

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**



**EVALUACIÓN DE DIFERENTES TIPOS Y CONCENTRACIONES DE SALES  
SOBRE LA GERMINACIÓN DEL ÁRBOL  
(*Koelreuteria paniculata*)**

**Por:**

**JORGE ANTONIO BAUTISTA DOMÍNGUEZ**

**Tesis**

**Presentada como Requisito Parcial para  
Obtener el Título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

**Buenvista, Saltillo, Coahuila, México**

**Marzo de 2010**

INDICE

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

EVALUACIÓN DE DIFERENTES TIPOS Y CONCENTRACIONES DE SALES SOBRE  
LA GERMINACIÓN DEL ÁRBOL  
(*Koelreuteria paniculata*)

INTRODUCCIÓN

Presentado Por:

Justificación

Objetivos

JORGE ANTONIO BAUTISTA DOMÍNGUEZ

REVISIÓN DE LITERATURA

TESIS

Origen del Cultivo

Que Somete a Consideración del H. Jurado Examinador como  
Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Termina

Aprobado

Tipos de Germinación

PRESIDENTE DEL JURADO

*Manuela Bolívar Duarte*

Dra. MANUELA BOLÍVAR DUARTE

*Luis Rodríguez Gutiérrez*  
Vocal

M.C. LUIS RODRÍGUEZ GUTIÉRREZ

*Uriel Figueroa Viramontes*  
Vocal

Dr. URIEL FIGUEROA VIRAMONTES

Universidad Autónoma Agraria  
"ANTONIO NARRO"

COORDINADOR DE LA DIVISION DE INGENIERÍA

*Raúl Rodríguez García*

Dr. RAÚL RODRÍGUEZ GARCÍA

Coordinación de  
Ingeniería

## ÍNDICE

|  |     |
|--|-----|
| <b>ÍNDICE DE CUADROS</b>   | iii |
| <b>ÍNDICE DE GRÁFICAS</b>  | iv  |
| <b>RESUMEN</b>   | vii |
| <b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....   | 1   |
| Justificación.....   | 2   |
| Objetivos.....   | 3   |
| <b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b>  |     |
| Origen del Cultivo.....  | 4   |
| Clasificación Taxonómica.....  | 5   |
| Descripción Botánica.....  | 5   |
| La Salinidad en México.....  | 6   |
| Germinación.....   | 7   |
| Tipos de Germinación.....  | 9   |
| Proceso para la Germinación.....   | 10  |
| Requerimientos para la Germinación.....                                  | 12  |
| Factores Ambientales que Influyen en la Germinación.....                 | 14  |
| Factores que Favorecen el Proceso de Salinización.....                   | 16  |
| Conductividad Eléctrica.....   | 17  |
| Clasificación de los Suelos.....   | 18  |
| Efectos de la Salinidad en la Germinación.....                           | 19  |
| Efectos de los Altos Contenidos de Sales en el Suelo y en la Planta..... | 21  |
| Efectos de la Salinidad sobre las Plantas.....                           | 22  |

|   |           |
|---|-----------|
| Efecto del Cation Calcio.....                   | 25        |
| Efectos del Cation Magnesio.....                | 27        |
| Efecto del Cation Sodio.....                    | 28        |
| <b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b>                |           |
| Ubicación del Experimento.....                  | 32        |
| Material Utilizado.....                         | 32        |
| Variables Evaluadas.....                        | 35        |
| Diseño Experimental y Análisis Estadístico..... | 36        |
| <b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>               |           |
| Germinación Fisiológica.....                    | 39        |
| Plántulas Normales.....                         | 45        |
| Plántulas Anormales.....                        | 49        |
| Semillas Muertas.....                           | 53        |
| Longitud de Hipocotilo.....                     | 57        |
| Longitud de Raíz.....                           | 59        |
| Peso Seco.....                                  | 62        |
| <b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>   | <b>65</b> |
| <b>VI. BIBLIOGRAFÍA.....</b>                    | <b>67</b> |

## ÍNDICE DE CUADROS

|   |    |
|---|----|
| <b>Cuadro 1.1</b> Clasificación de suelos salinos.....  | 19 |
| <b>Cuadro 3.1</b> Cuadro de concentración de valores para la preparación de los tratamientos con sales.....                                     | 33 |
| <b>Cuadro 4.1</b> Porcentaje de germinación fisiológica del árbol de los farolitos bajo tres condiciones de sales y cuatro concentraciones..... | 43 |
| <b>Cuadro 4.2</b> Valor de los coeficientes de la ecuación cuadrática o modelo $y = ax^2+bx+c$ y el valor de $r^2$ de la germinación.....       | 43 |
| <b>Cuadro 4.3</b> Porcentaje de plántulas normales del árbol de los farolitos bajo tres condiciones de sales y cuatro concentraciones.....      | 46 |
| <b>Cuadro 4.4</b> Análisis de Varianza plántulas normales.....  | 47 |
| <b>Cuadro 4.5</b> Comparación de la variable plántulas normales.....  | 47 |
| <b>Cuadro 4.6</b> Porcentaje de plántulas anormales del árbol de los farolitos bajo cuatro concentraciones y tres tipos de sales.....           | 50 |
| <b>Cuadro 4.7</b> Análisis de varianza de la variable plántulas anormales.....  | 51 |
| <b>Cuadro 4.8</b> Comparación de la variable plántulas anormales.....   | 51 |
| <b>Cuadro 4.9</b> Porcentaje de semillas muertas del árbol de los farolitos bajo cuatro concentraciones y tres tipos de sales.....              | 54 |
| <b>Cuadro 4.10</b> Análisis de varianza de las variables semillas muertas.....  | 55 |
| <b>Cuadro 4.11</b> Comparacion de medias de la variable semillas muertas.....   | 55 |
| <b>Cuadro 4.12</b> Análisis de varianza para la variable longitud del hipocotilo.....   | 57 |
| <b>Cuadro 4.13</b> Comparación de medias de la variable longitud de hipocotilo.....   | 58 |
| <b>Cuadro 4.14</b> Análisis de varianza para la variable longitud de la raíz.....   | 60 |
| <b>Cuadro 4.16</b> Comparación de la variable longitud de raíz.....   | 61 |
| <b>Cuadro 4.16</b> Análisis de varianza para la variable peso seco.....   | 62 |
| <b>Cuadro 4.16</b> Comparación de la variable peso seco.....  | 63 |

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 4.1</b> Germinación fisiológica del árbol de los farolitos ( <i>Koelreuteria paniculata</i> ) a diferentes niveles de salinidad provocados por $\text{CaCl}_2$ ..... | 40 |
| <b>Figura 4.2</b> Germinación fisiológica del árbol de los farolitos ( <i>Koelreuteria paniculata</i> ) a diferentes niveles de salinidad provocados por $\text{MgCl}_2$ ..... | 41 |
| <b>Figura 4.3</b> Germinación fisiológica del árbol de los farolitos ( <i>Koelreuteria paniculata</i> ) a diferentes niveles de salinidad provocados por $\text{NaCl}$ .....   | 42 |
| <b>Figura 4.4</b> Porcentaje de germinación relativa para las diferentes tipos de sales.....   | 44 |
| <b>Figura 4.5</b> Porcentaje de plántulas normales del árbol de los farolitos con cuatro tipos de sales a diferentes concentraciones.....                                      | 45 |
| <b>Figura 4.6</b> Comparación de medias entre tratamientos y el testigo para la variable plántulas normales.....   | 48 |
| <b>Figura 4.7</b> Porcentaje de plántulas anormales del árbol de los farolitos con cuatro tipos de sales a diferentes concentraciones.....                                     | 49 |
| <b>Figura 4.8</b> Comparación de medias entre tratamientos y el testigo para la variable plántulas anormales.....  | 52 |
| <b>Figura 4.9</b> Porcentaje de semillas muertas del árbol de los farolitos con cuatro tipos de sales a diferentes concentraciones.....  | 53 |
| <b>Figura 4.10</b> Comparación de medias entre tratamientos y el testigo para la variable semillas muertas.....  | 56 |
| <b>Figura 4.11</b> Gráfica que muestra la longitud del hipocotilo para cada tratamiento.....   | 59 |
| <b>Figura 4.12</b> Gráfica que muestra la longitud de raíz para cada tratamiento.....  | 62 |
| <b>Figura 4.13</b> Gráfica que muestra el peso seco para cada tratamiento.....   | 64 |

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios padre por darme la vida, sabiduría y paciencia, por guiarme por el buen camino del bien, por regalarme unos padres maravillosos y a unos hermanitos a los que admiro mucho, también por cuidarme , brindarme salud, felicidad, honestidad, y sobre todo por dejarme terminar mis estudios en mi “**Alma Terra Mater**”.

Con mucho amor y cariño a mi “**Alma Terra Mater**” por cobijarme en sus brazos, por brindarme todas las herramientas y conocimientos sobre la agronomía, gracias a mi escuela de mis amores. Te voy a extrañar.

Con mucho cariño a la **Dra. Manuel Bolívar Duarte**, por haberme apoyado en la realización de este trabajo de tesis y compartir sus conocimientos, tenerme paciencia, por confiar en mí y por la asesoría brindada en este trabajo.

Agradezco de manera especial al **Mc. Luís Rodríguez Gutiérrez**, por su valiosa amistad, por tenerme paciencia, por su apoyo incondicional y por la asesoría brindada para la realización de este trabajo.

A la **Mc. Adriana Antonio Bautista**, por su amistad y confianza.

Al **Dr. Uriel Figueroa Viramontes** por su amistad al asesorarme en este trabajo, gracias por su paciencia y dedicación.

A la **T.L.Q. Sandra Luz García Valdez** por su apoyo en el trabajo de laboratorio y por su asesoría en la realización de este trabajo.

Así como también a la **Bióloga Silvia Guerrero Martínez** por su ayuda en la presentación de las diferentes concentraciones para la realización de esta investigación.

## **DEDICATORIAS**

**Con todo cariño y respeto a mis padres:**

**Sr. José Armando Bautista López.**

**Y**

**Sra. Filadelfa Domínguez Pérez.**

Por todo el amor y cariño que me han brindado además por todos los esfuerzos y sacrificios que han hecho para realizarme como un profesionista; por los sabios consejos que recibí siempre; así como también por haber depositado toda su confianza en mí y por brindarme la oportunidad de vivir. Les agradezco de todo corazón y nunca terminare de agradecerles. Los amo.

**A mis hermanos (as):**

**Hugo Cesar, Leydi, Fátima, Armando y Lourdes** a ellos con todo mi amor y cariño; por su apoyo moral y alentarme en los momentos más difíciles para culminar mi carrera. Los quiero mucho.

**A mi novia**

**Laura del Carmen Echeverría Utrilla** por ayudarme en este trabajo de tesis, por estar conmigo en las buenas y en las malas sobre todo por brindarme su apoyo, cariño y amor. Te amo Chaparrita.

**A mis compañeros de generación.**

Con todo el cariño y respeto a todos mi compañeros de la generación LV de Irrigación en especial a Remedios (joven), Areli (güera), Yolanda (yola), Apolinar (pollo) y Marcos (oso); muchas gracias por todo y que Dios me los bendiga siempre

**A mis amigos**

No los nombro uno por uno porque tengo miedo de olvidarme de alguno de ellos, pero a todos los Pinoltecos y a la Banda de las escaleras que Dios los bendiga siempre.

## RESUMEN

Los suelos salinos se encuentran principalmente en zonas de clima árido o semiárido. En estas regiones el lavado es de naturaleza local y las sales solubles no pueden ser transportadas muy lejos. Esto ocurre no solamente porque hay menos precipitación adecuada para lavar y transportar las sales, sino también a consecuencia de la elevada evaporación característica de clima árido, que tiende a concentrar las sales en los suelos y en el agua superficial.

La salinidad en algunas de sus manifestaciones ha sido la causante de la reducción de la capacidad productiva de los suelos en muchas regiones del mundo. En las semillas el efecto de las sales incide tanto en el crecimiento activo del embrión como en el crecimiento inicial de las plántulas, ya que influye sobre los procesos fisiológicos como en la imbibición del agua, activación y/o síntesis de enzimas, transporte de sustancias hacia el eje embrionario y bioquímicos que se desencadenan en el proceso de germinación.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de tres tipos de sales ( $MgCl_2$ ,  $CaCl_2$ ,  $NaCl$ ) a cuatro diferentes niveles de salinidad ( $CE: 3 \text{ dS m}^{-1}$ ,  $5 \text{ dS m}^{-1}$ ,  $7 \text{ dS m}^{-1}$ ,  $9 \text{ dS m}^{-1}$ ) y un testigo (agua destilada) en la etapa de germinación de la semilla del árbol de los farolitos (*Koeleria paniculata*).

En el presente trabajo se evaluaron las variables germinación fisiológica, plántulas normales, plántulas anormales, semillas muertas, longitud de radícula, longitud de hipocotilo y peso seco. El modelo estadístico fue un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3x4 con un tratamiento extra (agua destilada). El análisis estadístico se realizó con la ayuda del programa Excel.

**Palabras clave:** Germinación, Salinidad, Sales, Conductividad Eléctrica, Árbol de los Farolitos.

## I. INTRODUCCIÓN

La salinidad en algunas de sus manifestaciones ha sido la causante de la reducción de la capacidad productiva de los suelos en muchas regiones del mundo. Estudios indican que debido a la salinización proceso de acumulación de sales en los suelos con predominio del Ca y Mg existe hoy 1.5 veces más tierras improductivas ya que la forma de riego no es la correcta. La salinidad es uno de fenómeno asociado a condiciones climáticas de aridez y semiaridez en donde la evapotranspiración excede la precipitación y es necesario recurrir a la irrigación para satisfacer las necesidades de agua de los cultivos. La salinidad también se puede desarrollar en regiones húmedas bajo condiciones de alta demanda evaporativa, nivel freático superficial y actividad humana.

Es uno de los procesos que limita la productividad de los cultivos. En las semillas el efecto de las sales incide tanto en el crecimiento activo del embrión como en el crecimiento inicial de las plántulas, ya que influye tanto sobre los procesos fisiológicos, como en la imbibición, activación y/o síntesis de enzimas, transporte de sustancias hacia el eje embrionario y bioquímicos que se desencadenan en el proceso de germinación Berstein 1958, citado por Meza, et al (2004).

Se ha reportado que la salinidad reduce la tasa de crecimiento y, consecuentemente, la producción de los cultivos a través de la disminución de la asimilación de fotosintatos, posiblemente por la reducción del conjunto de nucleótidos y el gasto adicional de energía, por declinación de la conductancia estomática o por altos niveles de los iones cloro y sodio en el tejido foliar (Chartzoulaskis & Klapaki, 2000).

Además de los ajustes fisiológicos que se producen en las plantas para tolerar la salinidad, éstas sufren cambios morfológicos y anatómicos, lo que modifica la coordinación entre diferentes órganos o tejidos, incrementa la habilidad para capturar o conservar recursos o aumenta su tolerancia al factor causante del estrés, como lo es la modificación de la densidad o el índice estomático, que ocurren frecuentemente en algunos tipos de estrés, (Salas y Pire, 2001).

En muchas áreas del mundo dedicadas a la agricultura, la obtención de buenos rendimientos, así como también el poder cultivar una amplia variedad de especies, cada vez está teniendo más restricciones debido a la salinización de los suelos. Se estima que aproximadamente 800 millones de ha en el planeta están afectadas por sales, de estas 397 millones lo son con problemas de salinidad y 434 millones por condiciones asociadas con la sodicidad (Munns, 2005). Varias son las causas vinculadas a estos procesos de salinización, entre las cuales es posible citar un excesivo empleo de fertilizantes, uso de agua de mala calidad por el exceso de sales, mal drenaje y tala de vegetación arbórea (Tanwar, 2003).

La salinidad de los suelos es uno de los factores que limita actualmente la agricultura en grandes extensiones de tierra. En México se considera que un 10 por ciento del área irrigada está afectada por salinidad y de ésta el 64 por ciento se localiza en el Norte del país. La salinidad actualmente es la causa de la pérdida de 10 millones de ha de regadío cada año.

### **Justificación**

Uno de los problemas en la germinación de las semillas son las altas concentraciones de sales que se encuentran en los medios en los que éstas están sembradas debido a efecto de las altas temperaturas, estrés hídrico, poca permeabilidad del suelo, etc.

Las plantas que se someten a salinización son afectadas desde la germinación hasta otras etapas de desarrollo del cultivo. En la etapa de germinación ésta disminuye su velocidad debido al efecto osmótico.

La salinización es un problema que afecta a los cultivos desde su germinación hasta sus etapas de producción y de aquí las consecuencias en el rendimiento de los mismos, es por ello la importancia de esta investigación.

### **Objetivos**

Evaluar el efecto de tres tipos de sales ( $MgCl_2$ ,  $CaCl_2$ ,  $NaCl$ ) en la etapa de germinación de la semilla del árbol de los farolitos (*Koelreuteria paniculata*) con cuatro niveles de salinidad (CE:  $3\text{ dS m}^{-1}$ ,  $5\text{ dS m}^{-1}$ ,  $7\text{ dS m}^{-1}$ ,  $9\text{ dS m}^{-1}$ ) y un testigo (agua destilada) en la etapa de germinación.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### Origen del Cultivo

La especie *Koelreuteria paniculata*, también es conocida por otros nombre como: árbol de los farolitos, jabonero de la China, jabonero chino, jabonero de la India, farolito chino, farolillos, paraíso chino, paraíso de China, koelreuteria, árbol del barniz, flor de China, Golden rain tree. *Es originario de:* China, Corea, Japón. *Se le llamó Koelreuteria* en homenaje a *Joseph Gottlieb Köelreuter (1733-1806)*, un naturalista alemán del siglo XVIII que desarrolló importantes estudios sobre hibridación, fertilización, desarrollo, sexualidad de las plantas, importancia de los insectos en la polinización de las flores, etc. *Paniculata* (del latín) se refiere a la disposición de las flores en panículas, una forma de inflorescencia denominada comúnmente "racimo compuesto" (racimo de racimos), en el que éstos se disponen en forma piramidal y decreciente, entre la base y el ápice.

El nombre de jabonero de la China le viene por la saponina que contiene la planta, que produce espuma y era empleado como limpiador (todas las partes lo contienen aunque fundamentalmente las semillas). Introducido en 1763 en Inglaterra y en 1750 en San Petesburgo, Rusia. En China es cultivado desde hace 3000 años como uno de cinco árboles conmemorativos. Las flores se empleaban para teñir (tienen igualmente propiedades medicinales) y las semillas para fabricar collares. Las hojas eran comidas en épocas de hambruna. El género tiene cuatro especies arbóreas procedentes del este de Asia (Sánchez, 2001).

## **Clasificación Taxonómica.**

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Sapindales

Familia: Sapindaceae

Género: Koelreuteria

Subfamilia: Paniculata Sapindoideae

Especie: Koelreuteria Paniculata

## **Descripción Botánica**

Es un árbol caducifolio, resistente a la sequía y susceptible a la humedad, requiere protección de los fuertes fríos cuando es joven.

Sánchez, (2001) hace la siguiente descripción de la planta:

**Semilla:** Son abundantes, redondas y miden 6-8 mm de diámetro, de forma esférica y de color marrón oscuro.

**Tallo:** Los tallos son erectos de 10-12 m de altura, con la copa redondeada y la corteza del tronco delgada, fisurada, de color castaño grisáceo; ramillas rugosas, glabras o pubescentes. Ramificados de color verde oscuro, con un diámetro de 1.60 m.

**Flor:** Inflorescencias en panículas terminales erectas, de 15-40 cm de largo, con flores amarillas de 1 cm de diámetro, sobre pedicelos de 2.5-5 mm de largo; cáliz con 5 sépalos ovados, de unos 2 mm de largo, glandular-pubescentes en los márgenes; corola con 4 pétalos linear-oblongos, a los principios reflejos, pubescentes, de 5-9 mm de largo, con una mancha roja en la base. Androceo con 8 estambres erectos, más largos en las flores masculinas, con los filamentos pubescentes en su mitad inferior. Ovario trígono, algo pubescente; estilo de unos 4 mm de longitud, trífido.

**Hojas:** Hojas alternas, imparipinnadas, de 35-50 cm de longitud, sobre un pecíolo de 3-8 cm de largo, con 6-9 pares de folíolos opuestos o alternos, ovado-oblongos, de 4.5-8.5 x 3-5.5 cm, subsésiles, con la base de cuneada a truncada, el margen de irregularmente lobulado a pinnatífido, pareciendo las hojas en ocasiones bipinnadas, y el ápice agudo; son de color verde oscuro, glabros o algo puberulentos en el haz, y pubescentes en la nerviación del envés.

**Fruto:** Fruto cartáceo, inflado, cónico, con 3 ángulos, agudo en el ápice y redondeado en la base, de 4-5 x 2.5-3 cm de color rosado rojizo, conteniendo 3 semillas globosas, negras, de 6-8 mm de diámetro.

### **La Salinidad en México**

La salinidad de los suelos es uno de los factores que limita actualmente la agricultura en grandes extensiones de tierra. A nivel mundial una superficie de aproximadamente 89.7 millones de ha presenta algún grado de salinidad. En México se considera que un 10 por ciento del área irrigada está afectada por salinidad y de ésta el 64 por ciento se localiza en el Norte del país. La salinidad actualmente conduce la pérdida de 10 millones de ha de regadío cada año (Tecnológico Pecuario de México, 2007)

La salinización es considerada como una de las causas principales de la degradación de los suelos. Se estima que aproximadamente 40 millones de un total de 200 millones de ha regadas están anegadas, afectadas por la sal o ambas cosas a la vez. La superficie de las tierras que se abandonan cada año por estas razones es aproximadamente igual a la superficie de la tierra se les agrega abono y riega. México es uno de los países donde alrededor de los 60 por ciento de su extensión territorial corresponden a zonas áridas y semiáridas, concentrándose la mayor parte en el Norte y Noroeste, en las que habitan el 30 por ciento de la población total. Según la página [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/laec/flores\\_l\\_b/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/laec/flores_l_b/capitulo3.pdf)

En México los estados con suelos salinos son: Baja California Norte, Sonora, Baja California Sur, Sinaloa, Chihuahua, Coahuila, Tamaulipas, Nuevo León, San Luis Potosí, Nayarit, Colima, Guerrero, Oaxaca, Campeche, Yucatán, Quintana Roo, Tlaxcala, Chiapas y Puebla.

Evaluaciones recientes del estado actual de la salinidad del suelo, indican que el 15 por ciento del territorio nacional mexicano está afectado por este problema.

En la República Mexicana existen 80 millones de ha con diversos grados de salinidad, tanto en zonas naturales, de temporal, como de riego; una gran parte de estas últimas, aproximadamente 5 millones de ha están bajo un proceso de salinización, en algunos casos muy acelerado. En México, el ensalitramiento bajo riego ha adquirido magnitudes considerables, en 600 000 ha provocando que en la actualidad, el 33 por ciento de la superficie bajo riego se encuentre afectada, disminuyendo notablemente la productividad de algunos distritos de riego y causando pérdidas económicas considerables al país. Se estiman 2 millones de ha con irrigación, que tienen niveles bajos de producción por la influencia salina en las tierras agrícolas y estas 300 000 ha presentan rendimientos deficientes o están abandonadas. El avance de este fenómeno alcanza un ritmo anual de 10 000 ha. La agricultura de México se divide en 5 zonas regionales con 92 Distritos de Riego. (Feuchter, 2002).

## **Germinación**

Association of Official Seed Analysts (AOSA, 1978) define la germinación como: la emergencia y desarrollo a partir del embrión de aquellas estructuras esenciales, que por la clase de la semilla son indicadoras de la habilidad para producir una planta normal bajo condiciones favorables.

Berlyn (1972) define a la germinación como una serie secuencial de eventos morfogénicos que resultan de la transformación del embrión en una plántula, en donde involucra división y expansión celular y la formación de órganos como hojas, tallos y raíces.

De acuerdo al International Seed Testing Association (ISTA, 1985) la germinación es la emergencia y desarrollo a partir del embrión de aquellas estructuras esenciales que son indicadoras de su habilidad para producir una plántula normal bajo condiciones favorables.

Desde el punto de vista morfológico, la germinación es la reanudación del crecimiento del embrión, lo cual, provoca la ruptura de los tegumentos seminales y el brote de una planta nueva y fisiológicamente, es la reanudación del metabolismo y el crecimiento, incluyendo cambios hacia la transcripción del genomio (Meyer, et al. 1972).

La germinación constituye el evento crucial y final en la vida de una semilla. Representa tanto la realización como el cumplimiento de la función básica de la semilla, la propagación. Sin duda. La semilla tiene otras funciones en la agricultura moderna. Éstas son el principal mecanismo mediante el cual la herencia genética se transmite a las poblaciones de plantas de una generación de cultivos a otra. La germinación también se desempeña eficientemente, como un medio conveniente para la distribución de las poblaciones de plantas, a través de aéreas de adaptación. Sin embargo, las dos últimas funciones son totalmente dependientes de la germinación. Una semilla que ha perdido su capacidad para germinar no puede transmitir el mejoramiento genético, ni desempeñarse en la distribución de poblaciones deseables de plantas de un sitio a otro (Delouche, 1979b), consultado por (Alvarado, 1991).

**Tipos de Germinación.** Consultada en la página

[http://www.euita.upv.es/variados/biologia/Temas/tema\\_17.htm#Tipos%20de%20Germinaci%C3%B3n](http://www.euita.upv.es/variados/biologia/Temas/tema_17.htm#Tipos%20de%20Germinaci%C3%B3n).

Los cambios fisiológicos y metabólicos que se producen en las semillas, no latentes, después de la imbibición, tienen como finalidad el desarrollo de la plántula. Como se ha indicado anteriormente, este proceso comienza por la radícula, que es el primer órgano que emerge a través de las cubiertas. Sin embargo, en otras semillas el crecimiento comienza por el hipocótilo.

Las semillas, atendiendo a la posición de los cotiledones respecto a la superficie del sustrato, pueden diferenciarse en la forma de germinar. Así, podemos distinguir dos tipos diferentes de germinación: Epigea e hipogea

### **Germinación Epigea**

En las plántulas denominadas epigeas, los cotiledones emergen del suelo debido de un considerable crecimiento del hipocotilo (porción comprendida entre la radícula y el punto de inserción de los cotiledones). Posteriormente, en los cotiledones se diferencian cloroplastos, transformándolos en órganos fotosintéticos y, actuando como si fueran hojas. Finalmente, comienza el desarrollo del epicótilo (porción del eje comprendida entre el punto de inserción de los cotiledones y las primeras hojas). Presentan este tipo de germinación las semillas de cebolla, ricino, judía, lechuga, mostaza blanca, árbol de los farolitos, etc.

### **Germinación Hipogea**

En las plántulas hipogreas, los cotiledones permanecen enterrados; únicamente la plúmula atraviesa el suelo. El hipocotilo es muy corto, prácticamente nulo. A continuación, el epicótilo se alarga, apareciendo las primeras hojas verdaderas, que son, en este caso, los primeros órganos

fotosintetizadores de la plántula. Este tipo de germinación lo presentan las semillas de los cereales (trigo, maíz, cebada, etc.), guisante, haba, robles, etc.

### **Proceso para la Germinación**

Hartman y Kester, (1988) menciona tres estados en el proceso de germinación:

- La semilla seca absorbe agua con lo que el contenido de humedad aumenta y se estabiliza.

Por otra parte, continúa mencionando que los componentes del sistema para sintetizar las proteínas de las células de esta actividad, las enzimas producidas controlan las actividades metabólicas de la célula.

- El segundo estadio implica digestión y translocación. Por la síntesis aparecen enzimas que empiezan a digerir materiales de reserva para transformarlos en compuestos más sencillos.

Estos compuestos son traslocados a los puntos del eje embrionario para usarse en el crecimiento y formación de nuevas partes de la planta.

- En el tercer estadio existe la división celular en los puntos de crecimiento separados del eje embrionario, seguida de la expansión de las estructuras de la planta.

**Imbibición.** Consiste en la absorción de agua por la semilla y desencadena una secuencia de cambios metabólicos, que incluyen la respiración, la síntesis protéica y la movilización de reservas. A su vez la división y el alargamiento celular en el embrión, provoca la rotura de las cubiertas seminales, que generalmente se produce por la emergencia de la radícula

Esta cuenta con tres fases:

- La fase I. Se lleva a cabo la absorción inicial del agua (imbibición) y es consecuencia de las membranas celulares y de las fuerzas ejercidas por los

contenidos; ocurre tanto si la semilla está viable o no, si está latente o no. Es independiente de la actividad metabólica de la semilla.

- La fase II. Corresponde a un periodo de rezago. Para las semillas que no están latentes es un periodo de metabolismo activo que prepara la germinación; para las semillas latentes también es un periodo de metabolismo activo y para las muertas es un periodo de inercia.
- La fase III. Está asociada con la germinación y sólo la presentan las células viables, no latentes. Durante esta fase obviamente hay actividad metabólica, incluyendo el inicio de la movilización de las reservas almacenadas. (Azcón y Talón 1993)

**Activación Enzimática.** La actividad enzimática sirve para el desdoblamiento de los compuestos de reserva, ayuda a la transferencia de nutrientes de las áreas de reserva en los cotiledones hasta los puntos de crecimiento y las reacciones químicas que utilizan los puntos de crecimiento y los productos de las reservas en la síntesis de nueva materia seca (Huerta, 1990).

Ésta se inicia junto con la imbibición, ciertas enzimas empiezan a romper el alimento almacenado (enzimas hidrolíticas como fosfatos, ribonucleasa que degradan carbohidratos, lípidos, proteínas, etc.) a formas solubles y la traslocan a los puntos de crecimiento del embrión (Copeland y McDonald, 1985)

**Ruptura de la Cubierta de la Semilla.** Cuando la semilla toma agua del medio, del suelo, y se hincha; al aumentar de tamaño los tejidos por esta adquisición de agua, ejercen una presión sobre las cubiertas protectoras y las desgarran. Al mismo tiempo, comienza a desarrollarse el embrión, a expensas del tejido de nutrición, para estar preparado a subsistir en el momento de ruptura de la cubierta seminal de la semilla que consta de una primera capa protectora, formada por dos cubiertas denominadas testa y tegmen, que

recubren a una masa de tejido nutritivo en cuyo interior se encuentra el embrión. Éste consta de una serie de partes, que irán originando las correspondientes en la planta adulta; las partes más importantes son los cotiledones. (Argueta, 2008)

**Emergencia de la Planta.** Cuando una semilla germina, la primera estructura que emerge, de la mayoría de las especies, después de la rehidratación de los diferentes tejidos es la radícula y ésta es el mejor indicador del proceso de germinación y puede estar determinado por la elongación o división celular (Reyes, 1993).

### **Requerimientos para la Germinación**

Citado en la página

[http://www.euita.upv.es/variados/biologia/Temas/tema\\_17.htm#Tipos%20de%20Germinacion%20de%20semillas](http://www.euita.upv.es/variados/biologia/Temas/tema_17.htm#Tipos%20de%20Germinacion%20de%20semillas)

**Madurez Fisiológica.** Decimos que una semilla es madura cuando ha alcanzado su completo desarrollo, tanto desde el punto de vista morfológico como fisiológico. La madurez morfológica se consigue cuando las distintas estructuras de la semilla han completado su desarrollo, dándose por finalizada cuando el embrión ha alcanzado su máximo desarrollo. También, se la relaciona con la deshidratación de los diferentes tejidos que forman la semilla.

Aunque la semilla sea morfológicamente madura, muchas de ellas pueden seguir siendo incapaces de germinar porque necesitan experimentar aún una serie de transformaciones fisiológicas. Lo normal es que requieran la pérdida de sustancias inhibitoras de la germinación o la acumulación de sustancias promotoras. En general, necesitan reajustes en el equilibrio hormonal de la semilla y/o en la sensibilidad de su tejido para las distintas sustancias activas

La madurez fisiológica se alcanza al mismo tiempo que la morfológica, como en la mayoría de las especies cultivadas; o bien puede haber una diferencia de semanas, meses y hasta años entre ambas.

**Viabilidad de las Semillas.** La viabilidad de las semillas es el periodo de tiempo durante el cual las semillas conservan su capacidad para germinar.

Es un periodo variable y depende del tipo de semilla y de las condiciones de almacenamiento. En general, la vida media de una semilla se sitúa entre 5 y 25 años.

Una semilla será más longeva cuanto menos activo sea su metabolismo. Esto, a su vez, origina una serie de productos tóxicos que al acumularse en las semillas produce a la larga efectos letales para el embrión. Para evitar la acumulación de esas sustancias bastará disminuir aún más su metabolismo, con lo cual habremos incrementado la longevidad de la semilla. Ralentizar el metabolismo puede conseguirse bajando la temperatura y/o deshidratando la semilla. Las bajas temperaturas dan lugar a un metabolismo mucho más lento, por lo que las semillas conservadas en esas condiciones viven más tiempo que las conservadas a temperatura ambiente. La deshidratación, también alarga la vida de las semillas, más que si se conservan con su humedad normal. Pero la desecación tiene unos límites; por debajo del 2-5 por ciento en humedad se ve afectada el agua de constitución de la semilla, siendo perjudicial para la misma.

**Composición Química de la Semilla.** Sattler, (2004) observó que la vitamina E posee un activo papel en el mantenimiento de la viabilidad durante la quiescencia, limitando la oxidación no enzimática durante el almacenamiento y germinación de las semillas.

## **Factores Ambientales que Influyen en la Germinación**

**Humedad.** El agua es necesaria para que se produzca la germinación. Durante el periodo de latencia, las semillas están muy deshidratadas. La deshidratación es necesaria para que las semillas se mantengan “aletargadas”. Cuando las semillas se hidratan con la humedad del suelo, absorben agua. Si además las semillas están expuestas a una temperatura y oxigenación adecuada se produce la germinación.

La absorción de agua es el primer paso y el más importante, que tiene lugar durante la germinación; porque para que la semilla recupere su metabolismo es necesaria la rehidratación de sus tejidos. La entrada de agua en el interior de la semilla se debe exclusivamente a una diferencia de potencial hídrico entre la semilla y el medio que le rodea. En condiciones normales, este potencial hídrico es menor en las semillas secas que en el medio exterior. Por ello, hasta que emerge la radícula, el agua llega al embrión a través de las paredes celulares de la cubierta seminal. (García, et al, 2006).

**Temperatura.** La germinación de la semilla es sumamente sensitiva a la temperatura; probablemente debido a los altos coeficientes de temperatura de los complejos procesos metabólicos involucrados en la transición desde el estado de descanso (Osmond et al, 1980).

La germinación de las semillas es un proceso complejo en el que intervienen reacciones y procesos individuales, cada uno de los cuales es afectado por la temperatura. Dicho efecto puede expresarse en términos de temperaturas cardinales, es decir, la temperatura mínima óptima será aquella en donde se obtenga el más alto porcentaje de germinación en el menor tiempo, la mínima y la máxima es la temperatura abajo y arriba de la cual la semilla ya no germina, (Copeland and Mc. Donald, 1985). Estos mismos autores mencionan que las repuestas de las semillas de la temperatura

dependen de la especie, variedad, genotipo, la región donde se cultiva, grado de madurez y las condiciones fisiológicas de las semillas.

**Luz.** El autor anterior menciona, el factor luz es indispensable en solo algunas especies y generalmente está relacionada con algún tipo de latencia. La mayoría de las plantas cultivadas germinan tanto en la luz como en la oscuridad. El mecanismo de la luz en la germinación de la semilla es similar a aquél que controle la inducción floral, la elongación del tallo y la formación de pigmentos en ciertas frutas y los niveles de desarrollo radical de ciertas plántulas.

El control de la germinación por luz es fácilmente demostrado en muchas semillas. Tres aspectos del ambiente luz: composición espectral, densidad de la luz y periodicidad; todas contribuyen al control de la germinación en semillas. El efecto de la luz es frecuentemente compuesto por modificaciones de la respuesta de temperatura. De las tres respuestas de la luz el control de germinación por intensidad de luz puede ser la más pertinente bajo condiciones naturales, (Osmond et al, 1980).

**Agua.** Es importante en la disolución de las sustancias de reserva y el transporte de las mismas. De igual forma actúa en el desarrollo de las reacciones químicas que se realizan en el proceso de la germinación, además de reblandecer, hinchar y romper la cubierta de la semilla.

El agua es primordial pues las semillas están extremadamente deshidratadas. Normalmente contiene sólo del cinco al veinte por ciento de su peso total y tienen que absorber una buena cantidad de agua antes de que se inicie la germinación.

**Aire u Oxígeno.** El oxígeno ( $O_2$ ) y el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) son necesarios para que activen una serie de procesos metabólicos que inician el crecimiento. Las semillas de las plantas terrestres necesitan disponer de mucho más oxígeno que dióxido de carbono para poder germinar (Un 22 por ciento frente a un 0.03 por ciento). La absorción de oxígeno esta en relación con la

temperatura y la humedad. A mayor temperatura el oxígeno es menos soluble en agua y la semilla lo absorbe con dificultad. El aumento de humedad disminuye la absorción de oxígeno. Citado en la página <http://www.botanical-online.com/germinacion.htm>

### **Factores que Favorecen el Proceso de Salinización**

La salinidad de los suelos en México y en el mundo es un problema creciente con el que vamos a tener que aprender a convivir. Este problema es causado por diversos factores como el confinamiento del agua en grandes vasos, la deforestación de la zona, la introducción de cultivos en ella y la actividad de Petróleos Mexicanos que introduce una gran salinidad en los suelos mediante sus procesos de perforación y extracción, la sobre explotación de los acuíferos costeros que provocan la inducción.

Vázquez (1987), menciona que el proceso de salinización de un suelo está condicionado por:

- a) **Mal Drenaje.** Permeabilidad reducida por causa de la arcilla fina, capas compactas, por ejemplo el caliche. Luthin, citado por Oseguera (1986). Señala que la formación de un suelo salino surge por causas naturales tales como agua saladas del subsuelo en unión de un drenaje inadecuado, una mala permeabilidad del suelo; o bien, por causas propiciadas por el hombre tales como. La aplicación de cantidades excesivas de agua de riego, el uso de agua mala calidad, no dotar a las tierras de instalaciones adecuadas de drenaje.
  
- b) **Aguas Freáticas Superficiales.** Aguas estáticas con alto contenido salino o bien que ya existan sales en el suelo, una rápida evaporación induce con mayor prontitud la salinidad.

- c) **Aguas de Mala Calidad.** El uso de este tipo de aguas aunado a un mal drenaje y a la carencia de prácticas complementarias apresura el proceso. Shalhevet (1973) nos dice que toda agua de riego contiene sales solubles y esto es solamente un material de tiempo hasta que causan problemas de salinidad o alcalinidad y la principal diferencia entre la agricultura de riego y la no irrigada, considerando la persistencia y permanencia, proviene de la salinidad. El agua para riego puede contener de 0.1 a 5 toneladas por ha, en una lámina de 30 cm de agua y la aplicación anual puede llegar hasta 1.50 m o más.
  
- d) **El Clima.** Alta evaporación y lo reducido de las lluvias evita el lavado natural de las sales. Un porcentaje alto de evaporación y bajas precipitaciones evitan el lavado natural de las sales, por ello se acumulan más rápido, Peña (1980).
  
- e) **Topografía:** La topografía accidentada y la variación geológica y edafológica facilita la formación de acuíferos confinados y represamientos superficiales, condiciones que con la influencia de la evaporación incrementan el proceso (Vázquez, 1987).

### **Conductividad Eléctrica**

Para determinar la conductividad eléctrica de un suelo (CEe) es necesario agregarle más agua y ésta última contribuye a diluir el contenido de sales de la solución intersticial, rebajando su conductividad original. La conductividad eléctrica de una muestra de agua es la expresión numérica de su capacidad para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones en el agua, de su concentración, de su movilidad, de su carga o valencia y de las concentraciones relativas, así como de la temperatura a la cual se realiza las mediciones (Calderón, 2002).

A través de la conductividad eléctrica se determina la concentración de sales solubles en disolución en el suelo. Se basa en la velocidad con la que la corriente eléctrica atraviesa una solución salina, la cual es proporcional a la concentración de sales en disolución. Hasta hace unos años se expresaba en mmhos/cm, pero hoy día se expresa en deciSiemens/metro ( $\text{dS m}^{-1}$ ), siendo ambas medidas equivalentes.

### **Clasificación de los Suelos**

La clasificación de los suelos en función del ensalitramiento según Bolívar (2007) se muestra en el cuadro 1.1

**Suelo Normal.** Las características físicas en condiciones generalmente buenas, la estructura depende del material geológico del cual proviene el suelo. Características químicas:  $\text{CE} < 4 \text{ dS m}^{-1}$ ,  $\text{PSI} < 15$ ,  $\text{pH} 6.5-8.5$ , sus características morfológicas presentan un perfil bien definido con sus horizontes bien estructurados.

**Suelo Salino.** Las características físicas están en condiciones generalmente buenas, la textura depende del material original y no cambia, la estructura es buena por la presencia de Ca, Mg y se combinan con carbonatos y bicarbonatos; presentan una buena conductividad hidráulica (K) debido a la estructuración; aunque se ve ligeramente afectado cuando hay un exceso de sales por la retención de humedad, la densidad aparente (Da) depende de la textura. Las características químicas: tiene una  $\text{CE} \leq 4 \text{ dS m}^{-1}$ ,  $\text{PSI} \geq 15$ ,  $\text{pH} < 8.4$ , siendo generalmente alcalino.

**Suelo Salino Sódico (S.S.S).** Está bien estructurado en la parte salina y está defloculado en la parte sódica; su K es alta posteriormente disminuye. Un S.S.S. se rehabilita como tal; primero se rehabilita la parte sódica después la parte salina, por último se aplica una lámina de lavado en ambos casos. Características químicas. Tiene una  $\text{CE} > 4 \text{ dS m}^{-1}$ ,  $\text{PSI} > 15$ ,  $\text{pH} < 8.3$ ; sus

características morfológicas presentan manchas blancas en la parte salina y manchas oscuras en la parte sódica; el suelo tiene una apariencia aceitosa por que el sodio retiene el agua.

**Suelo Sódico.** Se ven alteradas por el sodio intercambiable, pérdida de estructuras, K baja, Da alta y tiene un color oscuro. Características químicas: CE < 4 dS m<sup>-1</sup>, PSI > 15, pH > 8.3. Características morfológicas presentan una estructura columnar en el horizonte B.

Cuadro 1.1 Clasificación de suelos salinos (Bolívar, D. M. 2007)

| Clases de Suelos                          |        |           |        |               |
|---|--------|-----------|--------|---------------|
| Parámetros                                | Salino | Normal    | Sódico | Salino-Sódico |
| pH  | < 8.4  | 6.5 - 8.4 | > 8.4  | < 8.4         |
| C.E. (dS/m)                               | > 4    | < 4       | < 4    | > 4           |
| P.S.I. (%)                                | < 15   | < 15      | >15    | >15           |
| P.S.I. porcentaje de Sodio intercambiable |        |           |        |               |

### Efectos de la Salinidad en la Germinación

De acuerdo a Dodd y Donovan (1999) un incremento de salinidad generalmente reduce la germinación, dos procesos regulan esta reducción: los efectos osmóticos debidos a una disminución del potencial de solutos del suelo, creando un estrés hídrico para la planta y/o efectos iónicos debidos a la absorción y/o acumulación de iones por la semilla o las plántulas.

La disminuciones de la germinación inducidas por la salinidad son usualmente debidas solamente a los efectos osmóticos (potencial de soluto del sustrato) para las halófitas, mientras que las glicófitas (como el maíz) son más probables a exhibir toxicidad iónica adicional. Sin embargo, Prisco y O'leary (1970) indicaron que un alto contenido de sales en el suelo especialmente cloruro de sodio, puede inhibir la germinación no solamente debido a la sequía fisiológica sino también debido a la disminución del potencial hídrico y también

debido al aumento de la concentración de iones en el embrión, ocasionando un efecto tóxico.

La salinidad reduce el crecimiento en las plantas a través de su influencia sobre algunos procesos fisiológicos como la síntesis de proteínas, ácidos nucleicos, actividad enzimática y balance hormonal debido a la baja disponibilidad de nutrientes en el suelo que influyen en la síntesis de glucosa, fructosa y sacarosa entre otras. (Brow y Meyer ,1988).

La tolerancia a la salinidad de la semilla en su germinación es una medida de la habilidad de éstas para soportar los efectos de altas concentraciones de sales solubles en el medio. La presencia de sales en el medio disminuye el potencial hídrico, provocando una menor disponibilidad de agua para las semillas, de manera que éstas deben generar suficiente potencial osmótico para mejorar el estatus hídrico de los embriones y permitir su crecimiento (Jones, 1986).

Existen tres etapas en el proceso de germinación en las que las sales pueden tener influencia, como lo menciona (Aceves, 1979) y estas son:

**Etapas Heterotrófica.** Esta etapa ocurre desde la imbibición de la semilla hasta la iniciación de la fotosíntesis y durante ella, la plántula se alimenta de las reservas del endosperma de la misma.

**Etapas de Transición.** En esta etapa se inicia el desarrollo de la plántula, la cual se alimenta de compuestos orgánicos complejos obtenidos del remanente del endospermo y productos fotosintetizados

**Etapas Autrófica.** Esta etapa ocurre después de que la plántula ha consumido completamente el endospermo y su alimentación depende completamente de los productos fotosintetizados por ella misma.

Las etapas en que la semilla es más sensible a la salinidad son la heterotrófica y la autotrófica, ya que en la primera puede inhibirse la imbibición de agua por las sales. Si esto ocurre no hay germinación. En la segunda es

cuando la planta consumió todas las reservas del endospermo y tiene que obtener nutrientes del suelo conjuntamente con sales, las que pueden ocasionar su muerte.

Niveles moderados de sales en el suelo generalmente retardan la germinación sin afectar éste proceso y además afectan notablemente al porcentaje de emergencia dependiendo del cultivo.

### **Efectos de los altos contenidos de sales en el suelo y en la planta.**

Los efectos de la salinidad en el suelo se podrían agrupar bajo tres aspectos diferentes: relaciones hídricas, balance de energía y nutrición.

**Relaciones Hídricas.** El agua es el componente mayoritario en la planta, alcanzando un 80 a 90 por ciento del peso fresco en plantas herbáceas y más del 50 por ciento en las partes leñosas. Por lo mismo, esta afecta directa o indirectamente a la mayoría de los procesos fisiológicos. Por otra parte, en plantas C3 y C4, el funcionamiento fotosintético está estrechamente ligado a la condición hídrica de las plantas ya que la entrada de CO<sub>2</sub> ocurre, lo mismo que la salida del agua, a través de los estomas. <http://www.forestaluchile.cl/cursos/fivegf/agua.htm>

La misma fuente reporta que el potencial hídrico corresponde, desde el punto de vista energético, al trabajo que habría que suministrar a una unidad de masa de agua "ligada" al suelo o a los tejidos de una planta, para llevarla desde ese estado de unión, a un estado de referencia, correspondiente al del agua pura (o "libre") a la misma presión y temperatura. El valor de referencia, o de estado "libre", adopta un valor igual a cero, por lo que todos los valores de potencial que caracterizan al agua "ligada" toman un valor negativo, puesto que sería necesario suministrar trabajo para llevar el agua a un potencial igual a cero.

**Balance Energético.** No obstante, esta teoría no describe completamente todos los efectos perjudiciales de la salinidad, ya que en ocasiones las plantas

no sufren estrés hídrico sino que disminuyen considerablemente su altura. Para explicar este efecto, Bernstein (1953) desarrolló la teoría del ajuste osmótico, la cual propone que las plantas, al aumentar la presión osmótica de la solución del suelo, se ven obligadas a una adaptación osmótica de sus células para poder seguir absorbiendo agua; adaptación que requiere un consumo de energía que se hace a costa de un menor crecimiento. Aceves (1979) propone la teoría de la división y el crecimiento celular, en la cual la disminución del crecimiento se atribuye a que la sal afecta a la división celular, producen un engrosamiento prematuro de las paredes celulares y limitan el crecimiento de forma irreversible.

**Nutrición.** En el aspecto nutricional, se produce una serie de importantes modificaciones, debido, por un lado, a las variaciones de pH que afectan a la disponibilidad de los nutrientes, y por otro, a las interacciones ocasionadas por la presencia en exceso de determinados elementos. Tal sucede con los cloruros, nitratos y fosfatos, el calcio y el sodio o los del potasio y sodio. La dominancia de calcio provoca antagonismos, entre otros, sobre el potasio, magnesio, hierro, boro y zinc. Sin embargo, existen relaciones de sinergismo entre potasio y hierro además entre magnesio y fósforo.

Igualmente la presencia en exceso de ciertos iones puede provocar toxicidad, debido a su acumulación en distintas partes de las plantas, como pueden ser las semillas, los tallos y las hojas. Los más significativos, en este aspecto, son los cloruros, el sodio y el boro, afectando con mayor incidencia a los cultivos pluri-anales (<http://www.botanical-online.com/germinacion.htm>).

### ***Efectos de la Salinidad sobre las Plantas***

El efecto más común de la salinidad sobre las plantas es la reducción del desarrollo debido a: una disminución del potencial osmótico del medio y en consecuencia, del potencial hídrico del suelo; una toxicidad específica,

normalmente asociada con la absorción excesiva de  $\text{Na}^+$  y de  $\text{Cl}^-$ ; un desequilibrio nutricional debido a la interferencia de los iones salinos con los nutrientes esenciales y la combinación de los efectos antes indicados. Como consecuencia de estos efectos primarios, a menudo ocurren otros estreses secundarios, como el daño oxidativo (Zhu, 2001).

Según el mismo autor las plantas disponen de complejos mecanismos moleculares de respuesta a estos efectos de la salinidad, que incluyen biosíntesis de solutos compatibles, control del flujo hídrico y transporte de iones para restablecer la homeostasis.

**Efecto Osmótico.** Este efecto está relacionado con la disminución del potencial osmótico del agua en el suelo, originado por la presencia de las sales disueltas. Esto produce en la planta una disminución de la capacidad de las raíces para absorber agua del medio.

En un principio, la reducción del rendimiento por la salinidad se relaciona con la alteración en el balance del agua. Mutzada y Riazi (1981) observaron que las hojas de cebada reducían su crecimiento a los pocos minutos de iniciar la salinización de forma proporcional a la disminución del potencial osmótico de la solución externa.

En este contexto, es necesario señalar que el tipo de sales predominantes en el medio influye de un modo distinto en el desarrollo de las plantas. A igualdad de potencial osmótico en el medio, las sales con predominio de cloruro son generalmente más tóxicas que las del sulfato. Entre los cationes, el  $\text{Mg}^{2+}$ , es más tóxico que el  $\text{Ca}^{2+}$  o el  $\text{Na}^{2+}$  (Strogonov, 1964). También este efecto depende de la especie estudiada.

**Toxicidad iónica.** La presencia de iones salinos en los tejidos de las plantas, a niveles de concentración superiores a los tolerados origina lesiones

características en ellas, dependiendo de la naturaleza y concentración de los iones. La respuesta dada por las plantas ante la presencia de los iones puede resultar beneficiosa en el caso de las halófitas, siempre que se mantengan en unos niveles determinados de concentración (Flowers y Yeo, 1986).

Resulta difícil precisar con generalizaciones los límites máximos de concentración tolerables para un determinado anión o catión potencialmente tóxico, ya que varían entre rangos muy amplios según especies y variedades. Los síntomas propios de los efectos específicos se reflejan de una forma más o menos inmediata, como la necrosis en las hojas, pero lo más característico, sin duda, es la disminución del crecimiento y desarrollo (Sykes, 1992).

Se han descrito muchos síntomas fisiológicos asociados a la toxicidad de los iones a partir de determinados niveles críticos, tales como: interferencias causadas por ellos en el metabolismo y a los daños que, como consecuencia, tienen lugar en orgánulos y membranas (Rains, 1980), disminución o inhibición de la actividad enzimática o alteraciones en la funcionalidad de la membrana, inhibición de la fotosíntesis (Schwarz y Gale, 1981.) repercusión en los mecanismos de transporte y selectividad (Jeschke, 1984) y derivación de parte de la energía metabólica de la planta para su inversión en procesos distintos al crecimiento ( Yeo, 1983).

**Efectos Nutricionales.** La presencia en la solución del suelo de iones salinos, a partir de un determinado nivel crítico de concentración, origina un desplazamiento del equilibrio nutricional mineral de las plantas. Este efecto se produce de dos maneras:

- La fuerza iónica del sustrato tiene un efecto directo sobre la absorción y translocación de nutrientes. Una evidencia de este efecto es que la salinidad induce una absorción y acumulación de fósforo en ciertas especies. Este es un efecto osmótico y se presenta, independientemente del tipo de sal utilizada (Kafkafi, 1991)

- El mecanismo más común, por el que la salinidad altera la nutrición mineral de las plantas es por la interacción directa del  $\text{Cl}^-$  y el  $\text{Na}^+$  sobre la absorción y translocación de nutrientes dentro de la planta (Marschner, 1995).

Uno de los primeros resultados que revelaron desequilibrios nutricionales en las plantas, como consecuencia de la presencia de los iones salinos, se alcanzaron en estudios de nutrición del  $\text{Ca}^{2+}$ , comprobándose en judías que la absorción de  $\text{Ca}^{2+}$  depende de la relación de la relación  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ . A su vez, numerosos estudios muestran que la concentración de  $\text{K}^+$  en la planta, disminuye al aumentar la salinidad o la relación  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  en el medio (Subbarao, et al., 1990).

La reducción en la absorción de  $\text{K}^+$  en la planta por el  $\text{Na}^+$  es un proceso competitivo. Aunque las plantas tienen una selectividad alta de  $\text{K}^+$  con respecto a  $\text{Na}^+$ , cantidades excesivas de  $\text{K}^+$  pueden tener un efecto negativo sobre las plantas (Rush y Epstein, 1981). Quizás por ello, a pesar de los numerosos estudios que indican la disminución en la absorción y translocación de  $\text{K}^+$  en las plantas cultivadas en sustratos donde predomina el  $\text{Na}^+$ , hay pocos datos que demuestren que la adición de  $\text{K}^+$  en dichas condiciones mejore el desarrollo de las plantas. En condiciones salinas, también pueden surgir problemas con la disponibilidad de micronutrientes, aunque la influencia de la salinidad sobre las concentraciones de los mismos en las plantas depende, tanto de la planta como del micronutriente considerado.

### **Efecto del Cation Calcio**

El calcio es absorbido por las plantas en forma del catión  $\text{Ca}^{++}$ . Una vez dentro de la planta, el Ca funciona en varias formas, incluyendo las siguientes como lo menciona (De la Garza, 2008):

- Estimula el desarrollo de las raíces y de las hojas

- Forma compuestos que son parte de las paredes celulares. Esto fortalece la estructura de la planta.
- Ayuda a reducir el nitrato ( $\text{NO}_3$ ) en la planta.
- Ayuda a activar varios sistemas de enzimas.
- Es esencial en el desarrollo del grano del maní.
- Influye directamente en el rendimiento al bajar la acidez del suelo (Carbonato de calcio). Esto reduce la solubilidad y toxicidad del manganeso (Mn), cobre (Cu) y aluminio (Al).
- Estimula la actividad microbiana.
- Es requerido en grandes cantidades por las bacterias fijadoras de N.

### **Síntomas de Deficiencia de Calcio en las Plantas**

Las raíces con deficiencia de Ca se tornan negras y se pudren. Las hojas jóvenes y otros tejidos nuevos desarrollan síntomas debido a que el Ca no se trasloca dentro de la planta. Los tejidos nuevos necesitan Ca para la formación de sus paredes celulares, por lo tanto la deficiencia de Ca causa que los filos de la hoja y los puntos de crecimiento sean gelatinosos. En casos severos, los puntos de crecimiento mueren.

Las deficiencia de Ca casi nunca se muestran en el campo, debido a que los efectos en condiciones secundarias, como una alta acidez, limita primero el crecimiento de la plántula. Las deficiencias ocurren más comúnmente en los cultivos de maní y hortalizas.

### **Calcio (Ca) en el Suelo**

La cantidad total de Ca en los suelos fluctúa entre 0.1 hasta alrededor de 25 por ciento. Los suelos áridos y calcáreos contienen los niveles más altos de Ca; los suelos arcillosos contienen más Ca que los arenosos.

Debido que el Ca existe como un catión, este nutriente está gobernado por los fenómenos de intercambio catiónico al igual que los otros cationes, y se mantiene adherido como  $\text{Ca}^{++}$  intercambiable en la superficie de los coloides cargados negativamente. Generalmente es el catión dominante en el suelo, aún a valores de pH bajos y ocupa normalmente el 70 por ciento o más de los sitios en el complejo de intercambio. El Ca es parte de la estructura de varios minerales en el suelo como la dolomita, calcita, apatita y feldespatos. En realidad estos minerales son las fuentes principales de Ca en el suelo.

### **Efectos del Catión Magnesio**

El mismo autor menciona que el magnesio (Mg) es absorbido por las plantas en forma del catión  $\text{Mg}^{++}$ . Una vez dentro de la planta, cumple muchas funciones. Es el átomo central de la molécula de la clorofila, por lo tanto está involucrado activamente en la fotosíntesis. El Mg y N son los únicos nutrientes provenientes del suelo que son parte de la clorofila, y por esta razón, la mayoría del Mg en las plantas se encuentra en este compuesto. Las semillas también tienen un contenido relativamente alto de Mg, aun cuando los cereales como el maíz tienen bajos niveles en sus semillas. También interviene en el metabolismo del fósforo, en la respiración y en la activación de muchos sistemas enzimáticos en las plantas.

### **Síntomas de Deficiencia en las Plantas**

Los síntomas de deficiencia del Mg aparecen primero en las hojas inferiores (hojas viejas), debido a que el Mg se transloca dentro de la planta de tejido viejo a tejido joven. Las hojas presentan un color amarillento, bronceado o rojizo, mientras que las venas de éstas se mantienen verdes. En el maíz se presentan fajas amarillentas a lo largo de las hojas, mientras que las hojas permanecen verdes.

Un desbalance entre Ca y Mg en los suelos de baja capacidad de intercambio catiónico puede acentuar la deficiencia de Mg. Cuando la relación Ca y Mg es muy alta en los suelos, las plantas absorben menos Mg. La deficiencia de Mg también puede acentuarse con la aplicación de altas dosis de K o por una alta disponibilidad de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) en los suelos con bajos niveles de Mg.

### **Magnesio (Mg) en el Suelo**

El Mg nativo del suelo proviene de la meteorización de rocas que contienen minerales como biotita, hornablenda, dolomita y clorita. Siendo un catión, el  $\text{Mg}^{++}$  está sujeto a intercambio catiónico. Se encuentra en la solución del suelo y se absorbe en las superficies de arcilla y de materia orgánica. Generalmente los suelos contienen menos Mg que Ca debido que el Mg no es absorbido tan fuertemente como Ca por los coloides del suelo y pueden perderse más fácilmente por lixiviación. Además la mayoría de los materiales parentales contienen menos Mg que Ca. Muchos suelos contienen suficiente Mg para soportar el crecimiento vegetativo. Sin embargo, las deficiencias de Mg ocurren con más frecuencia en los suelos ácidos sujetos a alta precipitación y en suelos arenosos. Las deficiencias también pueden desarrollarse en suelos calcáreos donde el agua de riego tiene contenidos altos de bicarbonatos o en los suelos sódicos.

### **Efecto del Cation Sodio**

[http://www.kaligmbh.com/r005es/fertiliser/advisory\\_service/nutrients/sodium.html](http://www.kaligmbh.com/r005es/fertiliser/advisory_service/nutrients/sodium.html)

El sodio es absorbido por la planta como  $\text{Na}^+$ . Su contenido puede variar ampliamente, dependiendo del existente en el suelo, de la especie que se considere y del órgano que se analice. Como valor medio se acepta 1200 ppm en peso seco, siendo las hojas, normalmente, más ricas que las semillas, y las leguminosas más que los pastos. Algunos investigadores han señalado

recientemente su posible acción como activador del enzima carboxilasa fosfonolpirúvica, primera enzima de carboxilación en la fotosíntesis de las plantas C<sub>4</sub>. En las plantas en las que se considera esencial, se acepta que regula ciertos procesos respiratorios y glucólíticos. Algunos investigadores han señalado también un incremento de la actividad del enzima nitrato reductaza y acumulación de nitritos, lo cual origina efectos tóxicos y una poca asimilación de nitrógeno (De la Garza, 2008).

El autor anterior menciona que se han observado otros efectos favorables del sodio. Durante los periodos de sequia retrasa el marchitamiento de la planta, manteniendo el potencial osmótico celular. En invierno y principios de la primavera, puede disminuir los posibles daños por heladas, ya que su presencia hace descender el punto de congelación de la savia. Proporciona mayor color y olor a las hortalizas.

Bar-On et al. (1970) encontraron que la adición de una pequeña cantidad de sodio intercambiable a una arcilla saturada con calcio aumenta la movilidad electroforética de la arcilla. Sin embargo, no aumenta el tamaño de los cristales. A medida que el sodio intercambiable aumenta, penetra entre las placas de arcilla y desintegra sus estructuras cristalinas.

### **Sodio (Na) en el Suelo**

[www.kaligmbh.com/r005es/fertiliser/advisory\\_service/nutrients/sodium.html](http://www.kaligmbh.com/r005es/fertiliser/advisory_service/nutrients/sodium.html)

- El sodio se encuentra en el suelo en estado combinado y principalmente en forma de sales.
- Regiones con clima húmedo y semihúmedo presentan bajo contenido de sodio, debido a su baja energía de adsorción, pudiendo ser fácilmente lixiviado a horizontes profundos del suelo por las lluvias. Del mismo modo, los iones de sodio son menos fijados por los minerales arcillosos que los iones de potasio. Sin embargo, niveles elevados de sodio pueden desplazar al calcio y al potasio, deteriorando la estructura del suelo.

- Por el contrario, en regiones áridas y semiáridas se presenta a menudo acumulación de  $\text{Na}^+$  en la superficie de los suelos, debido a que el incremento de la evaporación conduce el agua del nivel freático hacia la superficie. Estas condiciones conducen a un deterioro de la estructura del suelo que repercute negativamente en las reservas de agua y de aire en el suelo.
- Las arcillas saturadas en  $\text{Na}^+$  tienen como propiedad particular que en presencia de agua de lluvia y con  $\text{CO}_2$  disuelto se hidrolizan liberando  $\text{Na}^+$  y  $\text{OH}^-$  que rápidamente alcalinizan el medio, alcanzándose valores de pH 9, 10 ó incluso más.

### **Papel del Sodio en la Planta**

- Las plantas se dividen en natrofilicas y natrofóbicas de acuerdo a su tolerancia al  $\text{Na}^+$ .
- El sodio es móvil dentro de la planta y comparado con otros nutrientes como el potasio y el magnesio tiene un significado secundario dentro de la nutrición de la planta.
- Regula la presión osmótica a nivel celular el cual conduce a un eficiente uso del agua.
- Es requerido por la mayoría de las especies que utilizan la vía metabólica, como las plantas C4 y con metabolismo ácido de Crasuláceas (CAM) ya que es vital para la regeneración del ácido fosfoenolpirúvico, sustrato de la primera carboxilación de estas plantas.
- El ion Na puede activar parcialmente enzimas (ADP-glucosapirifosforilasa) dentro del metabolismo de la planta (síntesis del almidón) que también pueden ser activadas por iones K.
- Se ha determinado un positivo efecto de la aplicación de fertilizantes sódicos en especies natrofilicas. La remolacha azucarera, el cultivo más importante dentro de este grupo, es el ejemplo más conocido sobre su relativa alta demanda de sodio. Aquí el sodio fomenta la formación de

fructuosa y su transformación en glucosa, la cual es acumulada en la remolacha.

- La deficiencia de sodio causa en especies natrofilicas clorosis y necrosis e inclusive puede impedir la formación de flores.
- Muchas especies de plantas C3 se benefician también de concentraciones de sodio bajas. El sodio estimula el crecimiento a través del alargamiento celular y en caso de deficiencia de potasio funciona como un soluto osmóticamente activo.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### Ubicación del Experimento

El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Ensayos de Semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicado geográficamente sobre las coordenadas 25° 22" Latitud Norte y 101° 00" Longitud Oeste; Con una altura sobre el nivel del mar de 1743 m. Localizado en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

#### Material utilizado

**Semilla.** Para este estudio se emplearon semillas del árbol de los farolitos (*Koelreuteria paniculata*) proporcionado por la Secretaria del Medio Ambiente de Coahuila (SEMAC).

**Sales.** Se utilizaron tres sales Cloruro de Calcio ( $\text{CaCl}_2$ ), Cloruro de Magnesio ( $\text{MgCl}_2$ ) y Cloruro de Sodio ( $\text{NaCl}$ ). Cabe mencionar que como testigo se utilizó agua destilada.

**Cámara.** Se utilizó la cámara germinadora de alta capacidad a una temperatura de 25°.

**Estufa de secado.** Se empleó una estufa de secación una temperatura de 75° durante 24 horas.

**Sustratos.** Como medio de germinación se usaron sustratos de papel filtro y algodón en una caja petri.

## Preparación de Sales Puras

La cantidad de solutos requeridos para preparar la solución de las diferentes sales puras (Cuadro 3.1) se determinó usando las siguientes ecuaciones (Aceves, 1979):

$$\text{Ppm} = 640 * (\text{CE} * 10^3)$$

Donde ppm es la concentración de las sales en la solución en partes por millón y  $(\text{CE} * 10^3)$  es la CE del extracto de saturación ( $1 \text{ dS m}^{-1}$ ):

$$\text{meq} = 10 * (\text{CE} * 10^3)$$

Donde meq/l es la concentración de sales en la solución ( $\text{meq L}^{-1}$ )

$$\text{P.O.} = \text{CE} * 0.36$$

Donde P.O. es la presión osmótica (atm) requerida para preparar las soluciones para cada concentración osmótica.

Cuadro 3.1 Cuadro de concentración de valores para la preparación de los tratamientos con sales (Aceves, 1979).

| CE dS m <sup>-1</sup> | Sales                         |                               |                 |
|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|
|                       | (CaCl <sub>2</sub> ) g/100 ml | (MgCl <sub>2</sub> ) g/100 ml | (NaCl) g/100 ml |
| 3                     | 0.165                         | 0.141                         | 0.174           |
| 5                     | 0.275                         | 0.235                         | 0.290           |
| 7                     | 0.385                         | 0.329                         | 0.410           |
| 9                     | 0.495                         | 0.423                         | 0.520           |

## **Preparación de las Semillas**

Las semillas fueron seleccionadas de tamaño uniforme para la germinación del árbol de los farolitos (*Koeleruteria paniculata*). Cabe mencionar que a estas semillas se le aplicó un pre-tratamiento con un fungicida llamado captán.

## **Siembra.**

- 1) Se tomó en cuenta una muestra de 925 semillas. Se hicieron tres repeticiones de cada uno de los tratamientos; los tratamientos fueron cuatro, con tres tipos de sales y cada repetición contaba con 25 semillas en cada caja petri, considerada como unidad experimental.
- 2) Se colocaron las semillas en cajas petri con papel filtro y una cama de algodón, previamente humedecidos con los diferentes tratamientos.
- 3) Las cajas petri, ya sembradas, se colocaron al azar en la cámara germinadora a 25° y se le aplicó la solución cada vez que éstas la requerían.
- 4) A los 11 días se hizo evaluación anotando número de plántulas normales, anormales y semillas muertas.
- 5) Se muestrearon todas las plántulas normales y se tomaron mediciones de radícula e hipocotilo con la ayuda de una regla graduada.
- 6) Se tomó el peso fresco de las plántulas normales con la ayuda de una balanza analítica.
- 7) Las plántulas normales se llevaron a peso seco, a una temperatura de 70° - 75° por 24 horas y después se tomó el peso seco con la balanza de precisión.

## **Variables Evaluadas**

**Germinación fisiológica:** Se consideraron semillas germinadas cuando la radícula tuvo una longitud de 0.5 cm.

**Plántulas Normales:** de acuerdo al International Seed Testing Association (ISTA 1985) las plántulas normales son aquellas que entran en alguna de las siguientes categorías y que representan la capacidad de germinación de un lote de semillas para propósito de siembra:

1. Plántulas intactas. Aquéllas con sus estructuras esenciales bien desarrolladas, completas en proporción y sanas.
2. Plántulas con pequeños defectos. Aquéllas que muestran pequeños defectos en sus estructuras esenciales que de alguna manera pueden demostrar un desarrollo satisfactorio y balanceado.
3. Plántulas con infección secundaria. Aquéllas que han sido afectadas por hongos o bacterias de otras fuentes diferentes a la semilla original.

**Plántulas Anormales:** De igual forma ISTA (1985) menciona que las plántulas son consideradas como anormales al presentar defectos que limitan su desarrollo normal y son comunes las siguientes categorías:

1. Plántulas dañadas. Presentan daño parcial o totalmente irreparable en alguna de sus estructuras esenciales por lo que no puede esperarse un desarrollo equilibrado.
2. Plántulas deformes o desbalanceadas. Son aquellas que con un desarrollo raquítico o disturbio fisiológico o en las que sus estructuras están deformes o fuera de proporción.
3. Plántulas podridas. Son aquellas que muestran alguna de sus estructuras esenciales enfermas o podridas como resultado de una infección primaria.

**Semillas Muertas.** Reyes (1993) menciona que las semillas muertas son aquéllas que al final del ensayo y sin ser duras ni frescas no pueden producir alguna estructura de alguna plántula. A diferencia de las semilla muertas, las semillas duras permanecen en este estado hasta el final del ensayo, debido que no pueden absorber agua; mientras, que las semillas frescas son aquéllas que sin ser duras no pueden germinar, pero permanecen limpias y firmes, aparentemente viables para la germinación.

**Longitud Media de Radícula e Hipocotilo.** Las plántulas utilizadas para determinar la longitud media de radícula e hipocotilo provinieron de las plántulas normales y uniformes de la prueba de germinación estándar las cuales fueron 10 plantas tomadas al azar por repetición; se midió la longitud de hipocotilo en mm, con la ayuda de una regla graduada en forma independiente para cada tratamiento. Las longitudes de hipocotilo y radícula sólo se dividieron para la obtención de una medida general por repetición para cada tratamiento.

**Peso seco de la Plántula.** Las mismas 10 plántulas que se midieron de cada repetición por tratamiento se guardaron en bolsas perforadas de papel para posteriormente llevarlas a una estufa donde permanecieron por 24 horas a una temperatura de 70° - 75°C. Después de ser secadas, las plántulas se llevaron a pesar de nuevo a la balanza analítica para de esta forma obtener peso seco.

### **Diseño Experimental y Análisis Estadístico.**

En el presente trabajo se analizaron las variables: Plántulas normales, plántulas anormales, semilla sin germinar. El modelo estadístico fue un diseño completamente al azar con arreglo factorial de 3x4 con un tratamiento extra.

**Siendo:**

Factor A. Sales

Factor B: Valores de Conductividad Eléctrica (C.E.)

Repeticiones: 3

El modelo estadístico es:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

**Donde:**

$i = 1, 2, 3$ , tipos de sales.

$j = 1, 2, 3, 4$  variables de Conductividad Eléctrica (C.E.)

$k = 1, 2, 3$ , número de repeticiones.

$\mu$  = efecto de la media poblacional

$\alpha_i$  = efecto del  $i$ -ésimo tipo de sal

$\beta_j$  = efecto del  $j$ -ésimo (nivel de sal o C.E.)

$(\alpha\beta)_{ij}$  = efecto de la  $i, j$ -ésimo interacción de tipos de sal y valores de conductividad eléctrica.

$\varepsilon_{ijk}$  = error experimental del  $i, j$ -ésimo tratamiento de su  $k$ -ésima repetición.

Se empleó también un diseño completamente al azar para aquellas variables de longitud de radícula, longitud de hipocotilo, peso seco.

Los resultados de las variables evaluados estuvieron expresados en porcentajes por lo que fueron transformados como lo recomienda (Steel y Torrie, 1988) mediante la siguiente ecuación:

$$\arcsen \sqrt{\frac{x}{100}}$$

Donde X es el por ciento del dato a transformar.

Debido a que las variables evaluadas presentaron valores de cero se realizó un ajuste a aquellas variables empleándose la siguiente ecuación:

$$\arcsen \sqrt{\frac{x + 0.005}{100}}$$

Cabe señalar que el análisis estadístico se realizó con la ayuda del paquete computacional Exel. Una vez obtenidos los análisis de varianza se procedió a hacer la prueba estadística de comparación de medias con la prueba de Tukey para determinar el efecto que tuvieron las sales sobre la germinación del árbol de los farolitos y a que niveles de sales fue mejor.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

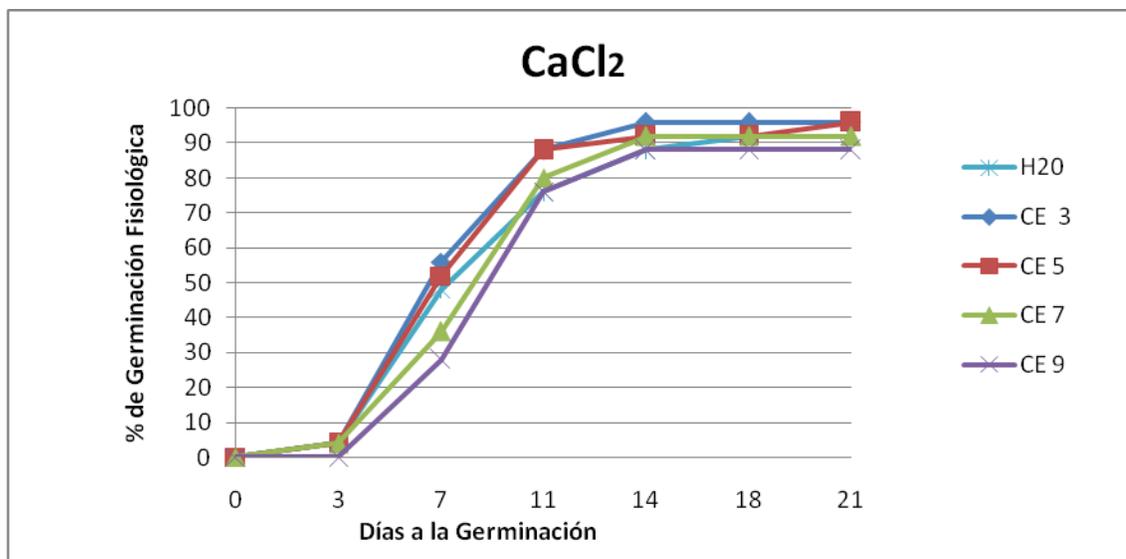
### Germinación Fisiológica

A pesar de que se determinó un plazo de 21 días para la germinación del árbol de los farolitos (*Koelreuteria paniculata*), en ninguno de los tipos de sales se logró el 100 por ciento, ni aún en condiciones normales, es decir en el tratamiento testigo sin sales.

Bajo condiciones normales, es decir, en el testigo llegó a tener un 92 por ciento de germinación fisiológica en el día 21.

La mayor germinación fisiológica bajo condiciones salinas de  $\text{CaCl}_2$ , se obtuvo a  $3 \text{ dS m}^{-1}$  y  $5 \text{ dS m}^{-1}$  con un 96 por ciento al día 21; con  $6 \text{ dS m}^{-1}$  se obtuvo un 92 por ciento, considerado como la germinación media y la germinación más baja se obtuvo con  $9 \text{ dS m}^{-1}$  con un 88 por ciento.

En este tipo de sal se observó que al día 14 la germinación se mantuvo casi estándar además de que a medida que aumentaba la concentración de sales disminuía el porcentaje de germinación, como se muestra en la figura 4.1

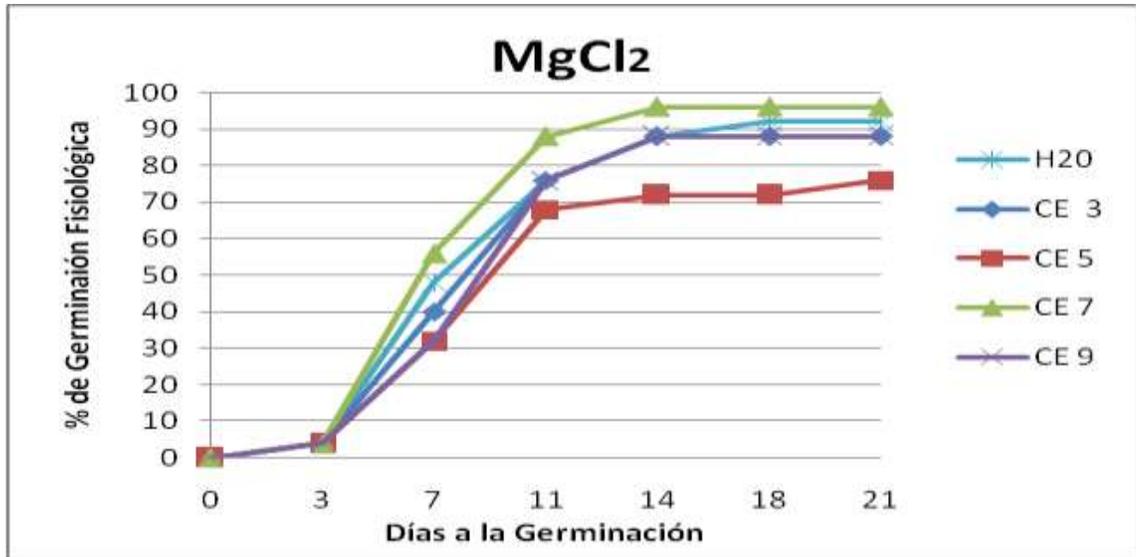


**Figura 4.1** Germinación fisiológica del árbol de los farolitos (*Koelreuteria paniculata*) a diferentes tipos y niveles de  $\text{CaCl}_2$ .

La mayor germinación bajo condiciones salinas de  $\text{MgCl}_2$ , se obtuvo a  $7 \text{ dS m}^{-1}$  con un 96 por ciento al día 21; la germinación media se obtuvo a  $3 \text{ dS m}^{-1}$  y  $9 \text{ dS m}^{-1}$  con un 88 por ciento y la más baja se obtuvo con  $5 \text{ dS m}^{-1}$  con un 76 por ciento durante el mismo periodo.

Se puede observar en la figura 4.2 que con esta sal el árbol de los farolitos tolera menos los niveles de salinidad, ya que tuvo un porcentaje más bajo en la concentración de  $5 \text{ dS m}^{-1}$  con un 76 por ciento, pudiéndose decir que esta concentración retrasa e inhibe la germinación.

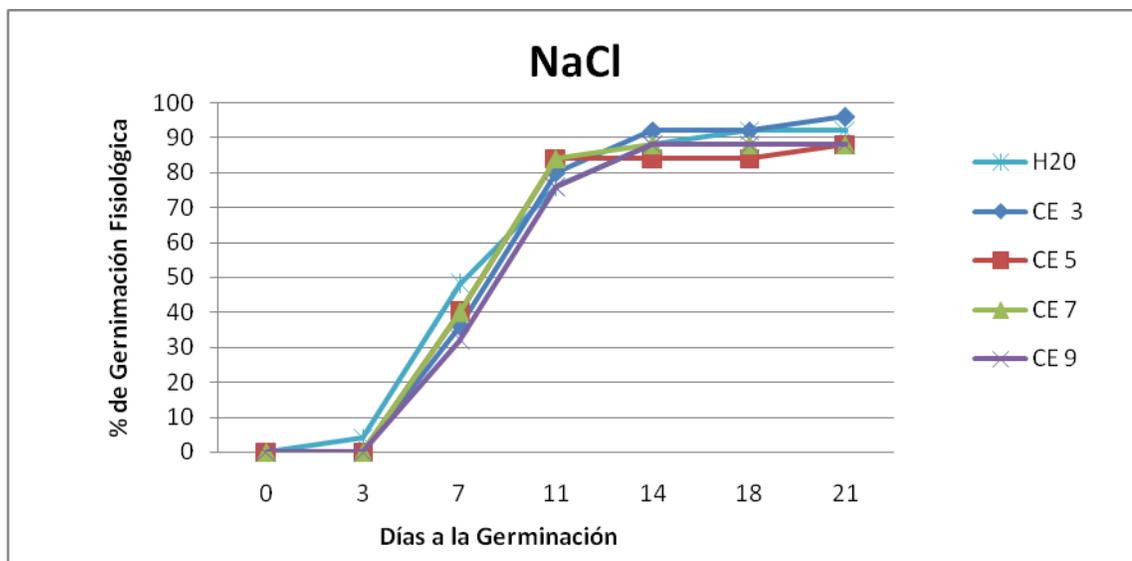
Se observó que el  $\text{MgCl}_2$  inhibe la germinación pues con esta sal se obtuvieron los valores más bajos.



**Figura 4.2** Germinación fisiológica del árbol de los farolitos (*Koelreuteria paniculata*) a diferentes tipos y niveles de  $MgCl_2$ .

El NaCl mostró que a mayor concentración de sal hubo menor germinación, con esta sal se observó un porcentaje de germinación medio con respecto a las otras sales.

A una concentración de  $3 \text{ dS m}^{-1}$  se obtuvo la mayor germinación fisiológica, ya que presentó un 96 por ciento a los 21 días (Figura 4.3). Se observó que a medida que la concentración de sales es mayor, el porcentaje de germinación disminuye. En este caso las concentraciones de 5, 7 y  $9 \text{ dS m}^{-1}$  todas obtuvieron un 88 por ciento, como se observa en la figura 4.3



**Figura 4.3** Germinación fisiológica del árbol de los farolitos (*Koelreuteria paniculata*) a diferentes niveles de salinidad provocados por NaCl.

En general, se ve que el porcentaje de germinación fisiológica se afecta por las sales cuando la concentración aumenta. A concentración de  $9 \text{ dS m}^{-1}$  las semillas se volvieron más sensibles a los efectos tóxicos debido a que se registra una germinación fisiológica de 88 por ciento en todas las sales probadas. En el experimento también se observó que la sal retarda la germinación.

En general el mayor porcentaje de germinación fisiológica se encontró a una concentración de  $3 \text{ dS m}^{-1}$  en  $\text{CaCl}_2$  y NaCl con un 96 por ciento en ambos casos.

El tiempo requerido para cuantificar la germinación fisiológica en condiciones salinas se realizó a los 21 días en el caso del cultivo del árbol de los farolitos como se observa en el cuadro 4.1

Cuadro 4.1 Porcentaje de germinación fisiológica del árbol de los farolitos bajo tres condiciones de sales y cuatro concentraciones.

| Sales             | Conc. (dSm <sup>-1</sup> ) | G.F. (%) | Día | G.F. (%) | Germ. Relativa | Día |
|-------------------|----------------------------|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|----------------|-----|
| testigo           | 0                          | 4        | 3   | 48       | 7   | 76       | 11  | 88       | 14  | 92       | 18  | 92       | 100.0          | 21  |
| CaCl <sub>2</sub> | 3                          | 4        | 3   | 56       | 7   | 88       | 11  | 96       | 14  | 96       | 18  | 96       | 104.3          | 21  |
|                   | 5                          | 4        | 3   | 52       | 7   | 88       | 11  | 92       | 14  | 92       | 18  | 96       | 104.3          | 21  |
|                   | 7                          | 4        | 3   | 36       | 7   | 80       | 11  | 92       | 14  | 92       | 18  | 92       | 100.0          | 21  |
|                   | 9                          | 0        | 3   | 28       | 7   | 76       | 11  | 88       | 14  | 88       | 18  | 88       | 95.7           | 21  |
| MgCl <sub>2</sub> | 3                          | 4        | 3   | 40       | 7   | 76       | 11  | 88       | 14  | 88       | 18  | 88       | 95.7           | 21  |
|                   | 5                          | 4        | 3   | 32       | 7   | 68       | 11  | 72       | 14  | 72       | 18  | 76       | 82.6           | 21  |
|                   | 7                          | 4        | 3   | 56       | 7   | 88       | 11  | 96       | 14  | 96       | 18  | 96       | 104.3          | 21  |
|                   | 9                          | 4        | 3   | 32       | 7   | 76       | 11  | 88       | 14  | 88       | 18  | 88       | 95.7           | 21  |
| NaCl              | 3                          | 0        | 3   | 36       | 7   | 80       | 11  | 92       | 14  | 92       | 18  | 96       | 104.3          | 21  |
|                   | 5                          | 0        | 3   | 40       | 7   | 84       | 11  | 84       | 14  | 88       | 18  | 88       | 95.7           | 21  |
|                   | 7                          | 0        | 3   | 40       | 7   | 84       | 11  | 84       | 14  | 88       | 18  | 88       | 95.7           | 21  |
|                   | 9                          | 0        | 3   | 32       | 7   | 76       | 11  | 88       | 14  | 88       | 18  | 88       | 95.7           | 21  |

De acuerdo a las regresiones polinómicas que se realizaron a cada una de las sales (figura 4.4) muestra el efecto porcentaje de germinación relativa y su valor límite de tolerancia (VLT). El efecto de la salinidad sobre la germinación en el árbol de los farolitos se evaluó en términos del porcentaje final de germinación. Se observó que las sales CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub> y NaCl no influyen en la germinación, es decir, estimulan la germinación. En el cuadro 4.2 Se anotan los datos de a, b, c y coeficiente de determinación (r<sup>2</sup>).

Cuadro 4.2 Valor de los coeficientes de la ecuación cuadrática o modelo  $y = ax^2+bx+c$  y el valor de r<sup>2</sup> de la germinación.

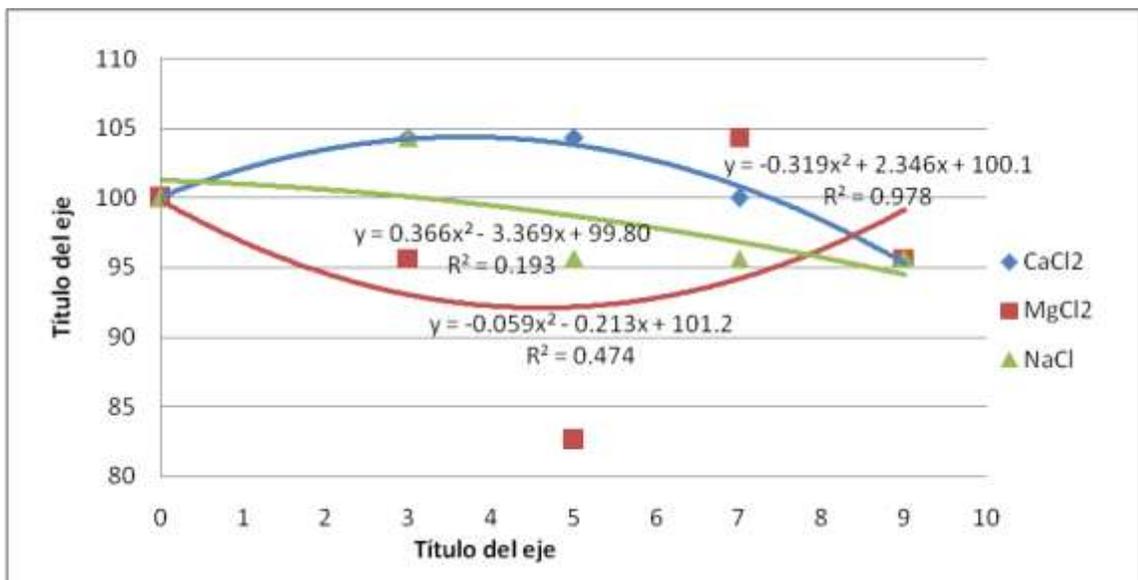
| Sal               | a      | b      | c      | r <sup>2</sup> |
|-------------------|--------|--------|--------|----------------|
| CaCl <sub>2</sub> | 0.3871 | 2.346  | 100.1  | 0.9788         |
| MgCl <sub>2</sub> | 0.0598 | 0.2132 | 101.25 | 0.4742         |
| NaCl              | 0.3665 | 3.3692 | 99.804 | 0.1938         |

En la figura 4.4 Podemos observar:

En el  $\text{CaCl}_2$  cuando la salinidad fue de 3 - 7  $\text{dS m}^{-1}$  la germinación fue mayor que el testigo; 3 y 5  $\text{dS m}^{-1}$  con 104.3 por ciento y 7  $\text{dS m}^{-1}$  con 100 de germinación observando una disminución con 9  $\text{dS m}^{-1}$  con 95.7 por ciento.

En el  $\text{MgCl}_2$  con una C.E. de 7  $\text{dS m}^{-1}$  se obtuvo la mayor germinación relativa con un 104.3 por ciento. Cuando la C.E. fue de 9  $\text{dS m}^{-1}$  se obtuvo nueva mente una disminución con 95.7 por ciento de germinación.

El  $\text{NaCl}$  la mayor germinación se obtuvo a 3  $\text{dS m}^{-1}$  con 104.3 por ciento y con 3, 7 y 9  $\text{dS m}^{-1}$  ambas con 97.5 por ciento. Siendo esta sal la que obtuvo los valores más bajos de germinación relativa.



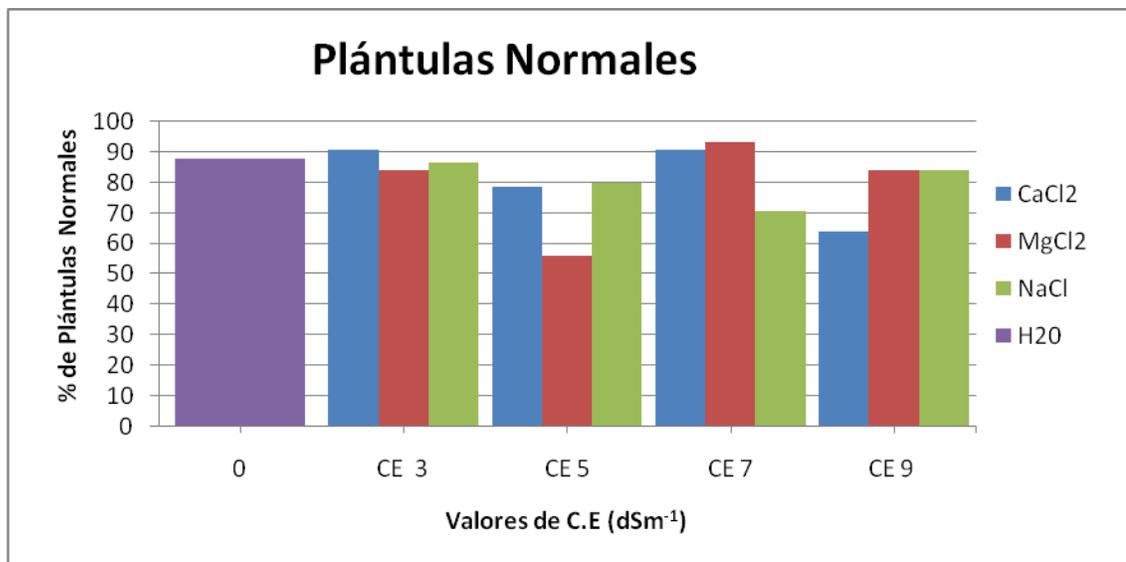
**Figura 4.4** Porcentaje de germinación relativa para las diferentes tipos de sales.

De acuerdo a los datos obtenidos se puede concluir que el árbol de los farolitos es una especie muy tolerante a la salinidad, y la salinidad de 9  $\text{dS m}^{-1}$  fue muy baja para evaluar esta especie porque no está afectando la germinación. Coincidiendo con Figueroa, et al (2005) donde evaluó la producción de biomasa de *Atriplex lentiformis* en condiciones de salinidad siendo una especie muy tolerante a la salinidad; donde el testigo obtuvo los valores más bajos, ya que la producción de materia verde fue relativamente

menor cuando la salinidad del agua de riego fue baja ( $< 10 \text{ dS m}^{-1}$ ), mientras que el mayor rendimiento se observó en el nivel de  $20 \text{ dS m}^{-1}$  de CE, para después disminuir cuando la CE fue de  $30 \text{ dS m}^{-1}$  o más.

### Plántulas Normales

La figura 4.5 muestra los porcentajes de plántulas normales, en donde el  $\text{MgCl}_2$  a una concentración de  $7 \text{ dS m}^{-1}$  presenta un 90 por ciento, dejando al final a  $\text{MgCl}_2$  con  $5 \text{ dS m}^{-1}$  con un 53 por ciento. La germinación bajo condiciones normales, es decir en el testigo, llegó a tener un 88 por ciento de germinación.



**Figura 4.5** Porcentaje de plántulas normales del árbol de los farolitos con cuatro tipos de sales a diferentes concentraciones.

En la figura 4.5 se observa lo siguiente:

- En  $\text{CaCl}_2$  el mayor porcentaje de plántulas normales es de 91 por ciento a una concentración de 3 y  $7 \text{ dS m}^{-1}$ ; el menor porcentaje de normales es de 64 por ciento a una concentración de  $9 \text{ dS m}^{-1}$ ; cabe mencionar que esta sal fue la que mostró el mayor porcentaje de plantas normales.

- Con NaCl se obtuvieron valores de 87 por ciento de plántulas normales a una concentración de 3 dS m<sup>-1</sup>, siendo ésta la mayor; cabe mencionar que esta sal mostró un promedio muy parecido en todas las concentraciones.

- Podemos observar que en la sal el CaCl<sub>2</sub> fue la que obtuvo el mayor porcentaje de plántulas normales bajo condiciones de salinidad. Por lo tanto podemos decir que en esta sal a mayores concentraciones de salinidad, disminuye el número de plántulas normales (Cuadro 4.3)

**Cuadro 4.3** Porcentaje de plántulas normales del árbol de los farolitos bajo tres condiciones de sales y cuatro concentraciones.

| <b>Sales</b>            | <b>Concentraciones (dSm<sup>-1</sup>)</b> | <b>Plántulas Normales (%)</b> |
|-------------------------|---|-------------------------------|
| <b>Testigo</b>          | 0   | 88                            |
| <b>CaCl<sub>2</sub></b> | 3   | 91                            |
|                         | 5   | 79                            |
|                         | 7   | 91                            |
|                         | 9   | 64                            |
| <b>MgCl<sub>2</sub></b> | 3   | 84                            |
|                         | 5   | 56                            |
|                         | 7   | 93                            |
|                         | 9   | 84                            |
| <b>NaCl</b>             | 3   | 87                            |
|                         | 5   | 80                            |
|                         | 7   | 71                            |
|                         | 9   | 84                            |

El análisis de varianza muestra (Cuadro 4.4) que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos y las interacciones, así como cada uno de los factores.

**Cuadro 4.4** Análisis de Varianza plántulas normales

| F.V                  | g.l | Sc       | CM     | Fc                  | F $\alpha$ |      |
|----------------------|-----|----------|--------|---------------------|------------|------|
|                      |     |          |        |                     | .05        | 0.01 |
| Testigo vs Factorial | 1   | 18.653   | 18.653 | 0.116 <sup>NS</sup> | 4.26       | 7.82 |
| Sales                | 2   | 19.489   | 9.744  | 0.061 <sup>NS</sup> | 3.40       | 5.61 |
| C.E.                 | 3   | 783.947  | 261.32 | 1.631 <sup>NS</sup> | 3.01       | 4.72 |
| Sales * C.E.         | 6   | 1284.792 | 214.13 | 1.337 <sup>NS</sup> | 2.51       | 3.67 |
| Error Experimental   | 24  | 3844.588 | 160.19 |                     |            |      |
| Total                | 36  | 5951.469 |        |                     |            |      |

NS = No significativo

**Cuadro 4.5** Comparación de la variable plántulas normales

| Sales             | Concentración (dSm <sup>-1</sup> ) | Medias * | Significancia |
|-------------------|------------------------------------|----------|---------------|
| Testigo           | 0                                  | 88.000   | NS            |
| CaCl <sub>2</sub> | 3                                  | 90.667   | NS            |
|                   | 5                                  | 78.667   | NS            |
|                   | 7                                  | 90.667   | NS            |
|                   | 9                                  | 64.000   | NS            |
| MgCl <sub>2</sub> | 3                                  | 84.000   | NS            |
|                   | 5                                  | 56.000   | NS            |
|                   | 7                                  | 93.333   | NS            |
|                   | 9                                  | 84.000   | NS            |
| NaCl              | 3                                  | 86.667   | NS            |
|                   | 5                                  | 80.000   | NS            |
|                   | 7                                  | 70.667   | NS            |
|                   | 9                                  | 82.667   | NS            |

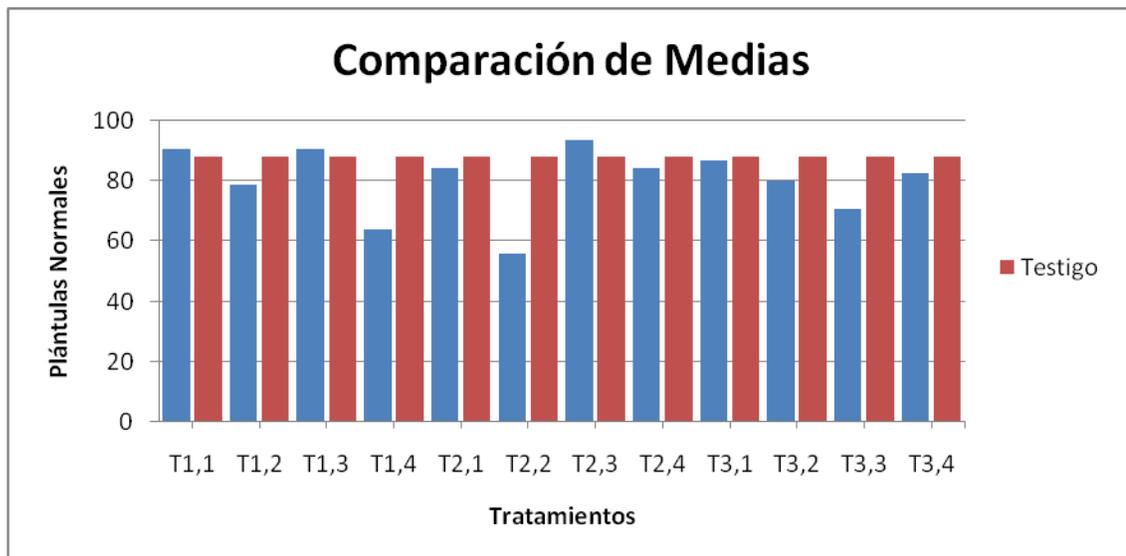
\*Medias transformadas

En el cuadro 4.5 tenemos que MgCl<sub>2</sub> a una concentración de 7 dS m<sup>-1</sup> es el que presenta el mayor número de plántulas normales, superando al testigo y en el MgCl<sub>2</sub> a una concentración de 5 dS m<sup>-1</sup> es el que presenta el menor número de plántulas normales.

Con esto podemos decir que la mejor sal para las plántulas normales es el  $\text{CaCl}_2$ , seguido el  $\text{NaCl}$  y el  $\text{MgCl}_2$ , respectivamente. Aunque se puede observar que los resultados de todas las sales son muy parecidos.

En cuanto a concentraciones podemos decir que la mejor es la de  $7 \text{ dS m}^{-1}$  seguido de 3, 9 y  $5 \text{ dS m}^{-1}$  ya que se puede observar que las altas concentraciones de sales no influyen en la germinación.

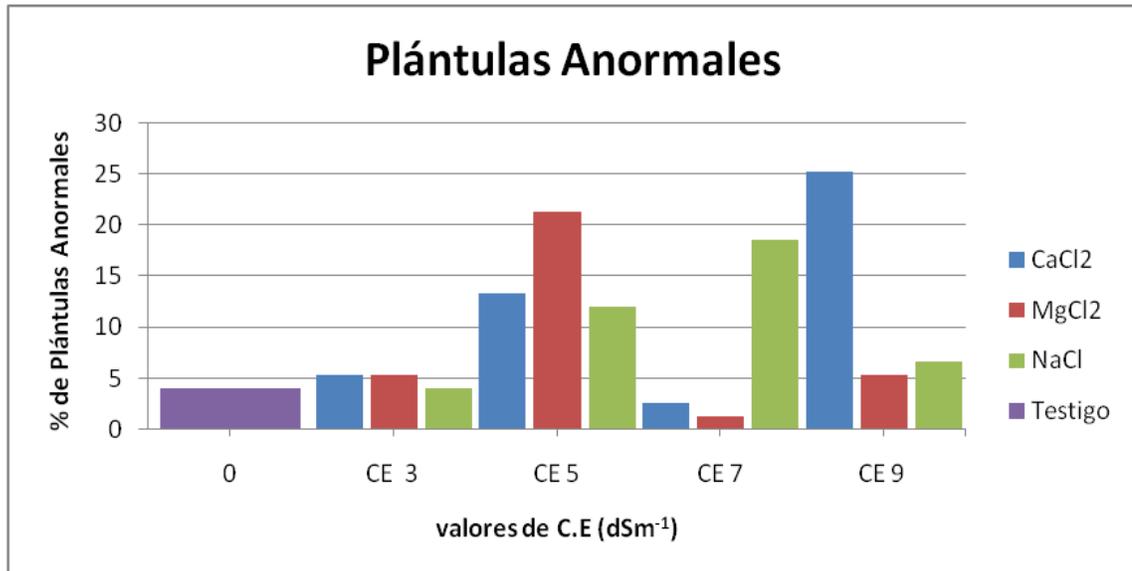
En la figura 4.6 Se presenta el comportamiento de las medias de los tratamientos y el testigo para esta variable de plántulas normales.



**Figura 4.6** Comparación de medias entre tratamientos y el testigo para la variable plántulas normales.

## Plántulas Anormales

En el análisis de las plántulas anormales. El testigo obtuvo valores del cuatro por ciento, es decir que la mayoría de las plántulas fueron normales (figura 4.7)



**Figura 4.7** Porcentaje de plántulas anormales del árbol de los farolitos con cuatro tipos de sales a diferentes concentraciones.

Con CaCl<sub>2</sub> a una concentración de 9 dS m<sup>-1</sup> fue el que obtuvo mayor número de plántulas anormales con un 25 por ciento dejando al final CaCl<sub>2</sub> a una concentración de 7 dS m<sup>-1</sup> con tres por ciento. Se observa que el aumento de la concentración salinidad aumenta el número de plántulas anormales, así como la influencia del tipo de sal cuadro 4.6

En cuanto al MgCl<sub>2</sub>, la concentración de 5 dS m<sup>-1</sup> fue el que obtuvo mayor número de plántulas anormales con un 21 por ciento dejando al final CaCl<sub>2</sub> a una concentración de 7 dS m<sup>-1</sup> con uno por ciento; por lo que podemos decir que es la que obtuvo los valores menores de plántulas anormales a excepción de 7 dS m<sup>-1</sup> en el NaCl como se observa en el cuadro 4.6

Con respecto al NaCl la concentración que tuvo más porcentaje de plántulas anormales fue la de 7 dS m<sup>-1</sup> con un 19 por ciento, a éstas le siguen 5, 8 y por último 3 dS m<sup>-1</sup> con 12, 7 y 4, respectivamente cuadro 4.6

Para esta variable se observó que el aumento de la C.E. hasta 7 dS m<sup>-1</sup> el porcentaje de plántulas anormales va en forma ascendente y con 9 dS m<sup>-1</sup> el porcentaje de plantulas anormales disminuye (cuadro 4.6) concluyendo que estimula la germinación en todos la sales.

**Cuadro 4.6** Porcentaje de plántulas anormales del árbol de los farolitos bajo cuatro concentraciones y tres tipos de sales.

| <b>Sales</b>            | <b>Concentraciones (dSm<sup>-1</sup>)</b> | <b>Plántulas Anormales (%)</b> |
|-------------------------|---|--------------------------------|
| <b>Testigo</b>          | 0   | 4                              |
| <b>CaCl<sub>2</sub></b> | 3   | 5                              |
|                         | 5   | 13                             |
|                         | 7   | 3                              |
|                         | 9   | 25                             |
| <b>MgCl<sub>2</sub></b> | 3   | 5                              |
|                         | 5   | 21                             |
|                         | 7   | 1                              |
|                         | 9   | 5                              |
| <b>NaCl</b>             | 3   | 4                              |
|                         | 5   | 12                             |
|                         | 7   | 19                             |
|                         | 9   | 7                              |

El análisis de varianza muestra (Cuadro 4.7) que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos y las interacciones.

**Cuadro 4.7** Análisis de varianza de la variable plántulas anormales.

| F.V                  | g.l | Sc       | CM      | Fc                  | F $\alpha$ |      |
|----------------------|-----|----------|---------|---------------------|------------|------|
|                      |     |          |         |                     | .05        | .01  |
| Testigo vs Factorial | 1   | 12.859   | 12.859  | 0.099 <sup>NS</sup> | 4.26       | 7.82 |
| Sales                | 2   | 82.146   | 41.073  | 0.318 <sup>NS</sup> | 3.40       | 5.61 |
| C.E.                 | 3   | 589.325  | 196.442 | 1.519 <sup>NS</sup> | 3.01       | 4.72 |
| Sales * C.E.         | 6   | 1204.370 | 200.728 | 1.552 <sup>NS</sup> | 2.51       | 3.67 |
| Error Experimental   | 24  | 3103.738 | 129.322 |                     |            |      |
| Total                | 36  | 4992.439 |         |                     |            |      |

NS = No significativo

**Cuadro 4.8** Comparación de la variable plántulas anormales.

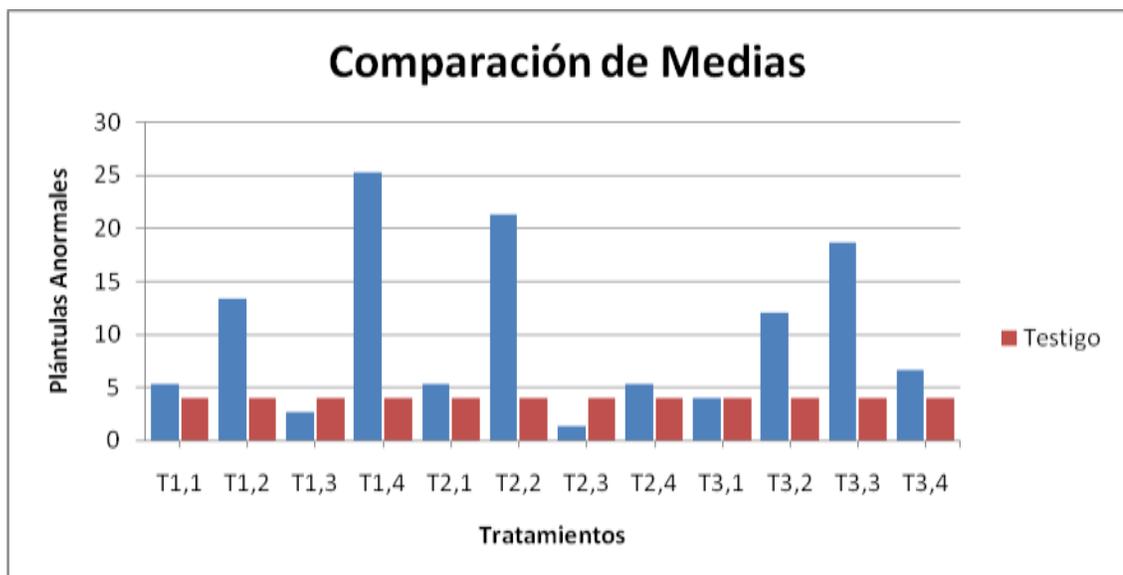
| Sales             | Concentración (dSm <sup>-1</sup> ) | Medias * | Significancia |
|-------------------|------------------------------------|----------|---------------|
| Testigo           | 0                                  | 4.000    | NS            |
| CaCl <sub>2</sub> | 3                                  | 5.333    | NS            |
|                   | 5                                  | 13.333   | NS            |
|                   | 7                                  | 2.667    | NS            |
|                   | 9                                  | 25.333   | NS            |
| MgCl <sub>2</sub> | 3                                  | 5.333    | NS            |
|                   | 5                                  | 21.333   | NS            |
|                   | 7                                  | 1.333    | NS            |
|                   | 9                                  | 5.333    | NS            |
| NaCl              | 3                                  | 4.000    | NS            |
|                   | 5                                  | 12.000   | NS            |
|                   | 7                                  | 18.667   | NS            |
|                   | 9                                  | 6.667    | NS            |

\*Medias transformadas.

En el cuadro 4.8 podemos observar que el CaCl<sub>2</sub> a una concentración de 9 dS m<sup>-1</sup> es la que presenta el mayor número de plántulas anormales a esta le siguen MgCl<sub>2</sub> a una concentración de 5 dS m<sup>-1</sup>, ambas superando al testigo.

De acuerdo al cuadro anterior podemos decir que el  $\text{CaCl}_2$  fue la sal que provocó más plántulas anormales, esto se debe a que provocó los efectos tóxicos a concentraciones altas; podemos decir que a una concentración de  $3 \text{ dS m}^{-1}$  estimuló la germinación; se dice que la anomalía se debe al efecto de los iones o a la formación de productos metabólicos tóxicos (Meiri, 1969)

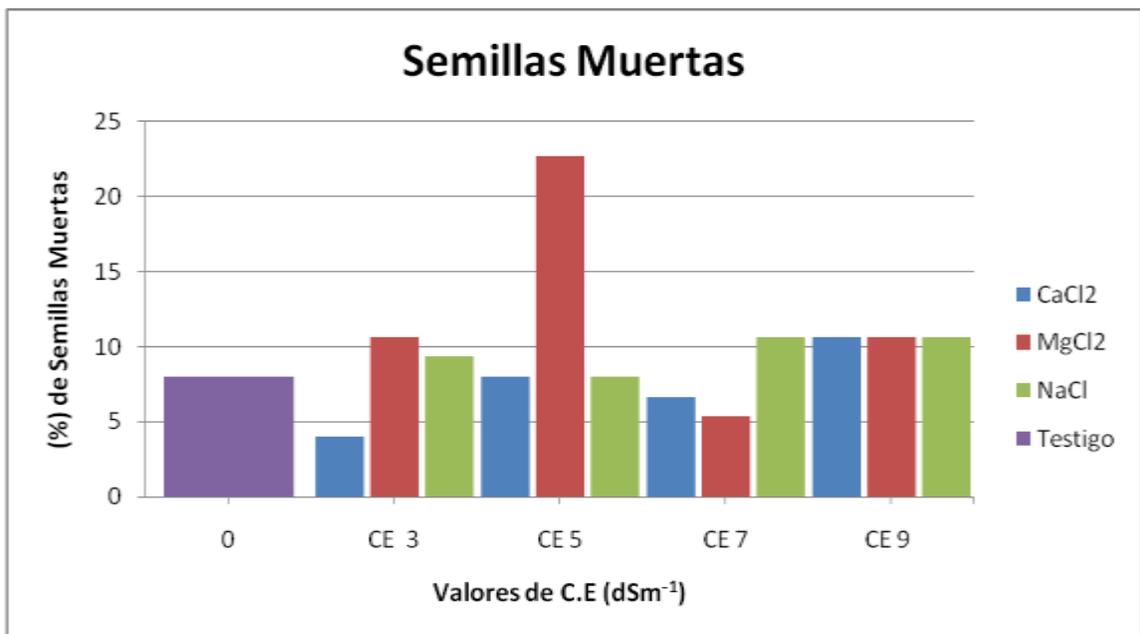
Las sales acumuladas en las raíces de las plántulas ocasionan anomalía mostrando una deformación; esto indica que influye directamente en la germinación. En la figura 4.8 se observa la gráfica del comportamiento de las medias de los tratamientos y el testigo para la variable de plántulas anormales.



**Figura 4.8** Comparación de medias entre tratamientos y el testigo para la variable plántulas anormales.

## Semillas Muertas

En esta variable semillas muertas tenemos que el  $\text{MgCl}_2$  a una concentración de  $5 \text{ dS m}^{-1}$  fue la que presentó un mayor porcentaje de semillas muertas con un 23 por ciento siguiendo el  $\text{CaCl}_2$  y  $\text{NaCl}$  con un 11 por ciento a  $9 \text{ dS m}^{-1}$ , respectivamente quedando al final el  $\text{CaCl}_2$  a  $3 \text{ dS m}^{-1}$  con cuatro por ciento; el testigo obtuvo un 8 por ciento, como se observa en la figura 4.9



**Figura 4.9** Porcentaje de semillas muertas del árbol de los farolitos con cuatro tipos de sales a diferentes concentraciones.

Para la evaluación de esta variable se tomó la lectura al final de la prueba al 21avo día. Al comparar los resultados con el testigo se observó que éste tuvo valores de ocho por ciento. La sal que obtuvo los valores más altos de semillas muertas fue el  $\text{MgCl}_2$  a una concentración de  $5 \text{ dS m}^{-1}$  con un 23 por ciento; le siguen 3 y  $5 \text{ dS m}^{-1}$  con un 11 por ciento, dejando al último  $7 \text{ dS m}^{-1}$  con un cinco por ciento.

Para el caso del  $\text{CaCl}_2$  la concentración que obtuvo el mayor número de semillas muertas fue a  $9 \text{ dS m}^{-1}$  con un 11 por ciento seguido de  $5 \text{ dS m}^{-1}$  con un ocho por ciento dejando, al último  $3 \text{ dS m}^{-1}$  con un cuatro por ciento.

En  $\text{NaCl}$  la concentración que presentó el mayor número de semillas muertas fue  $7$  y  $9 \text{ dS m}^{-1}$  con 11 por ciento seguido de  $3 \text{ dS m}^{-1}$  con ocho por ciento, dejando al último  $5 \text{ dS m}^{-1}$  con un siete por ciento respectivamente (cuadro 4.9)

**Cuadro 4.9** Porcentaje de semillas muertas del árbol de los farolitos bajo cuatro concentraciones y tres tipos de sales.

| <b>Sales</b>            | <b>Concentración<br/>(<math>\text{dSm}^{-1}</math>)</b> | <b>Semillas<br/>Muertas (%)</b> |
|-------------------------|---|---------------------------------|
| <b>Testigo</b>          | 0   | 8                               |
| <b>CaCl<sub>2</sub></b> | 3   | 4                               |
|                         | 5   | 8                               |
|                         | 7   | 7                               |
|                         | 9   | 11                              |
| <b>MgCl<sub>2</sub></b> | 3   | 11                              |
|                         | 5   | 23                              |
|                         | 7   | 5                               |
|                         | 9   | 11                              |
| <b>NaCl</b>             | 3   | 9                               |
|                         | 5   | 8                               |
|                         | 7   | 11                              |
|                         | 9   | 11                              |

**Cuadro 4.10** Análisis de varianza de las variables semillas muertas

| F.V                  | g.l | Sc       | CM     | Fc                  | F $\alpha$ |      |
|----------------------|-----|----------|--------|---------------------|------------|------|
|                      |     |          |        |                     | .05        | .01  |
| Testigo vs Factorial | 1   | 0.045    | 0.045  | 0.001 <sup>NS</sup> | 4.26       | 7.82 |
| Sales                | 2   | 159.550  | 79.775 | 1.203 <sup>NS</sup> | 3.40       | 5.61 |
| C.E.                 | 3   | 169.550  | 56.517 | 0.853 <sup>NS</sup> | 3.01       | 4.72 |
| Sales * C.E.         | 6   | 327.703  | 56.617 | 0.824 <sup>NS</sup> | 2.51       | 3.67 |
| Error Experimental   | 24  | 1590.907 | 66.288 |                     |            |      |
| Total                | 36  | 2247.755 |        |                     |            |      |

NS = No significativo.

En el cuadro 4.11 podemos observar que el  $MgCl_2$  a una concentración de  $5 \text{ dS m}^{-1}$  es la que presenta el mayor número de semillas muertas con un 22.667 por ciento a esta le siguen en  $NaCl$  y  $NaCl_2$  a una concentración de  $9 \text{ dS m}^{-1}$  con un 10.667 por ciento, ambas superando al testigo.

**Cuadro 4.11** Comparación de medias de la variable semillas muertas.

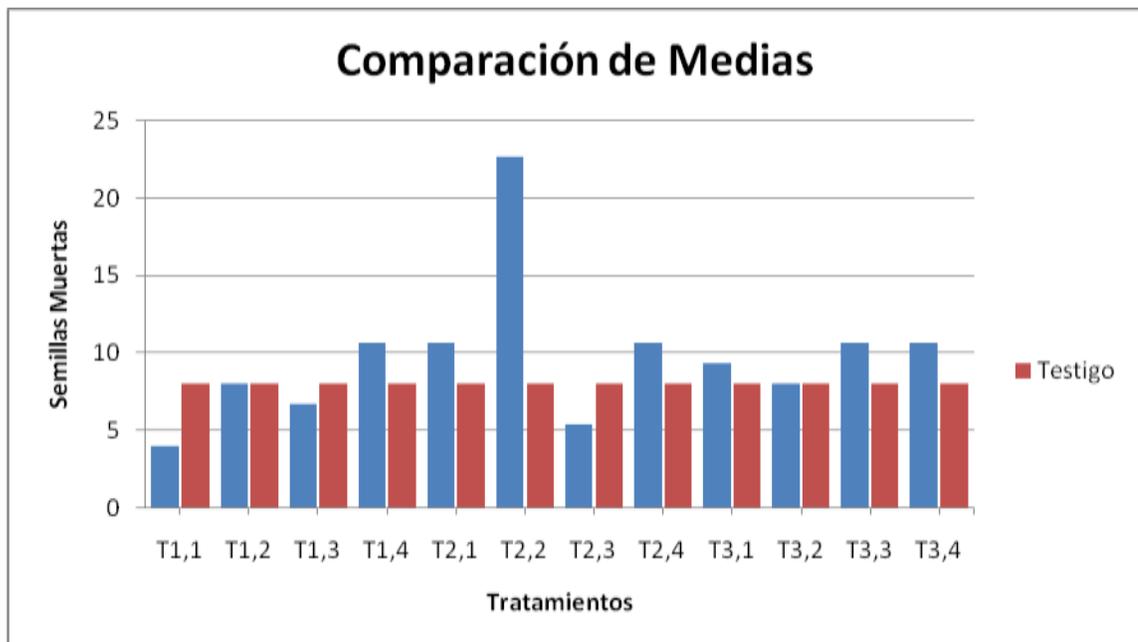
| Sales    | Concentración ( $\text{dSm}^{-1}$ ) | Medias * | Significancia ** |
|----------|-------------------------------------|----------|------------------|
| Testigo  | 0                                   | 8.000    | NS               |
| $CaCl_2$ | 3                                   | 4.000    | NS               |
|          | 5                                   | 8.000    | NS               |
|          | 7                                   | 6.667    | NS               |
|          | 9                                   | 10.667   | NS               |
| $MgCl_2$ | 3                                   | 10.667   | NS               |
|          | 5                                   | 22.667   | NS               |
|          | 7                                   | 5.333    | NS               |
|          | 9                                   | 10.667   | NS               |
| $NaCl$   | 3                                   | 9.333    | NS               |
|          | 5                                   | 8.000    | NS               |
|          | 7                                   | 10.667   | NS               |
|          | 9                                   | 10.667   | NS               |

\*Medias Transformadas

**\*\*Medias Altamente Significativas**

La sal que presentó valores menores de semillas muertas es la de  $\text{CaCl}_2$  a una concentración de  $3 \text{ dS m}^{-1}$  con un 4 por ciento, siendo superada por el testigo como se observa en el cuadro 4.11

En la figura 4.10 se observa la gráfica del comportamiento de las medias de los tratamientos y el testigo para la variable semillas muertas. El tratamiento 2,2 fue el que obtuvo el mayor número con 23 por ciento.



**Figura 4.10** Comparación de medias entre tratamientos y el testigo para la variable semillas muertas.

### Longitud de Hipocotilo

Una vez analizadas las variables plántulas normales, plántulas anormales y semillas muertas, seguimos con las variables que ayudaran a corroborar las pruebas de vigor de las plántulas.

El Análisis de Varianza, (ANVA) cuadro 4.12 muestra diferencias significativas entre las sales y un efecto conjunto entre los factores.

**Cuadro 4.12** Análisis de varianza para la variable longitud del hipocotilo.

| F.V                  | g.l | Sc     | CM    | Fc                  | F $\alpha$ |      |
|----------------------|-----|--------|-------|---------------------|------------|------|
|                      |     |        |       |                     | .05        | .01  |
| Testigo vs Factorial | 1   | 1.293  | 1.293 | 1.665 <sup>NS</sup> | 4.26       | 7.82 |
| Sales                | 2   | 5.077  | 2.538 | 3.269 <sup>*</sup>  | 3.40       | 5.61 |
| C.E.                 | 3   | 2.642  | 0.881 | 1.134 <sup>NS</sup> | 3.01       | 4.72 |
| Sales * C.E.         | 6   | 18.020 | 3.003 | 3.868 <sup>**</sup> | 2.51       | 3.67 |
| Error Experimental   | 24  | 18.638 | 0.777 |                     |            |      |
| Total                | 36  | 45.670 |       |                     |            |      |

NS = No Significativo      \*Significativo      \*\*Altamente Significativo

Una vez analizados por el método de comparación de medias o prueba de “Tukey” (cuadro 4.13) en análisis indica que existen diferencias entre los tratamientos y el testigo; pero podemos observar que el CaCl<sub>2</sub> a una concentración de 7 dS m<sup>-1</sup> es el que obtuvo la mayor longitud de hipocotilo, siguiendo el testigo.

**Cuadro 4.13** Comparación de medias de la variable longitud de hipocotilo. (Tukey).

| Sales                   | Concentración (dSm <sup>-1</sup> ) | Medias * | Significancia ** |
|-------------------------|------------------------------------|----------|------------------|
| <b>Testigo</b>          | 0                                  | 4.130    | NS               |
| <b>CaCl<sub>2</sub></b> | 3                                  | 3.573    | NS               |
|                         | 5                                  | 3.577    | NS               |
|                         | 7                                  | 4.133    | NS               |
|                         | 9                                  | 2.783    | **               |
| <b>MgCl<sub>2</sub></b> | 3                                  | 3.940    | NS               |
|                         | 5                                  | 3.017    | NS               |
|                         | 7                                  | 3.730    | NS               |
|                         | 9                                  | 3.787    | NS               |
| <b>NaCl</b>             | 3                                  | 3.150    | NS               |
|                         | 5                                  | 2.777    | **               |
|                         | 7                                  | 2.453    | **               |
|                         | 9                                  | 3.900    | NS               |

\*Medias Transformadas

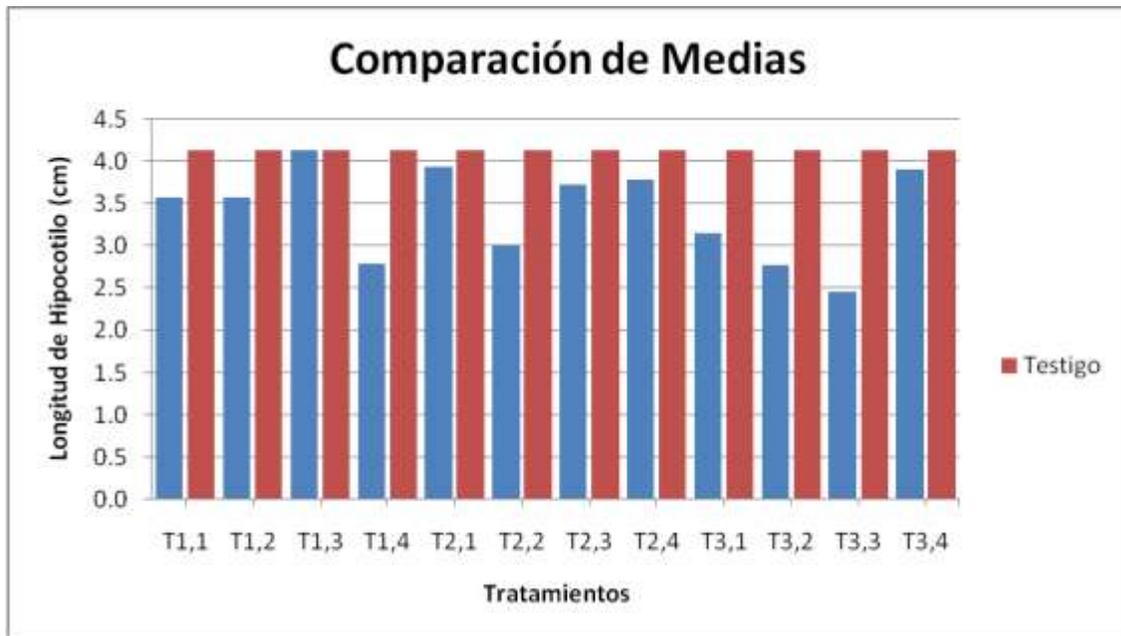
\*\*Medias Altamente Significativas

Tenemos que el CaCl<sub>2</sub> a una concentración de 7 dS m<sup>-1</sup> se encuentra en el primer grupo estadístico seguido del testigo; MgCl<sub>2</sub> una concentración de 3 dS m<sup>-1</sup> y NaCl a una concentración de 9 dS m<sup>-1</sup>. El CaCl<sub>2</sub> a una concentración de 7 dS m<sup>-1</sup> se registró 4.133 cm de hipocotilo siendo ésta la mayor seguido por el CaCl<sub>2</sub> con 5 dS m<sup>-1</sup> donde registro 3.577 dejando al último al CaCl<sub>2</sub> con 9 dS m<sup>-1</sup> con 2.783

El NaCl a una concentración de 7 dS m<sup>-1</sup> se registró 2.453 cm de hipocotilo siendo ésta la menor, observándose como uno de los tratamientos que presentó el peor desarrollo de hipocotilo. Estos resultados se atribuyen a que la sal ocasiona el decremento del tallo.

En general se observó (figura 4.11) que el CaCl<sub>2</sub> presentó un buen vigor a concentraciones menores de 7 dS m<sup>-1</sup> con esto podemos decir que el CaCl<sub>2</sub> permitió una buena germinación a concentraciones medias de sales.

El NaCl es la sal más tóxica porque es donde se obtuvieron los valores más bajos en la medición del hipocotilo.



**Figura 4.11** Gráfica que muestra la longitud del hipocotilo para cada tratamiento.

### Longitud de Raíz

Continuando con las variables de vigor seguiremos con la longitud de raíz.

Esta variable también permite corroborar la buena germinación y el buen número de plántulas normales.

El análisis de varianza (Cuadro4.14) muestra diferencias altamente significativas entre las sales y un efecto conjunto entre los factores.

**Cuadro 4.14** Análisis de varianza para la variable longitud de la raíz.

| F.V                  | g.l | Sc     | CM    | Fc                  | F $\alpha$ |      |
|----------------------|-----|--------|-------|---------------------|------------|------|
|                      |     |        |       |                     | .05        | .01  |
| Testigo vs Factorial | 1   | 0.018  | 0.018 | 0.028 <sup>NS</sup> | 4.26       | 7.82 |
| Sales                | 2   | 15.815 | 7.907 | 12.68 <sup>**</sup> | 3.40       | 5.61 |
| C.E.                 | 3   | 0.277  | 0.092 | 0.148 <sup>NS</sup> | 3.01       | 4.72 |
| Sales * C.E.         | 6   | 16.426 | 2.738 | 4.391 <sup>**</sup> | 2.51       | 3.67 |
| Error Experimental   | 24  | 14.965 | 0.624 |                     |            |      |
| Total                | 36  | 47.501 |       |                     |            |      |

NS = No Significativo

\*\*Altamente significativo

Podemos observar en el cuadro 4.15 que el CaCl<sub>2</sub> a una concentración de 5 dS m<sup>-1</sup> es el que obtuvo mayor longitud de radícula con 3.547 cm y el MgCl<sub>2</sub> a una concentración de 9 dS m<sup>-1</sup> se observó la menor longitud de radícula con 2.047 cm. El testigo mostró un buen comportamiento pues registro valores de 2.640 cm manteniéndose como la longitud media.

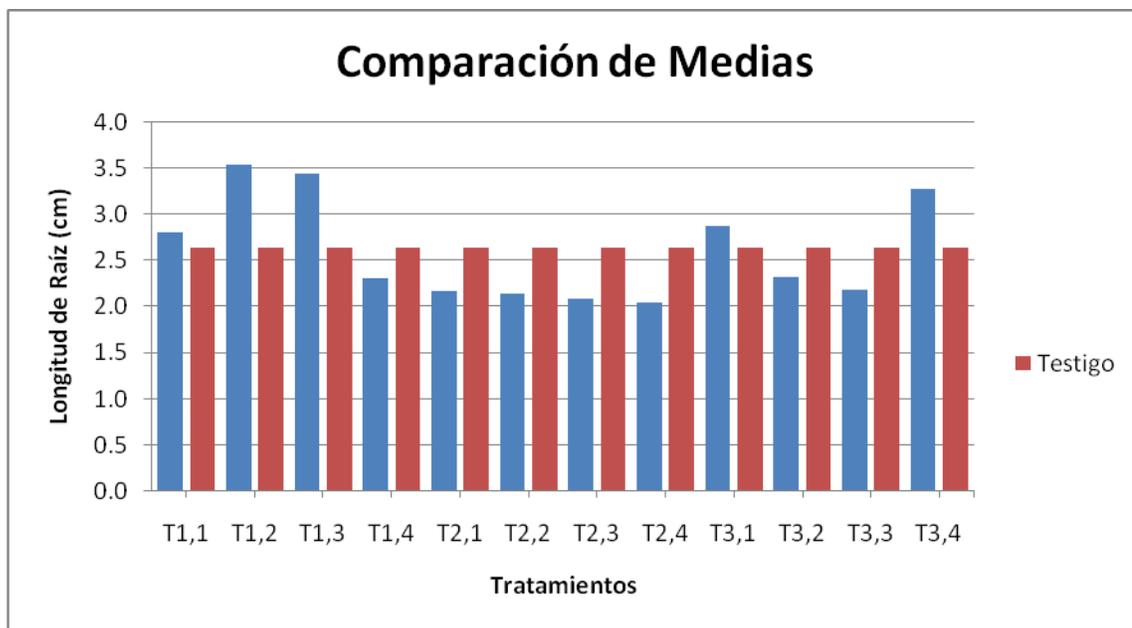
**Cuadro 4.15** Comparación de la variable longitud de raíz.

| <b>Sales</b>            | <b>Concentración<br/>(dSm<sup>-1</sup>)</b> | <b>Medias *</b> | <b>Significancia<br/>**</b> |
|-------------------------|---|-----------------|-----------------------------|
| <b>Testigo</b>          | 0   | 2.640           | NS                          |
| <b>CaCl<sub>2</sub></b> | 3   | 2.810           | NS                          |
|                         | 5   | 3.547           | NS                          |
|                         | 7   | 3.440           | NS                          |
|                         | 9   | 2.317           | NS                          |
| <b>MgCl<sub>2</sub></b> | 3   | 2.177           | NS                          |
|                         | 5   | 2.150           | NS                          |
|                         | 7   | 2.093           | NS                          |
|                         | 9   | 2.047           | NS                          |
| <b>NaCl</b>             | 3   | 2.877           | NS                          |
|                         | 5   | 2.320           | NS                          |
|                         | 7   | 2.180           | NS                          |
|                         | 9   | 3.283           | NS                          |

NS= No Significativo.

En general podemos decir que el mejor tratamiento para la longitud de radícula es el CaCl<sub>2</sub> y el peor fue el MgCl<sub>2</sub>.

También el CaCl<sub>2</sub> a concentraciones medias estimula el crecimiento de raíces, sin embargo a medida que aumenta la concentración se presenta una disminución en la raíz por efectos tóxicos. También podemos observar que el MgCl<sub>2</sub> el tamaño de las raíces se mantiene más estable con respecto al CaCl<sub>2</sub> y NaCl (cuadro 4.15).



**Figura 4.12** Gráfica que muestra la longitud de raíz para cada tratamiento.

### Peso Seco

El análisis de varianza (Cuadro 4.16) no muestra diferencias entre los factores.

**Cuadro 4.16** Análisis de varianza para la variable peso seco.

| F.V                  | g.l | Sc     | CM    | Fc                  | F $\alpha$ |      |
|----------------------|-----|--------|-------|---------------------|------------|------|
|                      |     |        |       |                     | .05        | .01  |
| Testigo vs Factorial | 1   | 0.011  | 0.011 | 0.030 <sup>NS</sup> | 4.26       | 7.82 |
| Sales                | 2   | 2.084  | 1.042 | 2.902 <sup>NS</sup> | 3.40       | 5.61 |
| C.E.                 | 3   | 1.369  | 0.456 | 1.271 <sup>NS</sup> | 3.01       | 4.72 |
| Sales * C.E.         | 6   | 4.287  | 0.714 | 1.990 <sup>NS</sup> | 2.51       | 3.67 |
| Error Experimental   | 24  | 8.617  | 0.359 |                     |            |      |
| Total                | 36  | 16.367 |       |                     |            |      |

NS = No hay Significancia

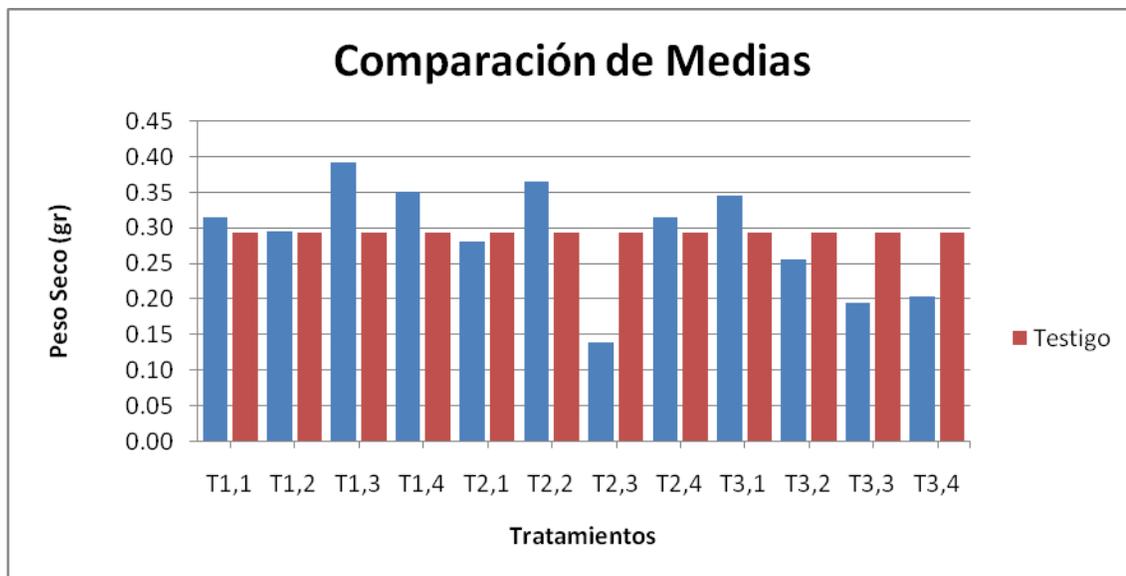
En el cuadro 4.17 encontramos que el  $\text{CaCl}_2$  con una concentración de  $7 \text{ dS m}^{-1}$  se obtuvieron valores de 0.393 gr de peso seco indicando que este fue el valor mayor y que el  $\text{MgCl}_2$  con una concentración de  $7 \text{ dS m}^{-1}$  se obtuvieron valores de 0.139 gr de peso seco indicando que este fue el que obtuvo el valor menor

**Cuadro 4.17** Comparación de la variable peso seco.

| <b>Sales</b>                      | <b>Concentración<br/>(<math>\text{dSm}^{-1}</math>)</b> | <b>Medias<br/>(gr)</b> | <b>Significancia<br/>**</b> |
|-----------------------------------|---|------------------------|-----------------------------|
| <b>Testigo</b>                    | 0   | 0.294                  | NS                          |
| <b><math>\text{CaCl}_2</math></b> | 3   | 0.315                  | NS                          |
|                                   | 5   | 0.296                  | NS                          |
|                                   | 7   | 0.393                  | NS                          |
|                                   | 9   | 0.352                  | NS                          |
| <b><math>\text{MgCl}_2</math></b> | 3   | 0.281                  | NS                          |
|                                   | 5   | 0.366                  | NS                          |
|                                   | 7   | 0.139                  | NS                          |
|                                   | 9   | 0.316                  | NS                          |
| <b><math>\text{NaCl}</math></b>   | 3   | 0.346                  | NS                          |
|                                   | 5   | 0.256                  | NS                          |
|                                   | 7   | 0.195                  | NS                          |
|                                   | 9   | 0.204                  | NS                          |

Entonces los mejores tratamientos que presentaron mayores valores fueron todos los de  $\text{CaCl}_2$  seguido de  $\text{MgCl}_2$  a  $5 \text{ dS m}^{-1}$  con 0.366 gr así como también el de  $\text{NaCl}$  a  $3 \text{ dS m}^{-1}$  con 0.346 gr; pero el tratamiento testigo esta dentro de un rango medio con 0.294 gr. Se observa que el  $\text{MgCl}_2$  a  $3 \text{ dS m}^{-1}$  es el que obtuvo el menor peso.

En general podemos decir que el  $\text{CaCl}_2$  es la mejor sal que presentó mayor vigor para los valores de peso seco y la peor fue el  $\text{MgCl}_2$  (Figura 4.12).



**Figura 4.13** Gráfica que muestra el peso seco para cada tratamiento.

Se observó que los valores más altos de peso seco se obtuvieron con los valores más bajos de sal, esto se debe a que hay un buen vigor en las plantas que germinaron.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusión:

1. En germinación fisiológica el testigo obtuvo un resultado bueno con un valor de 92 por ciento, no siendo este el mejor, siendo el  $\text{CaCl}_2$  a 3 y 5  $\text{dS m}^{-1}$ , el  $\text{MgCl}_2$  a 7  $\text{dS m}^{-1}$  y el  $\text{NaCl}$  a 3  $\text{dS m}^{-1}$  todas con un 99 por ciento.

En condiciones salinas, es decir, en las sales el  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$  y  $\text{NaCl}$  fueron los más altos con un 96 por ciento de germinación ambas a 3  $\text{dS m}^{-1}$ , dejando al último al  $\text{MgCl}_2$  con un 76 por ciento de germinación a 5  $\text{dS m}^{-1}$ .

2. Los efectos que causaron las altas concentraciones en los tres tipos de sales fue de toxicidad y latencia.

3. En plántulas normales la sal que obtuvo los valores más altos fue la de  $\text{CaCl}_2$  a 3  $\text{dS m}^{-1}$  con un 91 por ciento y la sal que obtuvo los valores más bajos, fue el  $\text{MgCl}_2$  a 5  $\text{dS m}^{-1}$  con un 56 por ciento.

4. En plántulas anormales fue el  $\text{MgCl}_2$  a 5  $\text{dS m}^{-1}$  con un 21 por ciento el que obtuvo el valor más alto con respecto al porcentaje. La sal que obtuvo el menor porcentaje fue el  $\text{MgCl}_2$  a 7  $\text{dS m}^{-1}$  con uno por ciento. En condiciones no salinas (testigo) el resultado fue similar al de  $\text{NaCl}$  a 5  $\text{dS m}^{-1}$  con un cuatro por ciento.

5. En semillas muertas la sal que obtuvo el mayor valor fue el  $\text{MgCl}_2$  a 5  $\text{dS m}^{-1}$  con un 23 por ciento. La sal con la que se obtuvo el menor porcentaje después del testigo fue el  $\text{CaCl}_2$  a 3 y 7  $\text{dS m}^{-1}$  y el  $\text{MgCl}_2$  a 7  $\text{dS m}^{-1}$ . El testigo obtuvo 8 por ciento similar al de  $\text{CaCl}_2$  a 5  $\text{dS m}^{-1}$  y al de  $\text{NaCl}$  a 5  $\text{dS m}^{-1}$ .

6. En la variable longitud de hipocotilo la sal que presentó el mejor vigor es el  $\text{CaCl}_2$  a  $7 \text{ dS m}^{-1}$  con una longitud promedio de 4.133 cm igualando al testigo con el mismo valor. La sal que presentó el menor valor de longitud de hipocotilo fue el de  $\text{NaCl}_2$  a  $7 \text{ dS m}^{-1}$  con 2.453 cm. Esto quiere decir que la  $\text{CaCl}_2$  estimula el desarrollo de longitud de plúmula.

7. Para la longitud de la raíz la mejor sal es el  $\text{CaCl}_2$  a  $5 \text{ dS m}^{-1}$  con una longitud promedio de 3.547 cm, la sal que presentó la menor longitud de radícula fue el  $\text{MgCl}_2$  a  $9 \text{ dS m}^{-1}$  con 2.047 cm. En condiciones no salinas (testigo) la longitud fue de 2.047 cm.

8. En la variable de peso seco el mejor tratamiento fue el  $\text{CaCl}_2$  a  $7 \text{ dS m}^{-1}$  con un peso promedio de 0.393 gr, siguiendo el  $\text{MgCl}_2$  a  $5 \text{ dS m}^{-1}$  con 0.366 gr y el  $\text{NaCl}$  a  $3 \text{ dS m}^{-1}$  con 0.346 gr. La sal que obtuvo el menor peso seco fue el  $\text{MgCl}_2$  a  $5 \text{ dS m}^{-1}$  con 0.139 gr. El testigo obtuvo 0.294 gr de peso seco.

### **Recomendaciones:**

1. Se recomienda que se hagan estudios de salinidad a campo abierto para comparar los resultados de laboratorio, ya que influyen otros factores como clima, temperatura, luz, etc.
2. También es conveniente realizar estudios de salinidad a concentraciones más altas, así como en otras etapas del árbol de los farolitos para evaluar en qué etapa fisiológica es más sensible a las sales.
3. Se requiere que se evalúen otras concentraciones de salinidad para obtener una información más completa.
4. Realizar otro experimento sobre el árbol de los farolitos pero con C.E. más altas para poder conocer hasta que nivel es resistente a las sales.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

- Aceves, N. E. 1979. El ensalitramiento de los suelos bajo riego (Identificación, Control, Combate y Adaptación). Colegio de Posgraduados. Chapingo, México. Pp. 160-164
- Alvarado J. L. 1991. Clasificación de Anormalidades en Plántulas de Sorgo en la Germinación Causadas por Envejecimiento y Daño Mecánico. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. Pp. 9.
- Argueta, G. B. 2008. Curso de fisiología vegetal. Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- Association of Official Seed Analysts (OASA), 1978. Rules for testing seeds. J. of Seed Technology. 3(3): 1-126. U.S.A.
- Azcón-bieto, J. y Talón, M. 1993 "Fisiología y Bioquímica Vegetal, Fundamentos de Fisiología Vegetal, Interamericana/Mcgraw- Hill. 232 pp.
- Bar-On, P; Shainberg, I; Michaeli. I. 1970. The electrophoretic mobility of Na/Ca montmorillonite particles. Journal of Colloid and Interface Science, v.33, p.471-472.
- Berlyn, P. G. 1972. Seed dormancy and germination. Ed. Chapman and Hall. New York. Pp 1-37. U.S.A.
- Bernstein, L. y Ayers, A. 1953. Salt tolerance of five varieties of carrots. Proceedings of American Society for Horticultural Sciences 61:360-366.

- Bolívar D. M. 2007. Apuntes de suelos salinos y sódicos, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.
- Brow R. y Meyer. M. 1988. Representing Cumulative Germination IA. Critical Analysis of Single Value Germination Indices. *Annals of Botany* 61: pp 177-125.
- Calderón S. F. 2002. La conductividad eléctrica a granel como base para la medición de humedad del suelo. Bogotá. Colombia
- Copeland, L.O. and Mc. Donald. 1985. Principles of Seed Science and Technology. 2a Edition McMillan Publishing Company. New York, N
- Chartzoulakis, K. & G. Klapaki. 2000. Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Sci. Hort.* 86(3): 247-260.
- De la Garza G. R. 2008. Apuntes de fertilidad de suelos. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. Pp. 78 – 79.
- Dodd, G y L. Donovan. 1999. Water potential and Ionic effects on germination and Seedling Growth of two Cold desert Shrubs. *American Journal of Botany* 86(8). Pp. 1146-1153.
- Feuchter, 2002. Recuperación de los suelos salinos agrícolas, mediante el establecimiento de praderas bajo riegos y cultivos alternativos. Universidad Autónoma de Chapingo. Ciudad Obregón, Sonora, México, sin publicar
- Figueroa V, U. Flores O, M. A. y Rodríguez P, M. 2009. Producción de biomasa de *atriplex lentiformis* regada con agua salina, en el Valle de Juárez, Chihuahua, México, Pp. 101 -106.
- Flowers T.J, Yeo A. R. 1986. Ion Relation of Plants Underdrought and salinity. *Aust Plant Physiol* 13: pp 75-91
- García, B. F. Roselló. C. J. y Santamarina S. M. P. 2006. Introducción al funcionamiento de las plantas, Valencia. Pp. 160 – 165.

Hartaman, H y Kester, D. 1988. Propagación de plantas de México D. F. Editorial Cecsca. Pp 162

Huerta, B. A. 1990. Efecto del osmoacondicionamiento con NaCl y  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  sobre la germinación de semillas del tomate bajo condiciones de salinidad invitro, Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

International Seed Testing Association (ISTA), 1985. Rules for seed testing. Seed Science and Technology. 13 (2). The Netherlands.

Jeschke, W. D. 1984.  $\text{K}^+$ -  $\text{Na}^+$  exchange at cellular compartmentation of cation, and salt tolerance. In salinity tolerance in plants. Pp. 37-66. Wiley Interscience, New York.

Jones, R. A. 1986. High Salt Tolerance Potential in *Lycopersicum* Species During Germination. Euphytica;35. Pp 575-582.

Kafkafi, U. 1991. Root Growth under Stress. Salinity. In the plant Roots. "The Hidden Half". E Warsel, A Eshel. Pp 375-391. New York.

Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press Ltd, Londres

Meyer, B. S.; Anderson D., B. y Bohining, R. H. 1972. Introducción a la fisiología vegetal. Universidad de Buenos aires, argentina. Pp. 59 – 63.

Meza N. A; Pereira y D. Bautista. 2004. Efecto de la salinidad en la germinación y emergencia de semillas de níspero (*Manilkara achras* Miller Fosberg) Rev. Fac. Agron. (LUZ), 21 Supl. 1: 60-66.

Meiri, A. 1969. Plant Response to Salinity. In: Yron, B; E panforms and Y. Vaadia (Ed.). Irrigation in Arid Zone. Ministry in Arid Zone. Ministry of Agriculture, The Vulcan Institute of Agriculture Research and Extension Service Foreign Department. Bet-Israel. Pp. 273-279.

- Munns, R. 2005. Genes and salt tolerance: ringing them together. *New Phytologist*. 167 (3): 645-660.
- Mutzada K, Riazi A. 1981. Strees-Induced Osmotic Adjustement in Growing Regions of Barley leaves. *Plant Phisiol* 68: 571-576.
- Oseguera, C; Moisés. 1986. Salinidad y Fertilidad del Suelo Agrícola Irrigadas con aguas negras en Ramos Arizpe, Coahuila. Tesis de licenciatura. Depto de Riego y Drenaje de la UAAAN, Noviembre de 1986.
- Osmond, C. B; O. Bjorkman and D. J. Anderson. 1980. Physiological processes in Plant Ecology. Towards a Sinthesis with *Atriplex Springer-Verlag Berlin heindelberg*. N.Y. U.S.A, 468 pag.
- Peña, I de la. 1980. Salinidad de los Suelos Agrícolas - Su origen-Clasificación-Prevención y Rehabilitación. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. Pp 1-10.
- Prisco, J. y O'leary, J. 1970. Osmotic and Toxic Effects of Salinity on germination of *Phaseolus vulgaris*. *L.Seeds TUrrialba* 20. Pp 177-184.
- Rains. 1980. Selection of salt Tolerant Plant Using Tissue Culture. En: Genetic Engineering of Osmorrugulation. DW Rains, RC Valentine, A Hollander (eds). Plenum pres. New York. pp 279-292
- Reyes R. P. M. 1993. Latencia de Semillas, mecanismos de control y métodos de rompimiento. Monografía. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.
- Rush, D. W y Epstein. 1981. Comparative Studies on the Sodium Potassium and Chaloride Relation of a Wild halophytic and a Domestic Saltsensitive Tomato Species. *Plant Physiology* 68. 1308 – 1313.
- Salas, J. M. E. Sanabria & R. Pire. 2001. Variación en el índice y la densidad estomática en plantas de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) sometidas a tratamientos salinos. *Bioagro* 13(3): 99

Sánchez M. 2001. Ficha del árbol *Koelreuteria paniculata*. España. Pp 26 – 27

Sattler, S. E. 2004. Vitamin E is essential for Seed Longevity and for Preventing Lipid Peroxidation During Germination, *The Plant Cell*. Vol 16. Pp 1419-1432

Sánchez M. 2001. Ficha del árbol *Koelreuteria paniculata*. Madrid, España. Pp. 26-27.

Schwarz, M, Gale, J. 1981. Maintenance respiration and carbon balance of plant at low levels of sodium chloride salinity *J. Exp Bot* 32: 933-941.

Shalhevet, J. 1973. *Arid Zone Irrigation*, Springer Verlag, New York; Heidelberg; Berlin.

Steel, R. G and J. Torrie H. 1998. *Principles and procedures of Statistics, with Special Reference to the Biological Sciences*. Ed McGraw-Hill Nueva York. Pp. 162-164

Strogonov B. P. 1964. *Physiological Basis of Salt Tolerance Israel Programmed for Scientific Translation*, Jerusalem.

Subbarao, G. V, Johansen C, Jana MK, Kumar rav JVDK. 1990. Effects of Sodium/Calcium ratio in Modifying Salinity Response of Pigeonpea (*Cajanus Cajan*) *J. Plant Physiol* 136: 439 – 443.

Sykes S. R. 1992. The Inheritance of Salt Exclusion in Woody Perennial Fruit Species. *Plant Soil* 146. Pp 123-129.

Tanwar, B. S. 2003. *Saline water management for irrigation International Commission on irrigation and drainage*. New Delhi, India. 140 p.

Tecnológico Pecuario de México. 2007. *Técnica Pecuaria en México*, 2007 enero-abril, año/vol. 45 numero 001INIFAP México. Pp. 19-24

Vázquez, A. R. 1987. Mapeo de Salinidad en la Zona de Pesquería “Ramones Nuevo León” Ramones Nuevo León, México, Pp. 105-111

Wyn Jones RG, Lunt O. R. 1967. The function of calcium in plants Botany Magazine 33:407-426.

Yeo, A. R. 1983. Response of Rhizobium sp. UMKL 20 to Sodium Chloride Stress. Arch Microbial 135: 224-228.

Zhu J. K. 2001. Plant Salt Tolerance. Trends Plant Sc. 6 Pp. 66-77

### **Páginas consultadas**

[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/laec/flores\\_l\\_b/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/laec/flores_l_b/capitulo3.pdf)

[http://www.euita.upv.es/varios/biologia/Temas/tema\\_17.htm#Tipos%20de%20Germinaci%C3%B3n](http://www.euita.upv.es/varios/biologia/Temas/tema_17.htm#Tipos%20de%20Germinaci%C3%B3n).

<http://www.forestaluchile.cl/curso/fivegf/agua.htm>

[http://www.kaligmbh.com/r005es/fertiliser/advisory\\_service/nutrients/sodium.html](http://www.kaligmbh.com/r005es/fertiliser/advisory_service/nutrients/sodium.html)

<http://www.botanical-online.com/germinacion.htm>

