



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**EMERGENCIA Y DESARROLLO DE
PLÁNTULAS DE MEZQUITE
[*Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl.
ex Willd.) M.C. Johnst.] BAJO
GRADIENTES DE MEZCLAS
SALINAS.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

B I O L O G O

P R E S E N T A:

CARLOS ENRIQUE SALAS GARCÍA



DIRECTOR DE TESIS: DR. ARCADIO MONROY ATA

2003



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

IN MEMORIAN

† A mi abuelita Sra. Teresa García Camey
Por sus cuidados, consejos y enseñanzas.

† A mi madre Sra. Guadalupe García Son
Todo mi amor y reconocimiento por su incansable labor de padre y
madre.

DEDICATORIA

A mi tía Martha García Son
Por su apoyo incondicional y por ser un ejemplo de tenacidad ante
las adversidades.

A mis primos Patricia y Mario
Que sigamos unidos en las buenas y las malas.....gracias por
soportarme.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Acadio Monroy Ata por la dirección, asesoría y amistad otorgada durante la realización del presente trabajo.

Agradezco profundamente al Biol. Ramiro Ríos Gómez por su asesoría, paciencia y apoyo incondicional.

Al M. en C. Armando Cervantes Sandoval por su invaluable ayuda para la realización del análisis estadístico.

A mis sinodales: Dra. Amada Laura Reyes Ortigoza, M. en C. Mariana Hernández Apolinar y al M en C. Pedro Eloy Mendoza Hernández, por sus valiosas observaciones y sugerencias para el mejoramiento del presente manuscrito.

Agradezco particularmente a Vicente Prado y a su familia por su amistad y apoyo sin el cual este trabajo no hubiese sido posible.

A la M. en C. Esther García, al Dr. Edmundo García, al Dr. Juan Frías y al Dr. José Luis Villanueva por su auxilio para la adquisición del material bibliográfico.

A mis amigos(as) de generación y durante la carrera: Alma Navarro, Claudia Sánchez, Edith Zarate, Miriam Sánchez, Mónica Ramírez, Norma Rodríguez, Norma Saucedo, Aarón García, Oscar Cruz y Xavier Valencia por su amistad durante todos estos años.

A los integrantes de la Unidad de Investigación en Ecología Vegetal: M. en C. Socorro Orozco, M. en C. Rosalva García, Pas. de Biol. Maribel Flores y al Biol. Roberto Ramos. De forma muy particular a Imelda Valencia, Beatriz Martínez y a "Los Juanes" (Juan Estévez, Juan Miranda, Juan Carlos y Gustavo Pérez) por darme la oportunidad de conocerlos.

A la Facultad de Ciencias y Facultad de Estudios Superiores Zaragoza por la formación profesional y personal que me brindó.

CONTENIDO

	Pag.
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	iv
1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCIÓN	3
3. MARCO TEÓRICO	5
3.1 GENERALIDADES SOBRE SUELOS SALINOS	5
3.1.1 Importancia de los suelos salinos	5
3.1.2 Origen de las sales en los suelos	5
3.1.3 Procesos formadores de suelos salinos	7
3.1.4 Principales tipos de sales que afectan los suelos	7
3.1.5 Clasificación de los suelos con ensalitramiento	8
3.1.6 Tipos salinos en función de la relación iónica	8
3.2 EFECTOS DE LAS SALES EN LAS PLANTAS	10
3.2.1 Efectos salinos sobre los vegetales	10
3.2.2 Tolerancia a la salinidad	10
3.2.3 Salinidad en <i>Prosopis</i>	11
3.3 EL MEZQUITE ¿UNA OPCIÓN PARA LOS SUELOS SALINOS?	13
4. OBJETIVOS	17
5. HIPÓTESIS	17
6. MATERIALES Y MÉTODOS	18
6.1 CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE COLECTA	18
6.2 CARACTERÍSTICAS DE LA ESPECIE EMPLEADA	20
6.3 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA EXPERIMENTAL	21
6.4 CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL	21
6.5 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE SEMILLAS EMPLEADAS	21
6.6 TRATAMIENTOS SALINOS EMPLEADOS.	23
6.7 PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS SALINAS	24
6.8 REGISTRO DE VARIABLES DE RESPUESTA	25
6.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS VARIABLES DE RESPUESTA	25

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
7.1 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (dSm^{-1}) DE LAS MEZCLAS SALINAS UTILIZADAS	28
7.2 EMERGENCIA	29
7.3 TASA RELATIVA DE CRECIMIENTO (TRC)	33
7.4 COBERTURA FOLIAR	36
7.5 NÚMERO Y LONGITUD DE RAÍCES	40
7.6 BIOMASA FRESCA Y SECA DE LA RAÍZ Y PARTE AÉREA (VÁSTAGO).	43
7.7 MORTALIDAD	47
7.8 EFECTOS MORFOLÓGICOS PRODUCIDOS POR LAS MEZCLAS SALINAS	48
8. CONCLUSIONES	52
9. RECOMENDACIONES	53
10. REFERENCIAS	54
APÉNDICE A	I
APÉNDICE B	VIII
APÉNDICE C	IX

ÍNDICE DE CUADROS

	Pag.
Cuadro 1. Tipos de salinidad en función de las relaciones iónicas predominantes.	9
Cuadro 2. Características de las localidades en donde se colectó el germoplasma.	18
Cuadro 3. Mezcla salina y relación iónica empleada.	23
Cuadro 4 Gradientes de salinidad y concentración teórica empleadas.	23
Cuadro 5. Comportamiento de la conductividad eléctrica conforme aumentó la concentración salina.	28
Cuadro 6. Porcentaje y velocidad de emergencia final (Índice de Maguire) en plántulas de <i>P. laevigata</i> .	31
Cuadro 7. Tasa Relativa de Crecimiento (TRC) en plántulas de <i>P. laevigata</i> .	35
Cuadro 8. Efectos de las mezclas salinas sobre la cobertura foliar de plántulas de <i>P. laevigata</i> .	38
Cuadro 9. Número y longitud de raíces promedio en plántulas de <i>P. laevigata</i> , en las diferentes mezclas salinas.	42
Cuadro 10. Porcentaje de humedad, biomasa fresca-seca de la raíz-vástago y cociente R/S de las plántulas de <i>P. laevigata</i> .	46
Cuadro 11. Porcentajes finales de mortalidad en plántulas de <i>P. laevigata</i> en los tipos salinos.	47
Cuadro 12. Efecto de los tipos salinos sobre las variables de respuesta estudiadas.	49
Cuadro 13. Valores teóricos de conductividad eléctrica y concentraciones de los tratamientos salinos a los que se expusieron las semillas de mezquite (<i>P. laevigata</i>).	VI
Cuadro 14. Volumen de solución madre utilizada para la preparación de las mezclas salinas.	VII
Cuadro 15. Resumen de las pruebas estadísticas obtenidas en las variables de respuesta evaluadas.	VIII

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Individuos de <i>P. laevigata</i> en el Valle del Mezquital.	13
Figura 2. <i>Prosopis laevigata</i> (Pennington y Sarukhán, 1998).	15
Figura 3. Área de colecta de semillas de <i>P. laevigata</i> .	19
Figura 4. Representación esquemática de la unidad experimental.	22
Figura 5. Distribución de las unidades experimentales.	22
Figura 6. Conductividad eléctrica real a 25 °C por las mezclas salinas empleadas.	28
Figura 7. Porcentaje de emergencia diaria acumulada en plántulas de <i>P. laevigata</i> .	32
Figura 8. Comportamiento de la cobertura en los diferentes gradientes de mezclas salinas, conforme transcurrió el tiempo (días).	39

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

	Pag.
Foto 1. Persistencia de la testa en las plántulas que emergieron.	50
Foto 2. Escasa emergencia de plántulas de <i>P. laevigata</i> .	50
Foto 3. Manchado de hojas cotiledonares y de los folíolos.	50
Foto 4. Necrosis de plántulas durante la emergencia.	50
Foto 5. Pérdida de los folíolos de las pinnas.	50
Foto 6. Desarrollo anormal de los folíolos de las pinas de <i>P. laevigata</i> .	50
Foto 7. Plántulas de <i>P. laevigata</i> con escaso crecimiento.	51
Foto 8. Deshidratación de plántulas por elevada salinidad.	51
Foto 9. Mortalidad de plántulas por salinidad.	51
Foto 10. Crecimiento radical en las sales clorhídrica y sulfático-clorhídrica (a), respecto a los mezclas clorhídrico-sulfática y sulfática (b).	51

1. RESUMEN

En la República Mexicana día con día se incrementa la proporción de suelos con salinidad, ya sea por procesos naturales o antropogénicos. La elevada salinidad reduce el rendimiento del suelo, además de dificultar el establecimiento de la vegetación; por ello, una alternativa para afrontar esta problemática es el empleo de plantas tolerantes a condiciones de ensalitramiento, como por ejemplo *Prosopis*, género ampliamente distribuido en el país. Ante esta circunstancia, es preciso tener información precisa que permita utilizar este recurso biótico para favorecer el mejoramiento y aprovechamiento de los suelos con problemas de salinidad en las zonas áridas y semiáridas del centro-norte y noreste del país. El objetivo del presente trabajo fue analizar el efecto de cinco mezclas salinas, sobre la emergencia y desarrollo de plántulas de *Prosopis laevigata*, para ello se emplearon las siguientes mezclas salinas: clorhídrica, clorhídrico-sulfática, sulfática-clorhídrica, sulfática y sulfático-sódica. Para esto, se calculó la cantidad de sales (gL^{-1}), necesarias para generar una conductividad eléctrica teórica de 1.0, 2.0, 3.5, 5.0, 7.5 y 9.0 dSm^{-1} , así como un testigo de agua destilada. El trabajo se realizó bajo condiciones de invernadero; se emplearon semillas de *P. laevigata*, colectadas en las localidades de San Nicolás, Tasquillo y Naxthey, en el Valle del Mezquital, Estado de Hidalgo. El efecto salino se evaluó midiendo la emergencia, cobertura, tasa relativa de crecimiento (TRC), número y longitud de raíces, biomasa fresca y seca de raíz y del vástago, cociente raíz-vástago (R/S) y mortalidad.

Los resultados revelaron que la mayor sensibilidad a los tipos salinos durante la fase de emergencia como de plántula de *P. laevigata*, ocurrió en las sales clorhídrica-sulfática y sulfática, principalmente. En la sulfática la reducción fue más drástica a una conductividad eléctrica superior a 5 dSm^{-1} , pues la emergencia, tasa relativa de crecimiento, cobertura foliar, número de raíces por plántula y longitud de raíces disminuyeron hasta un 56.9%, 0.092 día^{-1} , 0.86 cm^2 , 1.0 raíces/planta y 0.65 cm, respectivamente. A su vez, la biomasa fresca de la raíz y el vástago decreció a medida que se incrementó la concentración salina, siendo menos grave la reducción en la clorhídrico-sulfática, para el vástago. La disminución fue más evidente sobre la biomasa seca de raíz y vástago para los tipos salinos experimentados, incluso se presentó una mayor mortalidad de plántulas, además de registrarse varias alteraciones morfofisiológicas. La raíz fue el órgano más sensible en todas las salinidades, lo cual se evidenció sobre la biomasa fresca como en la biomasa seca, principalmente cuando la concentración del ión sulfato fue elevada.

Todos los efectos anteriormente señalados se agudizaron al aumentar la concentración y el tiempo de exposición, aunque la reducción fue escasa en las sales menos dañinas (clorhídrica y sulfática-clorhídrica). En conclusión, durante la etapa de emergencia y de plántula de *P. laevigata* se presentó una tolerancia variable a los cinco tipos salinos, durante los 19 días de exposición, especialmente cuando la CE fue superior a 5 dSm^{-1} . Por lo anterior, se puede afirmar que las plántulas de *P. laevigata* se pueden establecer, con una alta probabilidad de obtener resultados satisfactorios, en suelos con problemas de salinidad y cuya conductividad eléctrica sea de hasta 5 dSm^{-1} .

La capacidad de poder tolerar condiciones de elevada salinidad por cloruros permitirían introducir a *P. laevigata* en suelos preferentemente con una salinidad clorhídrica y sulfático-clorhídrica, los cuales se encuentran ampliamente distribuidos en las zonas áridas y semiáridas (e.g. Altiplano Potosino-Zacatecano). Incluso las plántulas de *P. laevigata* podrían ser utilizadas para reforestar zonas áridas, áreas próximas a las costas o en suelos con ensalitramiento, como por ejemplo, los suelos salino-sódicos del ex-Lago de Texcoco.

2. INTRODUCCIÓN

La República Mexicana presenta una elevada proporción de suelos salinos, ya sea por procesos naturales o bien por efecto antropogénico, principalmente por un mal manejo edáfico. Se calcula una superficie afectada por salinización y sodificación superior al 30%, respecto a la superficie del país, estimada en 1'254,607.45 km² (Ortiz *et al.*, 1994; INEGI, 1999). Los principales grupos de suelos afectados por salinización están principalmente situados en las zonas del centro-norte y noreste del país (Aguirre, 1993). La elevada salinidad reduce el rendimiento del suelo y en muchas ocasiones, lo vuelve improductivo, dificultando el establecimiento de la vegetación, ya que la concentración excesiva de sales puede inhibir severamente el crecimiento y desarrollo de las plantas (Maas y Hoffman, 1977).

A pesar de que existen múltiples opciones orientadas hacia el mejoramiento y posterior aprovechamiento de los suelos salinos de las zonas áridas y semiáridas, la afectividad ha sido baja debido en gran parte al elevado costo económico de tales medidas o bien, por su dificultad de ejecución, lo cual es agravado por la escasa disponibilidad de agua en estas regiones. Por tal motivo, el empleo de vegetación arbórea nativa tolerante al estrés salino surge como una alternativa viable para el mejoramiento y aprovechamiento de los suelos con problemas de ensalitramiento en las regiones áridas y semiáridas del centro-norte y noreste del territorio nacional.

En México se han efectuado estudios relacionados a la utilización de vegetación resistente al estrés salino, no obstante la mayoría se ha realizado con vegetación exótica (*e.g.* eucalipto y casuarina) y escasamente se han utilizado plantas nativas, como el mezquite. En este sentido, las plantas del género *Prosopis*, comúnmente conocidos como mezquites, destacan por su capacidad de poder crecer en suelos salinos y con baja fertilidad (Jarrell y Virginia, 1984; Ortega *et al.*, 1986), por lo que se les ha considerado en planes de suelos con ensalitramiento e incluso, han sido ampliamente recomendadas para reforestar las zonas áridas y semiáridas del país (Jaramillo, 1994; Ramírez y Villanueva, 1998). Actualmente, varias especies de mezquite se emplean en diferentes partes del mundo (*v.g.* India, Sudamérica e Israel) para la rehabilitación de suelos degradados o con exceso de sales (Singh, 1995; Ramírez y Villanueva, 1998; Tomar *et al.*, 1998).

De las nueve especies de mezquite reconocidas para nuestro país destaca *P. laevigata* (Rzedowsky, 1988; Palacios *et al.*, 2000), especie típica del centro de México (Villanueva, 1993; Maldonado y De la Garza, 2000). Desde tiempos ancestrales hasta la actualidad, esta especie ha sido un recurso natural de importancia para los habitantes de las zonas áridas y semiáridas del país (*e.g.* Valle del Mezquital y Altiplano Potosino) debido a sus múltiples usos (alimenticio, forrajero, forestal, medicinal, entre otros). El presente estudio tiene como objetivo evaluar el efecto de seis concentraciones salinas de cinco mezclas salinas sobre la emergencia y desarrollo inicial en plántulas de *P. laevigata*. A pesar de la existencia de algunos trabajos sobre la especie atrás señalada (López, 2001; Meraz *et al.*, 2001), estos se han centrado en el efecto del cloruro de sodio (NaCl) como único responsable de la salinidad, pese a que los efectos salinos no están necesariamente relacionados con lo que ocurre en la naturaleza.

El análisis de cómo afectan las mezclas salinas la emergencia y desarrollo temprano en plántulas de *P. laevigata* resulta importante, pues proporcionaría una imagen más real sobre cómo afecta la salinidad bajo condiciones naturales, debido a que si una planta supera esta etapa crítica tiene altas probabilidades de sobrevivencia, esta información sería de gran utilidad para la introducción de esta especie en amplias áreas de México afectadas por ensalitramiento, con el propósito de poder rehabilitar y aprovechar los suelos salinos e incluso reforestar estas zonas. Para ello, es necesario un profundo conocimiento de la fisiología de la especie, concretamente en lo que se refiere a la resistencia al estrés hídrico o salino, lo cual disminuiría las probabilidades de fracaso en algunos de los objetivos antes citados. Y se incrementaría la productividad de suelos con salinidad o abandonados por esta causa; así mismo, este trabajo generaría un mayor conocimiento sobre la biología y ecología de la especie.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 GENERALIDADES SOBRE SUELOS SALINOS

3.1.1 Importancia de los suelos salinos

La mayoría de los animales, incluido el hombre, se alimentan de plantas que requieren del agua dulce procedente de la precipitación, los ríos, lagos, manantiales y arroyos. Ninguna de las cinco especies vegetales de mayor consumo humano (trigo, maíz, arroz, papa y soja) toleran la sal. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura estima que en los próximos 30 años, se necesitarán 200 millones de hectáreas de nuevas tierras de cultivo, sólo para alimentar a la población de los trópicos y subtropicos. Los países afectados por la salinidad cuentan con sólo 93 millones de hectáreas para la expansión de sus explotaciones agrícolas; gran parte de este suelo, además, corresponde a los bosques que deben protegerse (Glenn *et al.*, 1998).

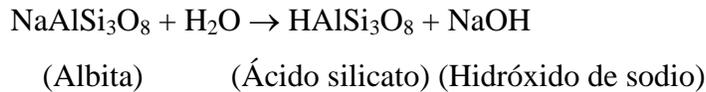
La salinidad en el suelo puede ser natural o inducida por el hombre, siendo denominada salinización primaria y secundaria, respectivamente (Ghassemiani *et al.*, 1995). En México, las zonas centro-norte y noreste son las más afectadas por salinización primaria, debido a que se ubican en la parte más árida del país, las zonas áridas y semiáridas ocupan cerca del 52.5% del país (CONAZA, 1994b). Mientras que la salinización secundaria, exhibe desde un grado de afectación ligero y en otros se presenta como el principal factor limitante para la agricultura. Sólo en las áreas bajo riego, se estima la existencia de más de 520'000 hectáreas afectadas, que representan cerca del 25% del total de los terrenos bajo riego y la cifra sigue en aumento; ocasionado principalmente por el uso de aguas de mala calidad bajo condiciones de alta evaporación (Ortiz, 1992).

3.1.2 Origen de las sales en los suelos

Las principales fuentes de sales solubles son los minerales primarios de la corteza terrestre, el océano y los depósitos fósiles (Aceves, 1979), las cuales se detallan a continuación:

- a) Minerales de la corteza terrestre: Son los minerales primarios que se encuentran en los suelos y rocas expuestas de la corteza terrestre, los cuales son liberados mediante procesos geoquímicos y bioquímicos, dando lugar a nuevas combinaciones que son más fácilmente atacadas por la intemperización química. Estos procesos se describen a continuación:

- En la hidrólisis interviene el agua, reaccionando con un gran número de minerales, por ejemplo la albita que es un feldespato, reacciona de la siguiente forma:



- En la carbonatación se forman carbonatos y bicarbonatos (sales) a partir de CO_2 , de H_2CO_3 que reacciona con diversas bases.



- b) Sales cíclicas: Se originan en el océano por el rompimiento de las olas del mar y el choque de las mismas en las costas, lo que libera cantidades considerables de sales hacia la atmósfera, particularmente durante tempestades, siendo la fuente principal de Cl^- y SO_4^{-2}
- c) Depósitos fósiles: Son de origen marino con aguas o sales remanentes de tiempos geológicos, cuando los sedimentos se encontraban bajo el mar y emergieron debido a movimientos tectónicos. Estas sales son comúnmente liberadas por el agua superficial o subterránea en forma natural, o como resultado de actividades antropogénicas.
- d) Otras fuentes de sales: Las tolvaneras levantadas por el viento en suelos salinos-sódicos, como en el ex-lago de Texcoco, pueden ser consideradas como fuente de sales. Por otra parte, la actividad de los volcanes puede liberar cantidades considerables de Cl^- , SO_4^{-2} , H_2S y B. Otra es la actividad biológica, ya que los microorganismos que fijan N_2 y C, pueden sodificar los suelos por reducción de SO_4^{-2} y formación de Na_2CO_3 . Muchas plantas halófitas pueden contribuir a la acumulación de sales, debido a la absorción de iones por las raíces y su deposición en la superficie del suelo cuando los tejidos de las plantas se descomponen. Finalmente, tenemos sales de origen antropogénico que se forman de los gases que se eliminan en los motores de combustión interna y en general de todos los contaminantes urbanos, derivados de los desechos domésticos y de la industria, como CO_2 , SO_2 , NO y O_3 .

Los iones que comúnmente se solubilizan mediante los procesos anteriores son: Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , SO_4^{-2} , HCO_3^- , CO_3^{-2} y NO_3^- .

3.1.3 Procesos formadores de suelos salinos

De acuerdo a la geografía y la geoquímica, los procesos de formación de suelos salinos pueden agruparse en los siguientes ciclos de acumulación de sales:

- a) Ciclos continentales: Se asocian con el movimiento, redistribución y acumulación de carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y cloruros en áreas con drenaje deficiente (Aceves, 1979; Ortega, 1990), como en las cuencas endorreicas (v.g. Valle de México).
- b) Ciclos marinos: Están relacionados con la acumulación de sales de origen marino, principalmente cloruro de sodio; ocurre en las planicies costeras en áreas bajas y secas y a lo largo de las costas y bahías de baja profundidad (Aceves, 1979).
- c) Ciclos deltaicos: Se caracterizan por una combinación compleja de movimientos y por la acumulación de sales transportadas por los ríos o por el mar en diferentes ocasiones (Aceves, 1979).
- d) Ciclos artesianos: Dependen de la evaporación de aguas subterráneas que afloran a la superficie a través de fracturas tectónicas y estructuras geológicas destruidas, en su movimiento pueden atravesar materiales que den origen a su salinización (Aceves, 1979).
- e) Ciclos antropogénicos: Resultan de actividades del hombre que promueven la acumulación de las sales (Aceves, 1979). Por ejemplo, la salinización de los suelos bajo riego por ascenso de los niveles freáticos, salinización de pastizales por una mala explotación y riego con aguas de elevada concentración salina (Ortega, 1993).

3.1.4 Principales tipos de sales que afectan los suelos

El conocimiento del comportamiento de las sales solubles en el suelo y sobre las plantas es primordial para el aprovechamiento de los suelos salinos, debido a su gran complejidad y variabilidad espacio-temporal (Porta *et al.*, 1994). Dependiendo de las condiciones específicas de cada región influyen en la distribución de las sales en el suelo, esto porque uno o más iones pueden estar presentes en la zona radical en elevadas concentraciones, afectando el rendimiento de los vegetales (Maas y Hoffman, 1977).

De acuerdo con Kovda (Szabolcs, 1979), los principales tipos de sales que influyen en la formación de suelos salinos son los siguientes:

- i) Carbonatos: Están ampliamente distribuidos en los suelos, subsuelo y agua subterránea de los desiertos, semidesiertos, estepas y en ocasiones en estepas de bosques. Los carbonatos que provocan salinización del suelo son el carbonato de sodio (Na_2CO_3) y bicarbonato de sodio (NaHCO_3).
- ii) Sulfatos: Se encuentran en los suelos y aguas subterráneas de las estepas y desiertos, en cantidades considerables. El sulfato de magnesio (MgSO_4) y sulfato de sodio (Na_2SO_4) son los que frecuentemente se encuentran salinizando los suelos.
- iii) Cloruros: Junto con los sulfatos, son los componentes principales responsables de la formación de suelos salinos. Se caracterizan por su elevada solubilidad y toxicidad. Los cloruros responsables del ensalitramiento de los suelos son el cloruro de calcio (CaCl_2), cloruro de magnesio (MgCl_2) y cloruro de sodio (NaCl).

3.1.5 Clasificación de los suelos con ensalitramiento

La clasificación de los suelos con salinidad o ensalitramiento más comúnmente empleada es la propuesta por el Laboratorio de Salinidad del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés), la cual diagnostica y define el grado de salinidad de un suelo con base a determinaciones hechas en muestras de suelo (Richards, 1980), para ello considera la conductividad eléctrica (CE) a 25 °C, el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y pH del extracto de saturación del suelo (Ghassemani *et al.*, 1995). Estos parámetros permiten clasificar los suelos con ensalitramiento en cuatro tipos: suelos no salinos ni sódicos, suelos salinos, suelos sódicos y suelos salino-sódicos.

3.1.6 Tipos salinos en función de la relación iónica

La clasificación de la USDA es la que actualmente se emplea en México (SEMARNAT, 2000), no obstante, presenta serias limitantes, pues generaliza la problemática por salinidad sea cual sea su grado de afectación; además el valor de conductividad eléctrica y sodio intercambiable dan poca información y el límite de 15% para PSI es tentativo y arbitrario (Llerena, 1993); todo esto, aporta datos poco precisos acerca de los posible efectos sobre las plantas.

Los efectos por salinidad sobre la vegetación están determinados no sólo por el contenido total de sales, sino también por la relación iónica de las diferentes sales del sustrato (Strogonov, 1964). Una opción para evaluar el grado de salinidad del suelo y su relación con la vegetación es aquella definida en función de los principales iones que ocasionan el ensaltramiento del suelo (Na^+ , Cl^- , SO_4^{-2} , HCO_3^-). Dichos iones condicionan una serie de procesos que ocurren en los suelos, lo cual producirá diferentes condiciones para el desarrollo de las plantas, así como también distintas respuestas en función de la relación iónica presente (Ortega, 1993). Lo anterior, nos brinda información más exacta del efecto por estrés salino, debido a que en la naturaleza los efectos por salinidad son producto de la participación de más de una sal.

Considerando las relaciones aniónicas y catiónicas presentes en los suelos es posible diferenciar seis tipos salinos (**Cuadro 1**).

Cuadro 1. Tipos de salinidad en función de las relaciones iónicas predominantes.

Tipo de salinidad	Relación iónica		Características
	$\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{-2}$	$\text{HCO}_3^-/(\text{Cl}^-+\text{SO}_4^{-2})$	
Clorhídrica	> 2		Predominancia de Cl^- , pequeñas cantidades de HCO_3^- y CO_3^{-2} . Estos suelos se encuentran en sitios próximos a las playas, debido al efecto permanente del agua de mar que conduce a que el NaCl se acumule en la superficie.
Sulfático-clorhídrica	1-2		Predominancia del Cl^- , pequeñas cantidades de HCO_3^- ; el CO_3^{-2} no existe. Se localizan en sitios próximos a las costas o bien, zonas anegadas temporal o permanentemente, lo que produce la acumulación de NaCl . Así como en las zonas semiáridas (Altiplano Potosino-Zacatecano), siendo identificados como suelos salino-sódicos.
Clorhídrico-sulfática	0.2-1		Predominancia del SO_4^{-2} sobre los cloruros y frecuentemente, se localizan en depresiones continentales y en las zonas semiáridas (Altiplano Potosino-Zacatecano).
Sulfática	< 0.2		Presencia de sodio (Na_2SO_4) y pequeñas cantidades de HCO_3^- . Así como MgSO_4 y CaSO_4 .
Sulfático-sódica		2	El ión SO_4^{-2} condiciona la aparición de CO_3^{-2} y HCO_3^- y la consecuente formación de soda. Son identificados como suelos alcalinos.
Sódica	> 1		Altos contenidos de sodio y bajos de HCO_3^- y CO_3^{-2} . Denominados como suelos sódicos.

Elaborado a partir de Szabolcs, 1979; Ruiz-Vera, 1995; Namuche *et al.*, 2000.

3.2. EFECTOS DE LAS SALES EN LAS PLANTAS

3.2.1 Efectos salinos sobre los vegetales

Los suelos con ensalitramiento provocan estrés en las plantas, entendiéndose como estrés una influencia adversa que tiende a inhibir el desarrollo normal de los vegetales (Hopkins, 1995), o bien cualquier cambio en las condiciones ambientales que induzca una respuesta en la planta que sea menor a la óptima (Levitt, 1972). Las plantas sufren de estrés cuando las sales se acumulan de forma excesiva en el suelo, debido principalmente a dos efectos:

- Efectos osmóticos: Provocados por la elevada concentración salina que incrementa los potenciales osmóticos del agua del suelo, restringiendo su asimilación por parte de las plantas (Foth y Turk, 1972; Aguirre, 1993; Hopkins, 1995), lo cual tiene una marcada influencia en el crecimiento y metabolismo vegetal (Kramer, 1989).
- Efectos tóxicos por iones: Los daños sobre las plantas que no pueden ser relacionados con los efectos osmóticos del sustrato se deben a un efecto tóxico ocasionado en parte, a través de efectos en la absorción o el metabolismo de nutrimentos esenciales. Aunque la magnitud de los daños dependen de la cantidad y tipo de iones absorbidos, así como de la sensibilidad del vegetal (Bernstein, 1975; Richards, 1980; Aguirre, 1993; Ruiz-Vera, 1995).

3.2.2 Tolerancia a la salinidad

Las especies vegetales dependiendo de su respuesta a condiciones de estrés salino se les ha dividido en glicófitas o halófitas. Las plantas que toleran suelos con una alta concentración de sales son conocidas como halófitas, responden a la salinidad tomando el sodio y cloro en elevadas proporciones y los acumulan en sus hojas, utilizando las sales almacenadas para ajustarse osmóticamente al disminuir el potencial hídrico del suelo y así mantener la turgencia. Mientras que las glicófitas, responden a bajas concentraciones salinas por exclusión de sales por medio de bajas tasas de transporte de sodio o cloro o ambos, o bien se ajustan osmóticamente a bajos potenciales hídricos mediante la síntesis de solutos orgánicos (Poljakoff-Mayber y Gale, 1975; Flower *et al.*, 1977; Greenway y Munns, 1980; Läuchi y Epstein, 1984; Hopkins, 1995). En este sentido, el *Prosopis* se ha destacado por su capacidad de tolerar elevados contenidos de salinidad en el suelo, lo cual le permite ser una alternativa a considerar cuando se presentan las condiciones atrás señaladas.

3.2.3 Salinidad en *Prosopis*

Levitt (1972), para referirse a la forma en que las plantas hacen frente a la tensión ambiental, distinguió los términos: “escape” y tolerancia. La palabra escape significa que las especies evitan o reducen la penetración del estrés salino en sus tejidos, un ejemplo lo constituye el género *Prosopis*, el cual forma raíces hasta alcanzar el nivel freático, obteniendo así agua con una menor salinidad. Por su parte, la tolerancia se refiere a la capacidad del vegetal de resistir condiciones de estrés salino e incluso soportar elevadas concentraciones de sales en su interior.

Prosopis puede tolerar y crecer con rapidez en suelos salinos o de baja fertilidad (Habit *et al.*, 1981). Vivo (1983 en López, 2001), mencionó que pueden crecer en suelos arenosos, arcillosos, ácidos, básicos o neutros, incluyendo dunas. Se les ha encontrado de forma natural en ambientes salinos como Salton Sea en California y en el desierto de Atacama en Chile (Felker *et al.*, 1981).

En un experimento con plántulas de seis especies de *Prosopis* (Felker *et al.*, 1981) se obtuvo que todas las especies toleraron una salinidad de 6000 mgL^{-1} , de las cuales *P. tamarugo*, *P. articulata* y *P. pallida* pudieron crecer a una salinidad equivalente al agua de mar (36000 mgL^{-1}); una respuesta similar se observó en plántulas de *P. alba*, *P. alba/nigra*, *P. articulata*, *P. chilensis* y *P. juliflora* (Rhodes y Felker, 1988; Arce *et al.*, 1990). Jarrell y Virginia (1990), reportaron que las plántulas de *P. glandulosa* var. *torreyana* pueden extraer agua a una salinidad superior a 20 dSm^{-1} . La habilidad de poder asimilar agua con elevados contenidos de sales ha sido incrementada por la capacidad de excluir sodio de la parte aérea y de acumularlo en sus raíces (v.g. *P. glandulosa* y *P. chilensis*), ocasionando con ello que la concentración de sodio en las hojas no sea tóxica (Jarrell y Virginia, 1984; Zhao y Harris, 1992); aunque Catalán *et al.* (1994), registraron que en *P. flexuosa* al aumentar la concentración de NaCl incrementó el sodio en las hojas.

Se ha percibido que las plántulas de mezquite bajo condiciones de estrés salino tienden a desarrollar más la raíz con relación al vástago con el propósito de evadir la excesiva concentración salina, este comportamiento ha sido identificado en *P. laevigata* (López, 2001), *P. chilensis* (Pandey y Thakarar, 1997) y *P. flexuosa* (Catalán *et al.*, 1994). Según Phillips (1963), en estado adulto la raíz puede alcanzar una profundidad de 50 metros.

A pesar de la tolerancia de *Prosopis* a condiciones de ensalitramiento, se ha reconocido que la germinación se reduce conforme aumenta la salinidad (Arce *et al.*, 1990; Jarrell y Virginia, 1990; Catalán *et al.*, 1994; Pérez y Vieira, 1994; Villagra, 1997); bajo estas mismas condiciones son afectadas negativamente los tallos (Pandey y Thakarar, 1997; Reinoso *et al.*, 2000; Meraz *et al.*, 2001), hojas (Pandey y Thakarar, 1997; Cazebonne *et al.*, 1999), raíces (Pandey y Thakarar, 1997; Reinoso *et al.*, 2000; Meraz *et al.*, 2001), cotiledones (Cazebonne *et al.*, 1999) e hipocótilo (Catalán *et al.*, 1994); así como también, el peso fresco y seco de las plántulas (Pandey y Thakarar, 1997; Meraz *et al.*, 2001). Serrato *et al.* (1991) y Serrato *et al.* (1992), observaron que la salinidad provocó alteraciones a nivel estructural sobre las raíces, hipocótilo, epicótilo y foliolos en *P. tamarugo* y *P. cineraria*.

Se ha visto que la magnitud de los daños por salinidad varían entre las especies de *Prosopis* (Serrato *et al.*, 1992; Cony y Trione, 1998); por ejemplo Villagra (1997), registró que la reducción en la emergencia fue menos grave en *P. argentina* en comparación a *P. alpataco* e inclusive, observó que las plántulas provenientes de sitios con baja salinidad sobrevivieron más exitosamente que bajo condiciones normales (sin NaCl). Anteriormente Bazzaz (1973), había identificado esta característica en *P. farcta*.

Scifres y Brock (1969) hallaron que bajo condiciones de estrés salino la temperatura también influyó sobre la germinación del mezquite (*P. juliflora*); e inclusive Dafni y Negbi (1978), concluyeron que el porcentaje y la velocidad de germinación de *P. farcta* fue afectada negativamente por la temperatura, pero no encontraron una correlación positiva entre la tolerancia salina y la salinidad del sitio de donde fue colectada la semilla.

La salinidad afecta todos los estados de desarrollo, variando la sensibilidad de una etapa a otra (Maas y Hoffman, 1977); no obstante, la fase germinativa resultó ser la más sensible a la salinidad. Según Waisel (1991), la elevada sensibilidad durante la germinación resulta ser el factor más determinante en la distribución de una planta en un hábitat salino. En *Prosopis* se ha identificado que la germinación resultó más sensible al estrés salino con relación a la plántula (Dafni y Negbi, 1978; Villagra y Galera, 1992; Catalán *et al.*, 1994; Reinoso *et al.*, 2000), aunque en *P. farcta* sucedió lo contrario (Bazzaz, 1973). Del mismo modo se detectó que los efectos nocivos sobre la germinación como durante la fase de plántula, son más graves en las sales con sulfatos respecto a las que contienen cloruros (Pérez y Tambelini, 1995; Reinoso *et al.*, 2000).

3.3 EL MEZQUITE ¿UNA OPCIÓN PARA LOS SUELOS SALINOS?

Las plantas del género *Prosopis*, comúnmente llamados mezquites (**Figura 1**), son abundantes en muchas regiones de América y con frecuencia son el único elemento leñoso de la vegetación en las zonas áridas y semiáridas (Rzedowsky, 1988; Vázquez *et al.*, 2001). Evaluaciones de la SARH en 1984 citadas en López (2001), estimaron una superficie de 4'092,178 hectáreas ocupadas por mezquite. Por su parte, Maldonado y De la Garza (2000) calcularon una extensión de 3.5 millones de hectáreas distribuidas principalmente en el norte de México.

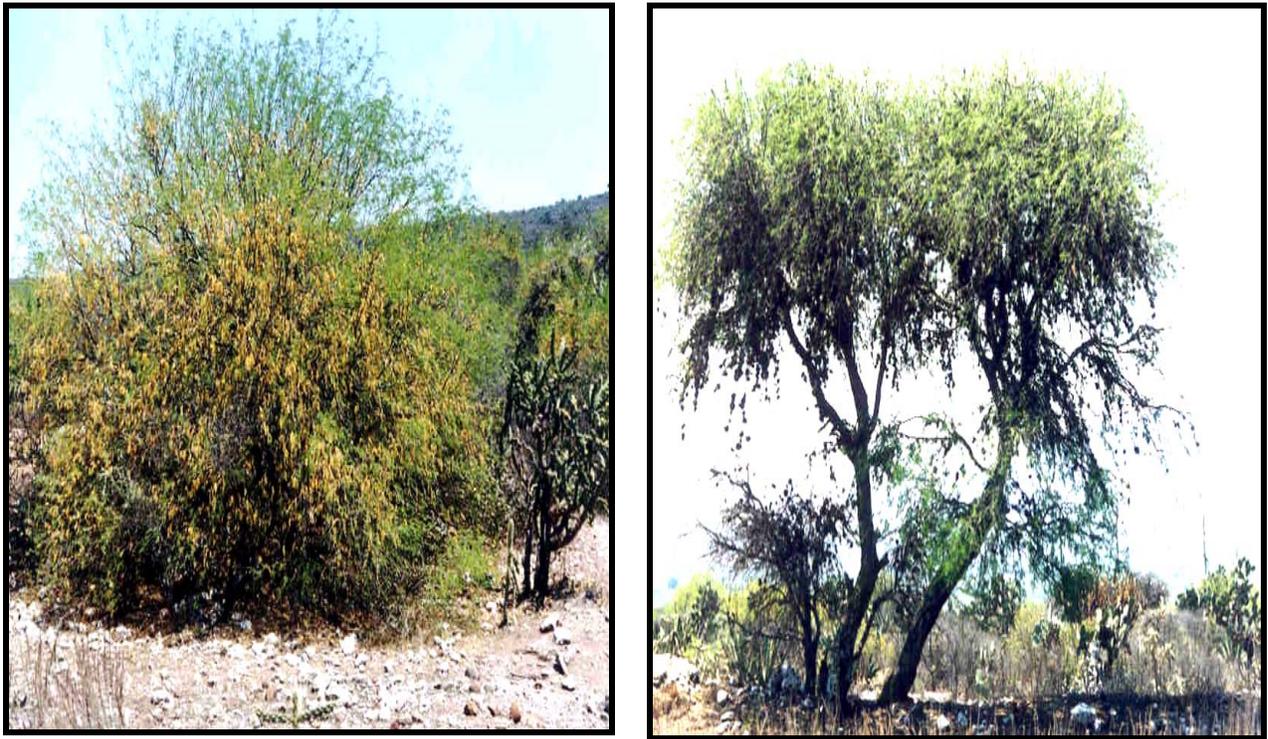


Figura 1. Individuos de *P. laevigata* en el Valle del Mezquital (Fotos Arcadio Monroy).

Anteriormente, los bosques de mezquite o mezquiales ocupaban amplias extensiones del país, en la actualidad las poblaciones están muy diezmadas y alteradas por el ser humano, debido a los aprovechamientos extensivos de la especie (muchas veces clandestinas) y a la apertura de nuevas áreas de cultivo. La perturbación da lugar a posteriores áreas improductivas, dado que las condiciones climatológicas prevaecientes no son aptas para obtener, a través de los cultivos tradicionales, producciones satisfactorias y mucho menos redituables, por lo que posteriormente estas áreas son abandonadas (Signoret, 1970; Villanueva, 1993; CONAZA, 1994a). Por ejemplo, en la Zona Media y Altiplano Potosino de una superficie de 193´800 hectáreas con mezquite, se han perdido una superficie de 100 mil hectáreas en un lapso de 35 años (Hernández y Villanueva, 2001), y de las existentes, sólo 14 mil hectáreas se pueden considerar como mezquiteras puras (Ramírez y Villanueva, 1991).

Los *Prosopis* son catalogados como especies termo-xerófilas (Rzedowsky, 1988), se localizan bajo condiciones climáticas diversas, que van desde los hábitats más calientes hasta los templados y de los semihúmedos hasta los muy secos; no obstante, su principal rango de distribución se encuentra en las zonas áridas y semiáridas. En su área de localización, la temperatura media anual es de 20 a 29 °C, mientras que la precipitación media anual oscila de 350 a 1200 mm. Se localiza desde el nivel del mar hasta los 2200 metros de altitud, preferentemente en bajíos y llanuras (CONAZA, 1994a y PRONARE, 1999). Se establecen en una amplia variedad de tipos de suelos, sin embargo, las mezquiteras son características de terrenos planos o de poca pendiente, en suelos de origen ígneo o calizo de color claro u oscuro, con pH ligeramente alcalino (7.1 a 7.6), contenido medio de materia orgánica (2-5%) y con buena fertilidad (Ramírez y Villanueva, 1998; Villanueva, 1993).

Aprovechamiento

El mezquite ha sido de crucial importancia para los primeros pobladores de las regiones áridas y semiáridas de la República Mexicana; los pueblos cazadores-recolectores, casi todos ellos nómadas utilizaban al mezquite como alimento, combustible, sombra, para la elaboración de juguetes y utensilios y como planta medicinal (CONAZA, 1994a). El uso para consumo humano data desde los Indios Chichimecas y cazadores en el Altiplano Potosino (Galindo y García, 1986); hoy en día las comunidades Otomí-Ñahñu y Seri aprovechan de *Prosopis* sus vainas, tallo, hojas, flores y raíces para múltiples fines (Felger y Moser, 1971; Granados y Hernández, 1995).

En nuestros días, *P. laevigata* (**Figura 2**) es considerado un recurso natural de importancia en las zonas áridas y semiáridas de México, como en el Valle del Mezquital y Altiplano Potosino (Signoret, 1970; Galindo y García, 1986; Villanueva, 1993), debido a los diferentes usos que se les da, tales como: alimento para ganado (hojas y vainas), alimentación humana en forma de harinas, bebidas fermentadas; de la corteza se extraen curtientes; la madera es usada para duela, madera aserrada, parquet, mangos de herramientas, hormas de zapatos en escala industrial, leña, carbón de excelente calidad por su alto poder calórico, gomas y taninos, además de uso medicinal como vomitivo y purgante; la resina que produce se ha empleado en la curación de disentería o algunas infecciones de los ojos (Felker, 1981; Galindo y García, 1986; Ramírez y Villanueva, 1991; CONAZA, 1994a; Meraz *et al.*, 1998; PRONARE, 1999; Maldonado y De la Garza, 2000; Vázquez *et al.*, 2001).

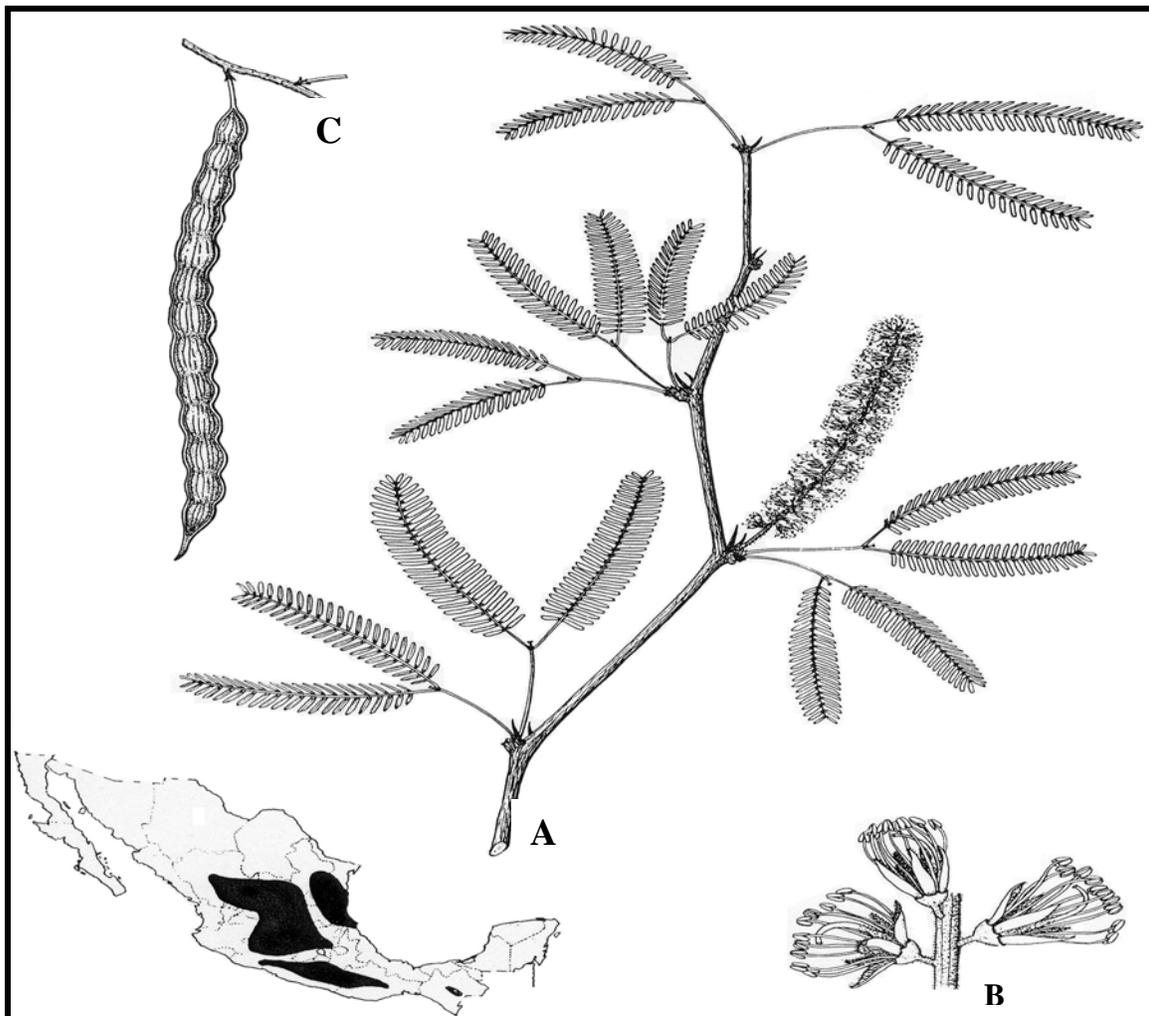


Figura 2. *Prosopis laevigata* (Pennington y Sarukhán, 1998). **A.** rama con inflorescencias, **B.** flores y **C.** fruto.

Importancia ecológica

Las especies del género *Prosopis*, entre ellas *P. laevigata*, poseen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, ya que las raíces de estas plantas establecen una asociación con bacterias del género *Rhizobium*, definidas por la habilidad de fijar nitrógeno al suelo (Vázquez *et al.*, 2001). Por ello, las comunidades de mezquite juegan un papel importante en el mantenimiento del balance ecológico en ecosistemas áridos, proveyendo alimento y refugio a un amplio rango de organismos (Galindo y García, 1986); pues genera islas de fertilidad originando mayor abundancia de organismos (Olalde *et al.*, 2000), favoreciendo el desarrollo vegetal de herbáceas en función de la densidad y cobertura de su dosel (Frías-Hernández *et al.*, 1999; Flores *et al.*, 2000).

El *Prosopis* por su capacidad de retención del suelo y de adaptación ha sido ampliamente recomendada para regenerar suelos degradados e implementándolo como módulo forrajero se pueden usar como árbol de sombra, cortinas rompevientos, estabilizador de suelo, protección de cuencas hidrogeográficas, etcétera (Villanueva, 1993; Meraz *et al.*, 1998). Incluso podría ser el componente principal de un sistema agroforestal, que consiste en incrementar la productividad del suelo al combinar la producción de diferentes cultivos agrícolas con la producción de árboles y de ganado; o bien, un sistema agroforestal de tipo silvopastoril, basado en el aprovechamiento de forrajes en las poblaciones o en plantaciones forestales, utilizando especies de árboles de sombra en pastizales o que mejoren la fertilidad del suelo (Hernández y Villanueva, 2001).

Debido a su capacidad de crecimiento y por sus usos diversos, el mezquite podría incluso emplearse en programas de reforestación con especies nativas en sitios degradados por actividades agrícolas y pecuarias, además que su inclusión en este tipo de programas generaría recursos para los habitantes de las zonas áridas y semiáridas del territorio nacional (Ramírez y Villanueva, 1991; Cony, 1995; Ramírez y Villanueva, 1998). Entre las tres especies de mezquite recomendadas para reforestar en México se hallan: *P. glandulosa*, *P. juliflora* y *P. laevigata* (Jaramillo, 1994). Por ejemplo, en California, Arizona y suroeste de Texas (EU) se emplea a *P. glandulosa* con fines ornamentales y paisajísticos en la reforestación de algunas de sus calles (Allworth-Ewalt, 1982). Por lo mismo, es primordial un mayor conocimiento sobre los niveles y tipos de salinidad que tolera *P. laevigata*, que nos permita su introducción exitosa en los suelos afectados por ensalitramiento en la República Mexicana.

4. OBJETIVOS

- OBJETIVO GENERAL

Evaluar, bajo condiciones de invernadero, los efectos de seis concentraciones de cinco mezclas salinas sobre la emergencia y desarrollo en plántulas de *P. laevigata*.

- OBJETIVOS PARTICULARES

1. Determinar si existe tolerancia de *P. laevigata* en respuesta a un gradiente salino y al tipo salino presente.
2. Caracterizar la emergencia de semillas de *P. laevigata* sometidas a diferentes mezclas salinas.
3. Determinar y describir los efectos de las cinco mezclas salinas sobre el crecimiento de las plántulas de *P. laevigata*.

5. HIPÓTESIS

La elevada salinidad generará un efecto similar a la sequía, lo cual afectará la disponibilidad de agua necesaria para el proceso de germinación, ocasionando una baja tasa de emergencia y una reducción en los porcentajes finales de emergencia. La salinidad limitará el desarrollo del vegetal y cambiará el patrón de crecimiento, ya que al aumentar la salinidad del sustrato la producción de biomasa vegetal se reducirá progresivamente por la menor disponibilidad hídrica para la planta; esto ocasionará una baja tasa de crecimiento, debido a los escasos compuestos producidos y a la falta de turgencia del vegetal.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE COLECTA

El Valle del Mezquital comprende un área situada en la porción suroeste del Estado de Hidalgo, en la zona central de México (**Figura 3**). El clima de la región es templado seco (BSI), según la escala de Köepen modificada por García (1964) en González (1968). La zona es deficiente en lluvias y con una marcada variación de éstas, la precipitación es de 400-527 mm al año, en tanto que la evapotranspiración alcanza los 1750 mm al año (Signoret, 1970; Jiménez *et al.*, 1997).

Los suelos del Valle del Mezquital son profundos, casi sin rocas superficiales, pobres en materia orgánica y definidos en varios elementos, cuya textura más común es el migajón-arenoso y migajón-arcilloso. El pH de los suelos es de alrededor de 8, debido al reparto del material producido por la erosión que sufren las calizas que hay en la zona (González, 1968). En términos generales, los suelos de labranza son pobres en materia orgánica y nutrimentos, incrementado además por una elevada erosión y ensalitramiento (Signoret, 1970; Figueroa, 1979); sin embargo, la principal actividad en el Valle del Mezquital es la agricultura, la cual se realiza en dos distritos de riego (03-Tula y el 100-Alfajayucan), que presentan una superficie cercana a las 90'000 hectáreas.

Para poder evaluar el efecto del estrés salino sobre *P. laevigata*, el 7-07-2001 se colectaron frutos en las localidades de San Nicolás, Tasquillo y Naxthey, en el Valle del Mezquital, Estado de Hidalgo (**Cuadro 2** y **Figura 3**). El material vegetal colectado en cada sitio procedió de 15 a 20 árboles, los cuales presentaron un fuste recto, aspecto vigoroso y una altura mínima de 2 metros.

Cuadro 2. Características de las localidades en donde se colectó el germoplasma.

Clave	Localidad	Municipio	Ubicación geográfica	Altitud (msnm)
1	Naxthey	Alfajayucan	20°27'20" N 99°20'46" O	2196
2	San Nicolás	Ixmiquilpan	20°31'15" N 99°12'35" O	2014
3	Tasquillo-1	Tasquillo	20°31'36" N 99°19'15" O	2193
4	Tasquillo-2	Tasquillo	20°32'01" N 99°18'54" O	2200

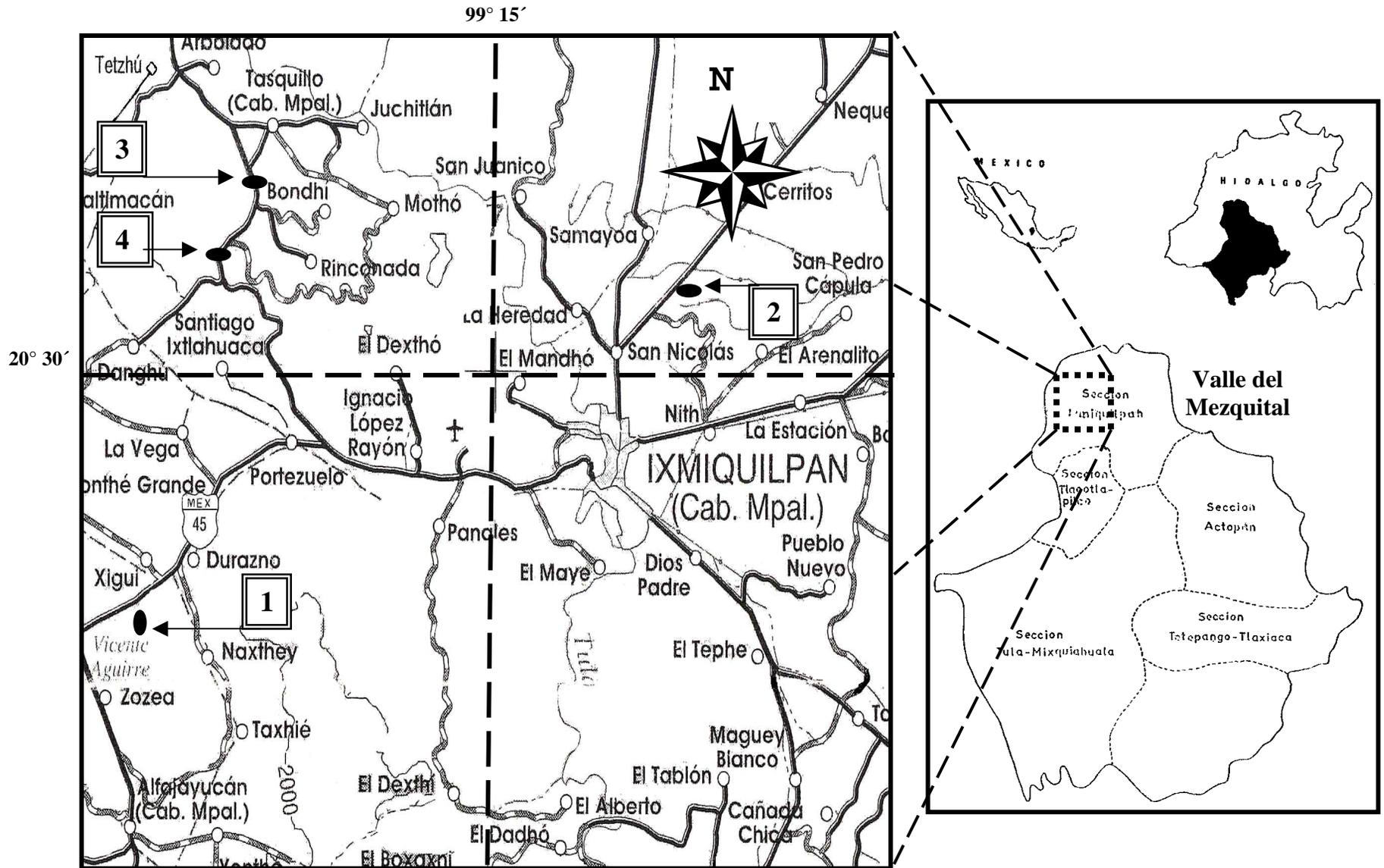


Figura 3. Área de colecta de semillas de *P. laevigata* (Elaborado a partir de Signoret, 1970; INEGI, 1998; SCT, 1993).

Nota: Los números corresponden a la clave del cuadro 2. Escala 1:250'000

6.2 CARACTERÍSTICAS DE LA ESPECIE EMPLEADA

Clasificación taxonómica según Cronquist (1988) en Zomlefer (1994).

División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae (= Leguminosae)
Subfamilia	Mimosaceae
Género	<i>Prosopis</i>
Especie	<i>P. laevigata</i>

El mezquite *P. laevigata* es la especie típica del Centro de México, distribuida en isoyetas de 300 a 900 mm y a altitudes de hasta 2500 msnm, principalmente entre los 1800 y 1900 (Maldonado y De la Garza, 2000). Según Rzedowsky (1988), su área de distribución se compone de tres segmentos (Altiplanicie, Depresión del Balsas y Planicie Costera Nororiental).

En el Valle del Mezquital, *Prosopis laevigata* se localiza principalmente hacia el centro y norte, en gran parte del Valle de Ixmiquilpan, parte suroeste del Valle de Actopan y parte suroeste del Valle de Mixquiahuala (Signoret, 1970). Exhibe una forma de vida arbustiva o arbórea de copa redonda y aplanada, mide hasta 8 m de alto; presenta flores en racimos de 4-10 cm de largo, color blanco verdoso, vainas rectas y ligeramente curvas de 9-17 cm de largo, cuando maduras delgadas y flexibles, color amarillento a rojizo, con 10-15 semillas lisas de color café claro. Sus hojas son compuestas (uno a dos pares), pinnadas con 20-40 folíolos de 5-10 mm, pálido a grisáceo (Ramírez y Villanueva, 1998; PRONARE, 1999).

En la actualidad las poblaciones de *P. laevigata* están muy diezmadas y alteradas por el hombre y es difícil hallar un mezquital típico, es decir conservado con las características ecológicas de esta asociación vegetal, no sólo en las planicies y en los fondos de los valles, sino también en los cerros y lomeríos, sitios en los que ha permanecido y que no constituye su hábitat ideal, pues según Rzedowsky (1964), citado por Signoret (1970), estos se encuentran preferentemente en los fondos de los valles, con suelos profundos y abundantes mantos freáticos. En el Valle del Mezquital existe una baja abundancia de *P. laevigata*, por lo mismo ya no puede hablarse de mezquiales, sino más bien de comunidades con mezquites, producto de su uso irracional, lo cual ha ocasionado que el suelo se erosione (Signoret, 1970).

6.3 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA EXPERIMENTAL

El trabajo experimental se realizó en el Invernadero de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza *Campus II* de la UNAM, de julio a agosto del 2001; la cual geográficamente se ubica a los 19°22'21" N y 99°01'59" O, con una altitud 2220 msnm.

6.4 CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL

Para evaluar el estrés por mezclas salinas sobre la emergencia y las plántulas de *P. laevigata*, se emplearon como unidades experimentales macetas negras de plástico (0.75 litros) con 100 gramos de agrolita como sustrato inerte (**Figura 4**). Este tipo de condiciones en las unidades experimentales evitaron el desarrollo de algas, además que permitieron estudiar el efecto salino sin la interferencia de los iones del suelo. En cada maceta se sembraron 13 semillas de *P. laevigata* uniformemente distribuidas sobre el sustrato y para reducir la evaporación una capa superficial de grava volcánica. A cada unidad experimental o maceta se agregó 330 mL de la solución correspondiente, para así llevar la agrolita a su capacidad de campo. El nivel de humedad y salinidad se mantuvo constante adicionando cada 48 horas el volumen de agua destilada necesarios para reponer las perdidas por evapotranspiración (84 a 47 mL). Estos valores se calcularon a partir de un lote de 10 macetas, establecidas de forma paralela al trabajo principal y así registrar las pérdidas por evapotranspiración. Bajo estas condiciones se conservó el experimento por 19 días, contados a partir del primer día de emergencia. El diseño experimental tuvo en un arreglo en bloques al azar de 5 mezclas, 7 concentraciones y 5 repeticiones, para un total de 175 unidades experimentales, las cuales fueron distribuidas sobre bancales metálicos (**Figura 5**).

6.5 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE SEMILLAS EMPLEADAS

A fin de garantizar la emergencia de 10 semillas por cada unidad experimental, se puso a germinar un lote de 500 semillas en agrolita. Las semillas se extrajeron de los frutos colectados en campo, estas se escarificaron por vía mecánica (corte apical) y se mezclaron en cantidades homogéneas. Se obtuvo un 76.8% de emergencia, el número de semillas necesarias se calculó mediante la siguiente relación:

76.8% germinación ----10 semillas

100% germinación-----x: $13.15 \approx 13$ semillas

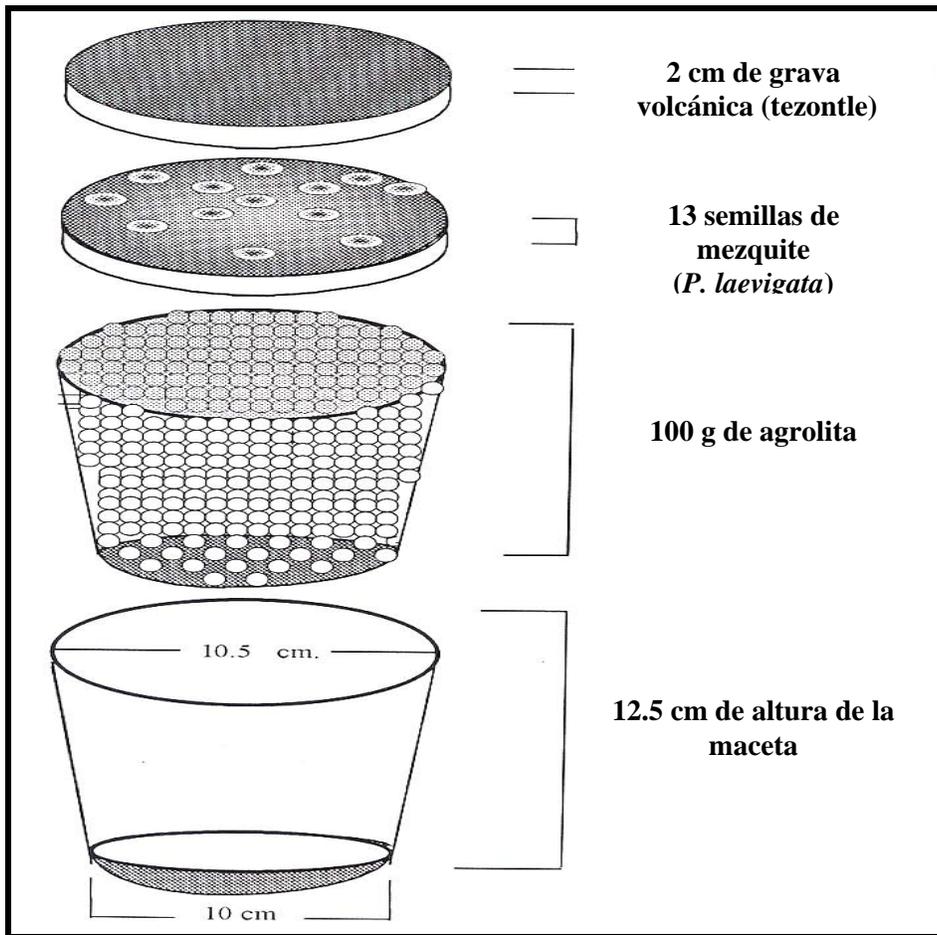


Figura 4. Representación esquemática de la unidad experimental.



Figura 5. Distribución de las unidades experimentales.

6.6 TRATAMIENTOS SALINOS EMPLEADOS.

Para estudiar el efecto salino sobre la emergencia y las plántulas de *P. laevigata*, se utilizaron cinco mezclas salinas, las cuales se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3. Mezcla salina y relación iónica empleada.

Tipos salinos	Relación iónica
Salinidad clorhídrica	$\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{-2} = 2.5$
Salinidad sulfático-clorhídrica	$\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{-2} = 1.5$
Salinidad clorhídrico-sulfática	$\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{-2} = 0.6$
Salinidad sulfática	$\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{-2} = 0.15$
Salinidad sulfático-sódica	$\text{HCO}_3^-/\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{-2} = 2.0$

Las concentraciones salinas se prepararon considerando las conductividades eléctricas previamente definidas por Ríos-Gómez (datos no publicados), las cuales fueron seleccionadas mediante muestreos en los suelos de Ixmiquilpan, ubicados en el Valle del Mezquital, que consistieron en registrar los límites de conductividad eléctrica (CE) máxima y mínima, en los cuales existían plántulas de *P. laevigata*. Los valores de conductividad definidos se muestran en el cuadro 4.

Se calculó la cantidad de sal necesaria para generar conductividades de 1.0, 2.0, 3.5, 5.0, 7.5 y 9.0 dSm^{-1} , así como un testigo de agua destilada con CE de cero, cuya concentración salina teórica correspondiente se exhibe en el cuadro 4. No obstante que para todas las mezclas se empleó el mismo gradiente de conductividad eléctrica establecido y por ende, la misma concentración salina total, la relación iónica entre ellas fue distinta (**Cuadro 3**).

Cuadro 4. Gradientes de salinidad y concentración teórica empleadas.

* Trat.	**CE dSm^{-1}	*** Conc. gL^{-1}
C1	0.0	0.0
C2	1.0	0.64
C3	2.0	1.28
C4	3.5	2.24
C5	5.0	3.20
C6	7.5	4.80
C7	9.0	5.76

Nota: El tratamiento C1 correspondió al agua destilada (testigo), no es una concentración salina en ninguno de los tipos salinos empleados. * **Tratamiento**; ** **conductividad eléctrica**; *** **concentración**.

6.7 PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS SALINAS

Para la preparación de los gradientes de mezclas salinas se adoptó el criterio expuesto por Escobar-Rebollar (1994), basado a su vez en la metodología del Manual de Análisis Químicos de Arinushkina (1970). Los diferentes tipos salinos se prepararon mezclando sales puras, como sulfato de magnesio (MgSO_4), cloruro de sodio (NaCl), cloruro de magnesio (MgCl_2), sulfato de sodio (Na_2SO_4) y bicarbonato de sodio (NaHCO_3), dependiendo de la mezcla salina manejada.

Tomando en cuenta las conductividades eléctricas teóricas definidas por Ríos-Gómez (datos no publicados) para *P. laevigata* (**Cuadro 4**), la concentración de cada uno de los tratamientos se hizo considerando que 0.64 gL^{-1} de sal, genera una conductividad eléctrica de 1 dSm^{-1} (Grijalva y Ríos, 1995); de este modo, se prepararon soluciones stock a partir de las cuales se tomaron alícuotas para generar las concentraciones de cada uno de los tratamientos a los cuales se expusieron las semillas de *P. laevigata*, las alícuotas se aforaron con agua destilada hasta un volumen final de 1750 mL. El volumen necesario para cada gradiente salino se obtuvo con la siguiente relación: $V_1C_1 = V_2C_2$.

Después de que se prepararon las soluciones salinas respectivas que constituyeron cada uno de los tratamientos se procedió a medirles a cada una la conductividad eléctrica con un conductímetro, con el propósito de poder advertir posteriormente si varió la conductividad eléctrica registrada (real) respecto a la teórica esperada, así como su posible relación con el efecto salino sobre *P. laevigata*. La medición de la conductividad eléctrica (CE) de una solución permite establecer una aproximación cuantitativa de la cantidad de sales que contiene al agua o la solución del suelo. Debido a que CE varía con la temperatura, se ha normalizado registrarla a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (Beltrán, 1982; Fuentes, 1999), la cual se expresa en deciSiemens por metro (dSm^{-1}) o microSiemens por centímetro (microScm^{-1}).

Nota: La preparación de los distintos tratamientos salinos se encuentra ampliamente detallados en el **Apéndice A**.

6.8 REGISTRO DE VARIABLES DE RESPUESTA

Esta investigación tuvo una duración de 19 días, contados a partir de la emergencia de la primer plántula. La evaluación se realizó mediante el conteo diario de las plántulas que emergieron y una vez que se mantuvo constante por 3 días, se suspendió el registro. Así también, se seleccionaron cinco plántulas por cada unidad experimental, las cuales fueron marcadas mediante hilos de colores, con el objeto de llevar el seguimiento de su altura, cobertura foliar, número de raíces, longitud de raíces y biomasa, tanto fresca como seca de la raíz y parte aérea de las plantas. El registro de altura de plántulas inició cuando las hojas cotiledonares emergen por completo; mientras que para calcular la cobertura foliar, se midió el largo y ancho de las hojas cotiledonares y después las hojas verdaderas, a partir de la cual se obtuvo un promedio de las dos medidas; ambos registros (altura y cobertura), se realizaron en un intervalo de 48 a 72 horas. La mortalidad de las plántulas se cuantificó diariamente a partir de la fecha en que se registró el primer individuo muerto. A partir del primer día de emergencia y hasta el momento en que se dio por concluido el experimento, se describieron los síntomas fisiológicos y morfológicos que presentaron las plántulas, como clorosis, necrosis, enrollamiento de hoja, engrosamiento de láminas foliares, etcétera. Para el caso del número de raíces, el registro de la longitud de raíz, biomasa fresca y seca de brotes y raíz, el registro se efectuó el día de la cosecha con las plantas anteriormente seleccionadas en cada unidad experimental. El corte para separar la raíz de la parte aérea se realizó a partir del mesocótilo, cada parte fue colocada por separado en bolsas de papel de estraza y se pusieron a secar en una estufa a 70 °C por 48 horas, para finalmente registrar la biomasa seca de la raíz y parte aérea.

6.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS VARIABLES DE RESPUESTA

- Emergencia: Para fines del análisis estadístico, se emplearon los valores finales de emergencia, los resultados obtenidos fueron proporcionales a los porcentajes finales de emergencia; mientras que la velocidad de emergencia se evaluó mediante el Índice de Maguire (González-Zertuche y Orozco-Segovia, 1996).

- Cobertura foliar: Para analizar estadísticamente los valores de la cobertura conforme transcurrió el tiempo, se seleccionaron los valores de tres fechas distintas (día 9, 14 y 19), ya que de esta forma se pudo advertir como se comportó la cobertura al inicio, a la mitad y al final del periodo experimental.

- Tasa Relativa de Crecimiento (TRC): El crecimiento en altura se analizó como TRC (Hunt, 1990); debido a la corta duración del experimento se empleó una fórmula ajustada a un crecimiento lineal, que fue la siguiente:

$$\text{TRC} = \frac{[(h_2 - h_1)/h_1]}{t} = (\text{día}^{-1}) \quad \text{Donde: } h = \text{altura; } t \text{ (tiempo)} = t_2 - t_1 \text{ (días)}$$

- Número y longitud de raíces: Se evaluó la longitud de raíces en centímetros y la proporción de raíces, como número de raíces por planta.

- Biomasa fresca en la raíz y parte aérea (vástago): Cuando se analizó la biomasa fresca se evaluó también el porcentaje de humedad en las plántulas, esto con el objeto de estudiar como se comportó esta variable por exposición al estrés salino (Brower y Zar, 1977). Para lo cual, se empleó la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de Humedad} = \frac{\text{CH(g)}}{\text{PFP(g)}} \times 100 = \%$$

Contenido de humedad (CH) = peso fresco de la plántula (PFP) - peso seco de la plántula (PSP).

Nota: Para realizar el análisis del contenido de humedad se utilizaron los valores obtenidos antes de ser transformados en porcentajes.

- Biomasa seca de la raíz y parte aérea: Además de estudiarse los valores de biomasa seca obtenidos en los diferentes tratamientos salinos; lo anterior fue complementado mediante con el uso del cociente raíz vástago (R/S), para así poder analizar la asignación de biomasa para las estructuras de captura de CO₂, respecto a las que asimilan nutrimentos y agua (Böhm, 1979). Para lo cual, se utilizó la fórmula siguiente:

$$\frac{R}{S} = \frac{\text{raíz}}{\text{vástago}}$$

Donde: raíz = biomasa seca radical y vástago = biomasa seca vástago (tallo + hojas).

- Mortalidad: Se analizaron los valores de mortalidad finales; los porcentajes de mortalidad se obtuvieron mediante la relación resultante entre el total de plántulas emergidas respecto al número de plántulas muertas.

Con el objeto de conocer el efecto de las diferentes sales y sus concentraciones sobre las variables de respuesta, los valores fueron sometidos a una prueba de Kruskal-Wallis, con un 95% de confianza (Zar, 1996). Esta prueba se emplea cuando las K muestras no presentan normalidad y también cuando las k varianzas de las poblaciones son heterogéneas, porque asume que las muestras poblacionales tiene la misma dispersión y tamaño (Marques, 1988; Montgomery, 1991).

Para determinar cuales medianas en los tratamientos fueron diferentes unas de otras se emplearon gráficas de cajas con muescas, cuando no hubo traslape entre las cajas con muescas los tratamientos resultaron distintos (STSC, 1989; Salgado-Ugarte, 1992). Para verificar la existencia de diferencias en la asignación de biomasa entre la parte aérea y el vástago, el estudio del cociente raíz-vástago (R/S) se complemento mediante un análisis de covarianza (ANDECOVA) al 95% de confianza. Todos los análisis anteriormente señalados fueron realizados con el programa estadístico StatGraphics Plus 4.0.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (dSm^{-1}) DE LAS MEZCLAS SALINAS UTILIZADAS

La conductividad eléctrica entre los tipos salinos fue distinta a pesar de presentar la misma concentración, esto fue a causa del grado de solvatación que adquieren los iones en solución, densidad de carga, radio iónico y concentración de las sales empleadas; no obstante, la conductividad eléctrica incrementó conforme aumentó la concentración salina, exhibiendo una elevada correlación (**Figura 6** y **Cuadro 5**). Escobar-Rebollar (1994), registró un comportamiento similar en soluciones empleadas en la germinación de *Phaseolus vulgaris*, *P. coccineus* y *Zea mays*. La conductividad eléctrica presentó el orden decreciente siguiente: clorhídrica > sulfática-clorhídrica > clorhídrico-sulfática > sulfática-sódica > sulfática (**Figura 6** y **Cuadro 5**). Ramírez *et al.* (1989), advirtieron que las sales clorhídrica y sulfática generaron la mayor y menor conductividad eléctrica, respectivamente. Bazilevich y Pankova (1969) señalaron que la química de la salinidad esta determinada por la relación iónica y el tipo de catión, tal y como ocurrió en el presente trabajo.

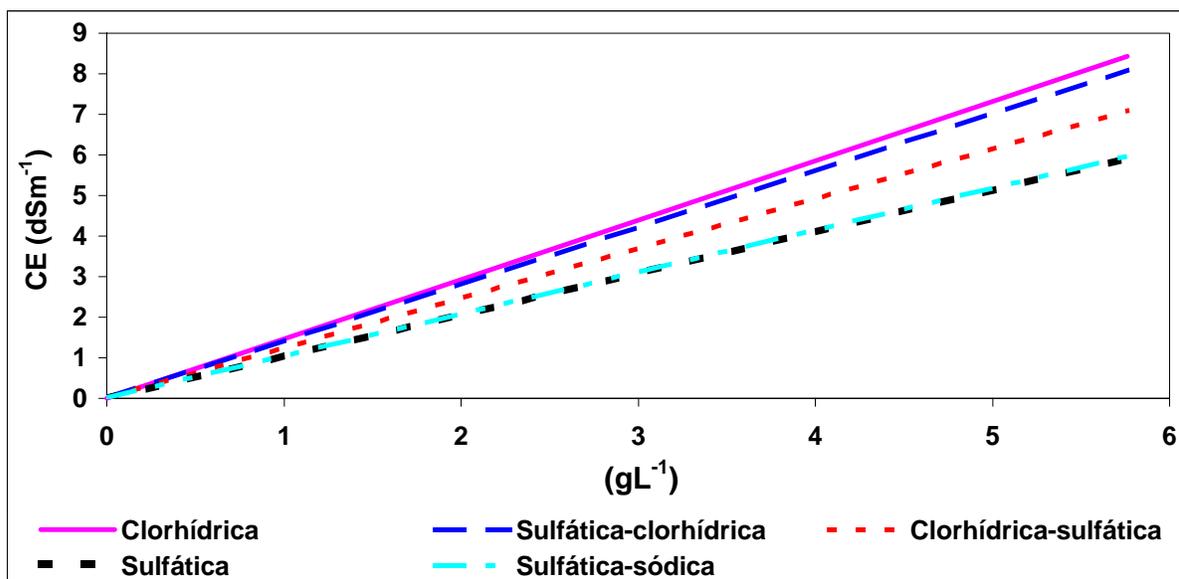


Figura 6. Conductividad eléctrica real a 25 °C por las mezclas salinas empleadas.

Cuadro 5. Comportamiento de la conductividad eléctrica conforme aumentó la concentración salina.

Mezclas	Ecuación	r
Clorhídrica	$y = 1.4654x$	0.995
Clorhídrica-sulfática	$y = 1.4072x$	0.994
Sulfático-clorhídrica	$y = 1.2334x$	0.989

Mezclas	Ecuación	r
Sulfática	$y = 1.0326x$	0.988
Sulfático-sódica	$y = 1.0373x$	0.996

7.2 EMERGENCIA

Al analizar estadísticamente los valores de emergencia, se encontró que las mezclas salinas afectaron significativamente la emergencia final y la velocidad de emergencia de *P. laevigata* (**Apéndice B**). En la figura 7 se advierte que conforme la salinidad incrementó, la velocidad y el porcentaje de emergencia se redujeron; sin embargo, en las mezclas clorhídrica y sulfático-clorhídrica la mayor reducción ocurrió en el tratamiento C1 (testigo) y C2 (0.64 gL^{-1}). La emergencia inició en promedio al quinto día y se volvió constante al décimo día, aunque en los tipos clorhídrico-sulfático y sulfático se estabilizó al doceavo día.

Al analizar el cuadro 6, se advirtió que en las sales clorhídrica y sulfático-clorhídrica los porcentajes de emergencia finales de las plántulas de *P. laevigata* no se redujeron al aumentar la salinidad, ya que los porcentajes de emergencia en los tratamientos C5 a C7 (3.2 a 5.76 gL^{-1}) fueron mayores al tratamiento C1 (0.0 gL^{-1}), a pesar que en la sal clorhídrica el tratamiento C7 (83.1%) no fue distinto estadísticamente al testigo (72.3%). La no reducción de la emergencia en los tratamientos C5 a C7 se debió a que la velocidad de emergencia tampoco se vio afectada al elevarse la concentración salina, lo que se tradujo en porcentajes de emergencia finales mayores al 80%. Este comportamiento resultó contrario a lo registrado con otras especies de *Prosopis* (Arce *et al.*, 1990; Catalán *et al.* 1994; Pandley y Thakarar, 1997; Villagra, 1997; Cazebonne *et al.*, 1999), aunque en estos casos sólo se utilizó NaCl. Ramírez *et al.* (1989) advirtieron que los efectos por mezclas salinas son menos drásticos que los provocados por las sales puras o simples, siendo muy importante pues en condiciones de campo las sales se encuentran interactuando entre sí para provocar un efecto determinado sobre los vegetales. Esto nos lleva a suponer que no sería afectada significativamente la emergencia de *P. laevigata* en los suelos salinos distinguidos por una elevada proporción de iones cloruro respecto a sulfatos.

En los tipos clorhídrico-sulfático y sulfático-sódica (**Cuadro 6**), los porcentajes finales de emergencia en los tratamientos C6 y C7 (4.8 y 5.76 gL^{-1}) se redujeron por debajo del 80%; sin embargo, en el tipo sulfático-sódico sólo el tratamiento C7 (53.8%) resultó inferior al testigo (76.9%). La reducción de los porcentajes de emergencia en los tratamientos C6 y C7 fueron debido a que la velocidad de emergencia se redujo; no obstante, sólo fue significativa en el tratamiento C7 (10.70) en la sal sulfático-sódica con relación al testigo (16.32).

La emergencia presentó una elevada sensibilidad a la sal sulfática (**Cuadro 6**), pues a medida que incrementó la salinidad disminuyó el porcentaje de emergencia hasta un 56.9% en C7 (5.76 gL⁻¹) e inclusive, en ningún momento el porcentaje fue superior al 80%. Los bajos porcentajes de emergencia se deben a que la velocidad de emergencia fue reducida sensiblemente, aunque sólo evidenció ser significativa respecto al testigo (15.80) en los tratamientos C4 (10.56) y C7 (8.64). Ramírez *et al.* (1989) observaron que los niveles moderados de salinidad retardan la germinación, pero no los porcentajes de emergencia finales; sin embargo, las altas concentraciones retrasan la germinación y afectan notablemente el porcentaje de emergencia. Esto ocurrió en las mezclas clorhídrico-sulfática y sulfático-sódica, donde la velocidad y el porcentaje de emergencia final se redujo hasta los tratamientos C6 y C7; mientras que en la sulfática, la reducción de la emergencia se acentuó conforme aumento la salinidad.

Según Ayers (1951), la reducción de la tasa germinativa y del porcentaje de emergencia es producto del efecto osmótico sobre las semillas, aunque lo atrás señalado no se cumplió íntegramente, pues a pesar que en el presente trabajo todas las mezclas tuvieron la misma concentración salina, ocasionaron un efecto diferencial sobre la emergencia. Las mezclas clorhídrica-sulfática, sulfática y sulfática-sódica no obstante que generaron una conductividad eléctrica menor que la clorhídrica y sulfático-clorhídrica resultaron ser las más perjudiciales (**Figura 6**), lo cual lleva a suponer que la reducción en la emergencia de *P. laevigata* no fue debido al efecto osmótico (Scifres y Brock, 1969; Villalobos y Peláez, 2001), sino más bien producto de efectos tóxicos por los iones sulfato (clorhídrico-sulfático y sulfática), este rasgo ha sido observado en otras especies de *Prosopis* (Pérez y Tambelini, 1995; Reinoso *et al.*, 200), ya que cuando la salinidad fue predominantemente por iones cloruro no se vio perjudicada la emergencia (clorhídrica y sulfático-clorhídrica).

A pesar del efecto negativo sobre la emergencia de *P. laevigata*, las semillas fueron tolerantes al estrés por mezclas salinas, pues el porcentaje de emergencia en los tipos salinos no fue menor al 50%; lo cual, permitiría propagar esta especie a partir de semilla en suelos con ensalitramiento, sobretodo en aquellos con salinidad clorhídrica o sulfático-clorhídrica y una conductividad eléctrica menor a 8 dSm⁻¹. Esta elevada capacidad de germinación ha sido ya vista en otras especies de *Prosopis* (Arce *et al.*, 1990; Cazebonne *et al.*, 1999), ubicándola entre las especies más resistentes a salinidades extremas, comparables a las halófitas *Chenopodium*, *Atriplex*, *Salicornia* y *Suaeda* (Felker *et al.*, 1981; Rhodes y Felker, 1988). No obstante, la emergencia es el período más sensible al estrés salino respecto a la de plántula (Dafni y Negbi, 1978; Bliss *et al.*, 1984; Villagra y Galera, 1992; Aguirre, 1993; Catalán *et al.*, 1994; Reinoso *et al.*, 2000), siendo un factor determinante en la distribución del vegetal en un hábitat salino (Haas *et al.*, 1973; Waisel, 1991).

Cuadro 6. Porcentaje y velocidad de emergencia final (Índice de Maguire) en plántulas de *P. laevigata*.

*Trat.	**Conc. (gL ⁻¹)	Clorhídrica		Sulfático Clorhídrica		Clorhídrico sulfática		Sulfática		Sulfático sódica	
		% Emerg. Final	Índice de Maguire	% Emerg. Final	Índice de Maguire	% Emerg. Final	Índice de Maguire	% Emerg. Final	Índice de Maguire	% Emerg. Final	Índice de Maguire
C1	0.00	72.3 a A	15.18 ab <i>AB</i>	52.3 a B	11.08 a <i>B</i>	67.7 ad A	13.54 a <i>AB</i>	75.4 ab A	15.8.0 a <i>A</i>	76.9 ab A	16.32 abcdefg <i>AB</i>
C2	0.64	63.1 a AB	13.34 a <i>A</i>	60.0 ab A	11.58 acf <i>A</i>	67.7 a B	11.86 a <i>A</i>	69.2 abc AB	14.26 abc <i>A</i>	63.1 ac AB	10.88 ag <i>A</i>
C3	1.28	80.0 ac B	19.50 bcde <i>AB</i>	84.6 cde AB	20.08 be <i>A</i>	72.3 abd A	13.28 a <i>B</i>	78.5 a B	14.40 a <i>B</i>	83.1 b B	19.20 bc <i>B</i>
C4	2.24	72.3 a A	15.74 be <i>A</i>	76.9 bce A	16.04 cf <i>AC</i>	86.2 c CB	15.54 a <i>A</i>	60.0 b D	10.56 bc <i>B</i>	86.2 b AC	19.14 cdef <i>C</i>
C5	3.20	93.8 b A	25.32 c <i>A</i>	83.1 ce B	25.36 d <i>A</i>	81.5 bc B	17.58 b <i>B</i>	63.1 b C	11.98 ab <i>C</i>	80.0 b B	16.72 d <i>D</i>
C6	4.80	87.7 c A	22.00 d <i>A</i>	86.2 d A	17.90 e <i>AD</i>	75.4 bd B	13.84 a <i>B</i>	69.2 b C	12.92 a <i>C</i>	76.9 b B	18.88 f <i>E</i>
C7	5.76	83.1 ac A	16.46 e <i>AC</i>	83.1 e A	14.66 f <i>BE</i>	72.3 abcd A	12.48 a <i>CBDE</i>	56.9 c B	8.64 c <i>DE</i>	53.8 c C	10.70 g <i>E</i>

Las diferencias significativas entre cada tratamiento se exponen con letras diferentes, evaluadas mediante la prueba de Kruskal-Wallis ($P < 0.05$). Las letras minúsculas indican la comparación entre las concentraciones de cada mezcla para el porcentaje final de emergencia y la velocidad de emergencia; y las letras mayúsculas, la comparación entre mezclas a la misma concentración para el porcentaje de emergencia (negritas) y velocidad emergencia (itálicas).
Emergencia (Emerg.), * Tratamiento, ** concentración.

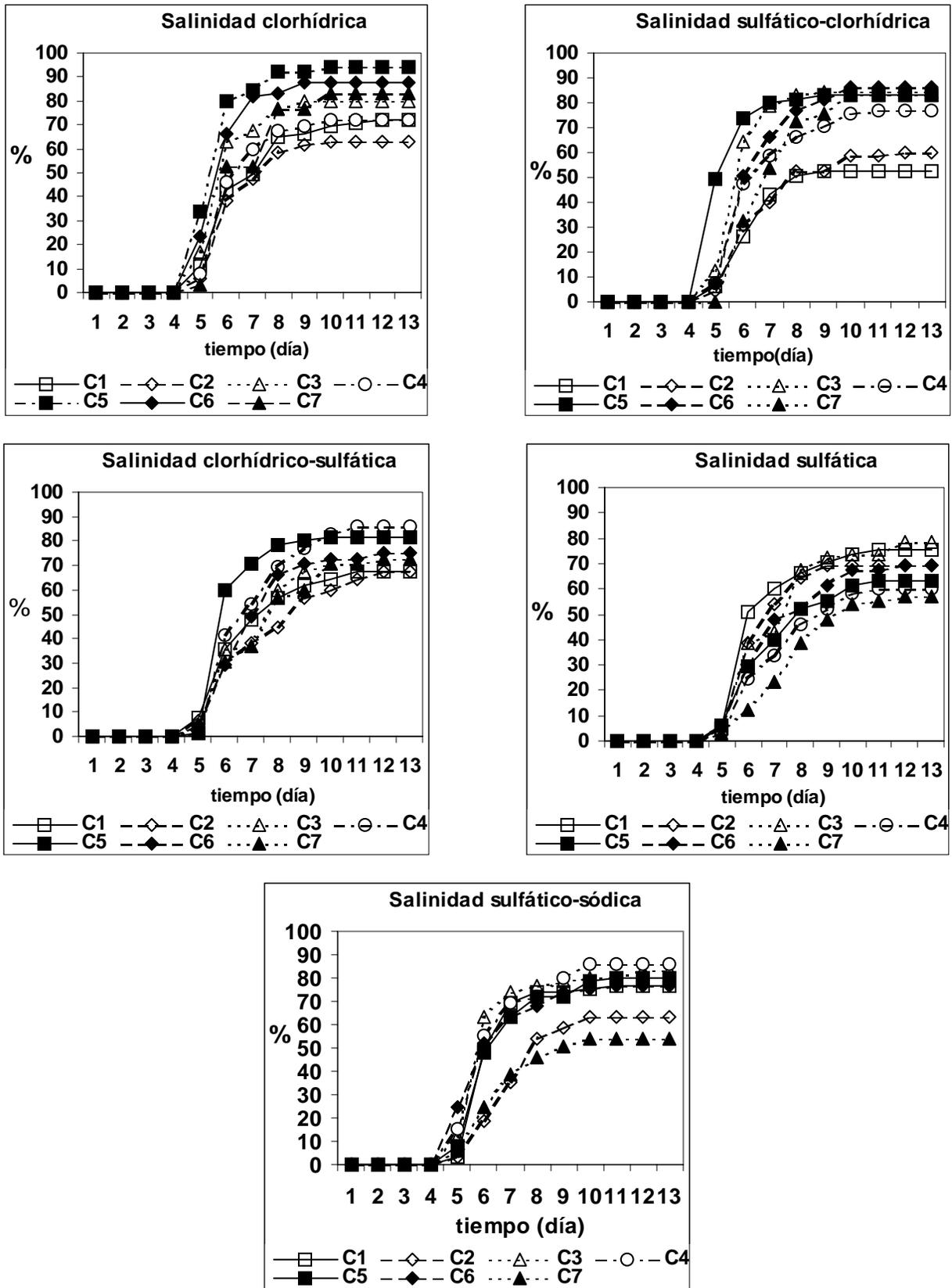


Figura 7. Porcentaje de emergencia diaria acumulada en plántulas de *P. laevigata*.

C1 (0.00 gL^{-1}), C2 (0.64 gL^{-1}), C3 (1.28 gL^{-1}), C4 (2.24 gL^{-1}), C5 (3.20 gL^{-1}), C6 (4.80 gL^{-1}) y C7 (5.76 gL^{-1}).

7.3 TASA RELATIVA DE CRECIMIENTO (TRC)

Cuando se analizó la TRC de las plántulas de *P. laevigata*, se encontró que los tipos salinos afectaron significativamente la variable atrás señalada (**Apéndice B**). La tasa relativa de crecimiento manifestó una escasa sensibilidad en las mezclas clorhídrica y sulfático-clorhídrica, pues a pesar de no presentar los valores más altos en comparación a las otras sales utilizadas, no se redujo en los tratamientos C5 a C7 (3.2 a 5.76 gL⁻¹) e inclusive, en el tratamiento C7 ocurrió un ligero incremento, más no fue mayor al tratamiento C1 (testigo).

En las mezclas clorhídrico-sulfática, sulfática y sulfática-sódica el tratamiento C2 (0.64 gL⁻¹) presentó la mayor TRC (**Cuadro 7**), pero en ninguno de los casos fue diferente al tratamiento C1 (testigo). Después del tratamiento C2 disminuyó la TRC, siendo el tratamiento C7 (5.76 gL⁻¹) el más perjudicial, aunque sólo en la sulfática fue menor respecto al testigo (0.197 d⁻¹). La TRC en el tratamiento C7 decreció hasta un 62.5% en la clorhídrica-sulfática, 64% en la sulfática y en la sulfático-sódica 69.7% en relación al tratamiento C2. Delane *et al.* (1982) y Papp *et al.* (1983) citados por Ruiz-Vera (1995), señalaron que el crecimiento es el primer proceso afectado por la salinidad, inclusive antes que la fotosíntesis y la translocación de nutrimentos, debido a que es una respuesta muy sensible (Salisbury y Ross, 1994). La elevada tolerancia a la salinización por iones cloruro por parte de las plántulas de *P. laevigata* fue debido a que estos son un micronutriente esencial, ya que además de ser el mayor soluto osmótico, son vitales para la conservación de la turgencia y osmorregulación (White y Broadley, 2001). Este comportamiento respecto a los cloruros ha sido ya registrado en *Prosopis* (Pérez y Tambelini, 1995; Reinoso *et al.*, 2000).

La TRC de las plántulas en las sales clorhídrico-sulfático y sulfática presentaron una elevada sensibilidad (**Cuadro 7**), ya que después del tratamiento C2 (0.64 gL⁻¹) esta variable disminuyó visiblemente y a partir del tratamiento C6 (4.8 gL⁻¹) se acentuó el afecto negativo; en la concentración 5.76 gL⁻¹, la TRC en estas sales decreció por encima del 50% del testigo. Para la salinidad sulfática, los efectos sobre la morfología de las plántulas se hicieron visibles desde la concentración 1.28 gL⁻¹, presentándose cierre de las hojas, necrosis e inicio de mortalidad de las plántulas. Según Parsons (1987) la reducción en la TRC fue a causa de la salinidad, ya que provocó deficiencia o tensión hídrica sobre las plántulas de *P. laevigata*, lo cual perjudicó la turgencia y el alargamiento celular, que se expresó como inhibición de la elongación del tallo.

A pesar que se ha reportado que conforme aumentó la salinidad se redujo el crecimiento de *Prosopis* (Catalán *et al.*, 1994; Pandey y Thakarar, 1997; Cazebonne *et al.*, 1999; López, 2001; Vázquez *et al.*, 2001), la disminución en el presente trabajo dependió de la mezcla salina empleada. La TRC de las plántulas fue más perjudicada en las sales con altos contenidos de sulfatos (clorhídrico-sulfático y sulfática), este comportamiento ha sido registrado en otras especies de *Prosopis* (Pérez y Tambelini, 1995; Reinoso *et al.*, 2000); es este sentido, se ha sugerido la falta de un mecanismo regulador que controle la entrada del sulfato (Joshi y Naik, 1980), no obstante esto no ha sido evidenciado en *Prosopis*.

Independientemente del grado de afectación en los distintos tratamientos salinos sobre la TRC, las plántulas de *P. laevigata* manifestaron tolerancia a la salinidad, pues la TRC no fue inhibida, lo cual concuerda con las observaciones de López (2001); además, parece ser que las plántulas necesitan una cantidad mínima de sales en solución para su mejor desarrollo, esto porque si la salinidad excesiva genera condiciones de estrés, la ausencia de sales en solución puede producir efectos más o menos similares. Escobar-Rebollar (1994) observó que el agua destilada ocasionó enanismo y necrosis prematura de los ápices de las hojas, debido probablemente, a deficiencias nutrimentales.

En trabajos realizados con plántulas de *Prosopis* expuestas a NaCl se advirtió una tolerancia variable a la salinidad, logrando crecer inclusive en salinidades equivalentes al agua de mar (36000 mg^l⁻¹) existiendo inclusive crecimiento (Felker *et al.* 1981; Rhodes y Felker, 1988). Una posible explicación de esta resistencia por parte de las plántulas fue a la presencia de mecanismos de exclusión de sales en *Prosopis*, que le permitió acumular el sodio en la raíz e hipocótilo, con lo que los excluye del tallo y hojas (Levitt, 1972; Läuchi, 1984; Jarrell y Virginia, 1990; Zhao y Harris, 1992; Catalán *et al.*, 1994) y a pesar que lo anterior no se ha probado para *P. laevigata*, es muy probable que presente la misma característica. Esta capacidad de exclusión del sodio ha permitido que el *Prosopis* sea empleado para rehabilitar y aprovechar suelos con sodicidad con resultados satisfactorios (Ahmed, 1991; Singh, 1995; Bhojvaid *et al.*, 1996; Bhojvaid y Timmer, 1998; Garg, 1999) y bien pudiese utilizarse para los suelos sódicos de las zonas áridas y semiáridas de México.

Cuadro 7. Tasa Relativa de Crecimiento (TRC) en plántulas de *P. laevigata*.

*Trat.	**Conc. (gL ⁻¹)	Clorhídrica (día ⁻¹)	Sulfático clorhídrica (día ⁻¹)	Clorhídrica sulfática (día ⁻¹)	Sulfática (día ⁻¹)	Sulfática sódica (día ⁻¹)
C1	0.00	0.226	0.203	0.204	0.197	0.275
		abc A	ab A	ab A	a A	ab A
C2	0.64	0.233	0.213	0.241	0.254	0.336
		ac A	a A	a A	a A	a A
C3	1.28	0.197	0.204	0.214	0.178	0.217
		ac A	ab A	ab A	ab A	a A
C4	2.24	0.200	0.231	0.162	0.216	0.181
		abc A	ab A	ab A	ab A	a A
C5	3.20	0.129	0.117	0.157	0.125	0.185
		b A	b A	ab AB	ab AB	a B
C6	4.80	0.109	0.153	0.138	0.094	0.147
		b A	ab A	ab A	ab A	ab A
C7	5.76	0.180	0.177	0.092	0.092	0.100
		bc AB	a A	b BC	b C	b BC

Las diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos fueron obtenidas mediante la prueba de Kruskal-Wallis y se exponen con letras distintas. Las letras minúsculas indican la comparación entre concentraciones de cada mezcla y las letras mayúsculas (negritas), señalan la comparación entre mezclas a la misma concentración. ***Tratamiento, ** concentración.**

7.4 COBERTURA FOLIAR

Los valores de cobertura foliar resultaron afectados por las mezclas salinas (**Apéndice B**), aún cuando el grado de afectación fue diferencial entre ellas. La cobertura foliar en las plántulas de *P. laevigata* varió conforme transcurrió el tiempo de exposición, siendo influida por la concentración y el tipo salino (**Figura 8**). A medida que incrementó la salinidad decreció la cobertura (v.g. clorhídrico-sulfática, sulfática y sulfático-sódica); no obstante que en las mezclas clorhídrica y sulfático-clorhídrica, los tratamientos C1 (testigo) y C7 (5.76 gL⁻¹) ocasionaron los valores mas bajos de cobertura.

Al examinar el crecimiento en cobertura foliar en las plántulas de *P. laevigata* en tres tiempos distintos (**Cuadro 8**), en los días 9 y 14 la cobertura fue afectada negativamente por la salinidad. La reducción en la cobertura se enfatizó conforme incrementó el tiempo de exposición, siendo más evidente en los tipos clorhídrico-sulfático y sulfático, principalmente. Por ejemplo, al día 14 en la mezcla sulfática la disminución en cobertura se hizo significativa desde el tratamiento C4 (1.44 cm²), mientras que al día 9 ocurrió a partir del tratamiento C5 (1.15 cm²), lo cual significa que la reducción se expresó desde los tratamientos con una menor concentración salina al transcurrir el tiempo de exposición.

Al día 19 la cobertura foliar en los tipos clorhídrico y sulfático-clorhídrica fue escasamente afectada (**Cuadro 8**), ya que al incrementar la salinidad el crecimiento foliar no se redujo significativamente con relación al tratamiento C1, incluso en los tratamientos C6 y C7 (4.8 y 5.76 gL⁻¹) la cobertura fue cuantitativamente mayor al testigo. A pesar que en anteriores trabajos con *Prosopis* se registraron efectos negativos a nivel foliar a medida que incrementó la salinidad (Pandey y Thakarar, 1997 y Cazebonne *et al.*, 1999) debido a la baja disponibilidad hídrica (Kramer, 1963; Kramer, 1989), en el presente trabajo el grado de reducción en la cobertura dependió de la relación iónica presente, pues como ya se señaló anteriormente, cuando la relación de cloruro fue mayor respecto a la de sulfato en los tipos salinos (clorhídrico y sulfático-clorhídrica) no decreció la cobertura foliar de las plántulas de *P. laevigata*. Debido a que el ión cloruro resultó inocuo sobre las plántulas de *P. laevigata*, pues se ha visto que es un micronutriente esencial para los vegetales, además de estar envuelto en funciones de osmorregulación y turgencia (White y Broadley, 2001).

En contraste, los tipos sulfático-clorhídrico y sulfático perjudicaron visiblemente el crecimiento foliar ya que conforme aumentó la salinidad la cobertura decreció (**Cuadro 8**), la reducción se hizo significativa desde el tratamiento C6 (1.73 cm²) en la clorhídrico-sulfática y a partir del tratamiento C3 (2.35 cm²) en la sulfática. La mayor reducción en cobertura en las dos mezclas ocurrió en el tratamiento C7, siendo de un 53.5% en la clorhídrica y en 70.1% en la sulfática en relación al testigo e inclusive, se redujo por debajo de los 2 cm² a partir del tratamiento C6 en la clorhídrica-sulfática y desde el tratamiento C4 en la sulfática, cosa que no sucedió con las dos sales inicialmente descritas. La causa de la reducción en la cobertura foliar en estas sales fue la alta susceptibilidad del *Prosopis* a la salinidad por iones sulfato que es tóxica para esta planta (Pérez y Tambelini, 1995; Reinoso *et al.*, 2000), posiblemente por la falta de un mecanismo que controle la entrada del sulfato tal y como ocurre con el sodio (Levitt, 1972; Jarrell y Virginia, 1990; Zhao y Harris, 1992), se ha visto que los iones sulfato restringen la asimilación de Ca⁺² y promueven la entrada del sodio (Johi y Naik, 1980). Por otro lado, el escaso crecimiento foliar pudo ser una estrategia de *P. laevigata* encaminada a reducir los efectos tóxicos del sulfato, pues la elevada concentración de sulfato promovió una mayor evapotranspiración y translocación de sodio a las hojas, lo cual perjudicó la tasa fotosintética. Catalán *et al.* 1994, reportaron que cuando en *P. flexuosa* la salinidad fue excesiva (0.3 M NaCl), la concentración de sodio a nivel foliar fue mayor a la de la raíz; asimismo, se ha visto que el tamaño de los folíolos de *P. tamarugo* decreció cuando la concentración de sales aumentó, presumiblemente por un decremento en el tamaño celular (Serrato *et al.*, 1991).

A pesar de lo anterior, las plántulas de *P. laevigata* resultaron tolerantes a condiciones de salinidad, ya que es bien conocido que el mezquite posee la capacidad de excluir el sodio del tallo y las hojas (Levitt, 1972; Läuchi, 1984; Jarrel y Virginia, 1990; Zhao y Harris, 1992), así como la particularidad de poder regular la pérdida de agua mediante el cierre de los estomas (Mooney *et al.*, 1977; Wan y Sosebee, 1991). Además ha desarrollado medidas tales como el cambio de la orientación de las hojas, producción de cera, reducción del desarrollo de la cobertura y un sistema radical extenso para así evitar condiciones de estrés (Tallak *et al.*, 1983). Esta cualidad de poder tolerar condiciones de elevada salinidad por cloruros permitirían introducir a *P. laevigata* en suelos preferentemente con una salinidad clorhídrica y sulfático-clorhídrica, los cuales se ubican en sitios próximos a las costas o bien en los suelos salino-sódicos de las zonas áridas y semiáridas.

Cuadro 8. Efectos de las mezclas salinas sobre la cobertura foliar de plántulas de *P. laevigata*.

Mezclas	* Trat.	** Conc. gL ⁻¹	Día 9 (cm ²)			Día 14 (cm ²)			Día 19 (cm ²)		
Clorhídrica	C1	0.00	1.44	ab	A	1.72	ab	AB	2.24	a	A
	C2	0.64	1.56	a	A	1.93	a	A	2.78	bc	AB
	C3	1.28	1.66	a	A	2.14	a	AB	3.06	b	A
	C4	2.24	1.47	a	A	1.91	ab	A	2.88	bc	AC
	C5	3.20	1.64	a	ABD	1.99	a	A	2.96	bc	ABD
	C6	4.80	1.44	ab	ABD	1.67	ab	A	2.60	ac	ABD
	C7	5.76	1.36	b	A	1.65	b	A	2.45	ac	A
Sulfática-clorhídrica	C1	0.00	1.45	abc	A	1.58	ac	A	2.43	ab	AB
	C2	0.64	1.58	ab	A	1.97	ab	A	3.047	a	AB
	C3	1.28	1.48	ab	A	1.78	abc	AB	3.03	a	AB
	C4	2.24	1.43	ac	A	1.74	abc	AB	2.61	ab	AC
	C5	3.20	1.68	b	AD	2.03	b	A	3.11	a	AD
	C6	4.80	1.55	a	AD	1.68	abc	A	2.79	ab	AD
	C7	5.76	1.28	c	AB	1.43	c	A	2.32	b	A
Clorhídrica-sulfática	C1	0.00	1.64	a	A	1.97	a	B	2.75	a	B
	C2	0.64	1.54	a	A	1.96	ab	A	2.68	a	AB
	C3	1.28	1.54	ab	A	1.93	ab	AB	2.64	a	BC
	C4	2.24	1.42	abc	A	1.82	abc	AB	2.37	ab	AB
	C5	3.20	1.412	ab	BD	1.82	ab	A	2.52	a	BD
	C6	4.80	1.28	bc	BC	1.51	bc	A	1.76	bc	BD
	C7	5.76	1.11	c	BCD	0.99	c	AB	1.28	c	BC
Sulfática	C1	0.00	1.60	a	A	2.14	a	B	2.87	a	B
	C2	0.64	1.53	a	A	1.90	a	A	2.53	ab	A
	C3	1.28	1.38	ab	A	1.81	a	B	2.35	b	C
	C4	2.24	1.27	abc	A	1.44	b	B	1.93	b	B
	C5	3.20	1.15	bcd	C	1.01	c	B	1.33	c	C
	C6	4.80	0.99	cd	C	0.71	cd	B	1.20	cd	C
	C7	5.76	0.89	d	CD	0.58	d	B	0.86	d	B
Sulfática-sódica	C1	0.00	1.68	a	A	2.04	a	B	2.85	a	B
	C2	0.64	1.64	ab	A	2.19	A	A	3.18	a	B
	C3	1.28	1.70	ab	A	2.14	a	A	3.13	a	A
	C4	2.24	1.56	ab	A	2.01	a	A	3.04	a	C
	C5	3.20	1.64	ab	D	1.90	ab	A	2.82	a	D
	C6	4.80	1.52	ab	D	1.66	b	A	2.58	ab	D
	C7	5.76	1.22	b	D	1.29	b	A	1.80	b	AC

Las diferencias significativas entre los tratamientos se exponen con letras diferentes, obtenidas con la prueba de Kruskal-Wallis ($P < 0.05$). Las letras minúsculas indican la comparación entre concentraciones de cada mezcla, en cada fecha específica y las letras mayúsculas señalan la comparación entre mezclas a la misma concentración. ***Tratamiento**, ** **concentración**.

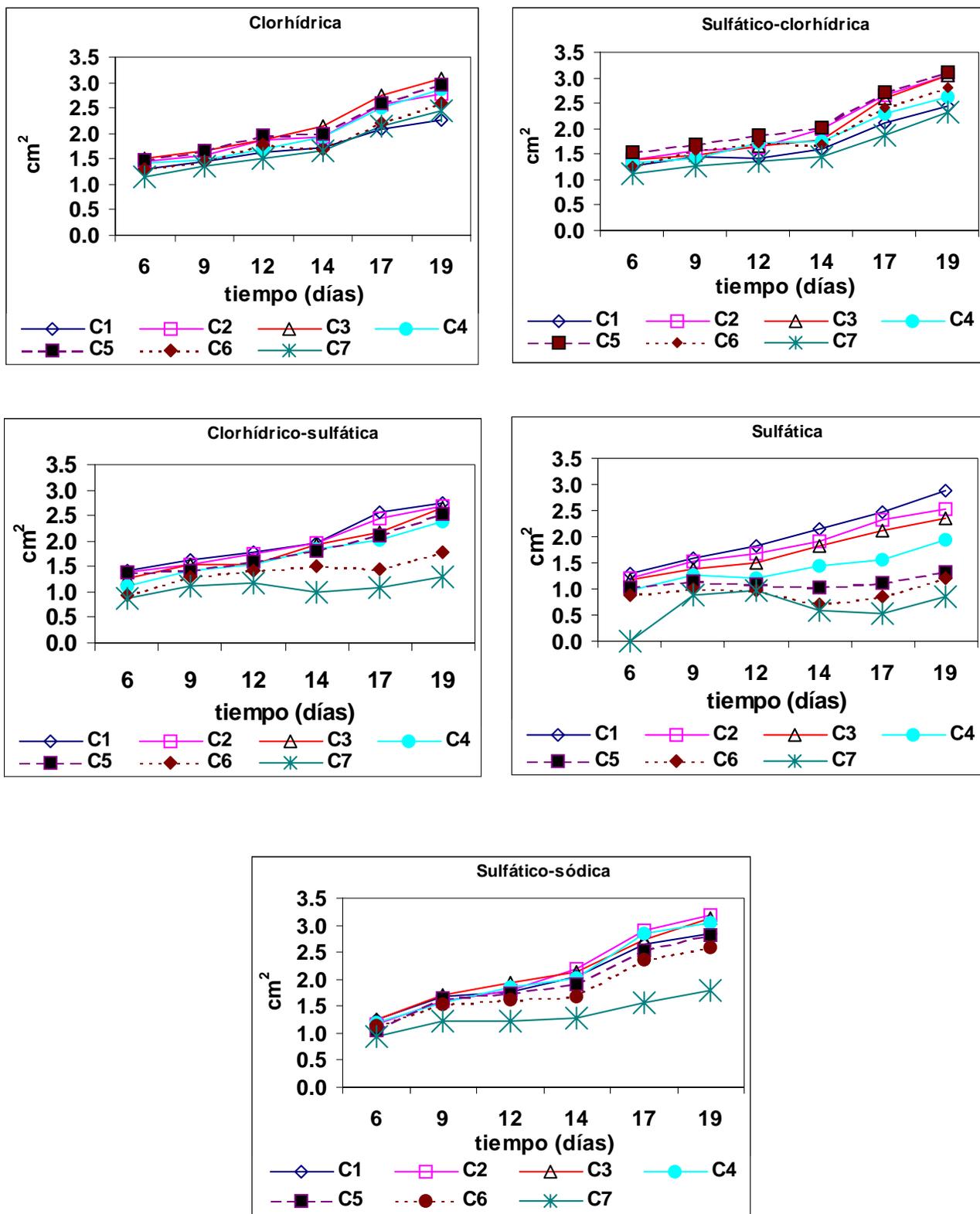


Figura 8. Comportamiento de la cobertura en los diferentes gradientes de mezclas salinas, conforme transcurrió el tiempo (días).

C1 (0.00 gL^{-1}), C2 (0.64 gL^{-1}), C3 (1.28 gL^{-1}), C4 (2.24 gL^{-1}), C5 (3.20 gL^{-1}), C6 (4.80 gL^{-1}) y C7 (5.76 gL^{-1})

7.5 NÚMERO Y LONGITUD DE RAÍCES

De acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis, las mezclas salinas afectaron significativamente la generación y crecimiento de raíces de las plántulas de *P. laevigata* (**Apéndice B**). En los tipos clorhídrico y sulfático-clorhídrico, tanto el número como la longitud de las raíces de las plántulas de *P. laevigata* presentaron una escasa reducción en estas sales (**Cuadro 9**), debido a que conforme incrementó la salinidad el número y longitud de las raíces no decreció de forma significativa; a pesar que la longitud radical se redujo en los tratamientos C5-C7 ($3.2-5.76 \text{ gL}^{-1}$) fueron cuantitativamente superiores respecto al tratamiento C1 (testigo), excepto el tratamiento C7 en la sal sulfático-clorhídrica. El número de raíces producidas resultó superior a 5 raíces por plántula, mientras que la longitud radical fue de 4 a 12 cm, en las dos sales. Meraz *et al.* (2001) reportaron que conforme aumentó la salinidad se reduce la longitud radical de *P. laevigata*, aunque esto no ocurrió en el actual trabajo; pues como concluyeron Ramírez *et al.* (1989), parece ser que los efectos nocivos por los tipos salinos son menos graves que los provocados por las sales puras (v.g. NaCl). López (2001) obtuvo que la longitud y número de raíces de las plántulas de *P. laevigata* no fueron perjudicadas al exponerlas a suelos con diferentes grados de salinidad y sodicidad; sin embargo, halló que las raíces en los suelos salinos tuvieron un menor número de ramificaciones. En el presente trabajo la reducción de las variables fue definida por la presencia de iones sulfato en la solución empleada y no por el contenido total de sales, ya que cuando la relación de iones cloruro en solución fue mayor respecto a los sulfatos, la raíz no se vio perjudicada, pues se ha visto que este tipo de salinidad no afecta al *Prosopis* (Pérez *et al.*, 1994; Reinoso *et al.*, 2000), porque al parecer el cloruro en el mezquite como en otras plantas halófitas es vital para la turgencia y osmorregulación del vegetal bajo condiciones de estrés salino (White y Broadley, 2001). Esta capacidad permitirían poder establecer esta especie a partir de plántula sin que su crecimiento fuese perjudicado de forma significativa, debido a que el crecimiento de la parte aérea (TRC y cobertura foliar) y raíz (número y longitud) tampoco es inhibido por los elevados contenidos de iones cloruro en el suelo o bien, en sitios regados con agua con un elevado contenido de sales solubles.

En las sales clorhídrico-sulfática y sulfática la generación de raíces y el crecimiento de las raíces se redujo conforme aumentó la salinidad, siendo más aguda la reducción en la mezcla sulfática (**Cuadro 9**). La disminución sobre la generación de raíces en las mezclas clorhídrica-sulfática se volvió significativa a partir del tratamiento C6 (1.8 raíces/planta) y en la sulfática desde el tratamiento C5 (1.08 raíces/planta) respecto al tratamiento C1, no siendo en ningún momento superior a 5 raíces por plántula; mientras que las longitudes de las raíces en las dos sales atrás señaladas decreció significativamente a partir del tratamiento C4 (2.24 gL⁻¹), hasta un 90.4% en la clorhídrica-sulfática y en un 93% en la sulfática, incluso la longitud radical fue inferior a los 4 cm. Esta elevada sensibilidad a las mezclas con elevados proporciones de iones sulfato ya se ha registrado en otras especies de *Prosopis* (Pérez *et al.*, 1994; Reinoso *et al.*, 2000); a pesar que el sulfuro del sulfato es un importante componente celular, el sulfato bajo concentraciones excesivas produce cambios drásticos en el metabolismo del sulfuro, acumulándose de forma excesiva metabolitos como sulfóxido de metionina que ocasiona daños tóxicos sobre los tejidos vegetales (Shevyakova, 1981).

Además, la elevada salinidad retrasa o detiene el alargamiento de la raíz y apresura su maduración, suberizando las raíces hasta las puntas y partes latentes, teniendo como resultado sistemas radicales más pequeños con una resistencia mayor al agua (Kramer, 1989); en *P. cineraria* y *P. tamarugo* se registraron efectos negativos sobre la raíz por exposición a NaCl que se acentuaron conforme se elevó la salinidad, presentándose una diferenciación temprana del xilema secundario, aunque algunos sugieren que es una adaptación característica en plantas que crecen en hábitats con bajos potenciales hídricos para facilitar la asimilación del agua (Serrato *et al.*, 1991; Serrato *et al.*, 1992). Aún así *P. laevigata* reflejó ser tolerante a la salinidad, sobretodo cuando la concentración de iones sulfato en la solución del suelo no fue excesiva. Bajo condiciones naturales, es bien conocido que las plántulas de *Prosopis* exhiben una rápida elongación de su raíz, como estrategia para la mejor captación del agua, que les permite obtener agua con bajos contenidos de sales solubles (Mooney *et al.*, 1977), lo cual es incrementado por su capacidad de acumular el sodio en sus raíces (Levitt, 1972; Jarrell y Virginia, 1990; Zhao y Harris, 1992), con lo que excluye los efectos tóxicos del sodio de la parte aérea. Jarrell y Virginia (1984), reportaron que *P. glandulosa* var. *torreyana* creció en suelos con más de 20 dSm⁻¹ (12.8 gL⁻¹) pues sus raíces obtienen agua de la porción de la raíz con baja salinidad. Felker *et al.* (1981) encontraron que algunas plántulas de *Prosopis* spp., pueden crecer en salinidades similares al agua de mar (36000 mgL⁻¹ NaCl), que comparado con la concentración máxima salina utilizada en este trabajo fue muy baja (5760 mgL⁻¹), lo cual explica porque la elevada tolerancia de *P. laevigata*.

Cuadro 9. Número y longitud de raíces promedio en plántulas de *P. laevigata*, en las diferentes mezclas salinas.

Mezclas	*Trat.	** Conc. (gL ⁻¹)	Número de raíces (raíces/planta)			Longitud de raíces (cm)		
Clorhídrica	C1	0.00	8.12	a	ABC	4.93	ace	A
	C2	0.64	8.92	a	A	10.48	b	A
	C3	1.28	10.80	a	A	12.72	b	A
	C4	2.24	7.16	a	AB	9.18	bd	A
	C5	3.20	8.60	a	AC	7.20	cde	A
	C6	4.80	9.04	a	A	6.27	de	A
	C7	5.76	6.56	a	AC	5.13	e	A
Sulfática-clorhídrica	C1	0.00	12.68	a	A	4.67	ad	A
	C2	0.64	9.08	a	AB	10.76	b	A
	C3	1.28	10.68	a	A	10.59	bc	AB
	C4	2.24	7.40	a	AB	6.44	cd	B
	C5	3.20	8.48	a	AC	7.84	bc	A
	C6	4.80	9.12	a	A	6.82	bcd	A
	C7	5.76	7.88	a	AC	4.46	d	A
Clorhídrico-sulfática	C1	0.00	4.44	a	B	9.42	a	B
	C2	0.64	3.16	abc	B	10.84	a	A
	C3	1.28	3.04	bc	B	8.88	a	AB
	C4	2.24	4.36	ab	AB	5.33	b	B
	C5	3.20	3.36	abc	AB	3.71	b	B
	C6	4.80	1.80	c	B	2.01	bc	B
	C7	5.76	1.00	c	B	0.91	c	B
Sulfática	C1	0.00	4.60	a	CB	9.83	a	B
	C2	0.64	2.72	abc	B	8.30	a	A
	C3	1.28	2.16	bc	B	5.24	ab	B
	C4	2.24	2.32	abc	A	3.13	b	B
	C5	3.20	1.08	c	B	1.01	c	C
	C6	4.80	1.00	c	B	0.96	cd	B
	C7	5.76	1.00	c	B	0.65	d	B
Sulfática-sódica	C1	0.00	7.16	a	AC	9.28	ab	B
	C2	0.64	8.68	a	A	10.81	a	A
	C3	1.28	9.48	a	A	11.40	a	A
	C4	2.24	9.04	a	B	10.63	a	A
	C5	3.20	9.24	a	C	8.46	b	A
	C6	4.80	6.96	a	A	7.84	ab	A
	C7	5.76	3.52	b	BC	3.62	c	A

Las diferencias significativas entre cada tratamiento se exponen con letras diferentes, evaluadas con la prueba de Kruskal-Wallis ($P < 0.05$). Las letras minúsculas indican la comparación entre las concentraciones de cada mezcla y las mayúsculas, la comparación entre mezclas a la misma concentración.

*Tratamiento, ** Concentración.

7.6 BIOMASA FRESCA Y SECA DE LA RAÍZ Y PARTE AÉREA (VÁSTAGO)

Al analizar estadísticamente los valores de biomasa fresca y seca (raíz y vástago), se encontró que estas fueron afectadas significativamente (**Apéndice B**). La biomasa fresca radical y aérea de las plántulas de *P. laevigata* en las sales clorhídrica y sulfático-clorhídrica no se redujo conforme incrementó la salinidad (**Cuadro 10**), pese a que en la sulfático-clorhídrica la biomasa radical en el tratamiento C7 (0.0527 g) fue menor al tratamiento C1 (0.0717 g), más no hubo diferencias estadísticas; en la clorhídrica, la biomasa aérea en los tratamientos C2-C7 (0.64-5.76 gL⁻¹) incrementó respecto al tratamiento C1 (0.1469 g). La escasa reducción sobre la biomasa fresca se debió a que el porcentaje de humedad aumento conforme lo hizo la salinidad, este incremento de la humedad en las plántulas es una estrategia de ajuste osmótico para resistir la concentración excesiva de las sales en la solución del suelo, siendo muy común en las halófitas (Levitt, 1972; Bernstein, 1975; Kramer, 1989; White y Broadley, 2001). Se ha advertido que los cotiledones de *P. laevigata* aumentan su biomasa fresca al exponerlas a NaCl (Meraz *et al.*, 2001) y a pesar que el presente trabajo no se analizó esta respuesta, bien pudo ocurrir una respuesta similar. Strogonov (1964) señala que la aparición de signos de succulencia de una planta es una señal del efecto específico por iones cloruro, los cuales predominaron en estos tipos salinos. Además la escasa reducción en la cobertura, tasa relativa de crecimiento, número y longitud de raíces ocasionó que no decreciera el crecimiento; no obstante, la causa principal fue la elevada relación de iones cloruro con relación al sulfato, que no perjudicaron el crecimiento de las plántulas de *P. laevigata*. Del mismo modo, la biomasa seca de la raíz y vástago en estas mezclas no se redujeron por la salinidad (**Cuadro 10**), aunque se registró un menor crecimiento en la biomasa radical respecto al vástago, más no fue significativo en relación con el tratamiento C1; Maas y Hoffman (1977) señalaron que el crecimiento más frecuentemente suprimido es el de las raíces. Lo anterior produjo cocientes raíz-vástago (R/S) inferiores a la unidad, lo cual significó que bajo condiciones de estrés salino la mayor asignación o crecimiento de biomasa en las plántulas de *P. laevigata* fue hacia el vástago en las sales clorhídrica y sulfático-clorhídrica. Mediante un análisis de covarianza (**Apéndice C**), se pudo percibir que en la mezcla clorhídrica la asignación de biomasa a la parte aérea como radical fue similar pues no se hallaron diferencias significativas; mientras que en la mezcla sulfático-clorhídrica, la asignación en biomasa fue mayor hacia el vástago. Newton y Goodin (1989) en Stuart (1991), subrayaron que en los arbustos perennes de zonas secas la relación R/S aumenta con los bajos potenciales hídricos para así evitar la desecación de la planta, como estrategia para la obtención de agua y nutrimentos, lo que también se ha visto ocurre en plántulas de *Prosopis* bajo

condiciones de estrés salino (Catalán *et al.*, 1994; Pandey y Thakarar, 1997; López, 2001). Aunque en el presente trabajo no ocurrió el anterior comportamiento, esto pudo ser debido a que los gradientes y tipos salinos empleados no fueron estresantes sobre el crecimiento de las plántulas de *P. laevigata*, quizás a una mayor concentración salina a la empleada aquí y con un mayor tiempo de exposición esta respuesta se haría evidente. Esta elevada tolerancia mostrada en estos tipos salinos, admitiría poder utilizar a las plántulas de *P. laevigata* en suelos con una salinidad clorhídrica o sulfático-clorhídrica, como serían los suelos salino-sódicos del ex-Lago de Texcoco.

La biomasa fresca radical y aérea en las mezclas clorhídrica-sulfática y sulfática se redujo conforme aumentó la salinidad (**Cuadro 10**), aunque en la clorhídrico-sulfática la disminución sólo fue positiva sobre la raíz, aconteciendo hasta el tratamiento C6 (0.0396 g); mientras en la sulfática fue desde el tratamiento C4 (0.0419 g) y C6 (0.1098 g) para la raíz y parte aérea, respectivamente. La reducción sobre la biomasa fresca en la sulfática fue producto de que la humedad disminuyó por debajo del 80% en los tratamientos C5-C7 (3.2-5.76 gL⁻¹), aunque no fue significativa respecto al testigo (78.28%); pese a que la clorhídrico-sulfática tuvo una humedad superior al 80% en los tratamientos C5-C7, esta se redujo resultado del escaso crecimiento del vástago (cobertura y TRC) y raíz (número y longitud de raíces) observados en este trabajo. Según Strogonov (1964), bajo condiciones de salinidad por sulfatos se presenta un contenido de agua menor respecto a la producida por cloruros, debido a que la tasa de respiración fue mayor, así como una menor fuerza de succión de las hojas, presión osmótica de la savia y escasa viscosidad del protoplasma; se cree que los cloruros incrementan la succulencia y en cambio los sulfatos la reducen (Kramer, 1989). La reducción se hizo más evidente sobre la biomasa seca ya que disminuyó conforme aumentó la salinidad (**Cuadro 10**), volviéndose significativa en el vástago al tratamiento C6 (0.0030 g) y en el tratamiento C5 (0.0404 g) para la raíz en la clorhídrico-sulfática; mientras en la sulfática, ocurrió a partir de los tratamientos C3 (0.0058 g) en la raíz y desde C4 (0.0345 g) en la parte aérea. Lo anterior originó valores raíz-vástago (R/S) inferiores a uno, ya que la mayor asignación de biomasa en las plántulas de *P. laevigata* se destino al vástago; al analizar la biomasa seca mediante un ANDECOVA la asignación de biomasa resultó significativamente distinta (**Apéndice C**), siendo la raíz la que presentó el menor crecimiento en biomasa. Para Datta *et al.* (1995), la reducción en biomasa seca por sulfatos se debió a que fue menos afectiva su secuestro o movilización hacia partes inocuas de la planta, lo cual se agravó por la escasa disponibilidad hídrica y quizás a una mayor translocación de sodio hacia la parte aérea al aumentar la salinidad, afectándose la tasa fotosintética y con esto, el crecimiento de las plántulas de *P. laevigata*.

El causa que siempre haya sido más perjudicada la raíz respecto al vástago, se relacionó con la cualidad del género *Prosopis* de excluir el sodio de la parte aérea (Levitt, 1972; Dafni y Negbi, 1978; Jarrell y Virginia, 1990; García *et al.*, 1992), pues el sodio se acumula en la raíz e hipocótilo, lo cual a la larga podría resultar tóxico para la raíz. Serrato *et al.* (1991) observaron que la raíz de *P. tamarugo* a una salinidad elevada (400 mM NaCl) la diferenciación progresiva del tejido estelar fue retrasada.

Las leguminosas bajo condiciones de campo (*e.g.* mezquite) evitan el estrés mediante la extensión de raíces profundas y la exploración de un gran volumen de suelo (Phillips, 1963; McNaughton, 1991), se ha reportado que *P. glandulosa* var. *torreyana* adquiere agua del suelo a una conductividad mayor a 20 dSm⁻¹ (Jarrell y Virginia, 1990). A pesar de que el valor R/S en ninguno de los gradientes de mezclas salinas fue mayor a la unidad (testigo incluido), significa que durante su desarrollo inicial las plántulas de *P. laevigata* asignan una mayor biomasa hacia la parte aérea respecto a la raíz, posiblemente como una estrategia para desarrollar más rápidamente tejido fotosintético necesario para su sobrevivencia y crecimiento inicial, quizás conforme transcurre el tiempo de exposición la asignación de biomasa cambia principalmente hacia la raíz.

Cuadro 10. Porcentaje de humedad, biomasa fresca-seca de la raíz-vástago y cociente R/S de las plántulas de *P. laevigata*.

Mezclas	*Trat.	**Conc. (g L ⁻¹)	% Humedad			Biomasa Fresca					Biomasa seca					R/S				
						Raíz (g)			Vástago (g)		Raíz (g)			Vástago (g)						
Clorhídrica	C1	0.00	76.73	a	A	0.0593	a	A	0.1469	a	A	0.0064	ac	A	0.0391	a	A	0.1653	ab	A
	C2	0.64	79.91	ab	A	0.1157	b	A	0.2231	b	AB	0.0123	b	A	0.0551	b	A	0.2262	a	A
	C3	1.28	81.09	b	A	0.1211	b	A	0.2260	b	A	0.0118	b	A	0.0538	b	A	0.2229	a	AB
	C4	2.24	80.12	abc	A	0.1129	b	A	0.2147	b	AC	0.0106	bc	AC	0.0540	b	AC	0.2089	a	A
	C5	3.20	78.30	bcd	AB	0.0849	ba	ABD	0.1895	b	ABC	0.0075	bc	A	0.0423	ba	AB	0.1741	ab	A
	C6	4.80	79.34	cd	A	0.0931	ba	A	0.1991	b	A	0.0082	bc	A	0.0437	ba	A	0.1850	ab	A
	C7	5.76	83.65	d	A	0.0788	ba	A	0.2048	b	A	0.0057	c	A	0.0403	ba	A	0.1478	b	A
Sulfática clorhídrica	C1	0.00	80.91	ab	A	0.0717	acd	ABC	0.1648	a	AB	0.0075	acd	AB	0.0373	ab	AB	0.2824	ab	AB
	C2	0.64	80.76	a	A	0.1077	abc	AB	0.2135	ab	AB	0.0105	ab	A	0.0504	a	A	0.1996	ab	A
	C3	1.28	81.01	a	A	0.1056	abc	AB	0.1819	ab	A	0.0105	ab	A	0.0431	ab	A	0.2469	a	AB
	C4	2.24	81.75	ab	A	0.0854	abcd	AB	0.1800	ab	AB	0.0089	ac	AC	0.0391	ab	AB	0.2250	a	A
	C5	3.20	82.88	b	A	0.1399	b	A	0.2221	b	AC	0.0124	b	B	0.0490	a	A	0.2547	a	B
	C6	4.80	82.37	b	A	0.0967	cd	A	0.1955	ab	A	0.0062	cd	A	0.0415	ab	A	0.1495	bc	A
	C7	5.76	83.64	b	A	0.0527	d	A	0.1956	ab	A	0.0037	d	A	0.0345	b	A	0.1103	c	A
Clorhídrico sulfática	C1	0.00	78.00	a	A	0.1145	a	BC	0.2077	a	BC	0.0136	a	BC	0.0518	a	BC	0.2786	a	B
	C2	0.64	78.89	a	A	0.0971	a	AB	0.1974	a	AB	0.0105	ab	A	0.0500	a	A	0.2098	a	A
	C3	1.28	80.04	ab	A	0.0990	a	AB	0.2062	a	A	0.0110	ab	A	0.0477	ab	A	0.2246	a	AB
	C4	2.24	80.18	ab	A	0.0602	ab	B	0.1814	a	ABC	0.0068	bc	AB	0.0398	abcd	ABC	0.1637	ab	AB
	C5	3.20	81.66	ab	AB	0.0721	ab	BD	0.1927	a	ABC	0.0063	abc	A	0.0404	bc	B	0.1522	ab	A
	C6	4.80	83.29	b	A	0.0396	b	A	0.1814	a	A	0.0030	cd	B	0.0329	cd	AB	0.0869	b	A
	C7	5.76	84.51	b	A	0.0158	c	B	0.1461	a	AB	0.0006	d	B	0.0249	d	AB	0.0393	c	B
Sulfática	C1	0.00	78.28	a	A	0.1104	a	C	0.1946	a	BC	0.0128	a	C	0.0526	a	BC	0.2405	a	B
	C2	0.64	77.75	a	A	0.0746	ab	B	0.1765	a	A	0.0085	ab	A	0.0457	ab	A	0.1864	ab	A
	C3	1.28	79.11	ab	A	0.0607	ab	B	0.1757	a	A	0.0058	bc	B	0.0430	a	A	0.1303	b	A
	C4	2.24	82.25	b	A	0.0419	b	B	0.1935	a	B	0.0030	c	B	0.0345	bc	B	0.0831	b	B
	C5	3.20	78.66	ba	B	0.0132	c	C	0.1405	ab	B	0.0003	d	C	0.0296	c	C	0.0111	c	C
	C6	4.80	74.86	ba	B	0.0184	c	B	0.1098	b	B	0.0001	d	C	0.0262	cd	B	0.0067	c	B
	C7	5.76	77.58	ba	A	0.0055	d	C	0.1008	b	B	0.0000	d	B	0.0188	d	B	0.0009	c	B
Sulfática sódica	C1	0.00	78.30	a	A	0.0989	a	C	0.2085	ab	C	0.0128	a	BC	0.0521	a	C	0.2483	a	B
	C2	0.64	78.19	a	A	0.0871	a	AB	0.2467	a	B	0.0117	a	A	0.0604	a	A	0.1979	a	A
	C3	1.28	80.01	a	A	0.1048	a	AB	0.2253	a	A	0.0122	a	A	0.0533	a	A	0.2271	a	B
	C4	2.24	79.95	a	A	0.1126	a	A	0.2267	a	C	0.0121	a	C	0.0552	a	C	0.2255	a	A
	C5	3.20	79.13	a	B	0.0745	a	D	0.2155	ab	C	0.0098	a	AB	0.0511	a	AB	0.1957	a	AB
	C6	4.80	79.44	a	BA	0.0642	ab	A	0.1941	ab	A	0.0078	a	A	0.0436	ab	A	0.1890	a	AB
	C7	5.76	78.08	a	A	0.0303	b	A	0.1331	b	AB	0.0023	b	BA	0.0296	b	A	0.0896	b	AB

Las diferencias significativas entre cada tratamiento se exhiben con letras diferentes, obtenidas mediante la prueba de Kruskal-Wallis ($P < 0.05$). Las letras minúsculas indican la comparación entre las concentraciones de cada mezcla y las mayúsculas (negritas), la comparación entre mezclas a la misma concentración. * **Tratamiento**, ** **concentración**.

7.7 MORTALIDAD

Al examinar los valores de mortalidad de *P. laevigata* se encontró que la salinidad la afectó significativamente (**Apéndice B**). En las mezclas clorhídrica y sulfático-clorhídrica la mortalidad resultó inferior al 10% (**Cuadro 11**), pues a pesar que en los tratamientos C6 y C7 aumentó ligeramente, no fueron distintas al tratamiento C1. En los tipos clorhídrico-sulfático y sulfático la mortalidad aumentó conforme lo hizo la concentración salina; en la clorhídrico-sulfática, se redujo en los tratamientos C4 (3.57%) y C6 (6.12%), respecto con el tratamiento C7 (14.89%); mientras en la sulfática sólo fue en el tratamiento C5 (9.75%) comparado con el tratamiento C7 (18.91%). La mayor mortalidad ocurrió en las sales con una elevada relación de iones sulfato (clorhídrico-sulfática y sulfática) producto de la disminución en la tasa relativa de crecimiento, cobertura foliar, número y longitud de raíces, así como en la biomasa tanto fresca como seca de la raíz y del vástago. La etapa más oportuna para introducir al *P. laevigata* en suelos con ensalitramiento es la de plántula, pues comparado con la emergencia presentó una mejor tolerancia. En anteriores estudios con *Prosopis* se ha percibido una mayor tolerancia de la plántula respecto a la etapa de germinación o emergencia al estrés salino (López y Galera, 1992; Catalán *et al.*, 1994; Villagra, 1997; Reinoso *et al.*, 2000); aun así sería más conveniente emplear individuos de una mayor edad (2 años), ya que conforme se desarrolla el *Prosopis* incrementa su tolerancia a las condiciones atrás señaladas (Felker *et al.*, 1981; Rhodes y Felker, 1988) y preferentemente, en suelos con una salinidad clorhídrica y sulfático-clorhídrica (v.g. Altiplano Potosino-Zacatecano).

Cuadro 11. Porcentajes finales de mortalidad en plántulas de *P. laevigata* en los tipos salinos.

*Trat.	**Conc. (gL ⁻¹)	Clorhídrica (%)	Sulfática clorhídrica (%)	Clorhídrica sulfática (%)	Sulfática (%)	Sulfática sódica (%)
C1	0.00	0.00 §	0.00 §	0.00 A A	0.00 §	2.00 a A
C2	0.64	2.43 §	0.00 §	2.27 A A	0.00 §	0.00 a A
C3	1.28	0.00 §	0.00 §	2.13 A A	0.00 §	1.85 a A
C4	2.24	0.00 §	4.00 §	3.57 A A	0.00 §	0.00 a A
C5	3.20	1.63 §	0.00 §	3.77 A A	9.75 a A	1.92 a A
C6	4.80	1.75 §	3.57 §	6.12 A A	11.11 a A	8.00 a A
C7	5.76	5.45 §	3.70 §	14.89 B B	18.91 b B	25.71 b B

Las diferencias significativas entre los tratamientos se exponen con letras distintas, obtenidas mediante la prueba de Kruskal-Wallis ($P < 0.05$). Las letras minúsculas indican la comparación entre concentraciones de cada mezcla y las mayúsculas, la comparación entre mezclas a la misma concentración (§ = no evaluada estadísticamente por falta de repeticiones). * **Tratamiento**, ** **concentración**.

7.8 EFECTOS MORFOLÓGICOS PRODUCIDOS POR LAS MEZCLAS SALINAS

Las plántulas de *P. laevigata* exhibieron múltiples respuestas morfológicas, las cuales se expresaron en diferentes grados dependiendo la concentración salina y sobretodo, de la relación iónica presente. Entre los efectos perjudiciales observados durante la emergencia, se registró la permanencia de la testa de la semilla que impidió el desarrollo de las plántulas (**Foto 1**); así como retraso y bajos porcentajes de emergencia que se agudizaron al aumentar la salinidad (**Foto 2**), sobretodo en las mezclas más perjudiciales (clorhídrica-sulfática y sulfática).

Las plántulas presentaron daños en sus hojas cotiledonares y en las hojas verdaderas, que consistieron en la presencia de manchas blanquecinas en los ápices (**Foto 3**); además de clorosis y necrosis (**Foto 4**), producto del transporte y acumulación de iones en cantidades excesivas hacia el vástago (v.g sulfato y sodio); otro daño fue la caída de los foliolos de las pinnas, lo cual redujo la superficie fotosintética (**Foto 5**); así también, hubo desarrollo anormal de foliolos de las pinnas (**Foto 6**), que finalmente ocasionó que el crecimiento de las plántulas fuese escaso (**Foto 7**). Conforme transcurrió el tiempo de exposición a las mezclas salinas, se presentaron signos de deshidratación (marchitez) (**Foto 8**), que ocasionaron en las sales más nocivas (clorhídrica-sulfática y sulfática) desde un escaso crecimiento hasta la muerte de las plántulas (**Foto 9**). El crecimiento radical tuvo una reducción en número y longitud que varió según el tipo salino presente, pues mientras en los tipos clorhídrico y sulfático-clorhídrico no declinó la generación y el crecimiento radical (**Foto 10**), en los tipos clorhídrico-sulfático y sulfático el crecimiento y formación de las raíces se redujo significativamente.

En el cuadro 12 se resumen los efectos de las mezclas salinas sobre el desempeño de *P. laevigata* durante las fases de emergencia y crecimiento inicial; en dicho cuadro, es evidente que las mezclas más perjudiciales sobre las variables de respuesta muestreadas fueron la clorhídrica-sulfática y sulfática, debido a la elevada concentración de sulfatos características de estas salinidades a las cuales mostraron ser sensibles las plántulas de *P. laevigata*. Por el contrario, las sales clorhídrica y sulfática-clorhídrica a pesar que ocasionaron una escasa reducción en los parámetros analizados, no se vio perjudicado el crecimiento de las plántulas de *P. laevigata*; mientras que en la sulfático-sódica, se presentó una reducción intermedia en casi todas las variables, pues generalmente el efecto negativo se expresó hasta una concentración de 5.76 gL^{-1} .

Cuadro 12. Efecto de los tipos salinos sobre las variables de respuesta estudiadas.

Salinidad					
Parámetros de Respuesta	Clorhídrica	Sulfática clorhídrica	Sulfático sódica	Clorhídrico sulfática	Sulfática
Porcentaje de Emergencia	++	++	+++	+++	++++
Tasa Relativa de Crecimiento (TRC)	++	++	+++	+++	++++
Cobertura foliar	++	++	+++	++++	+++++
Número de raíces	++	++	+++	++++	+++++
Longitud de raíces	++	++	+++	++++	+++++
Biomasa fresca raíz	++	++	+++	++++	+++++
Biomasa fresca vástago	++	++	+++	+++	++++
Biomasa seca raíz (R)	++	++	+++	++++	+++++
Biomasa seca vástago (S)	++	++	+++	++++	++++
Cociente R/S	++	++	+++	++++	+++++
Mortalidad	++	++	++++	++++	++++

+ nula, ++ escasa, +++ media, ++++ alta, +++++ severa.



Foto1. Persistencia de la testa en las plántulas que emergieron.



Foto 4. Necrosis de plántulas durante la emergencia.



Foto 2. Escasa emergencia de plántulas de *P. laevigata*.



Foto 5. Pérdida de los folíolos de las pinnas.



Foto 3. Manchado de hojas cotiledonares y de los folíolos.



Foto 6. Desarrollo anormal de los folíolos de las pinnas de *P. laevigata*.



Foto 7. Plántulas de *P. laevigata* con escaso crecimiento.



Foto 8. Deshidratación de plántulas por elevada salinidad.



Foto 9. Mortalidad de plántulas por salinidad.

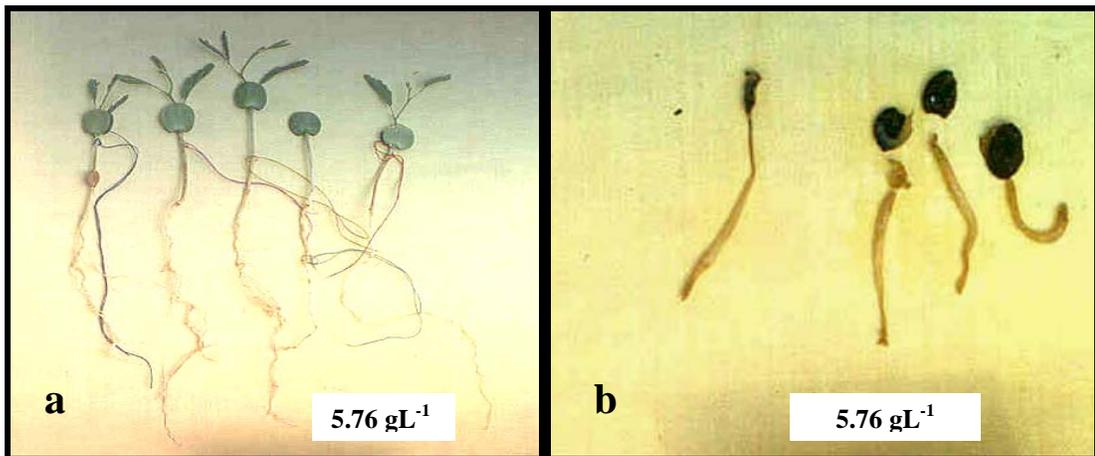


Foto 10. Crecimiento radical en las sales clorhídrica y sulfático-clorhídrica (a), respecto a las mezclas clorhídrico-sulfática y sulfática (b).

8. CONCLUSIONES

- Las semillas y plántulas de *P. laevigata* presentaron una escasa sensibilidad a las mezclas clorhídrico y sulfático-clorhídrica, ya que la emergencia, tasa relativa de crecimiento (TRC), cobertura, número de raíces, longitud de raíces y biomasa de la raíz como del vástago no se redujeron a una conductividad eléctrica no mayor a 8 dSm^{-1} .
- Las mezclas clorhídrico-sulfática, sulfática y sulfático-sódica redujeron la emergencia y el crecimiento inicial de las plántulas de *P. laevigata*. Debido a que la emergencia, TRC, cobertura foliar, número y longitud de raíces y biomasa fresca y seca de la raíz y del vástago, fueron significativamente reducidas a una conductividad eléctrica superior a 5 dSm^{-1} .
- La raíz fue el órgano vegetal más afectado por las salinidades empleadas, ya que este decremento a medida que aumentó la concentración de iones sulfato (v.g. clorhídrico-sulfática y sulfática), la reducción se agudizó conforme incrementó la salinidad y el tiempo de exposición. El cociente raíz-vástago (R/S) resultó menor a la unidad, debido a que la mayor asignación de biomasa fue hacia la parte aérea (vástago) durante el desarrollo inicial de *P. laevigata*.
- En las sales clorhídrica-sulfática y sulfática la mortalidad de las plántulas fue superior al 10%; mientras que cuando la proporción de sulfatos fue baja no superó el 10% (e.g. clorhídrico y sulfático-clorhídrica).
- Al incrementar la concentración salina, la morfología y fisiología de las plántulas se vio afectada por necrosis, marchitamiento, clorosis, crecimiento foliar anormal, inhibición del crecimiento de la parte aérea y raíz, así como reducción de la ramificación radical. Estos efectos fueron visibles a partir de una concentración salina de 4.8 gL^{-1} , principalmente en los tipos clorhídrico-sulfático y sulfático.
- Con base a los resultados obtenidos en el presente trabajo, las plántulas de *P. laevigata* pueden establecerse en suelos con problemas de salinidad y cuya conductividad eléctrica sea de hasta 5 dSm^{-1} .
- La hipótesis nula se aceptó, pues a medida que la salinidad aumentó, la emergencia y desarrollo inicial de las plántulas de *P. laevigata* se redujo.

9. RECOMENDACIONES

- A pesar que el porcentaje de emergencia de *P. laevigata* fue superior al 50% en todas las mezclas salinas, se recomienda emplear a plántulas para el mejoramiento y aprovechamientos de los suelos salinos, preferiblemente de 2 años, debido a que durante el desarrollo inicial el crecimiento de la radical fue escaso, lo cual sería desventajoso para su establecimiento.
- Debido a la gran sensibilidad manifestada por las plántulas de *P. laevigata* a una salinidad por iones sulfato, es recomendable emplearla preferentemente en suelos con una salinidad clorhídrica y sulfático-clorhídrica, que no presenten una conductividad eléctrica superior a 8 dSm⁻¹.
- Otro aspecto importante, es la necesidad de establecer el presente trabajo bajo condiciones de campo, en sitios que presenten este tipo de salinidad. Resulta necesario analizar cómo varía la tolerancia bajo condiciones naturales respecto a las empleadas en el presente trabajo.
- Sería conveniente evaluar a otras especies de *Prosopis*, principalmente aquellas distribuidas ampliamente en nuestro país (e.g. *P. glandulosa*), con la finalidad de poder detectar a las mejores especies para rehabilitar y aprovechar los suelos afectados por salinidad de nuestro país.

10. REFERENCIAS

- Aceves, E. N. 1979. El ensalitramiento de los suelos bajo riego (identificación, control, combate y adaptación). Colegio de Postgraduados, Chapingo, México pp. 4-44
- Aguirre, A.G. 1993. Química de los suelos salinos y sódicos. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, México 130 pp.
- Ahmed, P. 1991. Agroforestry: a viable land use of alkali soils. *Agroforestry Systems*, **14**: 23-37
- Allworth-Ewalt, N.A. 1982. Ornamental landscaping as a market for mesquite trees. En: Parker, H.W. Symposium on Mesquite utilization. Proceedings of the symposium. College of Agricultural Sciences Texas Tech University Lubbock, Texas, pp. P1-P7
- Arce, P., C. M. C. Medina y O. Balboa 1990. Tolerancia a la salinidad en la germinación de tres especies de *Prosopis* (*P. alba*, *P. chilensis* y *P. tamarugo*). *Ciencia e Investigación Agraria*, **17**: 71-75
- Arinushkina E.V. 1970. Manual de análisis químicos de suelos. Parte II, Capítulo 7 que corresponde al análisis de del extracto acuoso 1:5 de suelos salinos y 8, forma gráfica de representar los resultados. Ed. Universidad de Moscú, Moscú, Ex-URSS.
- Ayers, A.D. 1951. Seed germination as affected by soil moisture and salinity. *Agronomy Journal*, **44**: 82-84
- Bazilevich, N.I. y E.I. Pankova 1969. Classification of soils according to their chemistry and degree of salinization. *Agrokémia és Talajtan*. Tomo **18**: 219-226
- Bazzaz, F.A. 1973. Seed germination in relation to salt tolerance in three populations of *Prosopis farcta*. *Oecologia*, **13**: 73-80
- Beltrán, M.J. 1982. Análisis químicos de suelos. Omega, Barcelona, pp. 20-21
- Bernstein, L. 1975. Effects of salinity and sodicity on plant growth. *Annual Review Phytopatology*, **13**: 295-312
- Bhojvoid, P.P., V.R. Timmer y G. Singh 1996. Reclaming sodic soils for wheat production by *Prosopis juliflora* (Swartz) DC afforestation in India. *Agroforestry Systems*, **34**: 139-150
- Bhojvoid, P.P. y V.R. Timmer 1998. Soil dynamics in an age sequence of *Prosopis juliflora* plated for sodic soil restoration in India. *Forest Ecology and Management*, **181**: 181-193
- Bliss, R.D., K.A. Platt-Aloia y W.W. Thomson 1984. Effects of salt on cell membranes of germinating seeds. *California Agriculture*, **38**: 24-25

- Brower, J. y J.H. Zar 1977. Field and laboratory methods for general ecology. MN.C. Brown Company Publishers, Iowa, pp. 151-152
- Böhm, W. 1979. Methods of studying root system. Springer, New York pp. 137-138
- Catalán, L., M. Balzarini, E. Taleisnik, R. Sereno y U. Karlin 1994. Effects of salinity on germination and seedling growth of *Prosopis flexulosa* (D.C.). *Forest Ecology and Management*, **63**: 347-357
- Cazebonne, C., A.I. Vega, D.A. Varela y L.A. Cardemil 1999. Efectos de la salinidad en la germinación y crecimiento de *Prosopis chilensis*. *Revista Chilena de Historia Natural*, **72**: 83-91
- CONAZA 1994a. Mezquite *Prosopis* . Cultivo alternativo de zonas áridas y semiáridas de México. Comisión Nacional de Zonas Áridas–Instituto Nacional de Ecología, México 31p.
- CONAZA 1994b. Plan de acción para combatir la desertificación en México (PACD-México). Comisión de Nacional de las Zonas Áridas, Secretaria de desarrollo social, México, p. 134
- Cony, M. 1995. Reforestación racional de zonas áridas y semiáridas con árboles de múltiples propósitos. *Interciencia*, **20**: 249-253
- Cony, M.A. y S.O. Trione 1998. Inter- and intraespecific variability in *Prosopis flexuosa* and *Prosopis chilensis*: seed germination under salt and moisture stress. *Journal of Arid Environments*, **40**: 307-317
- Dafni, A. y M. Negbi 1978. Variability in *Prosopis farcta* in Israel: seed germination as affected by temperature and salinity. *Israel Journal of Botany*, **27**: 147-159
- Datta, K.S., A. Kumar, S.K. Varma y R. Angrish 1995. Differentiation of chloride and sulphate salinity on the basis of ionic distribution in genetically diverse cultivars of wheat. *Journal of Plant Nutrition*, **18**(10): 2199-2212
- Escobar-Rebollar, E. 1994. Efecto de diversas soluciones salinas de composición total y cualitativa sobre la emergencia de variedades criollas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L., *Phaseolus coccineus* L.) y maíz (*Zea mays* L.) bajo condiciones de invernadero. Tesis Lic. (Biología) FES Zaragoza, UNAM 134 pp.
- Felger, R. y Moser, M. B. 1971. Seri use of mesquite *Prosopis glandulosa* var. *torreyana*. *Journal of the Arizona Archeological and Historical Society*, **37**(1): 53-60
- Felker, P., P.R. Clark, A.E. Laag y P.F. Pratt 1981. Salinity tolerance of the tree legumes: mesquite (*Prosopis glandulosa* var. *Torreyana*, *P. velutina* y *P articulata*) algarrobo (*P. chilensis*), Kiawe (*P. pallida*) and tamarugo (*P. tamarugo*) grown in sand culture on nitrogen-free media. *Plant and soil*, **61**: 311-317

- Felker, P. 1981. Uses of tree legumes in Semiarid Region. *Economy Botany*, **35**: 174-186
- Figueroa, R. 1979. Aspectos generales sobre la tenencia de la tierra en el distrito de riego del Valle del Mezquital. Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM, p. 18-19
- Flores, J. L., J.A. Cruz, E. García, J. T. Frías y G. Montesinos 2000. Características de la vegetación herbácea en una comunidad semiárida dominada por mezquite *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. Ex Wild) M.C. Johnst. En: Frías-Hernández, V. Olalde, E.J. Vernon. El mezquite árbol de usos múltiples: estado actual del conocimiento de México. Universidad de Guanajuato, México pp. 81-93
- Flowers, T.J., P.F. Troke y A.R. Yeo 1977. The mechanism of salt tolerance in halophytes. *Annual Review Plant Physiology*, **28**: 89-121
- Foth, H.D. y L.M. Turk 1972. Fundamentos de la ciencia del suelo. Editorial Continental, México p.456
- Frías-Hernández, J.T., A.L. Aguilar-Ledezma, V. Olalde-Portugal, J.A. Balderas-López, G. Gutiérrez-Juárez, J.J. Alvarado-Gil, J.J. Castro, H. Vargas, A. Albores, L. Dendooven, J.A. Balderas-López y L.C.M. Miranda 1999. Soil characteristics in semiarid highlands of Central México as affected by mesquite trees (*Prosopis laevigata*). *Arid soil research and rehabilitation*, **13**: 305-312
- Fuentes, J.L. 1999. El suelo y los fertilizantes. Mundi-Prensa, Madrid pp. 150-152
- Galindo, A.S. y E. García 1986. The uses of mesquite (*Prosopis* .) in the highlands of San Luis Potosí, México. *Forest Ecology and Management*, **16**: 49-56
- García, F.L., E. Troyo D. y J.L. Ochoa 1992. Relations between saline ground water, soil, and leaf tissue composition of the phreatophyte mezquite. *Ground Water*, **30**(5): 676-682
- Garg, V.K. 1999. Leguminous trees for the rehabilitation of sodic wasteland in northern India. *Restoration Ecology*, **7**: 281-287
- Ghassemani F., A.J. Jakeman y H.A. Nix 1995. Salinisation of land and water resources Human causes, extent, management and case studies. CAB Internacional, Australia pp. 31-38
- Glenn, E.P., J.J. Brown y J.W. O'Leary 1998. Riego con agua de mar. *Investigación y Ciencia*, No. 265: 58-63
- González, Q.L. 1968. Tipos de vegetación del Valle del Mezquital, Hidalgo. Instituto Nacional de Antropología e Historia, México, 53 p.
- González-Zertuche, L. y A. Orozco-Segovia 1996. Métodos de análisis de datos en la germinación de semillas, un ejemplo: *Manfreda brachystachya*. *Boletín Sociedad Botánica de México*, **58**: 15-30

- Granados, S.D. y J. Hernández 1995. Sistema de Recolección en una comunidad ñahñu en el Valle del Mezquital, Hgo. *Revista Chapingo, Serie Ciencia Forestal*, **1**: 109-115
- Greenway, H. y R. Munns 1980. The mechanism of salt tolerance in nohalophytes. *Annual Review Plant Physiology*, **31**: 149-190
- Grijalva, S.B.M. y R. Ríos G. 1995. Algunos efectos del cloruro de sodio en la germinación y emergencia de del cultivo de *Phaseolus vulgaris* L. *Tópicos de Investigación y Posgrado*, **4**: 91-96
- Habit, M., D. Contreras y R.H. González 1981. *Prosopis tamarugo*: arbusto forrajero para zonas áridas. FAO, Roma p. 3
- Hass, R.H., R.E. Meyer, C.J. Scifres y J.H. Brock 1973. Growth and development of mesquite. En: Texas A&M University. Mesquite; growth and development, management, economics, control, uses. The Texas Agricultural Experimental Station, College Station, Texas, pp. 10-19
- Hernández, R.A. y J. Villanueva D. 2001. Establecimiento y manejo de un módulo silvopastoril de mezquite en la zona media de San Luis Potosí. Folleto técnico No. 15, SAGARPA-INIFAP-CIRNE, San Luis Potosí, México 26 p.
- Hopkins, W.G. 1995. Introduction to plant physiology. John Wiley & Sons, Inc., New York pp. 436-438
- Hunt, R. 1990. Basic growth analysis. Chapman & Hall, England p. 26-34
- INEGI 1998. Carta topográfica Pachuca F14-11 1:250'000.
- INEGI 1999. Superficies continental e insular del territorio nacional. México (inédito). En: http://www.semarnat.gob.mx/estadisticas_ambientales/estadisticas_am_98/suelos/suelos05.shtml
http://www.semarnat.gob.mx/estadisticas_ambientales/estadisticas_am_98/suelos/suelos04.shtml
- Jaramillo, V. 1994. Revegetación y reforestación de las áreas ganaderas en las zonas áridas y semiáridas de México. SARH, México pp.40-45
- Jarrell, W.M. y R.A. Virginia 1984. Salt tolerance of mesquite. *California Agriculture*, **38**: 28
- Jarrell, W.M. y Virginia, R.A. 1990. Response of mesquite to nitrate and salinity in a simulated phreatic environment: water use, dry matter and mineral nutrient accumulation. *Plant and Soil*, **125**: 185-196
- Jiménez, B., N. López y C. Sotomayor 1997. Estudio de la Calidad y Suministro del Agua para Consumo Doméstico en el Valle del Mezquital. Informe Final. Instituto de Ingeniería, UNAM. Proyecto 5322 elaborado para la Comisión Nacional del Agua.
- Joshi, G.V. y G.R. Naik 1980. Response of sugarcane to different types of salt stress. *Plant and Soil*, **56**: 255-263.
- Kramer, P.J. 1963. Water stress and plant growth. *Agronomy Journal*, **55**: 31-35

- Kramer, P.J. 1987. The role of water stress in the tree growth. *Journal of Arboriculture*, **13**: 33-38
- Kramer, P.J. 1989. Relaciones hídricas de suelos y plantas. Harla, México 233-341
- LaHaye, P.A. y E. Epstein 1969. Salt toleration by plants: enhancement with calcium. *Science*, **166**: 395-396
- Läuchi, A. 1984. Salt exclusión: an adaptation of legumes for crops and pastures under saline conditions. En: Staples, C. y G.H. Toenniessen. Salinity tolerance in plants; strategies for crop improvement. Wiley & Sons, New York, pp. 171-187
- Läuchi, A. y E. Epstein 1984. Mechanisms of salt tolerance in plants. *California Agriculture*, **38**: 18-20
- Levitt, J. 1972. Response of plants to environmental stresses. Academic Press, New York 489-543 pp.
- López, R.O.A. 2001. Desarrollo de plántulas de mezquite, *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. Ex Wild) M.C. Johnst., en suelos salinos del ex-lago de Texcoco. Ing. Agroecología, Universidad Autónoma de Chapingo, México 62p.
- Llerena, V.F.E. 1993. Propuesta de una clasificación detallada de suelos con problemas de sales. En: Reunión Nacional de Halófitas y Manejo de Aguas y Suelos Salinos. SARH, Colegio de Postgraduados Montecillos, México pp. 69-73
- Maas E.V. y M. Hoffman 1977. Crop salt tolerance-current assessment. *Journal Irrigation and Drainage Division*, **103**: 115-134
- Maldonado, A.L. y P.F. De la Garza 2000. El mezquite en México: rasgos de importancia productiva y necesidades de desarrollo. En: Frías-Hernández, V. Olalde, E.J. Vernon. El mezquite árbol de usos múltiples: estado actual del conocimiento de México. Universidad de Guanajuato, México pp. 37-50
- Marqués, M.J. 1988. Probabilidad y estadística para ciencias químico-biológicas. FES-Zaragoza, UNAM, México pp. 507-511
- McNaughton, S.J. 1991. Dryland herbaceous perennials. En: Mooney H.A., W.E. Winner y E.J. Pell. Response of plants of multiple stresses. Academic Press, Inc., New York, pp. 307-328
- Meraz, S., J. Orozco, L.A. Lechuga, F. Cruz y J. Vernon 1998. El mezquite, árbol de gran utilidad. *Ciencias* (51): 20-21
- Meraz, V.S., F. Cruz S., J.A. Lechuga C., E. Sandoval Z., V.M. Chávez A. y E. Vernon C. 2001. Efecto del cloruro de sodio (NaCl) en el establecimiento de plántulas de mezquite

(*Prosopis laevigata*). Resumen del XV Congreso SMB, México En: <http://www.socbot.org.mx/disco/resume/re484.htm>

- Mooney, H.A., B.B. Simpson y O.T. Solbrig 1977. Phenology, morphology, physiology. En: Simpson, B.B. Mesquite; It's biology in two desert ecosystems. Dowden Hutchinson & Ross, Pennsylvania, pp. 26-43.
- Montgomery, D.C. 1991. Diseño y análisis de experimentos. Editorial Iberoamericana, México pp. 112-113
- Namuche, V.R., H. Saucedo, L. Pulido, P. Lázaro, C. Fuentes, O. Palacios, F. Llerena, A. González, L. Nikolski y J. González 2000. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Juitepec Morelos, pp. 13-17, 67-69, 79, 102-133
- Olalde, V., J.T. Frías, A.L. Aguilar, N. Pescador y L.I. Aguilera 2000. Caracterización microbiológica de suelos de islas de fertilidad de mezquite [*Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. Ex Wild) M.C. Johnst.] en ambientes semiáridos. En: Frías-Hernández, V. Olalde, E.J. Vernon. El mezquite árbol de usos múltiples: estado actual del conocimiento de México. Universidad de Guanajuato, México pp. 95-107
- Ortega, M. 1990. Manejo y uso de las aguas salinas en la agricultura. Colegio de Postgraduados, Centro de Hidrociencias Montecillo, México 16 pp.
- Ortega, M. 1993. Causas de ensalitramiento y su efecto sobre los suelos. Colegio de Postgraduados, Centro de Hidrociencias, México 56 p.
- Ortega, S.F., T. Forbes-López y S. Sanloy 1986. *Prosopis juliflora*, árbol de rápido crecimiento para los suelos áridos y salinos. *Ciencias de la Agricultura*, **1**(29): 159-162
- Ortiz, M., M. Anaya y J. Estrada 1994. Evaluación, cartografía y políticas de la degradación de la tierra. Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma de Chapingo y Comisión de Zonas Áridas, México. En: http://www.semarnat.gob.mx/estadisticas_ambientales/estadisticas_am_98/suelos/suelos05.shtml
- Ortiz, O. M. 1992. Distribución y extensión de los suelos afectados por sales en México y el Mundo. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México, 36 p.
- Palacios, R.A., P.S. Hoc, A.D. Burghardt y A.E. Vilela 2000. *Prosopis* L.: Biodiversidad y clasificación, estrategias adaptativas reproductivas e importancia económica. En: Frías-Hernández, V. Olalde, E.J. Vernon. El mezquite árbol de usos múltiples: estado actual del conocimiento de México. Universidad de Guanajuato, México pp. 13-34

- Pandey, A.N. y N.K. Thakarar 1997. Effects of chloride salinity on survival and growth of *Prosopis chilensis* seedlings. *Tropical Ecology*, **38**(1): 145-148
- Parsons, L.R. 1987. Respuesta de la planta a la deficiencia de agua. En: Christiansen, M.N. y C.F. Lewis. Mejoramiento de plantas en ambientes poco favorables. Noriega Editores, México pp. 211-231
- Pennington, T.D. y Sarukhán, J. 1998. Árboles tropicales de México. Fondo de Cultura Económica, México, pp. 224-225
- Pérez, S.C.G.J. y J.A.P.V. Vieira 1994. Estresse salino no processo germinativo da algarobeira e atenuacao de seus efeitos pelo uso de reguladores de crescimento. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, **29**(3): 389-396
- Perez, S.C.J.G. de A. y M. Tambelini 1995. Efeito dos estresses salino e hidrico e do envelhecimento precoce na germinacao de algarobeira. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, **30**(11): 1289-1295
- Phillips, W.S. 1963. Depth of roots in soil. *Ecology* (**44**): 424
- Plaster, E. J. 1997. Soil science & management. Delmar Publishers, USA pp. 16, 182-188
- Poljakoff-Mayber, A. y J. Gale 1975. Plants in saline environments. Springer-Verlag, New York 189 p.
- Porta J., M. López-Acevedo y C.R. De Laburu 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid pp. 645-689
- PRONARE 1999. Fichas técnicas de especies forestales. Ficha # 3. *Gaceta de la Red Mexicana de Germoplasma Forestal* No. 18
- Ramírez, O.M., M. Ortega, J.L. Rodríguez, C. Ramírez y J.L. Rone 1989. Determinación experimental de la capacidad germinativa de algunos cultivos agrícolas en soluciones salinas de diferente concentración total y composición cualitativa. *Agrociencia*, **78**: 249-264
- Ramírez, J.A. y J. Villanueva 1991. Reforestación con mezquite en la zona media y altiplano potosino. Folleto No. 9, SARH-INIFAP-CIFAP, San Luis Potosí, 13 p.
- Ramírez, J.A. y J. Villanueva D. 1998. Selección y manejo de material reproductivo de Mezquite (*Prosopis* spp.). Folleto técnico No. 8, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, San Luis Potosí 20 p.
- Reinoso, H., L. Sosa, C. Combo, F. Ochoa y V. Luna 2000. Morphological and physiological responses of *Prosopis strombulifera* (Lam.) Bent to increasing salt conditions. En: <http://abstracts.aspb.org/aspp2000/public/P45/1159.html>

- Richards, L.A. 1980. Diagnostico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Editorial Limusa, México 172 pp.
- Rhodes, W. y P. Felker 1988. Mass screening of *Prosopis* (mesquite) seedlings for growth at seawater salinity concentrations. *Forest Ecology and Management*, **24**: 169-176
- Ruiz-Vera, V.M.1995. Respuesta del fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.) a la salinidad sulfático-sódica en diferentes etapas de crecimiento. Tesis Maestría, Colegio de Postgraduados 138 p.
- Rzedowsky, J. 1988. Análisis de la distribución del complejo *Prosopis* (Leguminosae, Mimosoideae) en Norteamérica. *Acta Botánica Mexicana*, **3**: 7-19
- Salgado-Ugarte, I.H. 1992. El análisis exploratorio de datos biológicos. Fundamentos y aplicaciones. FES-Zaragoza, México pp. 27-49
- Salisbury, E.B. y C.W. Ross 1994. Fisiología vegetal. Editorial Iberoamericana, México pp.639-641, 646-655
- Scifres, C. J. y J.H. Brock 1969. Moisture-temperature interrelations in germination and early seedling development of mesquite. *Journal of Range Management*, **22**: 453-458
- SEMARNAT 2000. Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Inventario Nacional de Suelos, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México En: <http://www.semarnat.gob.mx/suelos/invent/normat/nom021.shtml>
- Serrato, V., M. Ferro, D. Serrato y F. Riveros 1991. Anatomical changes in *Prosopis tamarugo* Phil. Seedlings growing at different levels of NaCl salinity. *Annals of Botany*, **68**: 47-53
- Serrato, G., L. Melone, O. Orsi y F. Riveros 1992. Anatomical changes in *Prosopis cineraria* (L.) Druce seedlings growing at different levels of NaCl salinity. *Annals of Botany*, **70**: 399-404
- SCT 1993. Hidalgo-carta turística, 1:250'000
- Shevyakova, N.I. 1981. Transport and metabolism of sulfate under salt stress. En: Structure and function of plant roots. Proceedings of the 2nd. International Symposium, held in Bratislava, Czechoslovakia. September 1-5, 1980. Martinus Nijhoff, Dr. W. Junk Publishers, The Hague pp. 351-353
- Signoret, J. P. 1970. Datos sobre algunas características ecológicas del mezquite (*Prosopis laevigata*) y su aprovechamiento en el Valle del Mezquital. En: Gómez-Lorence, F. Mezquites y Huizaches: Algunos aspectos de la economía, ecología y taxonomía de los géneros *Prosopis* y *Acacia* en México. IMERNAR, México pp.73-146

- Singh, G. 1995. An agroforestry practice for the development of salt lands using *Prosopis juliflora* and *Leptochloa fusca*. *Agroforestry Systems*, **29**: 61-75
- Strogonov, B.P. 1964. Physiological basis of salt tolerance of plants: as affected by various types of salinity. Jerusalem: Israel Program for Scientific Translations, 279 p.
- STSC 1989. Statgraphics, statistical graphics systems by statistical graphics corporation. STSC, USA, pp. 13.1-13.8
- Stuart, F. 1991. Effects to multiple environmental stresses on nutrient availability and use. En: Mooney, H., W.E. Winner y E.J. Pell. Response to plants to multiple stresses. Academic Press, San Diego, pp. 67-87
- Szabolcs, I. 1979. Review of research on salt-affected soil. UNESCO pp. 31-97
- Tallak, E., M. Rasoul S., P.W. Rundel, W.M. Jarrell y R.A. Virginia 1983. Diurnal and seasonal water relations of the desert phreatophyte *Prosopis glandulosa* (Honey mesquite) in The Sonoran Desert of California. *Ecology*, **64**: 1381-1393
- Tomar, O.S., R.K. Gupta y J.C. Dagar 1998. Afforestation techniques and evaluation of different tree species for waterlogged saline soils in semiarid tropics. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, **12**(4): 301-316
- Vázquez, G.S., J.T. Frías H., V. Olalde P. y G. Vázquez M. 2001. The social and ecological importance of mesquite in Guanajuato. *Voices of México* (CISAN-UNAM), No. 57
- Velásquez, A., J.Francois M., R. Mayorga S., J.L. Palacio, G. Bocco, G. Gómez R., L. Luna G., I. Trejo, J. López G., M. Palma, A. Peralta, J. Prado M. y F. González M. 2001. El inventario forestal nacional 2000. *Ciencias* (64): 13-19
- Villagra, G.M. y F.M. Galera 1992. Soil salinity-sodicity effects on germination, survival and development in four populations of *Prosopis strombulifera* (Lam) Benth (Fabaceae: Mimosoideae). En: Dutton, R.W., M. Powell y R.J. Ridley. *Prosopis* species, aspects of their value, research and development. CORD, Univ. Durham, pp. 219-233
- Villagra, P.E. 1997. Germination of *Prosopis argentina* and *P. alpataco* seeds under saline conditions. *Journal Arid Environments*, **37**: 261-267
- Villalobos, A. E. y D. V. Peláez 2001. Influences of temperature and water stress on germination and stablishment of *Prosopis caldenia* Burk. *Journal Arid Environment*, **49**: 321-328
- Villanueva, J. D. 1993. Distribución actual y características ecológicas del mezquite (*Prosopis laevigata* H. & B. Johnst), en el estado de San Luis Potosí. INIFAP, México p. 5

- Waisel, Y. 1991. Adaptation to salinity. En: Raghavendra, A.S. *Physiology of trees*. John Wiley & Sons, Inc., New York 359-383 pp.
- Wan, C. y R. E. Sosebee 1991. Water relations and transpiration of honey mesquite on 2 sites in west Texas. *Journal Range Management*, **44**: 156-160
- White, P.J. y M.R. Broadley 2001. Chloride in soils and its uptake and movement within the plant: a review. *Annals of Botany*, **88**: 967-988
- Zar, J.H. 1996. *Biostatistical analysis*. Prentice-Hall, New Jersey, pp. 198- 202
- Zhao, K. y P.J.C. Harris 1992. The effects of iso-osmotic salt and water stresses on the growth of halophytes and non-halophytes. *Journal of Plant Physiology*, **139**: 761-763
- Zomlefer, W.B. 1994. *Guide to flowering plant families*. The University of North Carolina Press, Chapel & London Hill, E.U., p. 160

APÉNDICES

APÉNDICE A

Preparación de soluciones salinas.

Para la preparación de cada tipo salino ha sido establecido que las relaciones iónicas no deben exceder cierto valor límite (Bazilevich y Pankova, 1969). En el presente trabajo, se consideraron las siguientes relaciones: Así, para la salinidad clorhídrica la relación entre el Cl^- y el SO_4^{-2} fue mayor a 2; para la sulfático-clorhídrica osciló entre 1.0 y 2.0; en la clorhídrico-sulfática entre 0.2 y 1.0; mientras en la sulfática fue menor a 0.2 y para la sulfático-sódica la relación entre el HCO_3^- y el $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{-2}$ resultó de 2.0. Las mezclas y relaciones iónicas seleccionadas fueron las siguientes:

1. Salinidad clorhídrica: $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{-2} = 2.5$
2. Salinidad sulfático-clorhídrica: $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{-2} = 1.5$
3. Salinidad clorhídrico-sulfática: $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{-2} = 0.6$
4. Salinidad sulfática: $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{-2} = 0.15$
5. Salinidad sulfático-sódica: $\text{HCO}_3^-/\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{-2} = 2.0$

En la preparación de los gradientes de mezclas salinas se adoptó el criterio expuesto por Escobar-Rebollar (1994), basado a su vez en la metodología del Manual de Análisis Químicos de Arinushkina (1970). El cálculo de las concentraciones salinas considerando las relaciones arriba expuestas se realizó de la siguiente forma:

a) Salinidad clorhídrica

Se utilizó cloruro de sodio (NaCl) y sulfato de magnesio heptahidratado ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$). En el primer tratamiento salino la concentración total de sales fue de 0.64 gL^{-1} , que deben generar una conductividad eléctrica teórica en el extracto de 1.0 dSm^{-1} . El procedimiento utilizado para calcular la concentración de cada sal fue el siguiente:

$$\text{NaCl (PM)} = 58.44 \text{ g mol}^{-1}$$

$$\text{Cl}^- \text{ (PM)} = 35.45 \text{ g}$$

$$\% \text{ Cl}^- \text{ en NaCl} = 60.66\%$$

$$\text{MgSO}_4 \text{ (PM)} = 120.365 \text{ g mol}^{-1}$$

$$\text{SO}_4 \text{ (PM)} = 96.09 \text{ g}$$

$$\% \text{SO}_4^{-2} \text{ en MgSO}_4 = 79.83\%$$

$$\text{Donde } A + B = 0.64 \text{ gL}^{-1} \text{ y } \text{Cl}^- / \text{SO}_4^{-2}: 5/2 = 2.5$$

$$A = \text{Cl}^-, B = \text{SO}_4^{-2}$$

$$\text{Porcentaje de P/P de } \text{Cl}^- \text{ en NaCl} = 0.6066$$

$$\text{Porcentaje de P/P de } \text{SO}_4^{-2} \text{ en MgSO}_4 = 0.7983$$

$$\text{No. meq. } \text{Cl}^- / A = (0.6066 * A_0 * 1000) / 35.453 = 17.1114A$$

$$\text{No. meq. } \text{SO}_4^{-2} / B = (0.7983 * B_0 * 1000) / 48.03 = 16.62B$$

$$\text{SÍ la relación } \text{Cl}^- / \text{SO}_4^{-2}: 5/2 = 2.5, \text{ entonces } 17.1114A / 16.62B = 2.5$$

$$17.1114A = 5, \text{ despejando } A = 5 / 17.1114 = 0.2922 \text{ Cl}^- \text{ y}$$

$$16.62B = 2, \text{ despejando } B = 2 / 16.62 = 0.1203 \text{ SO}_4^{-2}:$$

$$A + B = 0.4125$$

$$A = (0.64 * 0.2922) / 0.4125 = 0.4533 \text{ gL}^{-1} \text{ NaCl}$$

$$B = (0.64 * 0.1203) / 0.4125 = 0.1866 \text{ gL}^{-1} \text{ MgSO}_4$$

Nota: Los cálculos de las sustancias fueron realizados con sales anhidras, las cuales se debieron ajustar, pues se trabajaron con algunos compuestos en estado hidratado. Quedando de la siguiente forma:

El $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ tiene un peso molecular de 246.48 g y el MgSO_4 de 120.365 g.

$$246.48 \text{ g (MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) \text{-----} 100\%$$

$$120.365 \text{ g (MgSO}_4) \text{-----} x = 48.83\% \text{ de MgSO}_4 \text{ en MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$$

Por lo tanto 51.17% es agua (H_2O), finalmente la relación fue:

$$100 \text{ g MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \text{-----} 51.17 \text{ g es H}_2\text{O}$$

$$100 \text{ g MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \text{-----} 48.83 \text{ g MgSO}_4 \text{ en MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$$

$$\text{SÍ } 100 \text{g MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \text{-----} 48.83 \text{g MgSO}_4$$

$$0.3821 \text{g MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = x \text{ -----} 0.1866 \text{g MgSO}_4$$

b) Salinidad sulfático-clorhídrica

En este sal al igual que en la clorhídrica, solamente variaron las relaciones aniónicas entre las dos sales usadas, manteniéndose los mismos porcentajes de aniones para cada sal. Así, se tuvo que:

$$17.1114A/16.62B = 1.5$$

$$A + B = 0.64 \text{ gL}^{-1}$$

$$A = \text{Cl}^- \text{ y } B = \text{SO}_4^{-2}$$

$$\text{Relación Cl/ SO}_4 = 1.5 = 3/2$$

$$17.1114A = 3, \text{ despejando } A = 3/17.1114 = 0.1753 \text{ Cl}^- \text{ y}$$

$$16.62B = 2, \text{ despejando } B = 2/16.62 = 0.1203 \text{ SO}_4^{-2};$$

$$A + B = 0.2956$$

$$A = (0.64 \times 0.1753) / 0.2956 = 0.3795 \text{ gL}^{-1} \text{ NaCl}$$

$$B = (0.64 \times 0.1203) / 0.2956 = 0.2604 \text{ gL}^{-1} \text{ MgSO}_4$$

$$\text{Sí } 100 \text{ g MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \text{-----} 48.83 \text{ g MgSO}_4$$

$$0.5332 \text{ g MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = x \text{ -----} 0.2604 \text{ g MgSO}_4$$

c) Salinidad clorhídrica sulfática

El procedimiento en esta sal fue igual que en el caso precedente, solamente se ajustó la relación aniónica. Así se tuvo que:

$$17.1114A/16.62B = 0.6$$

$$A + B = 0.64 \text{ gL}^{-1}$$

$$A = \text{Cl}^- \text{ y } B = \text{SO}_4^{-2}$$

$$\text{Relación Cl/ SO}_4^{-2} = 0.6 = 3/5$$

$$17.1114A = 3, \text{ despejando } A = 3/17.1114 = 0.1753 \text{ Cl}^- \text{ y}$$

$$16.62B = 5, \text{ despejando } B = 5/16.62 = 0.3008 \text{ SO}_4^{-2};$$

$$A + B = 0.4761$$

$$A = (0.64 \times 0.1753) / 0.4761 = 0.2356 \text{ gL}^{-1} \text{ NaCl}$$

$$B = (0.64 \times 0.3008) / 0.4761 = 0.4043 \text{ gL}^{-1} \text{ MgSO}_4$$

$$\text{Sí } 100 \text{ g MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \text{-----} 48.83 \text{ g MgSO}_4$$

$$0.8279 \text{ g MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = x \text{ -----} 0.4043 \text{ g MgSO}_4$$

d) Salinidad sulfática

El procedimiento para esta sal fue el mismo que en el caso anterior, únicamente cambió la relación aniónica. Así se tuvo que:

$$17.1114A/8.1136B = 0.15$$

$$A + B = 0.64 \text{ gL}^{-1}$$

$$A = \text{Cl}^- \text{ y } B = \text{SO}_4^{-2}$$

$$\text{Relación Cl}^- / \text{SO}_4^{-2} = 0.15 = 3/20$$

$$17.1114A = 3, \text{ despejando } A = 3/17.1114 = 0.1753 \text{ Cl}^-$$

$$16.62B = 20, \text{ despejando } B = 20/16.62 = 1.2033 \text{ SO}_4^{-2}:$$

$$A + B = 1.3786$$

$$A = (0.64 \times 0.1753) / 1.3786 = 0.0813 \text{ gL}^{-1} \text{ NaCl}$$

$$B = (0.64 \times 1.2033) / 1.3786 = 0.5586 \text{ gL}^{-1} \text{ MgSO}_4$$

$$\text{Sí } 100 \text{ g MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \text{-----} 48.83 \text{ g MgSO}_4$$

$$1.1439 \text{ g MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = x \text{ -----} 0.5586 \text{ g MgSO}_4$$

e) Salinidad sulfática-sódica

La fuente de sales fueron el cloruro de magnesio hexahidratado ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), sulfato de sodio (Na_2SO_4) y bicarbonato de sodio (NaHCO_3). La concentración total del primer tratamiento fue de 0.64 gL^{-1} . El procedimiento resultó el siguiente:

$$*\text{MgCl}_2 \text{ (PM)} = 95.22 \text{ g mol}^{-1}$$

$$\text{Cl}_2 \text{ (PM)} = 70.91 \text{ g}$$

$$\% \text{ Cl}_2 \text{ en MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 74.47\%$$

$$\text{Porcentaje P/P de Cl}_2 \text{ en MgCl}_2 = 0.7447 \text{ g}$$

$$*\text{Na}_2\text{SO}_4 \text{ (PM)} = 142.04 \text{ g mol}^{-1}$$

$$\text{SO}_4^{-2} \text{ (PM)} = 96.06 \text{ g}$$

$$\% \text{ SO}_4^{-2} \text{ en Na}_2\text{SO}_4 = 67.63\%$$

$$\text{Porcentaje P/P de SO}_4^{-2} \text{ en Na}_2\text{SO}_4 = 0.6763 \text{ g}$$

$$*\text{NaHCO}_3 \text{ (PM)} = 84.01 \text{ g mol}^{-1}$$

$$\text{HCO}_3 \text{ (PM)} = 61 \text{ g}$$

$$\% \text{ HCO}_3 \text{ en NaHCO}_3 = 72.62\%$$

$$\text{Porcentaje P/P de HCO}_3 \text{ en NaHCO}_3 = 0.7262 \text{ g}$$

$$\text{Donde } A + B + C = 0.64 \text{ gL}^{-1}, \text{ por lo tanto } \text{HCO}_3^- / \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{-2} = 4/1 + 1 = 4/2 = 2.0$$

$$A = \text{Cl}, B = \text{SO}_4^{-2} \text{ y } C = \text{HCO}_3^{-}$$

$$\text{Meq. Cl} / \text{MgCl}_2 = (0.7447 \times A_0 \times 1000) / 35.5 \text{ g} = 20.9774A$$

$$\text{Meq. SO}_4^{-2} / \text{Na}_2\text{SO}_4 = (0.6763 \times B_0 \times 1000) / 48.03 \text{ g} = 14.0808B$$

$$\text{Meq. HCO}_3^{-} / \text{NaHCO}_3 = (0.6763 \times C_0 \times 1000) / 48.03 \text{ g} = 14.0808C$$

$$20.9774A = 1, \text{ despejando } A = 1/20.9794 = 0.0477 \text{ en Cl}^{-}$$

$$14.0707B = 1, \text{ despejando } B = 1/14.0707 = 0.0710 \text{ en SO}_4^{-2}$$

$$11.9049C = 4, \text{ despejando } C = 4/11.9049 = 0.3360 \text{ en HCO}_3^{-}$$

$$\text{por lo tanto, } A + B + C = 0.4547$$

$$A = (0.64 \times 0.0477) / 0.4547 = 0.0671 \text{ gL}^{-1} \text{ MgCl}_2$$

$$B = (0.64 \times 0.0710) / 0.4547 = 0.0999 \text{ gL}^{-1} \text{ Na}_2\text{SO}_4$$

$$C = (0.64 \times 0.3360) / 0.4547 = 0.4729 \text{ gL}^{-1} \text{ NaHCO}_3$$

Realizando los ajustes de la misma forma que en las relaciones anteriores:

$$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O (PM): } 203.21 \text{ gmol}^{-1}$$

$$\text{MgCl}_2 \text{ (PM)= } 95.22 \text{ gmol}^{-1}$$

$$203.21 \text{ g (MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O)} \text{-----} 100\%$$

$$95.22 \text{ g (MgCl}_2) \text{-----} x = 46.85\% \text{ de MgCl}_2 \text{ en MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$$

Por lo tanto, 53.15% es H₂O, entonces si

$$100 \text{ g MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \text{-----} 53.15 \text{ g H}_2\text{O}$$

$$100 \text{ g MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \text{-----} 46.85 \text{ g MgCl}_2 \text{ en MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$$

Finalizando de la siguiente forma:

$$100 \text{ g MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \text{-----} 46.85 \text{ g MgCl}_2$$

$$0.1432 \text{ g MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = X \text{-----} 0.0671 \text{ g MgCl}_2$$

Se calculó el volumen de solución necesario para generar la conductividad eléctrica correspondiente para cada tratamiento, obteniéndose seis concentraciones y un testigo de agua destilada (**Cuadro 13**). De las sales utilizadas, el cloruro de sodio (NaCl), sulfato de sodio (Na₂SO₄) y bicarbonato de sodio (NaHCO₃) se encontraron en estado deshidratado, mientras que el sulfato de magnesio (MgSO₄) y cloruro de magnesio (MgCl₂) en condición hidratada. Se tomaron alícuotas para producir las concentraciones para cada uno de los tratamientos a los que fueron expuestas las semillas de mezquite; los volúmenes (**Cuadro 14**) se calcularon con la fórmula siguiente: $V_1C_1 = V_2C_2$.

Cuadro 13. Valores teóricos de conductividad eléctrica y concentraciones de los tratamientos salinos a los que se expusieron las semillas de mezquite (*P. laevigata*).

*Trat.	**CE dSm ⁻¹	***Conc gL ⁻¹	Clorhídrica		Sulfático clorhídrica		Clorhídrico sulfática		Sulfática		Sulfático sódica			
			NaCl gL ⁻¹	MgSO ₄ ·7H ₂ O gL ⁻¹	NaCl gL ⁻¹	MgSO ₄ ·7H ₂ O gL ⁻¹	NaCl gL ⁻¹	MgSO ₄ ·H ₂ O gL ⁻¹	NaCl gL ⁻¹	MgSO ₄ ·7H ₂ O gL ⁻¹	MgCl ₂ ·6H ₂ O gL ⁻¹	Na ₂ SO ₄ gL ⁻¹	NaHCO ₃ gL ⁻¹	
C1	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
C2	1.00	0.64	0.4533	0.3821	0.3795	0.5332	0.2356	0.8279	0.0813	1.1439	0.1432	0.0999	0.4729	
C3	2.00	1.28	0.9066	0.7642	0.7590	1.0664	0.4712	1.6558	0.1626	2.2878	0.2864	0.1998	0.9458	
C4	3.50	2.24	1.5866	1.3374	1.3283	1.8662	0.8246	2.8977	0.2846	4.0037	0.5012	0.3497	1.6552	
C5	5.00	3.20	2.2665	1.9105	1.8975	2.6660	1.1780	4.1395	0.4065	5.7195	0.7160	0.4995	2.3645	
C6	7.50	4.80	3.3998	2.8658	2.8463	3.9990	1.7670	6.2093	0.6098	8.5793	1.0740	0.7493	3.5468	
C7	9.00	5.76	4.0797	3.4389	3.4155	4.7988	2.1204	7.4511	0.7317	10.2951	1.2888	0.8991	4.2561	

* Tratamiento; ** conductividad eléctrica; ***concentración.

Cuadro 14. Volumen de solución madre utilizada para la preparación de las mezclas salinas.

*Trat.	Clorhídrica		Sulfática clorhídrica		Clorhídrico sulfática		Sulfática		Sulfático sódica		
	NaCl (mL)	MgSO ₄ .7H ₂ O (mL)	NaCl (mL)	MgSO ₄ .7H ₂ O (mL)	NaCl (mL)	MgSO ₄ .7H ₂ O (mL)	NaCl (mL)	MgSO ₄ .7H ₂ O (mL)	MgCl ₂ .6H ₂ O (mL)	Na ₂ SO ₄ (mL)	NaHCO ₃ (mL)
C1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C2	23.8	8.3	19.9	11.5	12.4	17.9	4.3	24.8	62.5	62.5	62.5
C3	47.6	16.5	39.9	23.1	24.8	35.8	8.5	49.5	125.0	125.0	125.0
C4	83.4	29.0	69.8	40.4	43.3	62.7	15.0	86.7	218.8	218.7	218.7
C5	119.1	41.4	99.7	57.7	61.9	89.6	21.4	123.8	312.5	312.5	312.5
C6	178.7	62.0	149.6	86.6	92.9	134.4	32.0	185.7	468.8	468.7	468.7
C7	214.4	74.4	179.5	103.9	111.4	161.3	38.4	222.9	562.5	562.5	562.5

Nota: Las alícuotas se aforaron con agua destilada a un volumen final de 1750 mL, posteriormente se adicionó 330 mL por maceta. * **Tratamiento.**

APÉNDICE B

Análisis de Kruskal-Wallis

Cuadro 15. Resumen de las pruebas estadísticas obtenidas en las variables de respuesta evaluadas.

Variable de Respuesta	Prueba estadística	Valor P
Emergencia Final	71.6589	0.0
Velocidad de Emergencia	91.8465	0.0
Mortalidad	51.179	0.0
Tasa Relativa de Crecimiento	174.121	0.0
Cobertura foliar (día 9)	269.845	0.0
Cobertura foliar (día 16)	371.903	0.0
Cobertura foliar (día 19)	441.494	0.0
Número de raíces	364.513	0.0
Longitud de raíces	555.879	0.0
Contenido de Humedad	222.809	0.0
Biomasa fresca raíz	402.701	0.0
Biomasa fresca vástago	261.247	0.0
Biomasa seca raíz	508.380	0.0
Biomasa seca vástago	391.282	0.0
Cociente raíz-vástago (R/S)	435.724	0.0

Valores de P inferiores a 0.05, son estadísticamente significativos con un 95% de confianza.

APÉNDICE C

Análisis de covarianza (ANDECOVA)

Clorhídrica

Variable dependiente: bsv (biomasa seca de vástago)

Factores:

Conc (concentración)

Covariable:

Bsr (biomasa seca de raíz)

Análisis de Covarianza para bsv - Suma de cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	gl	cuadrado medio	F	P
COVARIABLES					
bsr	0.00757189	1	0.00757189	49.14	0.0000
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:conc	0.000826355	6	0.000137726	0.89	0.5009
RESIDUAL	0.0255796	166	0.000154094		
TOTAL (CORREGIDA)	0.0407003	173			

Sulfática-clorhídrica

Variable dependiente: bsv (biomasa seca de vástago)

Factores:

Conc (concentración)

Covariable:

Bsr (biomasa seca de raíz)

Análisis de Covarianza para bsv - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	gl	cuadrado medio	F	P
COVARIABLES					
bsr	0.00688255	1	0.00688255	91.33	0.0000
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:conc	0.00163063	6	0.000271772	3.61	0.0022
RESIDUAL	0.0125849	167	0.0000753584		
TOTAL (CORREGIDA)	0.0246914	174			

Clorhídrica-sulfática

Variable dependiente: bsv (biomasa seca de vástago)

Factores:

Conc (concentración)

Covariable:

Bsr (biomasa seca de raíz)

Análisis de Covarianza para bsv - Suma de cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	gl	cuadrado medio	F	P
COVARIABLES					
bsr	0.003948	1	0.003948	42.15	0.0000
EFECTOS PRINCIPALES					
A:conc	0.00187086	6	0.000311809	3.33	0.0040
RESIDUAL	0.0156424	167	0.0000936671		
TOTAL (CORREGIDA)	0.0338932	174			

Sulfática

Variable dependiente: bsv (biomasa seca de vástago)

Factores:

Conc (concentración)

Covariable:

Bsr (biomasa seca de raíz)

Análisis de Covarianza para bsv - Suma de cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	gl	cuadrado medio	F	P
COVARIABLES					
bsr	0.00490855	1	0.00490855	84.57	0.0000
EFECTOS PRINCIPALES					
A:conc	0.00241784	6	0.000402973	6.94	0.0000
RESIDUAL	0.00963508	166	0.0000580427		
TOTAL (CORREGIDA)	0.0357177	173			

Sulfático-sódica

Variable dependiente: bsv (biomasa seca de vástago)

Factores:

Conc (concentración)

Covariable:

Bsr (biomasa seca de raíz)

Análisis de Covarianza para bsv - Suma de cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	gl	cuadrado medio	F	P

COVARIABLES					
bsr	0.00619056	1	0.00619056	46.26	0.0000
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:conc	0.0029984	6	0.000499733	3.73	0.0016
RESIDUAL	0.0223502	167	0.000133834		

TOTAL (CORREGIDA)	0.0436304	174			
