica en milimhos/cm<sup>-1</sup> en las diferentes salinidades para el cultivo de zanahoria.

SALINIDAD	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Clorhídrica	0.01	1.23	4.70	6.34	7.81	11.01
Sulfático-Clorhídrica	0.01	1.20	4.31	5.90	7.25	10.27
Clorhídrico-Sulfática	0.01	1.08	3.86	5.04	6.26	8.74
Sulfática	0.01	0.96	3.09	4.12	5.01	6.72
Sulfático-Sódica	0.01	0.89	3.81	4.85	6.13	8.43



Los valores calculados de acuerdo a los datos reportados por Maas y Hoffman (1977), fluctuaron entre 1.0 y 12.1, por lo que se puede observar poca diferencia entre los obtenidos en el experimento y los calculados. Correspondiendo los valores de mayor conductividad eléctrica a los de la salinidad Clorhídrica.

En lo referente a los valores de reacción pH (Cuadro 1.6, Anexo 1), existió un rango de 5.30 a 8.70, perteneciendo los valores más alcalinos a la salinidad Sulfático-Sódica y los más ácidos no difieren demasiado para las otras salinidades.

En cuanto a los resultados de los porcentajes de germinación (Cuadro 5.19), hubo una disminución hasta del 96% en promedio, por lo que comparándolos a los resultados obtenidos en la prueba de Tukey, se aprecia una notable diferencia significativa entre las salinidades probadas y por lo tanto también para los niveles probados (Cuadros 3.11 y 3.12, Anexo 3).

Cuadro 5.19. Porcentajes de germinación expresados en forma relativa en el cultivo de zanahoria.

SALINIDAD	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	$\bar{x}$
Clorhídrica	100	119	33	15	19	9	49.1
Sulfático-Clorhídrica	100	85	0	0	0	0	30.8
Clorhídrico-Sulfática	100	8	0	0	0	1	18.1
Sulfática	100	18	3	6	0	0	24.5
Sulfático-Sódica	100	81	8	15	15	9	38.0
$\bar{x}$	100.0	66.2	8.8	7.2	6.8	3.8	

De acuerdo con Maas (1984), la zanahoria tiene una tolerancia media, la cual se puede corroborar cuando se aplicó salinidad Clorhídrica y ligera para la salinidad Sulfático-Sódica, pero en los casos de las salinidades Sulfático-Clorhídrica, Clorhídrico-Sulfática y Sulfática, la tolerancia fue casi nula lo cual hace suponer que probablemente, hubieron otros factores, como la temperatura y la posición de las macetas en el invernadero que impidieron una mayor germinación.

En lo referente en los días a germinación (Cuadro 5.20), se observa un incremento proporcional de días, tanto de la salinidad Clorhídrica como de la salinidad Sulfático-Sódica, pero en el caso de la salinidad Sulfática, no sólo se ve ese incremento, sino que el lapso de tiempo para la germinación entre tratamientos es bastante mayor a los anteriores, y en cuanto a las salinidades Sulfático-Clorhídrica y Clorhídrico-Sulfática, a pesar de que los días que se dejaron las semillas para que germinaran fueron igual a los de las otras salinidades, ya no germinaron más que para los (T<sub>1</sub>), y en el caso de la salinidad Clorhídrico-Sulfática también para el (T<sub>5</sub>).

Cuadro 5.20. Días a germinación del cultivo de zanahoria, para las diferentes concentraciones y tipos de salinidad.

SALINIDAD	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Clorhídrica	8	8	9	12	12	14
Sulfático-Clorhídrica	8	9	-	-	-	-
Clorhídrico-Sulfática	8	12	-	-	-	14
Sulfática	8	12	17	19	-	-
Sulfático-Sódica	8	8	9	10	14	14

En este cultivo tampoco se pudieron obtener modelos para días a germinación, por la misma razón que en la mayoría de los tratamientos no se llegó al 70% de germinación.

En el caso de la zanahoria y de acuerdo con Malival et al., (1975), es más resistente en estadios posteriores a la germinación.

## 5.2. Relación de la conductividad eléctrica y el contenido de sales en la solución.

### 5.2.1. Relación de la conductividad eléctrica y el contenido de sales expresado en partes por millón (ppm).

La medición de la conductividad eléctrica en el extracto de un suelo del cual se prepara una pasta de saturación es un método reportado según Richards (1982), por varios investigadores como (Whitney y Means, 1897; Briggs, 1899), cuya determinación es simple y permite relacionarlo con el desarrollo de los cultivos o bien pueden encontrarse relaciones para otros parámetros de concentración de la solución. Este autor reporta las gráficas de relación de la conductividad eléctrica y la concentración de una solución expresada en gramos de sal/100 g de agua para las diferentes sales en las que se observa que cada una tiene una relación, además se concluye que la relación que se encontró entre ppm y CE (Conductividad Eléctrica), es multiplicar esta última por un factor de 640 para obtener ppm; este factor fue utilizado en el cálculo de las cantidades de cada sal para

preparar los tratamientos encontrándose diferencias, por lo que se contempló en esta parte del trabajo encontrar el factor para cada tipo de salinidad.

En los Cuadros 5.21-5.25, se encuentran los datos de partes por millón empleados para preparar la salinidad requerida; además en los cuadros 5.26-5.30, se encuentran las conductividades eléctricas que se generaron cuando se prepararon los tratamientos.

Usando estos datos se procedió a utilizar el paquete SAS (Statistical Analysis System), para obtener un modelo que relacionara la conductividad eléctrica de las soluciones con las partes por millón, utilizándose para cada salinidad un modelo y otro con los datos de todas las salinidades.

En el Cuadro 5.31, se presentan los modelos obtenidos, y en la figura 5.1 su graficación, pudiéndose observar que en general los valores son más altos que el valor 640 reportado por Richards (1982).

El valor más cercano corresponde a la salinidad Clorhídrica (696), el cual no difiere mucho aunque los demás valores son más altos sobre todo el de la salinidad Sulfática cuyo coeficiente es 1,070. Esto es importante ya que con estos coeficientes pueden ser los tratamientos más parecidos entre sí, cuando al preparar cada uno de ellos se utilice su factor considerando las mismas sales.

Cuadro 5.21. Concentración de las soluciones con salinidad Clorhídrica en partes por millón (ppm).

CULTIVO	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Calabacita	1921.15	4545.33	5833.06	6911.97	8930.57
Cebolla	1078.90	3194.96	3967.59	4837.68	7406.18
Chile	1259.88	3591.72	3536.03	5672.97	7886.47
Jitomate	1990.76	5088.27	6703.15	8060.49	11283.29
Lechuga	1134.59	3584.76	4621.90	5819.14	8450.28
Zanahoria	856.16	3271.52	4413.08	5436.30	7663.73

Cuadro 5.22. Concentraciones de las soluciones con salinidad Sulfático-Clorhídrica en partes por millón (ppm).

CULTIVO	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Calabacita	2093.54	4414.02	5768.23	6412.40	9098.88
Cebolla	1002.85	3001.24	3952.85	4984.98	7132.45
Chile	1332.25	4648.26	4655.58	5680.39	7949.62
Jitomate	2056.94	5146.03	6588.09	8030.14	11280.27
Lechuga	1163.89	3550.24	4699.50	5819.47	8154.59
Zanahoria	878.41	3154.96	4318.85	5307.07	7517.74

Cuadro 5.23. Concentraciones de las soluciones con salinidad Clorhídrico-Sulfática en partes por millón (ppm).

CULTIVO	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Calabacita	2181.36	4767.96	5552.56	6854.49	9225.54
Cebolla	1094.99	3164.27	4104.07	5000.76	7199.37
Chile	1396.76	3741.94	4638.63	5802.60	6690.67
Jitomate	2112.39	5181.82	6707.91	8009.83	11329.30
Lechuga	1232.94	3664.35	4785.21	5845.71	8285.74
Zanahoria	931.17	3328.09	4345.48	5397.37	7535.62

Cuadro 5.24. Concentraciones de las soluciones con salinidad Sulfática en partes por millón (ppm).

CULTIVO	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Calabacita	2342.68	4770.95	5862.06	6835.51	9402.83
Cebolla	1219.48	3305.43	4203.99	5166.74	7156.42
Chile	1508.30	3776.11	4696.07	5637.42	7787.56
Jitomate	2267.80	5102.56	6535.98	7659.19	10579.53
Lechuga	1369.24	4803.04	4867.22	5123.95	8119.17
Zanahoria	1026.93	3305.43	4407.24	5359.29	7188.51

Cuadro 5.25. Concentraciones de las soluciones con salinidad Sulfático-Sódica en partes por millón (ppm).

CULTIVO	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Calabacita	2117.09	4581.24	5743.90	6906.57	9726.46
Cebolla	1058.54	3210.34	4390.35	5214.63	7288.34
Chile	1370.90	3756.96	4806.83	5553.02	7574.67
Jitomate	1926.20	4182.12	6646.27	7722.17	10975.89
Lechuga	1049.86	3427.25	4537.86	5622.43	8832.77
Zanahoria	772.21	3305.78	4208.15	5318.75	7314.37

Cuadro 5.26. Conductividad Eléctrica en milimhos/cm a 25°C de las soluciones con salinidad Clorhídrica.

CULTIVO	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Calabacita	0.01	2.76	6.53	8.38	9.93	12.83
Cebolla	0.01	1.55	4.59	5.70	6.95	10.64
Chile	0.01	1.81	5.16	5.08	8.15	11.37
Jitomate	0.01	2.86	7.31	9.63	11.58	16.21
Lechuga	0.01	1.63	5.15	6.64	6.36	12.14
Zanahoria	0.01	1.23	4.70	6.34	7.81	11.01

Cuadro 5.27. Conductividad Eléctrica en millimhos/cm a 25°C de las soluciones con salinidad Sulfático-Clorhídrica.

CULTIVO	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Calabacita	0.01	2.86	6.03	7.88	8.76	12.43
Cebolla	0.01	1.37	4.10	5.40	6.81	9.73
Chile	0.01	1.82	6.35	6.36	7.76	10.86
Jitomate	0.01	2.81	7.03	9.00	10.97	15.41
Lechuga	0.01	1.59	4.85	6.42	7.95	11.14
Zanahoria	0.01	1.20	4.31	5.90	7.25	10.27

Cuadro 5.28. Conductividad Eléctrica en millimhos/cm a 25°C de las soluciones con salinidad Clorhídrico-Sulfática.

CULTIVO	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Calabacita	0.01	2.53	5.53	6.44	7.95	10.70
Cebolla	0.01	1.27	3.67	4.76	5.80	8.35
Chile	0.01	1.62	4.34	5.38	6.73	7.76
Jitomate	0.01	2.45	6.01	7.78	9.29	13.14
Lechuga	0.01	1.43	4.25	5.55	6.75	9.61
Zanahoria	0.01	1.08	3.86	5.04	6.26	8.74

Cuadro 5.29. Conductividad Eléctrica en millimhos/cm a 25°C de las soluciones con salinidad Sulfática.

CULTIVO	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Calabacita	0.01	2.19	4.46	5.48	6.39	8.79
Cebolla	0.01	1.14	3.09	3.93	4.83	6.69
Chile	0.01	1.41	3.53	4.39	5.27	7.28
Jitomate	0.01	2.12	4.77	6.11	7.16	9.89
Lechuga	0.01	1.28	4.49	4.55	4.79	7.59
Zanahoria	0.01	0.96	3.09	4.12	5.01	6.72

Cuadro 5.30. Conductividad Eléctrica en millimhos/cm a 25°C de las soluciones con salinidad Sulfático-Sódica.

CULTIVO	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Calabacita	0.01	2.44	5.28	6.62	7.96	11.21
Cebolla	0.01	1.22	3.70	5.06	6.01	8.40
Chile	0.01	1.58	4.33	5.54	6.40	8.73
Jitomate	0.01	2.22	4.82	7.66	8.90	12.65
Lechuga	0.01	1.21	3.95	5.23	6.48	10.18
Zanahoria	0.01	0.89	3.01	4.85	6.13	8.43

Cuadro 5.31. Modelos obtenidos para la relación de la Conductividad Eléctrica y el contenido de sales expresado en partes por millón (ppm).

SALINIDAD	ECUACION (ppm)
I. Clorhídrica	ppm = 696.07 (CE x 10 <sup>3</sup> ) r <sup>2</sup> = 0.995 C.V = 7.84 %
II. Sulfático-Clorhídrica	ppm = 730.01 (CE x 10 <sup>3</sup> ) r <sup>2</sup> = 0.994 C.V = 8.37 %
III. Clorhídrico-Sulfática	ppm = 862.20 (CE x 10 <sup>3</sup> ) r <sup>2</sup> = 0.993 C.V = 9.70 %
IV. Sulfática	ppm = 1069.72 (CE x 10 <sup>3</sup> ) r <sup>2</sup> = 0.989 C.V = 12.11 %
V. Sulfático-Sódica	ppm = 867.66 (CE x 10 <sup>3</sup> ) r <sup>2</sup> = 0.994 C.V = 8.74 %



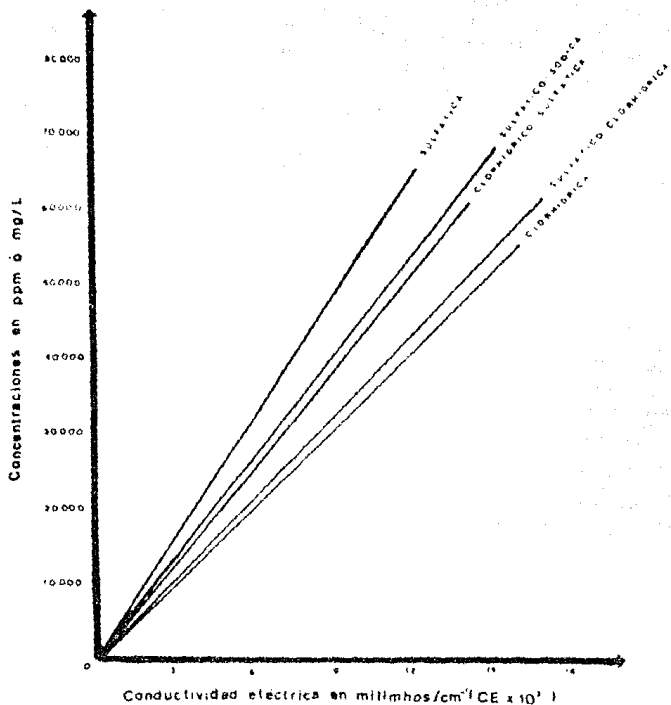


Fig. 5.1. Concentraciones de soluciones con mezclas de sales en partes por millón o miligramos por litro y su relación con la conductividad eléctrica.

En el trabajo realizado por Ramírez (1988), los coeficientes son más altos, por lo que es necesario comprobar estos resultados con cuidado para definir cuales son los mejores.

Los parámetros de regresión son altos como el  $r^2$ , y los coeficientes de variación bajos, incrementándose cuando se aumenta el número de datos.

#### 5.2.2. Relación de la Conductividad Eléctrica y el contenido de sales expresado en miliequivalentes por litro (meq/L).

Siguiendo el mismo procedimiento mencionado en el apartado anterior, se utilizaron los datos de meq/L (cuadros 5.32-5.36), de las soluciones a partir de los mg/L (cuadros 5.21-5.25) y la conductividad medida (cuadros 5.26-5.30), en cada uno de los tratamientos. En este caso el valor del coeficiente de la relación que se reporta en la literatura (Richards 1982), es de 10 multiplicado por la conductividad. En el cuadro 5.37, se muestran los modelos y los coeficientes estadísticos obtenidos, así como en la gráfica (Fig. 5.2), se muestran los modelos en forma de línea recta sin ordenada al origen condición que se incluye en el modelo por medio del paquete estadístico (SAS), con la intención de que el modelo fuera representativo del fenómeno. En este caso el coeficiente obtenido en general es menor que el reportado, aproximándose sólo la salinidad Clorhídrica, al igual que en el caso anterior; los demás coeficientes son más pequeños, correspondiendo el valor más bajo a la salinidad

Cuadro 5.32. Concentraciones de las soluciones con salinidad Clorhídrica en miliequivalentes por litro (meq/L).

CULTIVO	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Calabacita	27.82	65.82	84.47	100.09	129.32
Cebolla	15.62	46.26	57.45	70.05	214.50
Chile	18.24	52.01	51.20	82.15	107.25
Jitomate	28.82	73.68	97.07	116.72	163.39
Lechuga	16.43	51.91	66.93	84.26	122.37
Zanahoria	12.39	47.37	63.90	78.72	110.98

Cuadro 5.33. Concentraciones de las soluciones con salinidad Sulfático-Clorhídrica en miliequivalentes por litro (meq/L).

CULTIVO	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Calabacita	24.91	52.52	68.63	76.39	108.26
Cebolla	11.93	35.71	47.03	59.31	84.74
Chile	15.85	55.30	55.39	67.58	94.59
Jitomate	24.47	61.23	78.39	95.54	134.22
Lechuga	13.84	42.24	55.91	69.24	97.02
Zanahoria	10.45	37.54	51.38	63.14	89.45

Cuadro 5.34. Concentraciones de las soluciones con salinidad Clorhídrico-Sulfática en miliequivalentes por litro (meq/L).

CULTIVO	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Calabacita	24.92	54.47	63.43	78.30	105.39
Cebolla	12.50	36.14	46.88	57.13	82.24
Chile	15.95	42.74	52.99	66.29	76.43
Jitomate	24.13	59.19	76.63	91.50	129.42
Lechuga	14.08	41.86	54.66	66.78	94.65
Zanahoria	10.63	38.02	49.64	61.66	86.08

Cuadro 5.35. Concentraciones de las soluciones con salinidad Sulfática en miliequivalentes por litro (meq/L).

CULTIVO	T1	T2	T3	T4	T5
Calabacita	21.68	44.15	54.25	63.26	87.02
Cebolla	11.28	30.59	38.90	47.81	66.73
Chile	13.95	34.94	43.46	52.17	72.07
Jitomate	20.98	47.22	60.48	70.85	97.91
Lechuga	12.67	44.45	45.04	47.42	75.14
Zanahoria	9.50	30.59	40.78	49.59	66.52

Cuadro 5.36. Concentraciones de las soluciones con salinidad Sulfático-Sódica en miliequivalentes por litro (meq/L).

CULTIVO	T1	T2	T3	T4	T5
Calabacita	22.78	49.71	61.83	74.34	104.70
Cebolla	11.39	34.55	47.26	56.13	78.45
Chile	14.75	40.44	51.74	59.77	81.53
Jitomate	20.73	45.01	71.54	83.12	118.15
Lechuga	11.30	36.89	48.84	60.52	95.08
Zanahoria	8.31	35.58	45.29	57.25	78.73

Cuadro 5.37. Modelos obtenidos para la relación de la Conductividad Eléctrica y el contenido de sales expresado en meq/L.

SALINIDAD	ECUACION (ppm)
I. Clorhídrica	meq/L = 10.08 (CE x 10 <sup>3</sup> ) r <sup>2</sup> = 0.995 C.V = 7.85 %
II. Sulfático-Clorhídrica	meq/L = 8.71 (CE x 10 <sup>3</sup> ) r <sup>2</sup> = 0.993 C.V = 9.50 %
III. Clorhídrico-Sulfática	meq/L = 9.85 (CE x 10 <sup>3</sup> ) r <sup>2</sup> = 0.993 C.V = 9.70 %
IV. Sulfática	meq/L = 9.90 (CE x 10 <sup>3</sup> ) r <sup>2</sup> = 0.989 C.V = 12.11 %
V. Sulfático-Sódica	meq/L = 9.34 (CE x 10 <sup>3</sup> ) r <sup>2</sup> = 0.994 C.V = 8.75 %

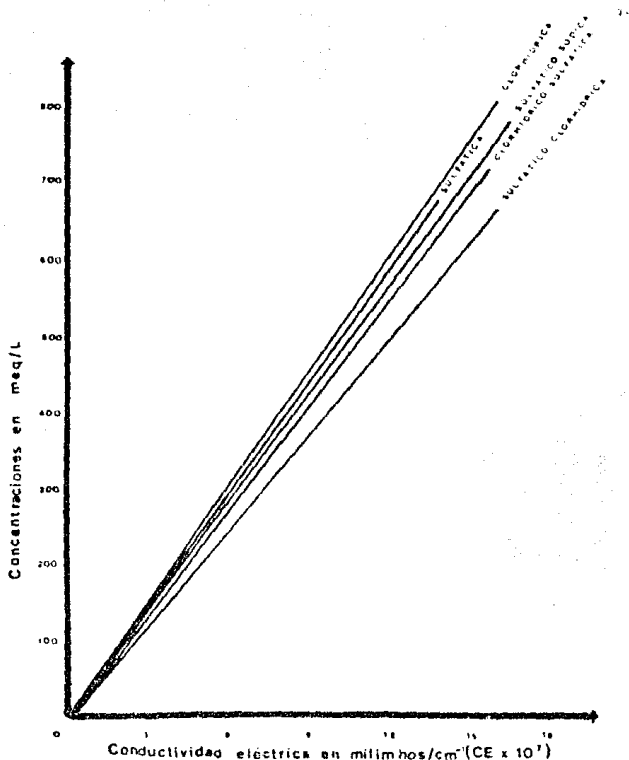


Fig. 5.2. Concentraciones de soluciones con mezclas de sales en miliequivalentes por litro y su relación con la conductividad eléctrica.

Sulfático-Clorhídrica. Los datos difieren al igual que en el otro, de los datos obtenidos por Ramírez (1988); en el caso de los estadísticos también la  $r^2$  (coeficiente de regresión), es alto señalando una buena explicación del fenómeno por el modelo, y el C.V. (coeficiente de variación) es bajo mostrando una también baja dispersión de los datos.

Se puede concluir que el valor de 10 en el valor del coeficiente para la conversión de unidades a partir de la conductividad es bueno, sólo requiere ajustes en la salinidad Sulfático-Clorhídrica, donde varía con cierta amplitud.

### 5.2.3. Relación de la conductividad eléctrica y el contenido de sales expresados como presión osmótica (atm).

En este inciso se determinó la presión osmótica generada por los diferentes tratamientos de salinidad, midiéndola en un Osmómetro del Centro de Genética del CP, y obteniéndose los valores expresados en atmósferas (cuadros 5.38-5.42).

Utilizando estos valores y los de conductividad eléctrica (cuadros 5.26-5.30), se realizó el análisis de regresión para la obtención de los modelos, los cuales se presentan en el cuadro 5.43, así como sus valores estadísticos; estos modelos se representan en la figura 5.3.

Cuadro 5.38. Presión Osmótica en atmósferas (atm) de las soluciones con salinidad Clorhídrica.

CULTIVO	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Calabacita	1.00	2.27	3.19	4.83	6.46
Cebolla	1.02	1.97	2.66	3.19	3.88
Chile	1.26	2.19	2.56	3.32	5.68
Jitomate	2.41	3.12	5.63	6.20	6.68
Lechuga	0.46	1.07	1.97	3.90	5.90
Zanahoria	0.68	1.73	3.14	3.78	5.46

Cuadro 5.39. Presión Osmótica en atmósferas (atm) de las soluciones con salinidad Sulfático-Clorhídrica.

CULTIVO	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Calabacita	1.24	2.75	3.07	4.54	5.51
Cebolla	1.07	1.92	2.41	2.92	3.58
Chile	1.31	2.49	2.83	3.73	3.97
Jitomate	2.17	3.41	4.24	5.32	6.10
Lechuga	0.48	2.49	2.56	3.71	5.49
Zanahoria	0.68	1.61	2.70	3.61	5.07

Cuadro 5.40. Presión Osmótica en atmósferas (atm) de las soluciones con salinidad Clorhídrico-Sulfática.

CULTIVO	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Calabacita	1.19	2.00	2.63	3.12	4.98
Cebolla	1.14	1.75	2.05	2.78	4.07
Chile	1.31	1.92	2.39	2.97	3.80
Jitomate	1.90	2.75	3.39	4.17	5.07
Lechuga	0.58	1.68	2.09	3.34	4.58
Zanahoria	0.53	1.48	2.27	3.10	4.36



Cuadro 5.41. Presión Osmótica en atmósferas (atm) de las soluciones con salinidad Sulfática.

CULTIVO	T1	T2	T3	T4	T5
Calabacita	1.26	2.00	2.31	4.39	5.07
Cebolla	1.17	1.46	2.17	2.63	3.44
Chile	1.22	1.73	2.14	2.90	3.36
Jitomate	1.07	1.61	2.17	3.63	4.95
Lechuga	0.51	1.58	1.97	2.83	3.80
Zanahoria	0.87	1.22	1.75	2.02	3.71

Cuadro 5.42. Presión Osmótica en atmósferas (atm) de las soluciones con salinidad Sulfático-Sódica.

CULTIVO	T1	T2	T3	T4	T5
Calabacita	1.68	2.92	3.36	4.02	6.20
Cebolla	1.34	2.31	3.05	3.24	3.88
Chile	1.51	2.61	3.24	3.75	4.80
Jitomate	2.39	3.51	4.39	5.15	5.98
Lechuga	0.80	1.70	2.09	2.92	5.07
Zanahoria	0.87	1.68	2.14	2.73	3.93

Cuadro 5.43. Modelos obtenidos para la relación de la Conductividad Eléctrica y el contenido de sales expresados como presión osmótica (atm).

SALINIDAD	ECUACION (ppm)
I. Clorhídrica	$\pi = 0.458 (CE \times 10^3)$ $r^2 = 0.974$ C.V = 18.75 %
II. Sulfático-Clorhídrica	$\pi = 0.445 (CE \times 10^3)$ $r^2 = 0.984$ C.V = 13.93 %
III. Clorhídrico-Sulfática	$\pi = 0.447 (CE \times 10^3)$ $r^2 = 0.986$ C.V = 13.14 %
IV. Sulfática	$\pi = 0.500 (CE \times 10^3)$ $r^2 = 0.971$ C.V = 19.06 %
V. Sulfático-Sódica	$\pi = 0.523 (CE \times 10^3)$ $r^2 = 0.978$ C.V = 16.19 %

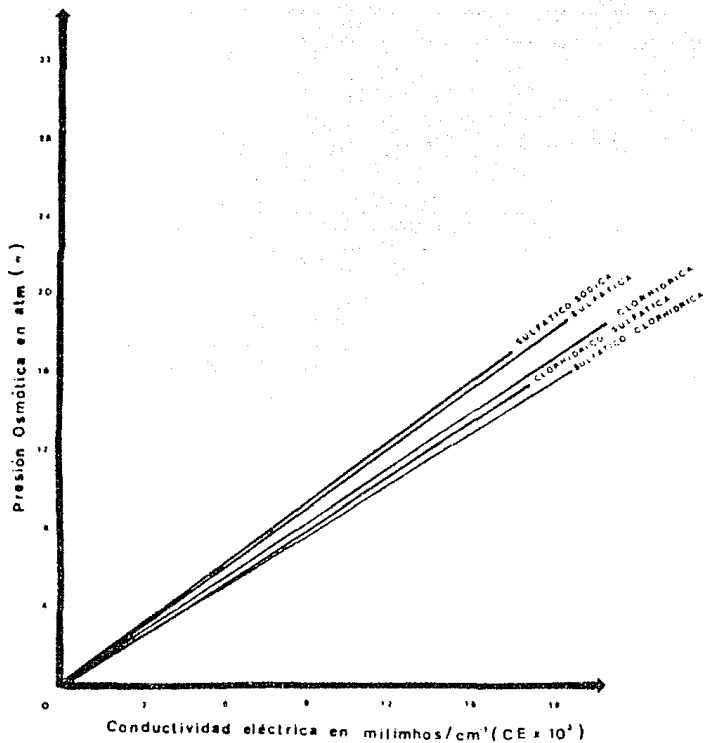


Fig. 5.3. Presión Osmótica de soluciones cualitativas y su relación con la conductividad eléctrica.

Se observa que en todos los casos la pendiente de la ecuación es mayor que la reportada por Richards (1982), la cual es de 0.36. En estos resultados el valor más bajo es de 0.447 en la salinidad Sulfático-Clorhídrica y el más alto es de 0.523 para la salinidad Sulfático-Sódica; los resultados en este caso coinciden con los obtenidos por Ramírez (1988), en una investigación realizada en otros cultivos pero con las mismas salinidades, por lo que estos factores mostraron más consistencia que los otros ya mencionados.

#### 5.2.4. Análisis conjunto de la relación de la conductividad eléctrica ( $CE \times 10^3$ ), con la concentración en ppm o $mg/L$ , con la concentración en $meq/L$ y con la presión osmótica, para cinco tipos de salinidades cualitativas.

Se realizó por último un análisis conjunto para las cinco sales de cada una de las relaciones de la conductividad eléctrica con la concentración en partes por millón ó  $mg/L$ , la concentración en  $meq/L$  y la presión osmótica en (atm), pero éste muestra escasa capacidad predictiva a diferencia de los análisis anteriores que se realizaron en forma individual.

La figura 5.4, muestra la gráfica correspondiente a la comparación de las concentraciones de soluciones utilizadas, pudiéndose observar que la mayor pendiente la presentaron los  $meq/L$  y la menor la presión osmótica, las soluciones en ppm presentaron una pendiente media.

Cuadro 5.44. Modelos obtenidos para el análisis de la relación conjunta de la conductividad eléctrica ( $CE \times 10^3$ ) con la concentración en ppm o  $\mu\text{g/L}$ , la concentración en  $\text{meq/l}$  y con la presión osmótica en atm, para cinco tipos de salinidades cualitativas.

<p>Relación de la (<math>CE \times 10^3</math>) con la concentración en ppm o <math>\mu\text{g/L}</math>.</p> <p><math>\text{ppm} = 808.87 (CE \times 10^3)</math></p> <p><math>r^2 = 0.972</math></p> <p>C.V = 19.15 %</p>
<p>Relación de la (<math>CE \times 10^3</math>) con la concentración en <math>\text{meq/L}</math>.</p> <p><math>\text{meq/l} = 9.54 (CE \times 10^3)</math></p> <p><math>r^2 = 0.990</math></p> <p>C.V = 11.38 %</p>
<p>Relación de la (<math>CE \times 10^3</math>) con la presión osmótica (atm).</p> <p><math>\pi = 0.469 (CE \times 10^3)</math></p> <p><math>r^2 = 0.975</math></p> <p>C.V = 17.72 %</p>

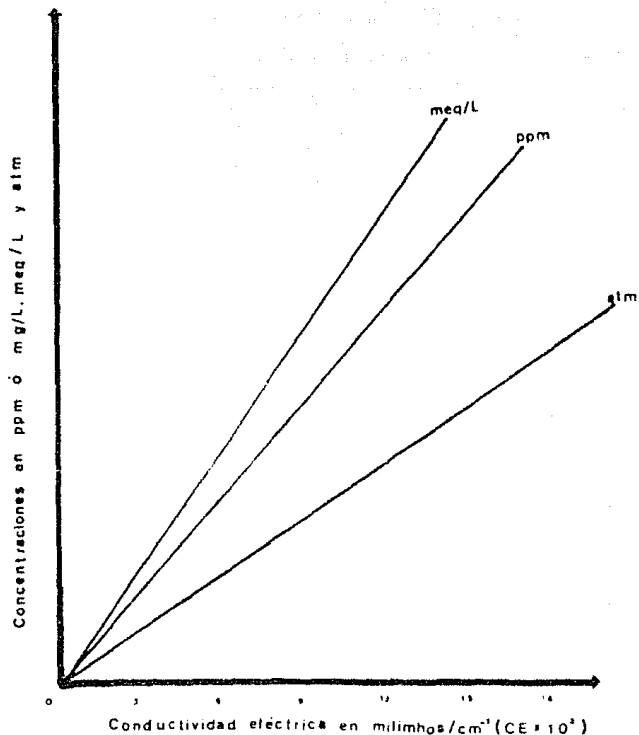


Fig. 5.4. Concentraciones de soluciones en partes por millón o miligramos por litro, en miliequivalentes por litro y presión osmótica en atmosferas, y su relación con la conductividad eléctrica para cinco tipos de salinidades.

Los modelos obtenidos para los análisis muestran una diferencia notoria junto con sus estadísticos correspondientes en comparación con las ecuaciones propuestas para el desarrollo de esta discusión.

## VI. CONCLUSIONES

De los cultivos probados a excepción de la zanahoria y el jitomate, los demás fueron más tolerantes en la etapa de germinación que en la de producción.

En los cultivos de calabacita, jitomate y lechuga, no existe un efecto marcado del tipo de salinidad sobre la germinación, en cambio en los cultivos de cebolla, chile y zanahoria sí se presenta un efecto diferencial de las sales.

Con respecto a las relaciones, se concluye que los coeficientes de variación correspondiente a las ppm, resultaron mayores que el valor reportado en la literatura, presentando el menor valor la salinidad Clorhídrica y el mayor la salinidad Sulfática.

En el caso de la relación con respecto a los  $\text{mg}/\text{l}$ , la variación del factor fue mayor que el anterior, encontrándose los valores más bajos en la salinidad Sulfático-Clorhídrica y el más alto en la Clorhídrica, coincidiendo con el reportado en la literatura.

Con referencia a la presión osmótica, los valores del coeficiente son mayores que el establecido en todas las salinidades, correspondiendo el mayor valor a la salinidad Sulfático-Sódica.



Los resultados obtenidos en ésta y otras investigaciones similares son importantes, puesto que permiten definir que tanto es necesario abatir los niveles de salinidad durante la germinación, para que la cantidad de plántulas que emerjan sea considerable y no se desperdicien recursos en la implantación del cultivo.

## VII. RECOMENDACIONES

Para cultivos que presentan cierta sensibilidad a diferentes tipos de sales, es importante ampliar el rango de salinidades, así como de sales puras con el interés de observar que tanto se pueden extrapolar los resultados de otros investigadores.

Es necesario considerar en trabajos posteriores, los resultados obtenidos para que a partir de ellos se programen nuevos tratamientos para explorar un mayor rango de variación, además de los factores de conversión y consiguiendo que los valores de CE sean iguales en cada tratamiento para las diferentes sales.

Se deben diseñar tratamientos cuyas características de salinidad vayan de acuerdo a salinidades de suelos encontrados en la República Mexicana y de preferencia con muestras de los mismos suelos a estudiar.

Es importante tener en cuenta que los cultivos que se prueben para este tipo de experimentos sean sembrados bajo las condiciones de temperatura recomendadas, evitando así, problemas en la germinación.

Cuando se trabaja con semillas es fundamental que éstas estén tratadas para evitar el ataque de bacterias u hongos durante el tiempo de germinación, sobre todo en los tratamientos de mayor concentración para este tipo de investigación.

## VIII. BIBLIOGRAFIA

- ACEVES, Navarro Lorenzo A.: Los terrenos ensalitrados y los métodos para su recuperación, México, UACH, Departamento de Suelos, 1981, 244 pp.
- ADAN, Gómez José Heriberto: Importancia de la Cartografía de los suelos salinos en el proceso de recuperación. Boletín Técnico No. 3, México, 1980.
- ALEXANDER, Gordon y ALEXANDER, Douglas G.: Biología, 2a. ed., México, Ed. CECSA, 1977, p. 51-53.
- ALLEN, S. G., et al.: "Physiological Response of Salt-Tolerant and Nontolerant Alfalfa to Salinity During Germination" en Crop Science, Vol. 26, Sept.-Oct., USA, 1986, p. 1004-1008.
- ARAGÜES, R. et al.: Métodos de medida de la Salinidad del Suelo I y II, Madrid, 1986, 172 pp.
- ARANA, Muñoz O. E. Recuperación de suelos salino-sódicos del Valle de Mexicalí con mejoradores y aguas salinas, Tesis Ing. Agr., Chapingo, México, 1970.

- ARANY, S.: *Classification of the alkali ("Szik") soils of the Hungarian Plain. Jb. Landes Anst. Qualif. Landw. Prod. Bp. Hungria, 1952-53, p. 2, 29-52.*
- ARINUSHKINA, E. V.: *Manual de Análisis Químico de Suelos. Moscú, Editorial Universidad de Moscú, 1970.*
- AYERS, R. S. y WESTCOT, D. W.: *Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage, paper 29, Rev. 1, Roma, FAO, 1976.*
- BAENA, Paz Guillermina: *Instrumentos de Investigación. Manual para elaborar trabajos de Investigación y tesis profesionales. México, Editores Mexicanos Unidos, S.A., 1982, 134 pp.*
- BERNSTEIN, L.: *Salt tolerance of plants. Agricultural Information Bull. No. 283, Washington, D.C., USA, Agric. Res. Serv. 1964.*
- BLACK, C. A.: *Relaciones Suelo-Planta, Argentina. Ed. Hemisferio Sur, 1975, t. 1, p. 391-441.*
- BLEASDALE, J. K. A.: *Plant Physiology in relation to Horticulture, USA, The Avi Publishing Co. Inc. 1977, p. 1-21.*
- BOYCO, H.: *Salinity and aridity. New New approaches to old problems, USA, Dr. W. Junk Publishers the Hague, 1966, 408 pp.*

CAMPBELL, Stephen K.: *Equívocos y falacias en la Interpretación de Estadísticas*, México, Ed. Limusa, S.A., 1981, 247 pp.

CASTILLO, Luis Felipe del: *El Fenómeno Mágico de la Osmosis*, México, SEP, Fondo de Cultura Económica, 1986, 92 pp.

CRONQUIST, Arthur: *Introducción a la Botánica*, 2a. ed., México, CEGSA, 1981, p. 50-55; 612-619.

CHAUHAN, C. P. S. y SINGH, S. P.: "Effect of Saline Water Irrigation on Wheat Germination and its Impact on Crop Growth" en Journal Indian Soc. Soil Sci., Vol. 35, Uttar Pradesh, 1987, p. 166-168.

CHEESEMAN, M. John: "Mechanisms of Salinity Tolerance in Plants" en *Plant Physiology*, Vol. 87, No. 3, USA, 1988, p. 547-550.

EDDLEMAN, L. E. y ROMO, J. T.: "Sodium relations in seeds and seedlings of *Yarco&atua vermiculatus*" en Soil Science, Vol. 143, No. 2, Feb. USA, 1987, p. 120-123.

FERGUSON, W. S. y HEDLIN, R. A.: "Effect of soluble salts on plant response to and absorption of phosphorus" en Canadian Journal of Soil Science, Vol. 43, Canadá, 1963, p. 210-218.

- FRANCOIS, L. E.: "Salinity Effects on Germination Growth, and Yield of two Squash Cultivars" en Hort Science, Vol. 20, No. 6, Riverside, CA, 1985, p. 1102-1104.
- FRANCOIS, L. E. et al.: "Salinity Effects on Seed Yield, Growth, and Germination of Grain Sorghum" en Agronomy Journal, Vol. 76, Sept.- Oct., USA, 1983, p. 741-744.
- FRANCOIS, L. E. et al.: "Effect of Salinity on Grain Yield and Quality, Vegetative Growth, and Germination of Semidwarf and Durum Wheat" en Agronomy Journal, No. 78, USA, 1986, p. 1053-1058.
- GONZALEZ, Lira Noé G.: Reversibilidad de los efectos de las sales sobre el cultivo del jitomate (*Lycopersicon esculentum*), Chapingo, México, Tesis profesional, 1982, 92 pp.
- GRAJALES, Muñiz Ofelia y MARTINEZ Holguin Elva: Apuntes de Fisiología Vegetal, México, FES-C/UNAM, 1983, p. 21-30; 175-196.
- GUERRERO, Amaro Claudia F. E.: Efecto de la salinidad sobre el porcentaje de germinación de 20 genotipos de trébol fresa (*Trifolium fragiferum*) y trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus*), México, Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Agrícolas, Tesis profesional, Octubre, 1989, 75 pp.

- GUJA para el uso del sistema Internacional de unidades, Publicación miscelánea del Centro de Genética del Colegio de Postgraduados, México, 1983, 28 pp.
- GUPTA, I. C. y YADAV J. S. P.: "Crop Tolerance to saline Irrigation Waters" en Journal Indian Soc. Soil Science, Vol. 31, India, 1986, p. 379-386.
- INEGI: Atlas Nacional del Medio Físico, 1a. reimp. México, INEGI, 1988, p. 152-169.
- INSTRUCTION Manual, 5100 series vapor pressure osmometers, Wescor, Inc. USA, 1980, 41 pp.
- KAZIN, A. A.: "Tomato growth and yield as influenced by different levels of saline water applications" en Mesopotamia Journal Agric Vol. 13, 1978, p. 93-100.
- LEVITT, J.: Responses of Plants to environmental stresses, Vol. II. Water, radiation, salt and other stresses. 2nd. ed., USA, Academic Press, Inc., 1980, p. 378-387.
- LOPEZ-RITAS Julio: El Diagnóstico de Suelos y Plantas, Madrid, España, Ediciones Mundi-Prensa, 1978, p. 183-219.

- MAAS, E. V.: "Salt Tolerance of Plants", Applied Agricultural Research, Vol. 1, No. 1, USA, 1986, p. 12-26.
- MAAS, E. V. y HOFFMAN, G. J.: "Crop Salt Tolerance" - Current Assessment-, Journal of the Irrigation and drainage división, USA, 1977, p. 115-133.
- MAAS, E. V. y HOFFMAN, G. J.: "Crop Salt Tolerance" - Evaluation of Existing Data-, Riverside, CA, 1976, p. 187-198.
- MAFTOUN, H. y SEPASKHAH.: Effects of temperature and osmotic potential on germination of sunflower and safflower and on hormone-treated sunflower seeds. Canadian Journal Plant Science, No. 58, Canadá, 1978, p. 295-301.
- MAHMOUD E. A.: Salt tolerance of sugar beets at various temperatures, N. Z. J. Agr. Res., No. 24, Newzeland, p. 67-71.
- MARTINEZ-COB, R., ARAGÜES, R., ROYO, A.: "Evaluación y Cribado de cultivares de cebada (*H. vulgare*, L.), por su tolerancia a la salinidad en la fase de germinación-emergencia", Inv. Agr.: Prod. Prot. veg., Vol. 2, No. 2, Zaragoza, España, 1987, p. 121-131.
- MARTINEZ-COB, R., ARAGÜES, R., ROYO, A.: "Salt tolerance of Barley (*Hordeum vulgare*, L.), cultivars at the germination stage:



Analysis of the response functions", Plant and Soil, No. 104, Netherlands, 1987, p. 53-56.

MARTINEZ, Garza Angel: Diseños Experimentales, Métodos y elementos de teoría, México, Ed. Trillas, 1988, 756 pp.

MARTINEZ, L. A.: Control de calidad de las aguas de irrigación y su influencia en la planeación y conservación de los Distritos de Riego. III Seminario Latinoamericano de Irrigación (Memoria), Tomo IX, México, SRH, 1964, 16 pp.

McNAUGHT, K. J. y HOUSTON, B. J.: Excess soluble salts in glass house tomato soils, N.Z.J. Sci. Tech. A. Agric. Res. Ser. Vol. 38, New Zealand, 1956, p. 449-465.

MENDEZ, Ramírez Ignacio: El Protocolo de Investigación, Lineamientos para su elaboración y análisis, México, Ed. Trillas, 1984, 210 pp.

MERRIAM-WEBSTER: Dictionary, 19th printing, New York, USA, Pocket books, 1974, 850 pp.

MILBURN, John A.: Water flow in plants, Great Britain, Longman, 1979, p. 28-36.

- MIYAMOTO, S., PIELA, K., PETTICREW, J.: "Seedling Mortality of Several Crops Induced by Root, Stem or Leaf Exposure to salts". Irrigation Science. Vol. 7, USA, 1986, p. 97-106.
- MUKHIYA, Y. K., et al.: "Salt tolerance of wheat, barley and soybean in respect of germination and pigment concentration", Indian J. Agric. Sci. Vol. 51, No. 12, India, 1981, p. 881-885.
- MURTY, A. S., et al.: "Effect of different salt concentrations on seed germination and seedling development in few oat cultivars" en Indian Journal of Agricultural Research, Vol. 18, No. 3, India, 1984, p. 129-132.
- PIZARRO, F.: Drenaje Agrícola y recuperación de suelos salinos. Madrid, España, Ed. Agrícola Española, S.A., 1978. 521 pp.
- POLJAKOFF-MAYBER, A., GALE, J.: Plants in Saline Environments, Alemania, Springer-Verlag Berlin-Heidelberg, 1975, 213 pp.
- PORRUA: Diccionario de la Lengua Española, 7a. ed., México, Ed. Porrúa, 1975, 850 pp.
- PRONASE: Variedades de Hortalizas, 3a. ed., México, Pronase, 1984, 40 pp.

- RAMIREZ, Montero Oriando N.: Determinación de la capacidad germinativa de algunos cultivos agrícolas en soluciones salinas de diferente concentración total y composición cualitativa. México, Colegio de Postgraduados, Tesis de maestría, 1988.
- RICHARDS, L. A., et al.: Suelos Salinos y Sódicos, Manual Núm. 60, Trad. por Nicolás Sánchez y otros, México, Ed. Limusa, 1982, p. 1-20; 59-66.
- ROBINSON, D. L., et al.: "Evaluating the genetic gains for germination salt tolerance in alfalfa using a sodium-chloride gradient". Agronomy Journal, Vol. 78, USA, 1986, p. 1099-1103.
- SEP: Tomates. Manuales para educación agropecuaria, Area Producción Vegetal, 3a. reimp., México, Ed. Trillas, 1984, 54 pp.
- SHANNON, M. C.: Breeding, selection and the genetics of salt tolerance en *Salinity Tolerance in plants*. New York, USA. Staples R. C. Toennissen G. H., Eds. John Wiley Sons, 1984.
- SHARMA, N. K., et al.: "Effect of different Salinity levels on seed germination of Brinjal Genotypes". Indian Journal of Agricultural Research, Vol. 18., No. 3, India, 1984, p. 125-128.

SINGH, S. B., ABROL, I. P.: "Effect of Exchangeable Sodium Percentage on Growth Yield and Chemical Composition of onion and Garlic", Journal Indian Soc. Soil Sci., Vol. 33, No. 2, India, 1983, p. 358-361.

SINGH, Bijendra y NARAIN, Pratap: "Effect of the salinity of irrigation water on wheat yield and soil properties", Indian J. Agric. Sci., Vol. 50, No. 5, India, 1980, p. 422-427.

SINGH, S., SING, R. S.: "Effect of different cations on the germination Growth and composition of wheat", 1. Journal Soc. Soil Sci., Vol. 30, No. 2, India, 1982, p. 185-189.

SMITH, S. E., DOBRENZ, A. K.: "Seed Age and Salt Tolerance at Germination in Alfalfa", Crop Science, Vol. 27., USA, 1987, p. 1053-1056.

SONNEVELD, C. y JVAN DEN, E. "The effect of some salts on head weight and tip burn of lettuce and on fruit production and blossom-end rot of tomatoes", Neth. J. Agric. Sci., Netherlands, 1975, p. 191-201.

SRH: Ingeniería Hidráulica de México, México, S.R.H., 1971.

- STONE J. E.: Interaction of sodium chloride and temperature on germination of two alfalfa cultivars. Agonomy Journal, No. 71, USA, 1979, p. 425-427.
- STROGONOV, B. P.: Physiological bases of salt tolerance in plants. Akademia Nauk, Moskva, 1962.
- SUTCLIFFE, James y BAKER, Dennis: Las plantas y las sales minerales, Cuadernos de Biología, Trad. J. Franch, España, 1979, 54 pp.
- TABORGA, Huáscar: Como hacer una tesis, Tratados y Manuales, México, Ed. Grijalbo, 1982.
- TING, Irwin, P.: Plant Physiology, Riverside, CA, 1982, p.585-590.
- VALADEZ, López Artemio: Producción de Hortalizas. México, Ed. Liza, Noriega editores, 1989, 300 pp.
- VINIZKY, Itamar y RAY I. Dennis: "Germination of Guar Seed under Salt and Temperature Stress". Journal of American Soc. Hort. Sci., Vol. 113, No. 3, USA, 1988, p. 437-440.
- WAISEL, Yaav: Biology of Halophytes, Physiological Ecology, New York, USA, Academic Press, 1972, p. 194-198; 212; 236-237.
- WILLIAMS, Edwin B.: The Bantam New College Spanish & English Dictionary, 27th printing, USA, 1980, 370 pp.

## ANEXO I

**Cuadro 1.1. Reacción pH de los tratamientos con diferentes salinidades aplicados al cultivo de calabacita.**

SALINIDAD	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
<i>Clorhídrica</i>	5.90	5.40	6.20	6.30	6.70	6.50
<i>Sulfático-Clorhídrica</i>	5.90	6.55	6.60	6.60	6.30	6.40
<i>Clorhídrico-Sulfática</i>	5.90	6.30	6.50	6.60	6.40	6.50
<i>Sulfática</i>	5.90	6.50	6.25	6.25	6.30	6.30
<i>Sulfático-Sódica</i>	5.90	8.90	8.70	8.75	8.65	8.50

**Cuadro 1.2. Reacción pH de los tratamientos con diferentes salinidades aplicados al cultivo de cebolla.**

SALINIDAD	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>
<i>Clorhídrica</i>	5.90	6.20	6.30	6.35	6.30	6.20
<i>Sulfático-Clorhídrica</i>	5.90	6.35	6.60	6.50	6.60	6.90
<i>Clorhídrico-Sulfática</i>	5.90	7.00	6.55	6.60	6.50	6.45
<i>Sulfática</i>	5.90	6.70	6.60	6.55	6.50	6.50
<i>Sulfático-Sódica</i>	5.90	8.50	8.70	8.70	8.60	8.60

**Cuadro 1.3. Reacción pH de los tratamientos con diferentes salinidades aplicados al cultivo de chile.**

SALINIDAD	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
<i>Clorhídrica</i>	5.90	7.10	6.80	5.70	6.50	6.45
<i>Sulfático-Clorhídrica</i>	5.90	6.65	6.90	6.30	6.50	6.70
<i>Clorhídrico-Sulfática</i>	5.90	6.60	6.60	6.20	5.90	6.10
<i>Sulfática</i>	5.90	6.80	7.00	6.30	7.15	6.80
<i>Sulfático-Sódica</i>	5.90	8.70	8.80	8.80	8.75	8.50

Cuadro 1.4. Reacción pH de los tratamientos con diferentes salinidades aplicados al cultivo de jitomate.

SALINIDAD	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Clorhídrica	5.90	6.15	6.00	5.90	5.80	6.20
Sulfático-Clorhídrica	5.90	5.90	5.70	5.65	6.10	5.75
Clorhídrico-Sulfática	5.90	5.90	6.00	5.60	5.80	5.55
Sulfática	5.90	5.80	5.90	5.75	5.90	5.80
Sulfático-Sódica	5.90	8.70	8.55	8.75	8.65	8.55

Cuadro 1.5. Reacción pH de los tratamientos con diferentes salinidades aplicados al cultivo de lechuga.

SALINIDAD	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Clorhídrica	5.90	5.90	5.80	6.00	5.70	5.70
Sulfático-Clorhídrica	5.90	6.70	5.50	5.70	5.60	5.60
Clorhídrico-Sulfática	5.90	5.60	5.60	5.40	5.40	5.40
Sulfática	5.90	5.50	5.35	5.35	5.40	5.40
Sulfático-Sódica	5.90	8.15	8.60	8.60	8.60	8.50

Cuadro 1.6. Reacción pH de los tratamientos con diferentes salinidades aplicados al cultivo de zanahoria.

SALINIDAD	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Clorhídrica	5.90	6.00	5.90	5.90	5.70	5.60
Sulfático-Clorhídrica	5.90	6.90	6.60	7.00	5.60	5.70
Clorhídrico-Sulfática	5.90	5.60	5.60	5.50	5.30	5.60
Sulfática	5.90	5.80	5.40	5.60	5.40	5.40
Sulfático-Sódica	5.90	8.20	8.50	8.70	8.60	8.60



## ANEXO II

Cuadro 2.1. Porcentajes de Germinación Absoluta obtenidos en el cultivo de calabacita.

SALINIDAD	To	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Clorhídrica	89.32	84.85	73.24	89.32	76.81	57.16
Sulfático-Clorhídrica	89.32	84.85	97.35	97.35	89.32	68.77
Clorhídrico-Sulfática	89.32	84.85	89.32	73.24	81.28	81.28
Sulfática	89.32	81.28	92.89	92.89	76.81	60.73
Sulfático-Sódica	89.32	76.81	68.77	84.85	60.73	40.19

Cuadro 2.2. Porcentajes de Germinación Absoluta obtenidos en el cultivo de cebolla.

SALINIDAD	To	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Clorhídrica	14.00	22.00	22.00	20.02	28.00	14.00
Sulfático-Clorhídrica	14.00	22.00	14.00	11.92	14.00	17.92
Clorhídrico-Sulfática	14.00	25.90	14.00	6.03	4.06	4.06
Sulfática	14.00	9.24	6.02	4.06	4.06	4.06
Sulfático-Sódica	14.00	22.00	4.06	4.06	1.96	4.06

Cuadro 2.3. Porcentajes de Germinación Absoluta obtenidos en el cultivo de chile

SALINIDAD	To	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Clorhídrica	89.00	9.79	0.00	4.45	8.01	6.23
Sulfático-Clorhídrica	89.00	9.79	8.01	22.25	24.03	17.80
Clorhídrico-Sulfática	89.00	52.51	22.25	22.25	24.03	20.47
Sulfática	89.00	44.50	20.47	14.24	17.80	22.25
Sulfático-Sódica	89.00	50.73	24.03	14.24	9.79	8.01

Cuadro 2.4. Porcentajes de Germinación Absoluta obtenidos en el cultivo de jitomate.

SALINIDAD	To	T1	T2	T3	T4	T5
Clorhídrica	84.00	40.32	10.08	10.08	1.68	0.00
Sulfático-Clorhídrica	84.00	53.76	13.44	4.20	5.88	0.00
Clorhídrico-Sulfática	84.00	32.76	10.08	11.76	7.56	0.00
Sulfática	84.00	21.84	10.08	10.08	5.88	4.20
Sulfático-Sódica	84.00	43.68	14.28	10.08	11.76	1.68

Cuadro 2.5. Porcentajes de Germinación Absoluta obtenidos en el cultivo de lechuga.

SALINIDAD	To	T1	T2	T3	T4	T5
Clorhídrica	20.00	26.00	16.00	32.00	30.00	14.00
Sulfático-Clorhídrica	20.00	30.00	32.00	20.00	12.00	6.00
Clorhídrico-Sulfática	20.00	12.00	8.00	4.00	20.00	4.00
Sulfática	20.00	12.00	12.00	2.00	8.00	4.00
Sulfático-Sódica	20.00	32.00	16.00	10.00	8.00	4.00

Cuadro 2.6. Porcentajes de Germinación Absoluta obtenidos en el cultivo de zanahoria.

SALINIDAD	To	T1	T2	T3	T4	T5
Clorhídrica	53.00	63.07	17.49	7.95	10.07	4.77
Sulfático-Clorhídrica	53.00	45.05	0.00	0.00	0.00	0.00
Clorhídrico-Sulfática	53.00	4.24	0.00	0.00	0.00	0.53
Sulfática	53.00	20.14	1.59	3.18	0.00	0.00
Sulfático-Sódica	53.00	42.93	4.24	7.95	7.95	4.77

## ANEXO III

Cuadros de las pruebas de Tukey aplicadas a las salinidades y los diferentes niveles de salinidad de los seis cultivos hortícolas utilizados.

Cuadro 3.1. Calabacita.			Cuadro 3.2. Calabacita.		
Salinidad	Medias	Significancia	Niveles	Medias	Significancia
SC	98.30	A	T <sub>0</sub>	100.00	A
CS	93.16	A B	T <sub>1</sub>	98.00	A B
S	92.17	A B	T <sub>2</sub>	94.40	A B
C	87.83	A B	T <sub>3</sub>	92.40	A B
SS	78.50	B	T <sub>4</sub>	82.20	A B
			T <sub>5</sub>	69.00	B
W = 15.05			W = 17.34		
Cuadro 3.3. Cebolla.			Cuadro 3.4. Cebolla.		
Salinidad	Medias	Significancia	Niveles	Medias	Significancia
C	142.80	A	T <sub>1</sub>	144.00	A
SC	135.50	A B	T <sub>0</sub>	100.00	A B
CS	81.00	A B C	T <sub>3</sub>	94.40	A B
SS	59.70	C	T <sub>2</sub>	85.80	A B
S	49.30	C	T <sub>4</sub>	74.40	A B
			T <sub>5</sub>	63.00	B
W = 64.31			W = 74.02		
Cuadro 3.5. Chile.			Cuadro 3.6. Chile.		
Salinidad	Medias	Significancia	Niveles	Medias	Significancia
CS	43.20	A	T <sub>0</sub>	100.00	A
S	39.00	A B	T <sub>1</sub>	37.60	B
SS	36.70	A B C	T <sub>4</sub>	18.80	C
SC	32.00	A B C	T <sub>3</sub>	17.40	C
C	22.00	C	T <sub>2</sub>	16.80	C
			T <sub>5</sub>	16.80	C
W = 15.30			W = 17.61		
Cuadro 3.7. Jitomate.			Cuadro 3.8. Jitomate.		
Salinidad	Medias	Significancia	Niveles	Medias	Significancia
SS	32.80	A	T <sub>0</sub>	100.00	A
SC	32.00	A	T <sub>1</sub>	45.80	B
C	29.00	A	T <sub>2</sub>	13.80	C
CS	29.00	A	T <sub>3</sub>	11.00	C
S	27.00	A	T <sub>4</sub>	7.80	C
			T <sub>5</sub>	1.40	C
W = 12.56			W = 14.46		

Cuadro 3.9. Lechuga.			Cuadro 3.10. Lechuga.		
Salinidad	Medias	Significancia	Niveles	Medias	Significancia
C	106.70	A	T <sub>1</sub>	112.00	A
SC	100.00	A	T <sub>0</sub>	100.00	A B
SS	75.00	A	T <sub>2</sub>	84.00	A B
CS	56.70	A	T <sub>4</sub>	78.00	A B
S	48.30	A	T <sub>3</sub>	58.00	B
			T <sub>5</sub>	32.00	B
W = 68.30			W = 78.61		
Cuadro 3.11. Zanahoria.			Cuadro 3.12. Zanahoria.		
Salinidad	Medias	Significancia	Niveles	Medias	Significancia
C	49.20	A	T <sub>0</sub>	100.00	A
SS	38.00	A B	T <sub>1</sub>	66.20	B
SC	30.80	B C	T <sub>2</sub>	8.80	C
C	24.50	B C	T <sub>3</sub>	7.20	C
CS	18.20	C	T <sub>4</sub>	6.80	C
			T <sub>5</sub>	3.80	C
W = 18.36			W = 21.15		

C = Clorhídrica.

S = Sulfática.

SC= Sulfático-Clorhídrica.

CS= Clorhídrico-Sulfática.

SS= Sulfático-Sódica.

## ANEXO IV

Cuadro 4.1. Análisis de varianza para el cultivo de calabacita.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Probabilidad
Repeticiones	2	143.25	71.67	0.91	0.4084
Tratamientos	1	2346.38	2346.38	29.77	0.0001
Salinidad	4	8706.15	2076.53	26.35	0.0001
Nivel	4	3904.16	976.04	12.38	0.0001
S N	20	5668.42	283.42	3.60	0.0001
Error Exp.	58	4571.31	78.81		
Total	89	24939.78			

Cuadro 4.2. Análisis de varianza para el cultivo de cebolla.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Probabilidad
Repeticiones	2	6362.22	3181.11	2.22	0.1182
Tratamientos	1	128392.06	128392.06	89.45	0.0001
Salinidad	4	35652.53	8913.13	6.21	0.0003
Nivel	4	28118.16	7029.54	4.90	0.0018
S N	20	112554.88	5627.74	3.92	0.0001
Error Exp.	58	83251.77	1435.37		
Total	89	394331.65			

Cuadro 4.3. Análisis de varianza para el cultivo de chile.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Probabilidad
Repeticiones	2	104.26	52.14	0.64	0.5310
Tratamientos	1	41.81	41.81	0.51	0.4766
Salinidad	4	51846.00	12961.50	159.06	0.0001
Nivel	4	34311.57	8577.89	105.26	0.0001
S N	20	6482.55	324.12	3.98	0.0001
Error Exp.	58	4726.37	81.48		
Total	89	97512.62			



Cuadro 4.4. Análisis de varianza para el cultivo de jitomate.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrado	Cuadrado Medio	Valor F	Probabilidad
Repeticiones	2	197.08	98.54	1.80	0.1751
Tratamientos	1	2629.96	2629.96	47.92	0.0001
Salinidad	4	76795.62	19198.90	349.85	0.0001
Nivel	4	26520.45	6630.11	120.82	0.0001
S N	20	2527.51	126.37	2.30	0.0071
Error Exp.	58	3182.91	54.87		
Total	89	111853.55			

Cuadro 4.5. Análisis de varianza para el cultivo de lechuga.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Probabilidad
Repeticiones	2	1768.88	894.44	0.39	0.6775
Tratamientos	1	42159.37	42159.37	26.05	0.0001
Salinidad	4	57313.25	14328.31	8.85	0.0001
Nivel	4	18420.69	4605.17	2.85	0.0319
S N	20	63088.88	3154.44	1.95	0.0253
Error Exp.	58	93864.44	1618.35		
Total	89	276115.55			

Cuadro 4.6. Análisis de varianza para el cultivo de zanahoria.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Probabilidad
Repeticiones	2	230.95	115.47	0.98	0.3808
Tratamientos	1	9655.21	9655.21	82.35	0.0001
Salinidad	4	94652.22	23663.05	201.19	0.0001
Nivel	4	32077.74	8019.43	68.18	0.0001
S N	20	17426.77	871.33	7.41	0.0001
Error Exp.	58	6821.71	117.61		
Total	89	160894.62			

## ANEXO V

Cuadro 5.1. Resultados de la prueba preliminar de germinación.

INVERNADERO (Siembra en maceta con agua destilada)		
	Con malla de plástico	Con papel filtro
Calabacita	13	11
Cebolla	35	32
Chile	19	18
Jitomate	18	12
Lechuga	27	35
Zanahoria	21	20
LABORATORIO (Siembra en cajas de Petri con agua destilada)		
	Con malla de plástico	Con papel filtro
Calabacita	15	13
Cebolla	19	24
Chile	26	26
Jitomate	30	24
Lechuga	32	30
Zanahoria	15	25

Nota: El número de semillas sembradas para las pruebas de germinación para todos los cultivos fue de 50, a excepción de la calabacita, el cual fue de 25.

Quadro 5.2. Temperaturas máximas y mínimas obtenidas durante el desarrollo del experimento de germinación.

DIA - MES	T <sub>máx.</sub> (°C)	T <sub>mín.</sub> (°C)
15 - 08	26.4	8.9
16 - 08	26.0	9.8
17 - 08	27.0	10.0
18 - 08	32.7	9.4
19 - 08	34.8	11.0
20 - 08	31.5	8.0
21 - 08	35.6	9.2
22 - 08	37.0	10.7
23 - 08	31.0	7.3
24 - 08	39.2	8.7
25 - 08	39.0	7.0
26 - 08	38.0	8.0
27 - 08	37.2	8.7
28 - 08	36.4	6.7
29 - 08	37.5	7.2
30 - 08	29.1	11.3
31 - 08	29.5	11.7
1 - 08	32.0	11.4
2 - 08	24.8	12.0
3 - 08	28.9	17.3
4 - 08	33.0	10.7
5 - 08	21.0	10.5
	$\bar{T}_X$ máx. = 32.16°C	
	$\bar{T}_X$ mín. = 9.79°C	
	$\bar{T}_X$ = 21.00°C	

## ANEXO VI

## I. Presión Osmótica.

El descubrimiento de la ósmosis en membranas semipermeables fue realizado por Henri Dutrochet (1776-1847), considerado como uno de los grandes fisiólogos del siglo XIX, quien también tiene relación con las primeras observaciones que condujeron al descubrimiento de la fotosíntesis. Al igual que Fick y Ludwig, Dutrochet profesó la creencia de que las leyes fundamentales de la física y de la química explicaban todos los procesos básicos de la vida. Aseguraba que debía haber similitudes en los procesos físicos y químicos de todos los organismos, fueran plantas o animales; esto debía ser -decía- para hacer posibles las explicaciones a partir de principios fundamentales.

Dutrochet descubrió el fenómeno de la ósmosis cuando observó que la difusión del solvente a través de una membrana ocurría siempre de la solución de menor concentración de un soluto, que no puede pasar, hacia la solución de mayor concentración, además, el solvente que fluye es capaz de desarrollar una presión sobre la membrana a la que denominó presión osmótica.

No obstante la importancia de este descubrimiento, la medida cuantitativa de la presión osmótica fue elaborada 50 años más tarde -en 1877- por el botánico Wilhelm Pfeffer (1845-1920).

Si el material es solución está menos concentrado en el exterior de la célula que en el interior, el agua se dirigirá hacia adentro de la célula más rápidamente de lo que lo hace hacia afuera. La célula puede hincharse y, finalmente reventar. En condiciones opuestas, cuando los solutos están más concentrados en el exterior que en el interior, el agua sale de la célula y ésta se contrae. Dos soluciones en equilibrio osmótico tienen la misma presión osmótica y se dice que son isotónicas. Una solución con una presión osmótica mayor que otra, es hipertónica con respecto a la segunda, mientras que aquella que tiene menor presión osmótica, es hipotónica con respecto a aquella con la que es comparada. El agua se dirige a través de una membrana celular de regiones hipotónicas a regiones hipertónicas.

Las células vegetales que se encuentran en un medio hipotónico, como son las células de plantas que viven en agua dulce, no revientan cuando el agua entra en ellas por ósmosis; las células hinchadas hacen presión interna (presión de turgencia), la cual es responsable de la rigidez característica del tejido vegetal. Si una célula vegetal se coloca en una solución hipertónica, el agua sale de ella por ósmosis y la membrana celular se separa de la pared celular. Esto da como resultado una condición llamada plasmólisis.

A los investigadores de los fenómenos osmóticos con frecuencia les resulta cómodo pensar en términos de la capacidad del agua pura para desplazarse a una solución de la cual está separada por una membrana semipermeable, más bien que de la capacidad de la solución

para atraer y retener el agua. En esos términos, el agua tiene un potencial osmótico o capacidad de difusión neta a través de la membrana mayor que la de cualquier solución acuosa. En relación con el agua la solución presenta un potencial osmótico negativo. El potencial osmótico puede ser medido exactamente en la misma forma que la presión osmótica positiva. Es la misma cosa, pero con signo negativo. Otro término que con frecuencia se emplea en el mismo sentido es el de déficit de presión. En comparación con el agua pura, la solución tiene un déficit de presión. Estableciendo desde el principio que si se trata de un déficit, la cifra no necesita llevar el signo menos.

La relación empírica desarrollada por Van't Hoff en 1886, sirvió como modelo para calcular las presiones osmóticas de este experimento. La relación mencionada para calcular el potencial osmótico ( $\psi_{\pi}$ ) se asemeja mucho a la ley de los gases ideales y es la siguiente:

$$\psi_{\pi} = -nRT$$

donde:

$n$  : es la molaridad de la solución, en mol/L

$i$  : es una constante que considera la ionización de los solutos y/u otras desviaciones de las soluciones perfectas.



R : es la constante de los gases (0.083 litro bares/mol ó 0.082 L atm/mol °K ó 0.0357 L cal/mol °K)

T : es la temperatura absoluta, en grados kelvin (°K)

Las presiones osmóticas calculadas se presentan en los cuadros 5.38 a 5.42 y un ejemplo es el siguiente:

Para una solución de salinidad Clorhídrico-Sulfática en el cultivo de calabacita se obtuvo una lectura (L) en el osmómetro de 108 mmol/kg, a una temperatura de 25°C, por lo tanto para obtener su presión osmótica, se realizó lo que sigue a continuación:

$$\pi = R \times T \times L \times FC$$

$$R = 0.083 \text{ Lbares/mol } ^\circ\text{K}$$

$$T = 273 + 25 = 298 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$L = 108 \text{ mmol/kg} = 0.108 \text{ mol/kg}$$

$$FC = 0.987 \text{ (conversión de bares a atmósferas)}$$

cálculo:

$$\pi = (0.083) (298) (0.108) (0.987) = 2.6365 \text{ atm}$$

El valor 2.63 atm se encuentra en el cuadro 5.40 y corresponde al tratamiento tres.

## II. Breve descripción de los cultivos hortícolas utilizados.

### 2.1. Calabacita (*Cucurbita pepo*, L.)

Con respecto a las cucurbitáceas, la calabacita ocupa el primer lugar por la superficie sembrada, así como por su alta redituabilidad, fácil manejo y gran demanda de mano de obra.

La calabacita es considerada originaria de México y de América Central, de donde fue distribuida a América del Norte y del Sur. Sus orígenes se remontan al año 7,000 a. de J.C.

Esta hortaliza es una planta herbácea, anual, monolca, erecta y después rásitera. El fruto se consume todavía inmaduro, y por lo general es de color verde claro, aunque existen cultivares de color verde oscuro que alcanzan una longitud promedio de 12 a 15 cm para consumo fresco. Las semillas generalmente son de color blanco, crema o ligeramente cafés.

En términos generales, la clasificación taxonómica es la siguiente:

Clase: Dicotyledonae

Orden: Cucurbitales

Familia: Cucurbitaceae

Género: Cucurbita

Especie: pepa

Variedad utilizada: Gray Zucchini

La calabacita es una hortaliza de clima cálido, por lo cual no tolera heladas; es insensible al fotoperíodo. La temperatura para la germinación de las semillas debe ser mayor de 15°C, siendo el rango óptimo de 22° a 25°C; la temperatura para su desarrollo tiene un rango de 18°C a 35°C.

Este cultivo prospera en cualquier tipo de suelo, prefiriendo los ricos en materia orgánica y profundos. En cuanto al pH, está catalogada como una hortaliza moderadamente tolerante a la acidez, siendo su pH 6.8-5.5.

En lo referente a la fertilización comercial, se reportan las siguientes fórmulas:

INIFAP.....80-60-0

Sonora....130-90-0

Puebla....120-80-0

Los tipos y cultivares más comunes en la República Mexicana son los siguientes: Gray Zucchini, Black Zucchini, Green Zucchini,

*Clarita, Greyzini, Dusk, Caserta, Ambador, Sardane, Maya, PSR-284.*

Las fechas de siembra para la variedad Gray Zucchini son: Mesa Central, de abril a junio; Valles Altos, de abril a mayo; El Bajío y partes similares (1500 a 1800 metros sobre el nivel del mar), de marzo a agosto; Valle de Aguascalientes, de abril a agosto; Costa tropical del Golfo, de octubre a enero; Noroeste de México, de octubre a marzo; Noreste de México, de marzo a junio.

En lo concerniente a densidad de siembra, comercialmente se aplica una dosis de semilla de 4 a 6 kg/ha, y se utiliza solo siembra directa. La distancia entre surcos es de aproximadamente 93 cm y la distancia entre plantas es de 75 cm. En calabacita se obtienen poblaciones de 10 000 a 14 000 plantas/ha. Los riegos requeridos son de 5 a 8 dependiendo del tipo de suelo.

Debe mantenerse el cultivo libre de malas hierbas hasta el inicio de la cosecha, ya sea por medio de cultivos y deshierbes hechos con maquinaria o implementos manuales.

Las cucurbitáceas tienen la misma respuesta a todos los problemas fitosanitarios, por lo que hay que tener cuidado desde la emergencia de la plántula (problemas con pulga saltona y diabrotica) hasta los insectos chupadores, estos últimos son responsables en la mayoría de los casos de los problemas víricos; así, un adecuado calendario de aplicaciones de insecticidas sistémicos podría ayudar a

disminuir el problema, recomendándose también utilizar cultivares tolerantes a virus.

En cuanto al ataque de cenicillas, se recomienda utilizar fungicidas a base de manganeso y zinc pero no aplicar azufre pues éste quema los tejidos de cualquier cucurbitácea, ya que se ha comprobado que estas plantas tienen una pared celular muy delgada y el pH del citoplasma de sus células es muy ácido, por lo que al suministrar azufre se provocan quemaduras por la formación de ácido sulfúrico en el tejido.

La cosecha debe hacerse con sumo cuidado sobre todo en el manejo de los frutos, los cuales deben cortarse cuando están por tirar o recién han tirado la flor seca. La cosecha debe efectuarse diariamente.

## 2.2. Cebolla (*Allium cepa*, L.)

Dentro de las amarilidáceas, la cebolla ocupa en México el primer lugar por la gran cantidad de superficie sembrada de ésta hortaliza (25 000 ha), y la demanda de que es objeto durante todo el año, ya que tiene un amplio y variado consumo.

Hasta la fecha no se sabe con certeza cual es el origen de la cebolla. Candolle (1895), la reportó como originaria del oeste de Asia, coincidiendo con Vavilov (1951), quien afirmó que su cuna se

ubicaba en Asia Central (Pakistán, Irán, Turquía y Afganistán).

La cebolla es una planta bianual, monocotiledónea, de la cual se desarrolla el bulbo, que es la parte comestible, en su primera etapa de crecimiento, y los vástagos o tallos florales en la segunda etapa. El sistema de raíces es muy fibroso y ramificado. El tallo es muy rudimentario y pequeño. Las hojas, de color verde cenizo, tubulares y huecas, son sésiles. El bulbo está formado por hojas modificadas llamadas "escamas", cuyo tamaño, diámetro y desarrollo dependen específicamente del fotoperiodo y el cultivar. La inflorescencia es una umbela simple que se forma al final del vástago o tallo floral. Las flores son blanquecinas o violáceas.

La taxonomía de la cebolla queda expresada de la siguiente manera:

Clase: Monocotyledonae

Orden: Liliiflorae

Familia: Anariliidaceae (antes Liliaceae)

Género: *Allium*

Especie: *cepa*

Variedad utilizada: Sta. Cruz

Los cultivares más utilizados en México son, en el Centro: (Valles altos): Eclipse L-303, Crystal white, Crystal wax, Texas grano. (Valles bajos): Eclipse L-303, Early white grano. En el Sureste: Crystal white, Crystal wax, Red creole C-5. En el Bajío: Conjunatlán, Santa Cruz (temporal), White majestic, Eclipse L-303, White granex, Alamo No. 1, Suprema. Noreste: White grano, Eclipse L-303. Noroeste: White grano, Roja del país, Red creole. Cultivares de cebolla de rabo o cebollín: Evergreen, Bunching, Green bunching globe.

Las fechas de siembra para la variedad Sta. Cruz son las siguientes: en el Bajío, de marzo 10. a julio 30; en Zacatepec, Mor., de diciembre 15 a abril 15.

Antes de realizar la siembra es recomendable conocer y utilizar el cultivar adecuado para esa región y época. El método de siembra puede ser directo o indirecto; el primero es poco usual, pero cuando se realiza se recomiendan de 4.5 a 6.0 kg/ha. La siembra indirecta o de trasplante es la más común y se recomienda de 1.5 a 2.0 kg de semilla en un almácigo de 150 m<sup>2</sup>, con lo cual se obtienen suficientes plántulas para una hectárea comercial. El tiempo que duran en almácigo puede ser de 45 a 60 días, dependiendo de la época del año, y se trasplantan cuando los pequeños bulbos tengan un diámetro de 6 a 7 mm.

En lo que se refiere a la densidad de población se puede llegar

a tener hasta 138 000, 217 000 y 260 000 plantas por hectárea, a 92 cm, 77 cm y 60 cm entre surcos, respectivamente.

La cebolla es una hortaliza bianual de clima frío: sin embargo, en México puede explotarse durante todo el año. Esta planta es muy resistente al frío, llegando a tolerar temperaturas de hasta -5°C en etapa adulta. Las semillas comienzan a germinar a temperaturas de 2° a -3°C, pero muy lentamente.

En cuanto a suelos, se reporta que esta hortaliza prefiere los suelos orgánicos, ligeros o arenosos, limosos y limo-arenosos. La cebolla está clasificada como ligeramente tolerante a la acidez, teniendo un rango de pH 6.8-6.0.

Respecto a la fertilización, en riego se utiliza la fórmula 120-60-0. En temporal se usa la fórmula 80-40-0.

Se efectúan de 5 a 7 riegos dependiendo del tipo de suelo, de la variedad y de la época del año.

Se recomienda mantener limpio el cultivo desde la siembra hasta que el bulbo esté bien desarrollado y esto se puede hacer por medio de deshierbes o por la aplicación de herbicidas.

Entre los insectos plaga de importancia económica figuran los trips (*Thrips tabaci*, L.) y el minador de la hoja (*Piniomyza*, spp.).



En lo referente a enfermedades, las más frecuentes son la mancha púrpura (*Alternaria porri* Ell.) y el mildiu veloso (*Peronospora destructor*, Berk.) y ocasionalmente botrytis (*Botrytis* spp.).

Para la cosecha de cebolla se utilizan principalmente dos indicadores físicos: el tiempo y el doblado de las hojas:

- . Tiempo. Al llegar el ciclo agrícola del cultivar, casi a su conclusión, se debe empezar a muestrear las cebollas; el tiempo puede variar de 100 a 150 días, dependiendo del cultivar y de la época del año.
- . Doblado de hojas. Cuando en el campo más del 50% de las hojas comienzan a doblarse, es síntoma de que la planta ha llegado a la madurez comercial.

### 2.3. Chile (*Capsicum annuum*, L.)

El chile es el cultivo hortícola más importante en México y el de mayor consumo popular, especialmente en estado fresco, aunque también se consume procesado en forma de salsas, polvo y encurtidos. En México existe una gran diversidad de chiles de diferentes tipos en cuanto a forma, sabor, color, tamaño y picor (pungencia).

La importancia radica principalmente en la superficie

sembrada, reportándose en 1982 (INIA-SARH) un total de más de 81 000 ha.

El género *Capsicum* es originario de América del Sur (de los Andes y de la cuenca alta del Amazonas). *C. annum* se aclimató en México, donde actualmente existe la mayor diversidad de chiles.

El chile es una planta anual en el cultivo en zonas templadas y perenne en las regiones tropicales. Tiene tallos erectos, herbáceos y ramificados de color verde oscuro. El sistema radicular se desarrolla profusamente en varias raíces laterales, extendiéndose hasta 1 m. La altura promedio de la planta es de 60 cm, pero varía según el tipo y/o especie de que se trate. Las hojas son planas, simples y de forma ovoide alargada. Las flores son perfectas, formándose en las axilas de las ramas; son de color blanco y a veces púrpura. El fruto es como una baya-vaina, y en algunas variedades se hace curvo cuando se acerca a la madurez; el color verde de los frutos se debe a la alta cantidad de clorofila acumulada en las capas del pericarpio. Los frutos maduros toman color rojo o amarillo debido a los pigmentos licopericina, xantofila y caroteno. La picosidad (pungencia) es debida al pigmento capsicina.

Respecto a la clasificación taxonómica es la siguiente:

Clase: Dicotyledonae

Orden: Tubiflorae

Familia: Solanaceae

Género: *Capalcum*

Especie: *annuum*

Variedad utilizada: Chile Serrano: *Tampiqueño-74*

El chile es de clima cálido, por lo cual no resiste heladas. El rango de temperatura para su germinación es de 23.8 a 29.5°C y la temperatura ambiente para su desarrollo fluctúa durante el día de 18.3 a 26.6°C y durante la noche de 15.5 a 18.3°C.

El chile ha sido clasificado como una hortaliza moderadamente tolerante a la acidez, reportándose valores de pH 6.8 a 5.5.

En lo referente a la textura del suelo, se ha reportado que se desarrolla en diferentes clases, desde ligeros (arenoso) hasta pesados (arcillosos), prefiriendo los limo-arenosos y arenosos.

En lo que respecta a la fertilización, se recomienda la fórmula 150-60-0.

El número de riegos apropiado será de 8 a 12 dependiendo del

tipo de suelos (en suelos ligeros deben aplicarse menos riegos que en suelos pesados), de las variedades o tipos de chiles (los más precoces se llevan menor número de riegos que los más tardíos) y de la época del año.

Los chiles se clasifican en dulces como el California Wonder 300, el Yolo Wonder L, Yolo Wonder 59, Early Wonder, Giant Bell, Esmerald Giant 488, Anaheim. Y en picantes como el Serrano (Tampiqueño 74, Río Verde, Huasteco 74); Jalapeño (Jalapeño rayado, Jalapeño peludo); Pasilla (Pabellón); Ancho (Esmeralda, Poblano, Criollo de San Luis de la Paz); Piquín (Criollo).

En términos generales puede afirmarse que la época de siembra en las zonas tropicales es en otoño-invierno, y primavera-verano en regiones templadas.

En cuanto a siembra, a nivel comercial se utilizan principalmente almácigos, ya sea a campo abierto o en invernaderos. La siembra directa no es usual, recomendándose una dosis de siembra de 2 a 3 kg de semilla por hectárea y utilizando sembradora. En lo que se refiere a almácigos a campo abierto, con 500 gr de semilla sembrada en una superficie de  $50 \text{ m}^2$  se obtienen plántulas, suficientes para una hectárea comercial.

La distancia entre surcos en suelos ligeros bien drenados es de 76 cm, y en suelos pesados es de 122 cm.

La distancia entre plantas es de 40 a 50 cm.

De los insectos plaga en Chile, solamente se ha considerado como problema fuerte el picudo del Chile (*Anthonomus eugeni*, G.), recomendándose aplicaciones de insecticidas sistémicos hasta la floración para prevenir y disminuir en lo posible el daño de este insecto. En cuanto a enfermedades, los problemas que actualmente prevalecen son los virus y la marchitez (*Phytophthora capsici*, L.), por lo que las medidas de prevención son las más eficaces, sugiriéndose utilizar para la primera cultivares tolerantes o resistentes y controlar los insectos chupadores; respecto a la marchitez, es aconsejable cuidar los riegos, evitando encharcamientos e inundaciones, y realizar aporques profundos.

Para la cosecha, en los chiles se utilizan principalmente dos indicadores físicos: la longitud o tamaño y el color; así, los chiles se cortan cuando han alcanzado el tamaño adecuado y su color característico, dependiendo del cultivar y/o tipo de Chile. Por ejemplo para la variedad de Chile Serrano (Tamqueño 74), el fruto debe cosecharse aproximadamente a los 75 días del trasplante, habiendo obtenido un color verde intenso y una longitud de 3 a 4 cm.

#### 2.4. Jitomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill).

En México el jitomate o tomate está considerado como la segunda especie hortícola más importante por la superficie sembrada que ocupa, y como la primera por su valor de producción. A esta hortaliza de fruto se le encuentra a la venta durante todo el año y se consume tanto fresca como procesada.

El jitomate es una planta nativa de América tropical, cuyo origen se localiza en la región de los Andes (Chile, Colombia, Ecuador, Bolivia y Perú) y donde se encuentra la mayor variabilidad genética y abundancia de tipos silvestres.

México está considerado a nivel mundial como el centro más importante de domesticación del tomate.

Esta hortaliza es una planta anual en su cultivo y puede ser semipereenne en regiones tropicales. Su sistema de raíces es fibroso y robusto, pudiendo llegar hasta 2.8 m de profundidad. Los tallos son cilíndricos en plantas jóvenes y angulosos en plantas maduras; alcanzan alturas de .40 a 2.0m, presentando un crecimiento simpódico. El racimo floral o inflorescencia está compuesto de varios ejes, cada uno de los cuales tiene una flor de color amarillo brillante. El fruto del tomate es una baya compuesta por varios lóculos, pudiendo constar desde dos (bilocular) hasta tres o más lóculos, (multilocular); los cultivares comerciales pertenecen al tipo multilocular. El color más común del fruto es el rojo, pero existen amarillos, anaranjados y verdes, siendo su diámetro comercial

aproximado de 10 cm.

La clasificación taxonómica en términos generales, es la siguiente:

Clase: Dicotyledonae

Orden: Tubiflorae

Familia: Solanaceae

Género: *Lycopersicon*

Especie: *esculentum*

Variiedad utilizada: ACE 55 VF

El jitomate es una hortaliza de clima cálido que no tolera heladas. El rango de temperatura del suelo debe ser de 12° a 16°C (mínima 10°C y máxima de 30°C) y la temperatura ambiente para su desarrollo de 21° a 24°C, siendo la óptima de 22°C. La temperatura óptima para la maduración del fruto es de 18° a 24°C si la temperatura es menor de 13°C, los frutos tienen una maduración muy pobre. Así mismo, cuando la temperatura es mayor de 32°C durante el almacenamiento, la coloración roja (licopeno) es inhibida y los frutos se tornan amarillos.

El tomate está clasificado como una hortaliza tolerante a la

acidez, con valores de pH 6.8 - 5.0.

Con respecto a la textura del suelo, el tomate se desarrolla en suelos livianos (arenosos) y en suelos pesados (arcillosos), siendo los mejores los arenosos y limo-arenosos con buen drenaje.

En cuanto a la fertilización, la fórmula promedio es de 180-80-0, para lugares como el Bajío, Morelos o Tamaulipas, pero puede variar hasta 300-300-200 como en el estado de Sinaloa, dependiendo también si el cultivo es para consumo fresco o industrial.

Los tipos y cultivares del tomate se clasifican de acuerdo a su crecimiento en:

**Determinado:**

1. Fruto redondo: Royal ACE, ACE 55 VF, etc.
2. Fruto alargado: Roma VF, Redstone, etc.

**Indeterminado:**

1. Fruto redondo: Cullacán 360, Floradel, etc.
2. Fruto alargado: San Marzano, Heinz 13170, etc.



El tomate también se clasifica de acuerdo con su forma y color:

**Forma:**

1. Redondo o bola. Consumo fresco e industria.
2. Pera o guajillo. Consumo fresco e industria.

**Color:**

1. Rojo: Piel y pulpa rosa.
2. Rosa: Piel incolora y pulpa rosa.

En lo referente a fechas de siembra, se recomienda para el Bajío, de noviembre a marzo; para el Valle del Mezquital, siembras de almácigo en enero y trasplantes en marzo y abril; para el estado de Morelos, de junio a julio en siembras de temporal y de septiembre a noviembre en siembras de riego; para el Noroeste, de agosto a diciembre.

Respecto a la densidad de siembra, en forma directa, la cantidad de semilla necesaria por hectárea es de 1.5 a 2 kg. En siembra por trasplante es aproximadamente de 500 g.

La distancia entre surcos varía de 1.20 a 1.50 m para sistema

de siembra por estacado y de 1.50 a 2.20 metros en siembra de piso. La distancia entre plantas varía de 15 a 30 cm en siembras de estacado y de 30 a 50 cm en siembras de piso.

Los riegos se aplican cada 15 días en promedio hasta los primeros cortes, efectuando un total de 10 a 14 riegos, dependiendo del tipo de suelos, de la variedad y de la época de siembra ya que en suelos ligeros se necesitan más riegos que en suelos pesados; una variedad precoz necesita menos riegos y en épocas calurosas y secas los riegos deben ser más frecuentes.

El tomate es una de las hortalizas que más características presenta para el estudio entomológico y fitopatológico, ya que es una de las hortalizas que más insectos plaga, enfermedades patológicas y fisiológicas presenta, desde plántula hasta cosecha de los frutos, por lo tanto es muy importante establecer un control fitosanitario adecuado al problema que se presente.

En lo referente a la cosecha es necesario considerar el sistema de producción y el tipo de frutos que se desea obtener. Con el sistema de vara (espaldera) los frutos se cosechan cuando éstos cambian de color (verde a verde amarillento) en el área del ápice.

Para obtener el total de la producción se realizan los cortes necesarios, efectuándolos cada tercer día al inicio de cosecha y diariamente cuando la producción se ha normalizado.

## 2.5. Lechuga (*Lactuca sativa*, L.).

La lechuga es la planta más importante del grupo de las hortalizas de hoja. En México la lechuga se puede explotar durante todo el año, y se reporta una superficie sembrada de 4 000 ha, siendo Jalisco, Baja California Norte y San Luis Potosí los principales estados productores.

El origen de la lechuga es bastante antiguo, ya que existen pinturas que representan a esta hortaliza en una tumba de Egipto que data del año 4,500 a. de J.C. Procede probablemente de Asia Menor (Vavilov, 1951, citado por Valadez, 1959). La lechuga proviene de la especie silvestre *Lactuca scariola*, L. clasificada como una maleza y difundida ampliamente en el centro y el sur de Europa, así como en la región sur de Rusia (Thompson y Kelly, 1959).

La lechuga es una planta herbácea anual, su raíz principal crece muy rápido y puede llegar a penetrar hasta 1.80 m de profundidad, característica que explica su relativa resistencia a la sequía.

Las hojas de la lechuga son lisas, sin peciolo (sésiles); el extremo puede ser redondeado o rizado. Su color va del verde amarillo hasta el morado claro, dependiendo del tipo y el cultivar. El limbo es entero y dentado. El tallo es pequeño y no se ramifica; sin embargo, cuando existen condiciones de altas temperaturas (mayor de

26°C) y días largos (> 12 hr), el tallo se alarga hasta 1.20 m de longitud, ramificándose el extremo y presentando cada punta de las ramillas terminales una inflorescencia.

En lo que se refiere a la inflorescencia, ésta se constituye de grupos de 15 a 25 flores, las cuales están ramificadas y son de color amarillo; los pétalos son soldados (gamosépalos), posee cinco estambres y su ovario es monocular. Las flores se autopolinizan, función que se realiza antes de que las flores abran; se reporta que también es posible la polinización cruzada.

Las semillas son largas (4-5 mm), su color generalmente es blanco crema, aunque también las hay pardas y castañas; cabe mencionar que las semillas recién cosechadas por lo general no germinan, debido a la impermeabilidad que la semilla muestra en presencia del oxígeno, por lo que se han utilizado temperaturas ligeramente elevadas (de 20 a 30°C) para inducir a una rápida germinación.

A continuación se especifica la taxonomía de la lechuga:

Clase: Dicotyledonae

Orden: Campanulatae

Familia: Compositae

Género: *Lactuca*

**Especie: *oatima***

**Variedad utilizada: Parris Island Cos**

El rango de temperatura para el desarrollo de la lechuga es de 13° a 25°C, siendo la óptima entre 16° y 22°C. Cuando las plantas son muy jóvenes y/o cuando empiezan a emitir el vástago floral, producen un líquido lechoso amargo en las hojas, llamado látex, lo que disminuye su calidad.

La lechuga es una planta anual que bajo condiciones de fotoperíodo largo (más de 12 horas-luz), acompañado de altas temperaturas (más de 26°), emite su tallo floral, siendo más sensibles las lechugas de tipo oreja que las de cabeza.

La adaptación de esta hortaliza a diferentes tipos de suelos es muy amplia, reportándose desde arenosos hasta arcillosos, contemplando también los orgánicos; sin embargo, Thompson y Kelly (1959), mencionan que el mejor desarrollo se obtiene en suelos franco-arenosos con suficiente contenido de materia orgánica y buen drenaje.

En lo referente a su pH, la lechuga está clasificada como una hortaliza ligeramente tolerante a la acidez, siendo su rango de pH de 6.8 a 6.0; no obstante, ciertos autores afirman que la lechuga se desarrolla mejor en pH's ácidos, reportándose hasta valores de 5.0.

Con referencia a la fertilización el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA, hoy INIFAP), recomienda la dosis 120-120-00, aplicando la mitad del nitrógeno al momento del trasplante y la otra mitad a las cuatro semanas.

Los tipos de lechuga de mayor importancia en México por su demanda y superficie cultivada son la de tipo "oreja" o "romana" (var. longifolia) y la de cabeza (var. capitata). Es común oír decir lechuga romana a la de cabeza, pero es un error, ya que la primera es variedad longifolia y la de cabeza variedad capitata.

En lo concerniente a la siembra, la lechuga es una hortaliza típicamente de trasplante, aunque también puede sembrarse en forma directa. Al practicar siembra directa deben hacerse aclareos, y las plantas sacadas pueden trasplantarse. Cuando se realice siembra directa se recomienda cultivar de 2 a 3 kg de semilla/ha.

En siembras comerciales de lechuga se pueden obtener poblaciones de 66 000 a 72 000 plantas por hectárea, utilizando surcos de .92 a 1.00 m, y de 30 a 35 cm entre plantas y 25 cm entre hileras. Cabe mencionar que también puede trasplantarse a hileras sencillas en surcos de 66 ó 77 cm, pero esta práctica no se aplica en plantaciones comerciales.

Entre las prácticas al cultivo que se manejan, se consideran la

escarda; el aporque; cuatro a seis riegos durante todo el ciclo agrícola, cada 14 ó 15 días en promedio. El amarre, el cual es una práctica que sólo se realiza en la lechuga de "oreja", cuyo objetivo principal es que las hojas o parte interior de la planta se conserven blancas y succulentas.

Respecto a las plagas y enfermedades de la lechuga, se pueden mencionar al gusano falso medidor (*Trichoptera ni*, Hübner), aunque no en poblaciones significativas. En lo concerniente a enfermedades, se consideran como las más importantes dos patógenas y una fisiológica, dentro de las primeras se encuentra la centella (*Boemia lactucae*, Regel), enfermedad de rápido desarrollo una vez que se presenta en el tejido de las plantas. La enfermedad denominada Sclerotinia (*Sclerotinia minor*, Jagger), se desarrolla cuando hay exceso de humedad y se presenta en las hojas viejas dándose una apariencia de color amarillo con franjas blancas (esclerocios jóvenes), y el hongo ataca hasta el tallo de la planta (cuello).

El período de siembra a cosecha en los cultivares y tipos de lechuga comerciales es aproximadamente de 90 a 100 días. En un campo de lechugas de cabeza se cosecha cuando la mayoría (más del 50%) ha formado y alcanzado bien el tamaño deseado, debiendo estar lo más sólidas posible. En algunos campos sólo se cosecha una sola vez.

En la República Mexicana, las épocas de cosecha para la variedad Parris Island Cos (lechuga de "oreja"), son las siguientes:

ESTADO/REGION	EPOCA DE COSECHA
<b>BAJA CALIFORNIA NORTE</b>	
Cd. Constitución	De Nov. 20 a Jun. 15
<b>SINALOA</b>	
Valle del Fuerte	De Dic. 10 a Abr. 20
Valle de Culiacán	De Dic. 11 a Abr. 30
<b>SONORA</b>	
Guaymas y Empalme	De Ene. 15 a Abr. 15

## 2.6. Zanahoria (*Daucus carota*, L.)

La importancia principal de esta hortaliza estriba en la gran superficie sembrada y la demanda que tiene durante todo el año; en México se reportó una superficie sembrada de cerca de 4 800 ha en 1987.

La zanahoria es originaria de Asia Central; en Afganistán ha presentado mayor diversidad genética. Fue introducida a Europa en el siglo XIII, arribando al Continente Americano a principios del año 1600.

La zanahoria es una planta bisarual y alógama; la parte



comestible es una raíz carnosa cuya coloración es generalmente amarilla, anaranjada o roja. Su longitud puede variar de 15 a 18 cm, y su sistema de raíces laterales- que se derivan de la raíz principal alcanza a desarrollarse entre 1.2 y 1.5 m, extendiéndose hasta 90 cm, según lo reportan Weaver y Bruner (1927), citados por Valadéz (1989).

El tallo es muy rudimentario y alcanza una longitud de 1.0 a 2.5 cm; sin embargo, el tallo floral llega a medir de 0.5 a 1.0 m de altura. Las hojas son pubescentes, de color verde, bipinasectas o tripinasectas, de segmentos dentados y lobulados y con peciolo largos.

La inflorescencia es una umbela compuesta subglobosa, formada por umbelas primarias y secundarias. Las flores siempre son blancas, menos las centrales de cada umbela, que son de color rosado o púrpura, siendo a veces todas coloreadas. Cada flor está compuesta por cinco pétalos y cinco estambres; son hermafroditas, pero algunas veces puede haber flores femeninas y masculinas. El fenómeno denominado protandria se hace presente en la zanahoria; el fruto es un diaquenio y las semillas son pequeñas (3mm), elípticas y de color café claro.

A continuación se muestra la taxonomía general de la zanahoria:

Clase: Dicotyledonae

Orden: Umbelliflorae

Familia: Umbelliferae

Género: Daucus

Especie: carota

Variedad utilizada: Nantes

La zanahoria es una planta de clima templado; puede tolerar heladas, aunque también se puede explotar en época cálida. La temperatura de germinación debe ser mayor de 5°C. La temperatura de desarrollo es de 15° a 25°C, siendo la óptima de 16°C a 18°C, con lo cual se manifiesta un buen desarrollo y color. Así mismo, Guenou (1983), considera que temperaturas de 20° a 22°C son las más adecuadas para el crecimiento de la parte comestible (raíz), y que la de la parte vegetativa requiere entre 23° y 25°C.

En lo concerniente a la vernalización, la zanahoria es muy susceptible a dicho fenómeno; se reporta que cuando la raíz tiene un diámetro mayor de 6 mm a temperaturas de 10°C por un período corto de tiempo, se induce la floración. Se ha comprobado que la temperatura ambiental tiene influencia directa sobre la coloración y el tamaño de la raíz. Así mismo, la humedad del suelo puede tener influencia indirecta en la forma de la raíz, dependiendo del cultivar utilizado.

De acuerdo a su pH, la zanahoria ha sido clasificada como ligeramente tolerante a la acidéz, siendo su rango de pH 6.8-5.5.

En cuanto a textura del suelo, se desarrolla mejor en suelos de textura ligera (arenosos) y, como a toda hortaliza de raíz, se recomienda manejarla con escardas en suelos arcillosos debido a que este tipo de suelo deforma la parte comestible.

En lo concerniente a fertilización, se reporta que esta hortaliza puede responder o no a la fertilización nitrogenada.

Lugar	N	P	K
INIA	120	40	0
Nuevo León	150	80	0
El Bajío	80	80	0

Además, se recomienda utilizar sulfato de amonio como fuente de nitrógeno, y cuando se use urea debe tenerse mucho cuidado con su aplicación, ya que podría provocar formación de raíces dobles si el fertilizante se coloca por debajo de la raíz y/o de la semilla.

En lo que respecta a cultivares no existen muchos, ya que en México se siembra sólo uno durante todo el año en todo el país. Lo anterior se debe a que el cultivar "Nantes" es el más aceptado por el mercado, y cuyas características principales son tamaño mediano, color naranja claro con puntas redondeadas. Existen otros cultivares en México, como son el Emperador (de mayor tamaño que el Nantes) y el cultivar Chantenay (más chico que el Nantes).

La zanahoria es una hortaliza de clima frío-templado; sin embargo, en México (El Bajío) se puede explotar durante todo el año, excepto en época de lluvias.

Las épocas de siembra según la altitud y de acuerdo con las recomendaciones de INIA (actualmente INIFAP), son:

LOCALIZACION	ALTURA (m)	MESES
Valles altos	1800	marzo-junio
Mesa central	1000-1300	marzo-agosto
Tierra caliente	0-1000	octubre-enero

Se utiliza sólo siembra directa; las dosis de semillas varían de 3.5 a 4.5 kg/ha, utilizando siembra mecanizada. Las poblaciones de zanahoria son muy altas, pues oscilan entre 800 000 y 950 000 plantas/ha, con las siguientes distancias: entre surcos pueden ser .82, .92 y 1.00 m a doble hilera, con una distancia entre éstas de 30 a 35 cm. Por lo general la distancia entre plantas es tan estrecha que se le llama a "chorrillo", recomendándose no dejar una distancia mayor de 3 cm.

Los riegos que se aplican a la zanahoria varían dependiendo de la época del año en que se haya sembrado, la textura del suelo, etc.; sin embargo, a nivel comercial se dan en promedio de 6 a 10 riegos, teniendo mucho cuidado de que no le haga falta en la etapa adulta

(después de los 70 días), lo cual provocaría rajaduras en la parte comestible de la zanahoria.

Algunos ejemplos de plagas de la zanahoria son: el falso medidor (*Trialeurodes vaporariorum*, Rubner), nemátodos (*Helenodera* spp.), etc.

Ejemplos de enfermedades: Genticilla (*Geotrichum umbelliferarum*, Litwko), Tizón bacterial (*Xanthomonas carotaea*, Keen), etc.

La cosecha en México se realiza anualmente, aunque puede recurrirse a la forma mecánica como se efectúa en alguna parte de Estados Unidos. El único indicador de cosecha para la zanahoria es el tiempo, y puede hacerse a los 110 a 140 días de edad de la zanahoria; se recomienda que cuando esté cercana la etapa final del ciclo agrícola, se empiecen a muestrear los campos sacando zanahorias al azar.