



22

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

ACADEMIA DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN



TOLERANCIA A LA SALINIDAD DURANTE LAS ETAPAS DE GERMINACION Y PLANTULA DE DOS VARIETADES DE MAIZ RESISTENTES A SEQUIA

DEPARTAMENTO DE EXAMENES DE PROFESIONALES

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE : INGENIERA AGRICOLA PRESENTA : JOSEFA ERNESTINA MARTINEZ GARCIA

DIRECTOR: M. en C. RAMIRO RIOS GOMEZ

ASESOR: DR. ARTURO AGUIRRE GOMEZ

284283

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX. 2000



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES



UNIVERSIDAD NACIONAL
 AUTÓNOMA DE
 MÉXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

FACULTAD DE ESTUDIOS
 SUPERIORES - CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE
 EXAMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
 PRESENTE

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
 Jefe del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Tolerancia a la salinidad durante las etapas de germinación y plántula de dos variedades de maíz resistentes a sequía".

que presenta la pasante: Martínez García Josefa Ernestina
 con número de cuenta: 7522753-9 para obtener el TITULO de:
Ingeniera Agrícola

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO

ATENTAMENTE.

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 28 de Octubre de 1999

PRESIDENTE	Ing. Alfonso Delgado Antúnez	
VOCAL	M.C. Ofelia Grajales Muñiz	
SECRETARIO	Dr. Arturo Aguirre Gómez	
PRIMER SUPLENTE	I.A. Carlos Deolarte Martínez	
SEGUNDO SUPLENTE	Q. Celia Elena Valencia Islas	

A mis queridos

Padres, Doña Lupita y Don Enrique

Hermanos Enrique, Gisela, Martín,
Diana y Lourdes, y

Sobrinta Némesis

A la memoria de mis queridos

Abuelitos Doña Ernestina y Don Bernabé

Tío, Don Teodoro, y de mí

Sobrinito Esteban Arturo

AGRADECIMIENTOS

Con profunda gratitud, respeto y admiración
al M. en C. Ramiro Ríos Gómez, por el ilimitado
apoyo que me dispensó al dirigir este trabajo y por
el ejemplo que dan hombres de ciencia como él,
con su alto sentido profesional y humano

Al Dr. Arturo Aguirre Gómez por su invaluable
e insustituible apoyo como asesor

Al M. en C. Gustavo Velázquez Cardelas (CEVAMEX-INIFAP)
por la semilla que nos facilitó, pero sobre todo por
sus muy preciados orientación y comentarios

A la M. en C. Rosalba García Sánchez y a la Biol.
Balbina Vázquez Benitez (FES-Z) por el desinteresado
y firme apoyo que me brindaron para el uso del invernadero

Al Dr. Angel Martínez Garza (CP. Estadística) y
al M. en C. Armando Cervantes Sandoval (FES-Z) porque
sin ellos hubiese sido imposible el análisis estadístico de este trabajo.

A los brillantísimos catédráticos de que pudimos gozar
las primeras generaciones de Ingeniería Agrícola

Al personal de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza
que de una u otra forma me dió conmovedoras
muestras de su generoso apoyo

CONTENIDO

I. RESUMEN.....	1
II INTRODUCCION.....	3
III. REVISION BIBLIOGRAFICA	
3.1 EFECTOS DE LA SALINIDAD	6
3.1.1 Germinación.....	7
3.1.2 Emergencia y crecimiento.....	8
3.1.3 Raíz.....	10
3.1.4 Hojas.....	12
3.1.4.1 Fotosíntesis.....	16
3.1.5 Efectos específicos de Na ⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ y HCO ₃ ⁻	17
3.2 MECANISMOS DE TOLERANCIA A LA SALINIDAD	
3.2.1 Compartimentalización	20
3.2.2 Ajuste osmótico.....	20
3.2.3 Inclusión-exclusión de sales.....	21
3.2.4 Reducción del tamaño.....	22
3.3 SALINIDAD Y SEQUIA: CONVERGENCIAS.....	23
3.4 DESARROLLO DE VARIEDADES TOLERANTES A LA SALINIDAD	
3.4.1 Consideraciones.....	27

3.4.2 Criterios de selección.....	29
3.5 METODOS DE MEJORAMIENTO PARA TOLERANCIA A SALINIDAD.....	31
IV. HIPOTESIS.....	36
V. OBJETIVOS.....	36
VI. MATERIALES Y METODOS	
6.1 Salinidad.....	37
6.2 Tratamientos	38
6.3 Material biológico.....	39
6.4 Unidades experimentales	40
6.5 Variables evaluadas.....	41
6.6 Desarrollo experimental.....	42
VII. RESULTADOS.....	45
7.1 Cuantitativos	
7.1.1 Emergencia de plántulas.....	46
7.1.2 Altura de brote.....	52
7.1.3 Area foliar.....	58
7.1.4 Número de hojas.....	62
7.1.5 Número y longitud de raíces.....	69
7.1.6. Peso fresco total, de brote y de raíz; peso seco total, de brote y de raíz.....	74
7.2 Cualitativos	
7.2.1 Germinación.....	79
7.2.2 Estadio de plántula.....	82

VIII. ANALISIS DE RESULTADOS	
8.1 Emergencia de plántulas.....	86
8.2 Características vegetativas de las plántulas.....	92
8.2.1 Altura de brote.....	93
8.2.2 Area foliar.....	97
8.2.3 Número de hojas.....	102
8.2.4 Número y longitud de raíces.....	106
8.2.5 Peso fresco total, de brote y de raíz; peso seco total, de brote y de raíz.....	111
IX. CONCLUSIONES.....	121
X. BIBLIOGRAFIA.....	124
XI. APENDICES.....	130
A. Concentración teórica de las soluciones salinas	
B. Conductividad eléctrica y pH real de las soluciones salinas	
C. Significancia entre tratamientos por Prueba de Tukey	
D. Correlaciones entre variables	

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Emergencia de plántulas por tratamiento de sales puras. Variedad V-107.	47
2. Emergencia de plántulas por tratamiento de tipo de salinidad. Variedad V-107.....	48
3. Emergencia de plántulas por tratamiento de sales puras Variedad VS-22.....	50
4. Emergencia de plántulas por tratamiento de tipo de salinidad. Variedad VS-22.....	51
5. Altura de brote por tratamiento de sales puras. Variedad V-107.....	53
6. Altura de brote por tratamiento de tipo de salinidad. Variedad V-107.....	54
7. Altura de brote por tratamiento de sales puras. Variedad VS-22.....	56
8. Altura de brote por tratamiento de tipo de salinidad. Variedad VS-22.....	57
9. Area foliar por tratamiento de sales puras. Variedad V-107.....	59
10. Area foliar por tratamiento de tipo de salinidad. Variedad V-107.....	60
11. Area foliar por tratamiento de sales puras. Variedad VS-22.....	61
12. Area foliar por tratamiento de tipo de salinidad. Variedad VS-22.....	63
13. Número de hojas por tratamiento de sales puras. Variedad V-107.....	64
14. Número de hojas por tratamiento de tipo de salinidad. Variedad V-107.....	65

15	Número de hojas por tratamiento de sales puras. Variedad VS-22.	67
16	Número de hojas por tratamiento de tipo de salinidad. Variedad VS-22	68
17	Número (NR) y longitud de raíces (LR en cm) por tratamiento de sales puras. Variedad V-107.....	70
18	Número (NR) y longitud de raíces (LR en cm) por tratamiento de tipo de salinidad. Variedad V-107.....	71
19	Número (NR) y longitud de raíces (LR en cm) por tratamiento de sales puras. Variedad VS-22.....	73
20.	Número (NR) y longitud de raíces (LR en cm) por tratamiento de tipo de salinidad Variedad VS-22.....	75
21	Peso fresco total (PFT), de brote (PFB) y de raíz (PFR); peso seco total (PST), de brote (PSB) y de raíz (PSR) por tratamiento de sales puras. Variedad V-107	77
22	Peso fresco total (PFT), de brote (PFB) y de raíz (PFR); peso seco total (PST), de brote (PSB) y de raíz (PSR) por tratamiento de tipo de salinidad. Variedad V-107.....	78
23.	Peso fresco total (PFT), de brote (PFB) y de raíz (PFR); peso seco total (PST), de brote (PSB) y de raíz (PSR) por tratamiento de sales puras. Variedad VS-22.....	80
24	Peso fresco total (PFT), de brote (PFB) y de raíz (PFR). peso seco total (PST), de brote (PSB) y raíz (PSR) por tratamiento de tipo de salinidad. Variedad VS-22.....	81

I. RESUMEN

Con base en las curvas de salinidad para maíz forrajero y de grano elaboradas por Maas y Hoffman (1977) se probó -durante la germinación y estadio de plántula-, el efecto de 7 concentraciones de 6 sales puras (NaCl, $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, $CaCl_2 \cdot 2H_2O$, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, Na_2SO_4 y Na_2CO_3) y 5 mezclas salinas (clorhídrica, $Cl^- / SO_4^{2-} = 2.5$, sulfático-clorhídrica, $Cl^- / SO_4^{2-} = 1.5$, clorhídrico-sulfática, $Cl^- / SO_4^{2-} = 0.6$, sulfática, $Cl^- / SO_4^{2-} = 0.15$, y sulfático-sódica, $HCO_3^- / Cl^- + SO_4^{2-} = 2.0$), sobre las variedades de maíz resistentes a sequía V-107 -de uso principalmente forrajero- y VS-22 -de grano- cultivadas bajo condiciones de invernadero. La Prueba de Tukey ($\alpha=0.01$) mostró que: I. La variedad VS-22 resultó superior en 8 (emergencia E, altura de brote AB, área foliar AF, longitud de raíces LR, peso fresco total PFT, peso fresco de raíz PFR, peso seco total PST y peso seco de raíz PSR) de las 12 variables de respuesta estudiadas (incluyendo número de hojas NH, número de raíces NR, peso fresco de brote PFB y peso seco de brote PSB). II. Globalmente para ambas variedades, el efecto de los tratamientos fue: 1) Sales Puras: a. El $CaCl_2$ presentó los valores más altos en AB, AF, NR, LR, PFT, PFR, PST y PSR; b. La sal $MgSO_4$ produjo las mejores emergencias; c. Para todos los atributos vegetativos, el Na_2CO_3 produjo las respuestas más pobres; d. El NaCl, $MgCl_2$, $MgSO_4$ y Na_2SO_4 ejercieron efectos intermedios pero inconsistentes sobre las características estudiadas. 2) Mezclas Salinas: a. La mezcla clorhídrico-sulfática

rindió las mejores respuestas en E, AB, AF, LR, PST y PSR. b. La salinidad sulfática dió respuesta superior en E y AF; la clorhídrica lo hizo en LR, PFT y PFR. c. Todas las mezclas salinas presentaron el mismo nivel de significancia sobre el NH, PFB y PSB; d. La mezcla sulfático-sódica produjo los valores más bajos para E, AB, AF, NR, LR, PFT, PFR, PST y PSR. 3) Concentraciones: a. La respuesta de las variables se redujo con la concentración salina, pero no en la misma proporción, b. Todas las concentraciones (0, 18.9, 52.5, 86.1, 119.7, 153.3 y 220.5 meq/l, para el V-107; 0, 20, 40, 60, 80, 100 y 140 meq/l, para el VS-22) ejercieron daño progresivo tanto en AF como en LR y PFB; pero, c. Si tuvieron el mismo efecto sobre el NR; d. A partir del tratamiento C₄, el efecto por la concentración rindió una significancia variable sobre los caracteres estudiados.

II INTRODUCCION

En nuestro país existen naturalmente extensas áreas de suelos salinos, principalmente en las cuencas endorreicas de las zonas áridas, pero también las hay en algunas áreas próximas a la costa. Sin embargo, en las áreas de riego el problema es provocado por la influencia humana. En la década de los ochenta, el total de la superficie afectada ascendía a 500 mil has. -más del 10% del total de la superficie irrigada-. 68% de las cuales se localizaban en la zona Noroeste del país (Toledo *et al.*, 1989). En el resto de las regiones áridas y semiáridas la escasa disponibilidad de agua dificulta una apropiada filtración (Ashraf, 1994).

Las sales afectan las propiedades físicas del suelo: a) la estructura, b) densidad, c) conductividad hidráulica -que determina la efectividad y duración de los procesos de recuperación de suelos salinizados-, y d) la temperatura, esta última debida al cambio de color producido por la acumulación de coloides en la superficie del suelo. La modificación de las propiedades físicas es una consecuencia del cambio que las sales producen en las propiedades químicas del suelo, tales como la defloculación, la disponibilidad de nutrimentos principalmente Ca y Mg, la asimilabilidad de otros como el P y Fe, y por último el pH. El cambio de pH. afecta además, la solubilidad de algunas sales como el CaCO_3 , la disociación de grupos activos de la materia orgánica y de ciertos minerales arcillosos (Donahue, 1977; Ortega, 1978; Aceves, 1979).

Existen tres teorías que explican el efecto dañino de las sales solubles sobre las plantas: la teoría de la disponibilidad del agua, la del ajuste osmótico y la teoría de la toxicidad específica. Respecto a esta última, algunas sales o iones que son inocuos a bajas concentraciones llegan a ser dañinos cuando se acumulan en mayor cantidad. Los iones más propensos a acumularse y hacer daño son el Na^+ , Cl^- , HCO_3^- y SO_4^{2-} ; el B y Li pueden ser tóxicos en minúsculas concentraciones (Zepeda *et al.*, 1987).

Algunas especies toleran la presencia de sales en el suelo y los efectos específicos en varias partes de la planta son también variables. El efecto tóxico varía sin embargo, tanto por el tipo de iones como entre las plantas mismas. La intensidad del daño -posiblemente irreversible-, depende del tiempo que la planta esté expuesta a las sales, y de su tolerancia (Aceves, 1979).

Existen 5 métodos para atacar el problema de la salinización: a) los físicos que básicamente consisten en un tratamiento mecánico del suelo, b) los electrónicos que implican la utilización de un campo eléctrico, c) los hidrotécnicos que consisten en el manejo de la cantidad y calidad química de las aguas disponibles, d) el método químico que implica la utilización de productos químicos (sales solubles de Ca, ácidos y sales poco solubles de Ca), y e) los biológicos que comprenden la utilización de compostas o abonos orgánicos y la siembra de plantas tolerantes. En cuanto a este último, se conocen algunas especies que muestran tolerancia a sales como el trigo, algodón, cebada, remolacha y diferentes tipos de pastos como el salado, bermuda, rhodes, sudán y otros. Sin embargo, en buena porción de las áreas con problemas de salinidad se asientan mayoritariamente explotaciones de autoconsumo en las que los cultivos más importantes son frijol y maíz (Ortega, 1978).

En nuestro país, son prácticamente inexistentes programas de mejoramiento para el desarrollo de variedades comerciales tolerantes a salinidad, restringiéndose a esfuerzos más bien aislados.

A nivel local, la apertura de una línea de investigación en este sentido requiere como primer paso la detección de posibles materiales genéticos con algún grado de tolerancia a sales, con los cuales se pueda poner en práctica un programa para la obtención de cultivares altamente tolerantes. Escobar (1994), probó la resistencia de maíces y frijoles criollos a diferentes concentraciones y tipos de sales, pero la amplia variabilidad genética de estos materiales produjo respuestas muy generales. Se decidió entonces que era necesario la utilización de materiales con una base genética más estrecha; así, el presente trabajo -parte de un proyecto de más largo alcance- se enfocó a determinar, bajo condiciones de invernadero, la tolerancia de las variedades de maíz V-107 y VS-22 durante las etapas de germinación y plántula, exponiéndolas a 7 diferentes concentraciones (cuyas conductividades eléctricas partieron de 0 dS/m) de 6 sales puras y 5 mezclas salinas. La primer variedad, de ciclo tardío, se obtuvo a partir de un criollo chalqueño, y la segunda, un maíz intermedio tardío, se derivó del Michoacán 21.

Ya que no se han definido todavía criterios únicos para determinar el nivel de tolerancia, por un lado, pero con la necesidad de disponer de características fácil y económicamente mensurables, por el otro, se resolvió examinar el efecto de los tratamientos aplicados sobre el porcentaje de germinación, así como la altura de brote, área foliar, número de hojas, peso fresco total, peso fresco de brote, peso fresco de raíz, peso seco total, peso seco de brote y peso seco de raíz en las plántulas.

III. REVISION BIBLIOGRAFICA

3.1 EFECTOS DE LA SALINIDAD

La salinidad afecta muchos aspectos del metabolismo de las plantas, induciendo cambios en su anatomía y morfología, los cuales a menudo se consideran como adaptaciones que incrementan las oportunidades de las plantas para sobrevivir al estrés salino, aunque también son considerados signos del daño y perturbación de la fisiología normal de la planta. La salinidad afecta el período y tasa de germinación, la talla, ramificación, tamaño foliar y toda la anatomía de la planta. Sin embargo, el tiempo de exposición a diferentes niveles de salinidad también es importante para evaluar su efecto sobre el crecimiento y anatomía vegetales. Esta razón además de las múltiples evidencias de que se disponen, demuestran que es muy difícil definir la existencia de respuestas típicas a la salinidad entre especies halófitas o glicófitas (Poljakoff-Mayber, 1975).

El establecimiento de un cultivo comprende tres fases: germinación, emergencia y estadio de plántula. Cuando se siembra, la germinación sólo puede observarse como emergencia, la cual puede ser afectada por la calidad del

agua de riego y la estructura de la capa superficial del suelo (Katerji *et al.*, 1994). Estas fases conforman el período más crítico en el establecimiento de un cultivo, aún inclusive para los cultivos más rústicos. Bajo condiciones salinas, ya sea por riego con aguas de mala calidad o por salinidad inherente al suelo, el cultivo encuentra más problemas en éstas, que en fases tardías del crecimiento. La imposibilidad de compensar posteriormente la merma en la densidad de población durante dicho período, tiene por consecuencia una pérdida equivalente en la producción (van Hoorn, 1991). Las pérdidas en la densidad poblacional se deben esencialmente a que la semilla en proceso de germinación y la plántula quedan expuestas a concentraciones salinas mucho más altas que en estadios posteriores.

La alta concentración de sales en la capa superficial del suelo se debe a las pérdidas de agua causadas por evaporación y a que durante el estadio de plántula las raíces son tan superficiales que el agua disponible se restringe únicamente a dicho estrato.

3 1.1 Germinación

La salinidad edáfica puede afectar la germinación en dos formas: a) dificultando la absorción de agua, y/o b) favoreciendo la entrada de iones en cantidades tóxicas (Ayers, 1951; Terry y Waldron, 1984) Sin embargo, depende también del tipo de suelo y estación del año. Las altas temperaturas aceleran la germinación pero simultáneamente incrementan la evaporación y el ascenso capilar de las sales. Las bajas temperaturas pueden retardar en tal medida la germinación que las plántulas quedan atrapadas bajo la costra del suelo, en el momento de la emergencia. La lluvia puede reducir la salinidad en la capa superficial del suelo, pero también puede inducir el encostramiento (van Hoorn, 1991).

La actividad bioquímica de la semilla durante la germinación, emergencia y desarrollo inicial de la planta trae como consecuencia una serie de procesos metabólicos interdependientes que pueden ser afectados limitando la germinación misma, el desarrollo inicial y el vigor (Wright, 1971 citado por Valdés 1976).

Aún se desconocen los mecanismos del efecto nocivo de la salinidad en la germinación, pero se sospecha que las membranas celulares son los sitios del efecto primario o secundario. El cloruro de sodio, por ejemplo, interfiere

con la permeabilidad, el transporte de solutos orgánicos e inorgánicos, la secreción de éstos, induce cambios en la composición lipídica y provoca la liberación de proteínas en las células radicales, lo cual es de suma importancia ya que las plantas tolerantes se caracterizan por aislar las sales de los procesos celulares mediante la compartimentalización membranar. Así por ejemplo, en semillas germinadas con una solución de NaCl 0.2 M el número de proteínas de la membrana celular aumentó, ya por inserción de otras, o por disgregación de las existentes (Bliss *et al.*, 1984).

La actividad total de la alfa-amilasa y de sus isoenzimas no resultó afectada por el tratamiento con NaCl a concentraciones menores de 100 nM. Sin embargo, las actividades de las isoenzimas 1, 2, 3, 4 y 5 se redujeron, en general, a concentraciones de entre 100 y 500 nM. La pérdida de actividad de la alfa-amilasa se debe principalmente a la precipitación, por el efecto salino, de las proteínas que la componen (Marambe y Ando, 1995).

3.1.2 Emergencia y crecimiento

La respuesta de la emergencia a la salinidad es variable entre especies. Francois *et al.* (1989) hallaron, por ejemplo, que concentraciones salinas del orden de 8.1 dS/m no tuvieron efecto significativo en centeno: niveles mayores produjeron un retraso sin efecto significativo del porcentaje final de emergencia.

Las plantas expuestas a la salinidad se enfrentan a 3 problemas básicos, separados o en combinación: 1) La menor disponibilidad de agua, con el consiguiente incremento de la presión osmótica, que las obliga a mantener una relación favorable del agua intracelular; 2) La toxicidad del Na⁺ y otros iones que pueden interferir en los procesos bioquímicos, y 3) El desbalance iónico, esto es la deficiencia de algunos nutrientes y predominancia de otros (Ayers, 1951; Bliss *et al.*, 1984; Greenway y Munns, 1980). La absorción y translocación de macronutrientes como el K⁺ y Ca²⁺ se reduce dramáticamente por el exceso de sales en el sustrato (Ashraf, 1994). Sin embargo, apenas se comprenden los mecanismos exactos por los cuales la alta salinidad inhibe el crecimiento de los cultivos (Azaizeh *et al.*, 1992; Cheeseman, 1988).

La salinidad también puede variar a lo largo de la estación de crecimiento, a menudo incrementándose con el tiempo. En general, las plantas son más sensibles al estrés salino durante los estadios de plántula y vegetativo temprano y aunque muchos cultivos se hacen más tolerantes en estadios posteriores de crecimiento, hay excepciones. En el caso del maíz dulce se observó que el crecimiento de la plántula se redujo por las sales, pero no hubo efecto durante el estadio de floración y llenado de grano. En contraste, el rendimiento del trigo se reduce notablemente por el efecto dañino de las sales durante la fase de la polinización (Maas, 1984).

En opinión de Grant (1995) los niveles de salinidad comúnmente encontrados en el campo reducen el crecimiento de los cultivos, a causa del efecto asociado en la utilización del agua. Altos niveles de salinidad (C.E.>16 dS/m) lo reducen aún más por los desórdenes fisiológicos que infringen. Sin embargo, las plantas son más tolerantes a la salinidad cuando se cultivan en condiciones climáticas frías, que calientes (Francois *et al.*, 1989).

En la mayoría de las especies, los síntomas más comunes por efecto de las sales son la reducción de la altura final de la planta, la disminución de la producción y el retraso en su ritmo de crecimiento. También se presentan la disminución del tamaño de estomas y el aumento en el número de éstos, así como el oscurecimiento del color de las hojas (Martínez *et al.*, 1987). Terry y Waldron (1984) reportan que la salinidad dificulta significativamente la conductancia estomatal, provocando el decremento en la tasa de transpiración y el aumento de la temperatura foliar.

Navejas (1995) sometió maíz a tratamientos salinos y concluyó que no existen diferencias significativas en altura y número de estomas, pero que sí las hubo en días a floración, área foliar, rendimiento de materia seca y eficiencia de uso de agua. En frijol tampoco encontró significancia en altura, número de estomas, días a floración y eficiencia de uso de agua, pero sí la observó para los parámetros de área foliar y rendimiento de materia seca. Así mismo concluyó que el consumo de agua se incrementó a niveles bajos de salinidad. El autor sugiere, además, que la sequía fisiológica provocada por la salinidad no debe considerarse en forma aislada ya que el desbalance de agua en la planta no es el único responsable de la respuesta a la salinidad. Esto significa que los cambios asociados con el ajuste del potencial osmótico afectan funciones de la planta como la fotosíntesis, producción de hormonas, apertura estomatal y respiración.

Por otra parte, Munns (1993) concluye que no existe suficiente evidencia para afirmar que las relaciones hídricas y el ajuste osmótico tengan un notable valor predictivo o que por lo menos expliquen las tasas de crecimiento en plantas afectadas por las sales.

Algunos reportes han demostrado que el maíz es particularmente sensible al estrés salino durante la fase temprana del crecimiento y que su tolerancia es mayor si se irriga el cultivo con aguas salinas sólo cuando ha alcanzado la tercera semana de desarrollo (Pasternak *et al.*, 1995)

Ashraf (1994) plantea que cuando la concentración salina en la solución del suelo aumenta y el potencial hídrico disminuye, el potencial de turgencia disminuye en las células por lo que dejan de dividirse y elongarse. Adicionalmente los estomas se cierran afectando la fotosíntesis y se acelera la desnaturalización de las proteínas, con el resultado final de un pobre o negativo crecimiento. Este último significa, por supuesto, una pérdida de biomasa.

Con relación a los reguladores del crecimiento vegetal, se ha determinado que el ABA (ácido abscísico) endógeno se incrementa bajo déficit hídrico, tratamientos salinos y bajas temperaturas. Las respuestas al ABA involucran modificaciones directas en el flujo de iones, provocando el cierre estomatal. También se altera la expresión de los genes: los llamados genes "rab" son inducidos en respuesta al estrés osmótico durante el crecimiento vegetativo, o los genes "lea" codificadores de proteínas, que aparentemente desempeñan cierto papel en la protección de las estructuras citoplásmicas durante la deshidratación, tales como la proteína CDSP 32 que está involucrada en la osmoregulación del estroma (requiriendo de altas concentraciones salinas para ser estimulada), y la CDSP 34 que se sintetiza y acumula sustancialmente en respuesta a las bajas temperaturas y a tratamientos salinos (Pruvot *et al.*, 1996).

3.1.3 Raíz

Aunque el estudio de la respuesta de los cultivos a la salinidad se ha centrado en la apariencia y comportamiento de los tejidos foliares, la raíz es el primer órgano de la planta que queda expuesto a la salinidad y en algunos

casos, juega un papel importante en la exclusión de sales. Además, la respuesta de la zona apical al estrés salino es crítico para el crecimiento y desarrollo ulterior del sistema radical (González *et al.*, 1997).

Con la salinidad, la disminución de la extensión radical en las plántulas del maíz, por ejemplo, no se atribuye a cambios en el potencial de turgencia, sino al gran endurecimiento de las paredes celulares (Neumann *et al.*, 1994).

Así como las sales afectan el estado hídrico de la planta también afectan la conductividad hidráulica de las raíces. Azaizch *et al.* (1992) demostraron que el NaCl y el CaCl₂ tienen efectos similares en la conductividad hidráulica celular (Lp) y de la raíz (Lp_r), que el NaCl provocó reducciones más pronunciadas en los valores de Lp, comparado con los valores de Lp_r, y que el CaCl₂ aplicado posteriormente tuvo efectos atenuantes.

Con respecto a los mecanismos de ingreso de sales a las plantas, se ha reportado que la endodermis podría ser más permeable a las sales de sodio que a las de potasio, aunque este hecho podría deberse a diferencias en las fuerzas conductoras de los solutos más que a diferencias en las permeabilidades. Los tratamientos salinos, además podrían provocar cambios en los mecanismos del transporte activo.

Frensch *et al.* (1992) descubrieron en plántulas de maíz tratadas con NaCl, que la sal es absorbida únicamente en ciertas zonas específicas de la raíz, que el Na⁺ se moviliza a través del cilindro radical en forma bidireccional, e indicios de que el metaxilema tardío funciona como un "captador" de Na⁺ limitando el transporte inmediato del catión hacia el tallo. Cheeseman (1988) reporta que el influjo de Na⁺ parece ser pasivo, hacia abajo de un gradiente electroquímico e independiente de cualquier movimiento de H⁺. Lazof y Cheeseman (1986) sugieren que los flujos del Na⁺ pueden involucrar vesiculación y rotación de un compartimiento subcitoplásmico.

Al incrementarse la salinidad, casi siempre el crecimiento de la raíz es menos afectado que el del tallo, de tal manera que también aumenta por lo general la proporción raíz:tallo (Munns y Termaat, 1986; Cheeseman, 1988). Sin embargo, Shalhevet *et al.* (1995) observaron que tanto en soya como en maíz la elongación de la raíz es más sensible a la salinidad.

La respuesta varía también con el cultivar. Misra *et al.* (1997) probaron dos genotipos de arroz que mostraron distinto patrón de germinación y de crecimiento en el estadio de plántula bajo condiciones salinas. Observaron

que el cultivar resistente contrarrestó el estrés salino por su habilidad para estimular el crecimiento de raíz y tallo, lo cual le permitió incentivar la fotosíntesis, así como explorar niveles profundos del suelo por minerales y agua. En contraste, el cultivar sensible contrarrestó el estrés salino estimulando, únicamente, el crecimiento de la raíz en la fase temprana del desarrollo de la plántula. Los autores plantean que el establecimiento temprano de las plántulas es crucial para la especie, pero que una vez logrado, se estimula el crecimiento del follaje.

La extensión de los órganos vegetales depende -por lo menos en forma parcial- de la turgencia, de tal manera que el primer órgano en resentir los efectos de la falta de agua, es el que se encuentra más distante del órgano sometido a estrés hídrico. Durante el ajuste osmótico, antes de que se alcance la fase estable, la elongación puede suprimirse a causa de la reducida turgencia. Las raíces se ajustan osmóticamente en forma más rápida y pierden turgencia más lentamente que los tallos, por lo que la extensión de aquéllas podría ser menos sensible que la del tallo a una reducción en el potencial de solutos. El desarrollo de las raíces laterales no necesariamente depende de la turgencia, pero sí es muy sensible a la salinidad.

En el estado de equilibrio, cuando la planta exhibe los efectos del estrés salino, el crecimiento se reduce a pesar de que se haya efectuado el ajuste osmótico y de que se conserve la turgencia. En este momento, la elongación del tallo se deprime más intensamente que en la raíz.

Se ha detectado además una insensibilidad del peso final de las raíces al aumento en el número de las raíces adventicias. Una vez que la matriz primaria se ha establecido, cambios ulteriores en el peso total de la raíz pueden ser relativamente pequeños en comparación con los cambios en su longitud (Shalhevet *et al.*, 1995)

3.1.4 Hojas

En opinión de Hajibagheri *et al.* (1989) la excesiva acumulación de iones (generalmente Na^+ y Cl^-) en las hojas es el principal problema generado por la salinidad, ya que el daño puede ser una consecuencia de la excesiva concentración en el simplasto foliar -causando una toxicidad iónica directa-, o en el apoplasto, lo cual tiene por consecuencia un déficit hídrico en el simplasto. Así mismo, puede jugar un importante papel la competencia entre los iones pues altas concentraciones de sodio y cloro compiten por los sitios de absorción particularmente

de K^+ y NO_3^- . Estos autores encontraron que una variedad resistente a sales, se relacionó con altos flujos y concentraciones citoplásmicas de K^+ y bajos flujos y concentraciones citoplásmicas de Na^+ o Cl^- . De esta manera se mantiene una concentración favorable de K^+ y una adecuada razón K^+/Na^+ en el simplasto, al igual que una sustancialmente alta razón K^+/Na^+ en el transporte a larga distancia.

Neumann *et al.* (1988) reportan que la salinidad indujo un ligero incremento en la extensibilidad plástica de las hojas de *Phaseolus*, sugieren además, que la inhibición del crecimiento se asocia a una pérdida del potencial de turgencia de la hoja

En plántulas intactas de maíz, se detectaron reducciones en la extensibilidad plástica de hojas en desarrollo dentro de los 20 min a 3 días en que la raíz se mantuvo expuesta a niveles de salinidad que inhiben el crecimiento. Se cree que este endurecimiento de la pared celular es causado por el estrés osmótico y no por efecto de la acumulación irreversible de iones tóxicos (Na^+ o Cl^-) en las células de las hojas (Neumann, 1993).

La inhibición de la expansión foliar se produce principalmente en la parte más madura de la zona de elongación, ubicada 4 a 7 mm de la base foliar. Esto significa que, como ocurre en la raíz, la extensibilidad de la pared celular se reduce principalmente en células que han alcanzado un particular estado de desarrollo. La actividad de las enzimas xiloglucano endotrans-glicosilasa o la expansina que controlan la velocidad de expansión de la pared celular, cambios rápidos en la acidificación u oxidaciones rápidas de los polímeros de la pared (Neumann, 1995) podrían ser algunos de los mecanismos alterados por el estrés salino, como en el caso de la respuesta del crecimiento foliar del maíz a la salinización observado por Neumann (1993).

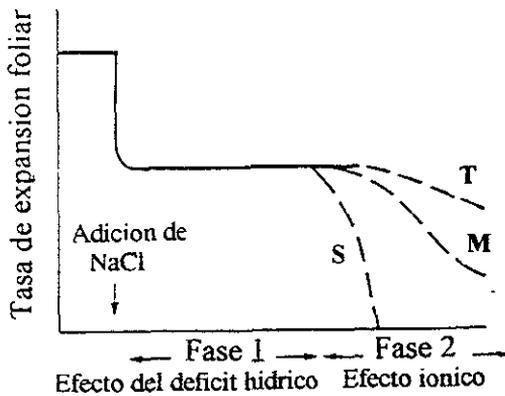
Maas (1984) afirma que con el uso de riego por aspersión las sales pueden ser directamente absorbidas por las hojas, provocando daño y abscisión. En aquellos cultivos que normalmente restringen el movimiento de las sales de la raíz a las hojas, la absorción foliar de aquéllas puede provocar problemas que no se tienen normalmente en condiciones de riego por gravedad. Por otro lado, las hojas pueden contener niveles excesivos de sales durante varias semanas sin que haya daño visible, pero muestran quemaduras en el momento en que la atmósfera se hace caliente y seca.

Con respecto a la acumulación de las sales, Munns (1993) supone que primero alcanzan niveles tóxicos en las hojas maduras debido a que su concentración ahí aumenta rápidamente, tan pronto como las raíces las absorben.

Las plantas tolerantes a la salinidad se caracterizan porque "secuestran" a las sales en las vacuolas, es decir las compartimentalizan (Läuchi y Epstein, 1984). Si la hoja continúa transpirando cuando la vacuola se ha "llenado" de sales, entonces se incrementa la concentración en el citoplasma o en la pared celular. A medida que la concentración en la pared comienza a aumentar, la turgencia decae y la célula se plasmoliza. Aunque algunas sales sean expulsadas, su concentración aumenta rápidamente por las que continúan ingresando, y con la misma velocidad la célula se deshidratará. Ésta muere finalmente por envenenamiento salino o por deshidratación, dependiendo de que las sales se acumulen en el citoplasma o en la pared celular. En cualquier caso, la muerte celular se presenta a pocos días de que la vacuola cesa de captar las sales, lo cual ocurre primero en las hojas maduras o en las que han estado expuestas por largos períodos a las sales.

La salinidad afecta tanto la tasa de desarrollo como la forma de las hojas ya que adquieren un grosor considerablemente mayor; además, presentan grandes cantidades del aparato fotosintético, así como mayor actividad de la Rubisco. Ni la estructura de los cloroplastos ni la actividad de los fotosistemas I y II resultaron afectados por concentraciones de 29.200 mg/l de NaCl, en especies como la remolacha y mangle (Terry y Waldron, 1984).

Para finalizar, Munns (1993) afirma que la respuesta a la salinidad puede explicarse con base en un modelo bifásico: primero, el crecimiento se reduce por efecto de un menor potencial hídrico en el suelo es decir, por estrés hídrico, de manera que la disminución del crecimiento es un efecto localizado fuera y no dentro de la planta. Más tarde, el efecto específico por sales aparece en la medida en que daña a las hojas maduras, tal como lo muestra la figura que se muestra en la siguiente página:



La tasa a la que las sales alcanzan niveles tóxicos en las hojas y por lo tanto, la tasa de mortalidad foliar difiere para tres variedades (Sensible, Moderadamente tolerante y Tolerante) de una misma especie. Durante la fase 2 las hojas empiezan a morir en las variedades sensibles, ejerciendo un efecto adicional en el crecimiento que diferencia a las variedades en su tolerancia.

La pérdida de unas cuantas hojas no afecta el crecimiento de una planta de gran tamaño, pero si la tasa de muerte foliar iguala la de producción de nuevas hojas, entonces habrá una caída sustancial en el suministro de fotosintatos para las hojas en desarrollo, o un cambio en el suministro de los fitoreguladores, y el crecimiento vegetal se abatirá aún más. Las variedades responden de manera casi idéntica en el corto plazo (lo que el autor llama fase I), pero se diferencian tiempo después (la fase II), porque los genotipos requieren de distintos lapsos para que las sales alcancen su máxima concentración en las vacuolas de las células del mesófilo.

La muerte foliar se inicia durante la fase I, pero el efecto en el crecimiento -considerado éste como la expansión de hojas nuevas-, no ocurrirá sino tiempo después; en trigo y cebada esto requiere de un mes aproximadamente.

Las hojas mueren prematuramente en una variedad sensible a sales, porque se acumulan a mayor velocidad o porque sus células son incapaces de compartimentalizarlas dentro de las vacuolas a altas concentraciones, tal como sucede en las variedades tolerantes.

3.1.4.1 Fotosíntesis

Existen reportes que explican el crecimiento limitado de plantas bajo estrés salino por causa de las bajas tasas fotosintéticas, pero Munns (1993) al igual que Terry y Waldron (1984) sostienen que la salinidad afecta la asimilación de carbono por planta, a consecuencia de una reducida área foliar, más que a una menor tasa fotosintética. Para el primer autor existe un bloqueo en la utilización de los azúcares por parte de los tejidos en crecimiento, lo cual provoca su incremento en el resto de la planta. La reducción en la fotosíntesis se debe al efecto inhibitorio de la retroalimentación impuesta con las altas concentraciones de azúcares en las células del mesófilo.

Cheeseman (1988) afirma que posiblemente la reducción del crecimiento es mayor que el decremento en la fotosíntesis efectiva o potencial. Seemann y Critchley (1985) por su parte, comentan que la reducción global del crecimiento a largo plazo probablemente refleja el decremento tanto en la ubicación de los fotosintatos en las hojas nuevas, como en la fotosíntesis potencial a largo plazo. Los fotosintatos producidos por la planta se utilizan en el crecimiento (producción de paredes celulares y de la maquinaria celular), mantenimiento (rotación y reparación), transporte y almacenamiento. Adicionalmente, el costo de la respiración en plantas de crecimiento rápido es generalmente mucho mayor que el de plantas de lento crecimiento, las cuales también responden en menor medida a cambios en el ambiente. Los cambios inducidos por la salinidad son altos, probablemente por el costo adicional del transporte asociado a la "exclusión". Este hecho, sin embargo, no explica del todo la reducción del crecimiento.

El almacenamiento de reservas puede incluir la acumulación de fotosintatos no estructurales en asociación con el ajuste osmótico y la conservación de la turgencia. Es posible suponer que el nivel de almacenamiento está relacionada con el grado de exclusión de sales desde el tallo: las especies inclusoras tienen la alternativa de acumular sales para conseguir el ajuste osmótico. Como la turgencia es sólo uno de los requisitos para asegurar una expansión foliar continua, entonces puede sugerirse que la capacidad fotosintética es insuficiente para suministrar los fotosintatos requeridos en la síntesis de la pared celular y en la expansión celular dependiente de la turgencia (Cheeseman, 1988)

Las perturbaciones del aparato fotosintético se traducen en cambios de la producción Francois *et al.* (1989) obtuvieron una reducción significativa en el rendimiento de centeno cultivado en condiciones de estrés salino, la cual pudo deberse al efecto de la combinación de altas temperaturas, estrés osmótico y salino durante el estadio de la diferenciación de las inflorescencias que se completa aproximadamente 28 a 30 días después de la emergencia.

Por su parte, Pasternak *et al.* (1995) reportan que en maíz dulce irrigado con aguas salinas, se produjo una reducción en el número de mazorcas/10 m², un decremento del 12% en el peso de las mazorcas, así como el descenso de casi 32% en el peso fresco y 24% en el peso seco de tallo de cuatro cultivares. Ellos sugieren que la salinidad probablemente tiene efecto en la iniciación de la mazorca y reportan que los cultivares de floración precoz son más tolerantes a la salinidad que los tardíos.

3.1.5 Efectos específicos de Na⁺, Cl⁻, SO₄⁼ y HCO₃⁻

Gran proporción de las investigaciones realizadas con relación al estrés salino, se centran únicamente en los efectos del NaCl sobre el crecimiento, metabolismo y producción de los cultivos, soslayando la importancia que pudieran tener las otras sales halladas comúnmente en los suelos. Esto explica la notable escasez de información disponible sobre el daño que dichas sales producen, ya sea individualmente o en combinación. Sin embargo, se ha visto que además del efecto osmótico, la actividad iónica total y la proporción relativa de los iones en el medio tienen una influencia considerablemente adversa en el crecimiento vegetal. Los iones que con frecuencia se encuentran en exceso en los suelos salinos son el Cl⁻, SO₄⁼, HCO₃⁻, Na⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺, mientras que el K⁺ y NO₃⁻ se encuentran con mucha menor frecuencia. Con referencia al daño específico de algunos iones, se sabe, por ejemplo, que en soya ocurre daño foliar en aquellas variedades que acumulan altas concentraciones de Cl⁻ en sus hojas. En Citrus las altas tasas de absorción de Na⁺ se asocian con la sensibilidad salina; en sorgo el crecimiento vegetativo se inhibió en un 57% con respecto al control, por efecto del sulfato de sodio y en 30% por efecto del NaCl.

Una investigación en que se probó la tolerancia de diferentes cultivares, durante la germinación y estadio de plántula, a tratamientos de NaCl, Na₂SO₄, CaCl₂ y MgSO₄, mostró considerable variación entre cultivares, pero

se observó que el NaCl es el más tóxico durante la germinación que las otras tres sales. Además, altas proporciones Na^+/K^+ y $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ en el sustrato pueden perjudicar la selectividad de las membranas en la raíz, por un lado, y, por el otro, se relacionan con la acumulación pasiva de Na^+ en las raíces y tallos. Bajas proporciones Na^+/K^+ afectan mecanismos fisiológicos como el movimiento estomatal, fotosíntesis y transpiración. Sin embargo, el efecto de dichas proporciones no es el mismo para todas las especies (Ashraf, 1994). Läuchi y Epstein (1984) por su parte, reportan que el NaCl produjo en sorgo de grano una reducción del peso del tallo a un 70%, mientras que el Na_2SO_4 lo redujo al 43%. En su opinión, los ejemplos que puedan describirse solo enfatizan la variedad de efectos ión-específicos con que las plantas responden al estrés salino.

Los mismos autores afirman que los sitios del daño de la toxicidad iónica pueden encontrarse en las membranas celulares, donde posiblemente se perturba el transporte de iones, lo cual, a su vez, conduce a desbalances iónicos y perjuicio en la nutrición mineral de la planta. Las altas concentraciones de sales también pueden dañar las enzimas y los organelos.

El efecto del estrés salino sobre la nutrición del cultivo es de gran interés porque el Ca es un factor importante involucrado en la resistencia de las plantas a la salinidad (Azaizeh *et al.*, 1992; Läuchi y Epstein, 1984).

Altas concentraciones externas de Na^+ reducen la actividad del Ca^{2+} y disminuyen la cantidad de este catión disponible para la planta. Tratándose de cereales la cuestión tiene mayor importancia ya que son particularmente susceptibles a la deficiencia de Ca, cuando la razón $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ del sustrato es alta (Grieve y Maas, 1988).

Cuando se suministra a las plantas un exceso de calcio, se reducen los síntomas provocados por la toxicidad del Na^+ ; además, disminuye la acumulación de sodio, así como la razón K:Na en los tejidos, la elongación radical se repone parcialmente y mejora la absorción de Ca^{2+} por el tallo.

Al parecer el calcio actúa reduciendo la absorción de sodio al inhibir el influjo pasivo del sodio a través de canales del plasmalema de las células radicales. Se observó que en dos especies de trigo, las interacciones sodio-calcio fueron significativamente diferentes con respecto a la translocación del calcio, ya que en la especie tolerante el tallo mantuvo una alta absorción de calcio a altas concentraciones de sodio.

La absorción unidireccional de sodio en las raíces ocurre pasivamente a través de los canales de cationes. También es posible que el calcio inhiba el influjo de sodio al enlazarse a un sitio específico en tales canales, alterando la entrada y selectividad del canal.

La distribución exacta del sodio entre las hojas puede depender de la transpiración o de procesos más complejos, pero en general, la acumulación en hojas individuales sería menor si el crecimiento global del tallo es mayor (Davenport *et al.*, 1997). Desafortunadamente, las paredes celulares tienen una gran afinidad por el calcio de tal manera que es difícil diferenciar el desplazamiento apoplástico de calcio por sodio causado por el efecto del sodio sobre el influjo del calcio, o por la acumulación intracelular en raíces intactas (Reid y Smith, 1992)

En algunos estudios se ha encontrado que el crecimiento de los cultivos se inhibe seriamente con altas relaciones $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$, que son características de los suelos sódicos. Plantas cultivadas en medios salinizados con NaCl mostraron severos síntomas de deficiencia de Ca en el estadio de 4ª hoja, los cuales se correlacionaron con bajas concentraciones del catión en los tejidos foliares.

Investigaciones en maíz han mostrado que la salinización del medio de cultivo con NaCl provocó la reducción del crecimiento de las raíces primarias, acompañada de reducciones en la longitud de la zona de elongación, en la longitud de las células epidérmicas y en la tasa aparente de reproducción celular (Zidane *et al.*, 1990). Estos efectos fueron parcialmente revertidos cuando se agregó una cantidad adicional de Ca^{2+} al medio posiblemente porque, siendo un factor de la integridad de la membrana, contribuye a la capacidad de las plantas para resistir el estrés salino

También en maíz las altas concentraciones salinas provocaron el desplazamiento del calcio presente en las membranas celulares, pero su efecto fue contrarrestado al incrementar las concentraciones de Ca^{2+} en el medio de cultivo (Lynch *et al.*, 1987).

3.2 MECANISMOS DE LA TOLERANCIA A LA SALINIDAD

3.2.1 Compartimentalización

Las halófitas sobreviven en ambientes salinos gracias a la compartimentalización de las sales en las vacuolas, manteniendo baja su concentración en el citoplasma y organelos, e impidiendo la interferencia con las funciones de sus enzimas y maquinaria metabólica. Este mecanismo, sin embargo, ofrece una solución limitada al estrés salino si no existe un control de la cantidad de sales que llegan a las hojas. Así por ejemplo, se ha reportado que en arroz existe un sofisticado control que excluye el Na^+ de las hojas jóvenes y en desarrollo, pero simultáneamente realiza una fijación preferencial en las hojas senescentes. Tal parece que el patrón secuencial de desarrollo de las hojas puede disponer de sistemas asociados que producen la distribución discontinua de las sales, de manera que las hojas maduras acumulen gradualmente niveles tóxicos de sales, protegiendo a las hojas jóvenes (Cheeseman, 1988).

3.2.2 Ajuste Osmótico

El ajuste osmótico implica la acumulación en el citoplasma de sustancias compatibles con enzimas y con el metabolismo celular. Se cree que las plantas también utilizan algunos iones, por ejemplo el K^+ que llega a encontrarse en el citoplasma en concentraciones del orden de 4,000 mg/l.

Este mecanismo ayuda a las células de las plantas superiores a soportar el estrés salino y el déficit hídrico, que implica mantener una turgencia adecuada para que el crecimiento prosiga, e involucran el transporte, acumulación y compartimentalización de iones inorgánicos así como de solutos orgánicos. Requiere la regulación de niveles intracelulares de algunos compuestos orgánicos (carbohidratos, alcoholes como el sorbitol, azúcares y ácidos orgánicos) y compuestos nitrogenados (amino ácidos, glicin-betaína, colina y poliaminas), muchos de los cuales se cree que son compartimentalizados principalmente en el citoplasma, mientras que los iones inorgánicos (principalmente Na^+ , K^+ y Cl^-) son secuestrados en las vacuolas, o distribuidos entre la vacuola y el citoplasma. Los solutos orgánicos en el citosol contribuyen al balance osmótico intracelular cuando

las concentraciones de los iones inorgánicos son altas en la vacuola, y también pueden proteger a las enzimas del citosol cuando las concentraciones iónicas se incrementan

La habilidad para mantener la distribución asimétrica de los solutos implicada en el ajuste osmótico, puede deberse a que el tonoplasto posee sobresalientes mecanismos de transporte necesarios para mantener gradientes iónicos pronunciados. Es posible que las glicofitas sensibles a las sales carezcan de mecanismos de transporte igualmente efectivos y, en consecuencia, sean incapaces de mantener los gradientes requeridos para el ajuste osmótico (Lauchi y Epstein, 1984)

3 2.3 Inclusión-exclusión de sales

La mayoría de los cultivos mejorados se han obtenido en condiciones no estresantes, de manera que es pequeña la posibilidad de identificar diferencias en tolerancia fisiológica a la salinidad entre los cultivos comerciales. Sin embargo, se sabe que hay grandes variaciones en la tolerancia a la salinidad entre los cultivos de ciertas especies, las cuales pueden ser el resultado de mecanismos fisiológicos efectivos de tolerancia tales como la exclusión (reportada en soya y alfalfa) o inclusión (en remolacha) de iones. En los cultivos en los que no se han identificado dichos mecanismos, podrían existir otros como los anatómicos, morfológicos o de desarrollo, entre los que pueden mencionarse el rendimiento, la capacidad para rebrotar y la longitud del ciclo de crecimiento (Pasternak *et al*, 1995).

Cheeseman (1988) puntualiza, sin embargo, que 1) los mecanismos de tolerancia a la salinidad no pueden conocerse porque la tolerancia misma es un descriptor cualitativo que en gran medida refleja las correlaciones entre el tamaño o mortalidad de la planta y la salinidad externa; 2) el término "estrés salino" no es interpretable al nivel mecanístico, porque está basado en manipulaciones del ambiente, el cual sólo está ligado indirectamente al reajuste celular e integrado del metabolismo en los organismos; y 3) la clasificación de las plantas en "excluseras" e "inclusoras" impone una terminología que dificulta, con mucho, la definición de problemas mecanísticos.

Las especies "excluseras" tienen la habilidad de restringir el ingreso de las sales al tallo, mientras que las "inclusoras" absorben grandes cantidades de ellas y las almacenan en el tallo. De estas últimas, algunas compartimentalizan las sales en la vacuola adquiriendo succulencia, y otras poseen glándulas especiales en sus hojas por donde excretan grandes cantidades de sales. La utilización por las glicófitas de uno u otro mecanismo para resistir a las sales depende de otros procesos fisiológicos como la redistribución de iones de una hoja a otra, o la compartimentalización dentro de la célula (Ashraf, 1994).

La base del tallo de *Phaseolus* es una zona activa en la acumulación de sodio, anatómicamente similar a la raíz, pues posee un estele central rodeado de una endodermis de manera que, al contacto con el suelo o una solución, el mesocótilo produce raíces secundarias a partir del periciclo. A diferencia de la raíz, sin embargo, se cuticulariza densamente de tal forma que los iones no se liberan directamente en el medio, sino que el influjo y eflujo netos ocurren con respecto al xilema y floema. El mesocótilo de plántulas de maíz es importante en el control del transporte de sodio hacia las hojas, pues no obstante que su peso fresco representa sólo el 45% de la planta, es capaz de contener 25% del sodio total absorbido por ella. A tasas equivalentes de liberación de iones, la absorción de sodio por el mesocótilo es considerablemente mayor que la de potasio y la proporción de sodio removido desde la corriente transpiratoria es mucho mayor que la de potasio. Además el influjo es proporcional a la raíz cuadrada de la concentración del sodio, lo cual sugiere que está involucrado el transporte activo (Johanson y Cheeseman, 1983).

Davenport *et al.* (1997) afirman que la planta puede limitar la absorción de sodio en las raíces, evitando su entrada inicial a través del plasmalema, o bien, eliminando por eflujo el exceso del citado catión en el citoplasma de las células del córtex radical. Alternativamente, la planta elimina sodio del tallo si acumula el catión en las vacuolas de las células radicales, en lugar de permitir su transferencia desde el simplasto hacia las células del estele y del xilema.

3.2.4 Reducción del tamaño

Para el agricultor se considera inconveniente la reducción en el tamaño de la planta provocada por episodios de salinidad o sequía. Sin embargo, podría considerarse también como una estrategia de los cultivos,

potencialmente benéfica porque les permite sobrevivir y producir semilla con escasa disponibilidad de agua. En trigo, por ejemplo, el cultivo más resistente a sequía presentó tasas de crecimiento relativamente altas cuando tuvo buena disponibilidad de agua, pero mostró la reducción más drástica a medida que el agua se convirtió en el factor limitante (Simane *et al.*, 1993). Intensos efectos inhibitorios del crecimiento, resultantes de la combinación de salinidad y sequía, se acompañaron de la sobrevivencia prolongada en comparación con los cultivos que fueron sometidos a sequía únicamente (Richards, 1992) Estos hallazgos concuerdan con el hecho de que aplicaciones de químicos retardadores del crecimiento producen plantas pequeñas pero con gran capacidad para sobrevivir a la sequía.

En el caso de maíz cultivado en condiciones salinas, una larga fase de preantesis podría ser benéfica si le permite al cultivo ampliar el período de desarrollo del área foliar, pero también podría ser dañina si afecta la diferenciación y desarrollo de mazorcas y panículas que también se presenta durante esa misma fase. En cambio, una larga fase de postantesis sería benéfica sólo si la planta es capaz de desarrollar un período más largo de llenado de grano o si ello le permite disponer de más tiempo para el transporte de fotosintatos destinados a la formación del grano (Pasternak *et al.*, 1995).

3.3 SALINIDAD Y SEQUIA: CONVERGENCIAS

Bliss *et al.* (1984) afirman que el estrés salino mimetiza el estrés hídrico en muchas formas, sugiriendo que el principal efecto de la sal es osmótico. Vicenzo (1990) concluyó que el tratamiento de salinidad y de déficit hídrico (25% de humedad aprovechable) en plántulas provocó la disminución del crecimiento en forma similar, aunque no asegura si los mecanismos implicados son de la misma naturaleza. Encontró, además, que la exposición prolongada de las semillas a una solución de NaCl, durante la germinación, afecta el crecimiento posterior de la planta. En la raíz, el NaCl y la deficiencia de agua causan disminución de su crecimiento y cambio en su aspecto físico; en las raíces de maíz cultivadas con NaCl el crecimiento se redujo drásticamente, se

presentaron engrosamientos y se desarrollaron pocos pelos absorbentes. El paralelismo en la respuesta bajo ambos factores limitantes puede deberse a que la sal provocó una deficiencia de agua en la planta.

La sequía es una condición del suelo o de la atmósfera, o de la combinación de ambas, que impiden a la planta obtener suficiente agua para sus funciones vitales; modifica la tensión hídrica de la planta, afectando prácticamente a cada uno de los aspectos del crecimiento de la planta ya que se produce la alteración de su anatomía, morfología, fisiología y bioquímica.

Cuando los déficits de agua se hacen más graves disminuyen los niveles de ARN y ADN, aumentan los de las proteínas, se reduce la fotosíntesis y aumenta la respiración, finalmente cesan la fotosíntesis y el crecimiento. Más tarde, probablemente se inhiben la síntesis y el traslado de reguladores de crecimiento, se obstaculiza el traslado de otros compuestos, se hidrolizan los carbohidratos y las proteínas y, a menudo, hay un aumento de azúcares solubles y compuestos nitrogenados. Finalmente, la deshidratación del protoplasma se agrava tanto, que las células y los tejidos empiezan a morir (Márquez, 1979)

Kramer (citado por Rocha, 1987) afirma que cuando las plantas se someten a deficiencia hídrica, el agua se mueve de las hojas más viejas hacia los puntos de crecimiento, debido a que las hojas jóvenes y frutos en crecimiento compiten por el agua con las hojas que ya han madurado, provocando la muerte prematura de éstas últimas.

Bajo condiciones de campo las plantas pueden estar expuestas simultáneamente a sequías edáficas y a altas temperaturas. En diversas variedades se ha observado la síntesis de proteínas en respuesta al estrés térmico (por sus siglas en inglés, HSP); al parecer existen diferencias intra e interespecíficas en el patrón de síntesis de HSP entre las plantas que se distinguen por su resistencia al calor.

Las plantas sensibles y resistentes a la sequía se distinguen entre sí, al menos por su capacidad para escapar a la deshidratación; esta capacidad podría deberse a diferencias en el patrón de síntesis de las HSP. Sin embargo, Ristic *et al.* (1991) obtuvieron los mismos patrones de síntesis de HSP en tratamientos de calor, así como de calor y sequía simultáneos aplicados sobre variedades de maíz resistentes y sensibles a sequía. Sin embargo, en una línea resistente detectaron la presencia de HSP's de 45 kD, proteínas totalmente inusuales en plantas superiores.

En condiciones salinas, los iones son utilizados para disminuir el potencial hídrico de la planta, sin embargo, para las plantas bajo condiciones de sequía el papel de los iones en el ajuste osmótico es más difícil de demostrar debido a que la reducción en el contenido de agua se acompaña del decremento en el potencial hídrico. De este modo, se elevan las concentraciones sin un incremento neto en la cantidad de solutos por célula. Los iones se relacionan de manera esencial con las plantas adaptadas a la sequía porque son utilizados para generar los potenciales osmóticos necesarios para bajar el potencial hídrico de la planta. Aún más, este potencial osmótico disminuirá sólo si el contenido de agua declina, dando por resultado la concentración de los iones. Sin embargo, la disminución del contenido de agua inevitablemente se acompaña de una pérdida de turgencia y ésto a su vez, afecta el crecimiento.

Si para la planta es importante mantener el crecimiento, el potencial de solutos deberá disminuirse, no por una pérdida de agua, sino por el incremento en el contenido de solutos de las células, es decir mediante ajuste osmótico. No obstante, el ajuste osmótico no es una habilidad encontrada en todas las especies vegetales; incluso en aquellas que la poseen, el incremento de iones representa solo una parte muy pequeña del cambio total en el potencial osmótico. Así que a pesar del papel central de los iones en la generación de turgencia, pierden importancia en el ajuste osmótico provocado por sequía, situación que contrasta totalmente con su papel bajo condiciones salinas. Bajo condiciones de sequía el volumen del flujo transpiratorio es pequeño, y el abastecimiento de iones solo puede conseguirse incrementando su concentración.

La sequía tiene el efecto de reducir la absorción de iones ya que el bajo contenido de agua edáfica reduce su difusión hacia las raíces. Aunque la concentración de iones puede elevarse en el suelo (se plantea que muchas plantas adaptadas a condiciones áridas también pueden clasificarse como halófitas), los cambios en la concentración son generalmente insuficientes para mantener el suministro íntegro de agua hacia los brotes. En consecuencia, los iones simplemente no se encuentran disponibles para la planta y el ajuste osmótico debe adquirirse utilizando solutos alternativos (Flowers y Yeo, 1986)

La sequía, a semejanza del estrés salino, afecta el establecimiento del cultivo, inhibe el crecimiento, el área foliar, la iniciación del meristemo reproductivo y el llenado de grano. En maíz, la intensidad del daño que provoca depende del estadio de crecimiento, afectando la producción de materia seca y grano.

Aunque escasea la información sobre la resistencia de las plántulas a la sequía y salinidad, por un lado, y agronómicamente la producción es lo más importante. Por el otro, es necesario considerar que la variabilidad en las características de las plántulas sometidas a estrés salino o hídrico, reflejan su adaptación en la fase temprana del establecimiento del cultivo y su potencial de rendimiento (Marti *et al.*, 1996)

En condiciones de estrés hídrico, el crecimiento de la raíz en las plántulas de maíz es un factor decisivo ya que desempeña un papel esencial en la absorción de agua y nutrientes. Por esta razón se esperaría que el crecimiento de la raíz sea prioritario sobre el crecimiento del tallo de manera que las plántulas con raíces de desarrollo vigoroso pueden continuar su crecimiento y llegar a ser productivas. Trabajando con 7 variedades de maíz tropical bajo diferentes niveles de humedad, Weerathaworn *et al.* (1992) descubrieron que: 1) las raíces de las plántulas tuvieron una mayor distribución en la capa superior del suelo. inclusive en los tratamientos que tuvieron una mejor disponibilidad de agua en la capa inferior, 2) todas las combinaciones de bajo suministro de agua produjeron muy pequeñas reducciones o no las produjeron en el peso seco de raíz, 3) se redujo la longitud total de las raíces principales en la misma medida en que se redujo su peso seco, aunque inesperadamente, el estrés hídrico no afectó el número total de las raíces laterales, sitio importante en la producción de citoquinas. Estas últimas podrían habilitar a la planta para el ajuste osmótico sin la acumulación de *osmoticum* por unidad de longitud de raíz.

La resistencia a la sequía es un fenómeno complejo en el que pueden observarse plantas más bajas, tallos más delgados, raíces más desarrolladas, uso de menor cantidad de agua por unidad de masa de plantas y una menor apertura de estomas. En general se puede considerar como la habilidad de las variedades para crecer satisfactoriamente en áreas sujetas a periódicos déficits de agua (Márquez, 1979). En opinión de Neumann (1995) se podría definir a un cultivo con alta resistencia, como aquél que sobrevive a déficits moderados de agua y que es capaz de mantener tasas de crecimiento mayores que los cultivos susceptibles.

Desafortunadamente la resistencia a la sequía también se acompaña de reducciones -en algunos casos- dramáticas del rendimiento del cultivo, probablemente porque los mecanismos responsables de la supervivencia de una especie pueden diferir de aquéllos que proporcionan una máxima producción económica (López, 1986).

Entre los criterios que se han utilizado para la selección de maíz bajo condiciones de sequía se encuentran 1. Altos rendimientos de los materiales, 2. Ausencia de esterilidad y mazorcas débiles, favoreciendo los tipos que presenten cuateo, 3. Ausencia de hojas quemadas, 4. Emergencia temprana de estigmas en relación a la antesis y 5. Un período largo de polinización (Márquez, 1979)

3.4 DESARROLLO DE VARIEDADES TOLERANTES A LA SALINIDAD

Los especialistas han recomendado diversas medidas de mejoramiento y prácticas de manejo para hacer productiva la agricultura en los campos afectados. Sin embargo, estos métodos son caros y no siempre son una solución práctica para resolver el problema de la salinidad, mientras que poca atención se ha prestado a la adaptación de cultivos, por métodos genéticos, a condiciones edáficas desfavorables como altos o bajos contenidos de minerales, anegamientos, sequía, pH's extremos y, por supuesto, sales. En opinión de Ashraf (1994) las medidas preventivas y de recuperación de los suelos salinizados son muy caras, de manera que un enfoque evolucionista parece la única alternativa económica y eficiente para superar los problemas provocados por la sal.

3.4.1 Consideraciones

Flowers y Yeo (1995) opinan que la salinidad de los sistemas agrícolas no se mantiene estable sino que, por el contrario, se incrementa de manera que genera un problema impredecible en el lapso de 8 a 10 años que es el tiempo requerido para liberar una variedad. Por ello plantean que el mejoramiento vegetal no puede considerarse como la respuesta absoluta al problema de la salinización, sino que debe apreciarse como parte de una estrategia global que incluya el manejo de la irrigación y drenaje. Aunque este último resulta usualmente caro e impracticable, debe prestarse atención a los factores que pueden moderar el ingreso de sales al suelo. El cultivo de plantas resistentes a la salinidad requerirá de menores láminas de riego. en consecuencia, menores

volúmenes de agua se filtrarán a través del perfil del suelo y menores serán también los aportes de sales. El resultado final será mantener la salinidad dentro de niveles aceptables. Entre menores sean las cantidades de sales agregadas al suelo, menor será también la demanda de agua y menor la necesidad de drenaje.

Es difícil sustituir las prácticas de manejo, para prevenir la acumulación de sales en el suelo, por el uso de variedades tolerantes a la salinidad. El valor de éstas radica en que permiten cultivar suelos en recuperación, o suelos cuyo completo mejoramiento está limitado por factores naturales o económicos.

El desarrollo de cultivares tolerantes a la salinidad tiene dos limitantes: reducidas fuentes genéticas y la carencia de métodos rápidos y precisos para evaluar los genotipos. Los recursos genéticos usados en el mejoramiento se seleccionan -por lo común- de los mejores materiales observados dentro de las especies cultivadas, pero puede haber recursos de mayor respuesta en las especies silvestres relacionadas (Shannon y Qualset, 1984).

A este respecto, Flowers y Yeo (1995) plantean que puede ser más exitoso y económico domesticar especies silvestres tolerantes a la salinidad, que modificar una variedad de uso cotidiano para después cultivarla productivamente en un ambiente que es el nicho de halófitas.

En opinión de Asraf (1994), tolerancia a la salinidad significa la habilidad de las plantas para crecer satisfactoriamente en suelos salinos. El término describe la capacidad de las plantas para crecer, sin importar si acumulan iones en sus células o si las excluyen.

Lo ideal sería que las plantas resistentes al estrés, se desarrollaran bien en condiciones limitantes y también en condiciones adecuadas. Desafortunadamente, esta característica se presenta raramente entre las plantas cultivadas, y puesto que aún se desconocen los mecanismos involucrados en la resistencia al estrés (salino o hídrico), los criterios de selección y de desarrollo de variedades resistentes son todavía empíricos (Neumann, 1995).

Considerando el modelo bifásico mencionado antes, se puede predecir que la tolerancia a la salinidad entre diferentes cultivares requiere de tiempo y sólo podrá detectarse después de haber generado daño visible en las hojas maduras. Si el modelo es correcto, será necesario revisar algunas técnicas para desarrollar variedades tolerantes, en especial los métodos rápidos porque las respuestas a corto plazo sólo probarán la tolerancia al efecto externo de las altas concentraciones salinas, es decir, al bajo potencial hídrico que producen. De este

modo, el único método seguro consiste en medir tasas de crecimiento, o bien, en determinar el momento o extensión del daño foliar. Este último método no es rápido, pero sí fácil de realizarse pues permite distinguir con claridad las variedades más sensibles. No obstante, la extracción de las más tolerantes requiere de largos períodos de exposición, o del uso de altas concentraciones salinas (Munns, 1993)

La elección de la metodología depende de las metas de producción fijadas y de la especie misma. Así mismo, debe ser aplicable rápidamente sobre gran número de individuos pero, sobre todo, debe ser consistente con el desempeño de la planta completa y relevante en términos de la respuesta a largo plazo en condiciones de campo (Jefferies, 1996). En este punto es necesario recordar que el efecto de la salinidad varía en los diferentes estadios del ciclo de vida, de tal manera que existen cultivos que germinan a altas salinidades, pero que más tarde se desarrollan precariamente; altas concentraciones salinas pueden provocar esterilidad en algunas especies, arrojando una significativa pérdida del rendimiento. Otras especies responden a la inversa (Shannon y Qualset, 1984)

3.4.2 Criterios de selección

Para determinar si una variedad es tolerante, será necesario germinarla y cultivarla hasta la madurez en condiciones de alta salinidad (50 a 75% de la concentración del agua de mar). El siguiente paso sería evaluar los materiales seleccionados en diferentes parcelas con gradientes salinos naturales, para finalmente rescatar las que muestren tolerancia así como altos rendimientos. Será igualmente importante considerar la calidad de la cosecha puesto que la salinidad incrementa la concentración de sustancias osmóticamente activas, lo cual puede no ser deseable para el consumo humano o para la cría de animales. El efecto de las sales en la calidad del cultivo también se relaciona con la apariencia del producto, la vida de almacén o de anaquel, etc. (Shannon y Qualset, 1984). La harina obtenida de centeno cultivado en condiciones salinas reduce sus cualidades de panificación cuando las concentraciones de sal son altas, aunque no sus cualidades organolépticas (Francois *et al.*, 1989)

Para extraer las mejores variedades cultivadas bajo condiciones de salinidad se han tomado diversos criterios de selección entre los que se mencionarán: la acumulación de osmolitos (Ashraf, 1994) como el azúcar, betaína, prolina, glicinbetaína y pinotol, la exclusión de Na^+ y Cl^- , la relación Na^+/K^+ o de $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$. Sin embargo, ninguno de ellos puede tomarse como criterio único ya que se trata de parámetros inconsistentes entre los diferentes cultivos, e inclusive los mecanismos fisiológicos involucrados varían, en muchos casos, entre los cultivares de una misma especie. Se han considerado otras características de la planta como longitud de raíces (con un éxito más o menos considerable) para detectar tolerancia en numerosos pastos, aunque no así en leguminosas y otras especies dicotiledóneas. También ha habido intentos por utilizar la longitud del tallo o el rendimiento total del cultivo en los casos del arroz, mijo y trigo, bajos niveles de transporte de sales al tallo, el vigor del cultivar, la habilidad de la planta para secuestrar iones en las hojas maduras y la tolerancia a altas concentraciones de sales una vez que éstas han alcanzado las hojas. Existen limitaciones para la selección con base en criterios fisiológicos porque las técnicas requieren lapsos largos de tiempo, pueden no aplicarse en plantas individuales o bien, son destructivas (Flowers y Yeo, 1995).

El desarrollo de variedades tolerantes requiere considerar, además: 1) los aspectos técnicos de la manipulación genética, 2) la interacción de la tolerancia (el factor genético) y el manejo del recurso suelo y agua (el factor ambiental) y 3) los efectos de la sal en la calidad alimenticia y forrajera (Shannon y Qualset, 1984).

Por otra parte, la tolerancia a la salinidad no está determinada por un gen o producto génico único. Aunque ningún gen puede conferir tolerancia por sí solo, la ausencia de cierto número de genes sí puede generar intolerancia (Cheeseman, 1988). Sin embargo, en algunas especies se ha determinado la presencia significativa de un componente aditivo, así como alta tolerancia a la salinidad por efecto de un gen dominante.

Ashraf (1994) comenta que la varianza genotípica puede ser el producto de la acción de unos cuantos genes, cada uno con gran efecto, o por muchos genes, cada uno con un efecto relativamente pequeño. En ambos casos será diferente la respuesta inmediata a la selección, el potencial de respuesta ulterior, así como el avance genético máximo que se pueda obtener a través de continuas selecciones. Es posible desarrollar cualquier característica en las poblaciones si existe la variación genética y si se aplican altas presiones de selección.

3.5 METODOS DE MEJORAMIENTO PARA TOLERANCIA A SALINIDAD

Un prerrequisito para el mejoramiento de un cultivo con tolerancia a sales es su posible crecimiento en condiciones salinas. lo cual es característico de las plantas halófitas (Epstein, citado por Navejas, 1995) El uso de un método específico depende de dos factores principales: 1) el sistema de mejoramiento de los cultivos; y 2) el objetivo perseguido con el mejoramiento, es decir, si se busca calidad, rendimiento, resistencia al estrés, etc. De los métodos de mejoramiento utilizados se puede mencionar: 1) en los cultivos de autopolinización, el desarrollo de líneas puras, selección masal -en alfalfa, por ejemplo-, el método del pedigree, retrocruza, etc; 2) para los cultivos de polinización abierta, la selección masal, selección recurrente -estos dos utilizados en el desarrollo de gran número de cultivos de grano y forrajeros incluida la alfalfa en estadio de plántula como en estadio maduro-, hibridación interespecífica en jitomate, intergenérica en arroz, trigo y pastos o de líneas consanguíneas, retrocruza y el desarrollo de variedades sintéticas.

No obstante, la hibridación tiene un factor limitante de consideración ya que cuando uno de los dos materiales parentales escogidos es un halófito, éste posee casi siempre características agrónomicas muy poco deseables. Por esta razón debe considerarse que, en el contexto de la tolerancia a cualquier estrés (no sólo salino), las adaptaciones ecológicas y los objetivos agronómicos son diferentes y pueden ser mutuamente excluyentes.

La resistencia puede, más simplemente, buscarse y obtenerse a través del examen de los materiales genéticos. Es posible que entre los genotipos existentes, los haya que tengan mayor o menor resistencia a la salinidad y para descubrirlos, solo es necesario disponer de un procedimiento adecuado de examen. El desarrollo del procedimiento mismo es problemático debido a la complejidad de las interacciones genotipo-ambiente y a la deriva ontogénica provocada por la respuesta al estrés salino. Sin embargo, el procedimiento es conceptualmente simple: exponer una serie de genotipos a la salinidad y escoger aquellos que muestren mejor comportamiento bajo esas condiciones.

Desafortunadamente, ello implica el examen de una gran cantidad de individuos, la utilización de un gran número de sitios y de ciclos agrícolas necesarios para establecer la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las generaciones estudiadas. A ello se debe el considerable interés, tanto de fitomejoradores

como de fisiólogos, por desarrollar procedimientos de examen rápidos, informativos y simples (Flowers y Yeo, 1995).

Los cambios ambientales en campo dificultan la selección de germoplasma resistente, por lo que las técnicas de laboratorio pueden ser útiles, económicas y prácticas, eliminando la incertidumbre de los experimentos de campo (Valdés, 1976).

Con respecto a tolerancia a la sequía, se ha demostrado que los métodos de laboratorio proveen resultados experimentales suficientemente satisfactorios para la diferenciación de materiales genéticos y algunas cualidades de éstos por su reacción al estrés hídrico. Por ello pueden considerarse como valiosos auxiliares en la evaluación de germoplasmas en los programas de mejoramiento (Márquez, 1979; Muñoz, 1975). Por su parte, los métodos de campo permiten evaluar directamente el carácter de interés, que por lo general es el rendimiento, y estudiar su relación con los factores ambientales y bajo variaciones reales a las cuales los genotipos habrán de responder. Los métodos de campo no son mejores que los de laboratorio o de invernadero, sino que se complementan pues tanto los unos, como los otros, se basan en la veracidad de los hechos (Muñoz *et al.*, 1983). Sin embargo, Jefferies (1996) sugiere que los caracteres que fundamentan la tolerancia a corto plazo pueden contribuir a la tolerancia a largo plazo, pero que ninguno de ellos confiere ésta y que la selección para tolerancia a corto plazo no es una prueba suficientemente sólida para seleccionar tolerancia para largo plazo.

En el mismo sentido, Shalhevet *et al.* (1995) afirman que los experimentos con plántulas pueden no reflejar el comportamiento de una planta madura. Ello se debe en parte a que la respuesta de una planta a la exposición prolongada a las sales depende no solo de la habilidad para tolerar bajos potenciales hídricos, sino también de la tasa de absorción de sales, de su compartimentalización en la vacuola y de la tasa de crecimiento, en otras palabras, es difícil que la tolerancia a largo plazo esté determinada por un solo carácter.

La tolerancia de los cultivos a las sales puede mejorarse mediante la selección y combinación genética de caracteres fisiológicos que contribuyan a la tolerancia a largo plazo, lo cual exige identificar y comprender los procesos fisiológicos involucrados en la tolerancia a la salinidad. También requiere conocer los costos metabólicos ya que la tolerancia puede estar asociada a decrementos en el rendimiento. Además, el estrés

salino modifica, por mucho, el comportamiento de los cultivos, de manera que se requiere de suma cautela para traspolar resultados.

No obstante, vale la pena considerar que Richner *et al.* (1997) hallaron, entre 20 híbridos de maíz europeo, una relación significativa entre algunas características de las raíces de las plántulas, como su biomasa y área, longitud de las ramificaciones en las raíces primarias y la longitud de la raíz primaria -examinadas bajo condiciones controladas- y el peso del tallo en el estadio de la tercera hoja así como con el momento de ensilaje en condiciones de campo. Estos investigadores concluyeron que el desarrollo de un sistema radical intensamente ramificado -el cual se encuentra íntimamente relacionado con el tallo en el estadio de la tercera hoja-, puede asegurar un suministro adecuado de agua y nutrimentos y habilita a los genotipos para materializar su rendimiento potencial. Pero reconocen que aunque existe una correlación significativa entre las características de la raíz y el comportamiento en campo, pueden usarse como criterio de selección sólo si se combinan con otros criterios indirectos.

Adicionalmente para alcanzar un mejoramiento exitoso es necesario, primero, considerar que la presión de selección no debe ser tan alta porque se eliminarían, si no todas, la mayoría de las plantas tolerantes dentro de una población variable; segundo, el uso de una alta presión (menor del 1%) de selección permite la selección de muy pocos individuos, pero con alta tolerancia a la salinidad; y, tercero, deben probarse un gran número de plantas, tantas como sea razonablemente manejable (Ashraf, 1994).

Kingsbury y Epstein (1984) observaron que: 1) tratamientos con bajas concentraciones salinas ($EC \approx 10.6$ dS/m) resultaron inapropiadas para discriminar líneas trigueras sensibles de las resistentes; 2) la relativa tolerancia a la salinidad durante los estadios tempranos del ciclo de vida no son indicativos de la tolerancia en estadios posteriores, porque depende de cuál de ellos es el más sensible; 3) la comparación de la biomasa entre las líneas sólo fue significativa para los tratamientos con altas salinidades, lo cual pudo deberse a: diferencias en los potenciales de rendimiento, diferencias en las tasas de sobrevivencia de las líneas, en especial a altas concentraciones, y, posiblemente, la ausencia de estrés durante el estadio temprano vegetativo. Finalmente hallaron que altas concentraciones salinas acortaron el ciclo de vida y provocaron muerte prematura, además de

que las líneas sensibles promediaron una madurez tardía a bajas concentraciones salinas ($EC=10.6$ dS/m), pero fueron las primeras en morir a altas concentraciones

Con tratamientos de tensión osmótica creciente se han encontrado diferencias altamente significativas entre variedades y tratamientos; así, Valdés (1976) afirma que la capacidad de la semilla para germinar a altas presiones osmóticas es hereditaria. Por el contrario, Jefferies (1996) concluyó que no existe una correlación entre la tolerancia a corto y largo plazo en la progenie de plántulas seleccionadas; afirma, sin embargo, que la ventaja de la selección para tolerancia a la salinidad en el estadio de plántula radica en que es reducido el número de individuos que deben probarse para determinar si presentan tolerancia a largo plazo.

Flowers y Yeo (1995) reportan que aunque poco se sabe sobre los efectos de la salinidad en el rendimiento, independientemente del crecimiento vegetativo, se dispone de algunos estudios a cerca de la viabilidad del polen y la receptividad estigmática -lo cual implica toxicidad salina en las porciones florales-, que permiten comprender de alguna manera el problema de la esterilidad inducida por sales. Los autores sugieren en consecuencia, que las mediciones del transporte de sales en plántulas no son tan irrelevantes como se había supuesto. Para Ashraf *et al.* (1987) el mejoramiento de los cultivos con objetivo de favorecer su tolerancia a la salinidad por NaCl, puede conseguirse a través de varios ciclos de selección. Sin embargo, la selección en el estadio de plántula sería claramente mucho más fácil y económica, si tiene una relación consistente con la respuesta global de la planta. Apoyados en esta idea, los autores sometieron cuatro cultivos forrajeros a tratamientos salinos, llegando a la conclusión de que las plántulas tolerantes al NaCl pueden seleccionarse y que la tolerancia mostrada por ellas es hereditaria. La selección de las plántulas se realizó con base en la altura de brote; las de mejor respuesta fueron transplantadas y cultivadas hasta su maduración. En opinión de estos autores, se trata de una técnica con considerable valor práctico, ya que es sencilla, permite probar un gran número de individuos y muestra grandes posibilidades de éxito al someterlas a selección y mejoramiento.

Por su parte Maiti *et al.* (1996) afirman que en plántulas de maíz, el índice de tolerancia (razón del peso seco de un carácter en los testigos entre el peso seco del mismo carácter en los tratamientos) y el vigor pueden tomarse como criterios primarios de selección para resistencia a salinidad. Así mismo encontraron tres cultivares resistentes en estadio de plántula tanto a sequía como a estrés salino y que mostraron un alto índice de

tolerancia en peso seco de raíz, hecho que para ellos indica un probable mecanismo de adaptación de estos cultivares para estimular el crecimiento de la raíz y mantener el ajuste osmótico en condiciones de estrés salino. Estos investigadores también suponen que el mecanismo de la resistencia a la salinidad puede estar relacionado con una acumulación de minerales en los tejidos. Finalmente concluyeron que hay un gran número de respuestas a la sequía y estrés salino entre los cultivares de maíz, durante el estadio de plántula, que podrían tener fuertes implicaciones prácticas en el mejoramiento genético del maíz.

Desafortunadamente, la salinidad representa un problema osmótico de modo que, con seguridad, la resistencia tendrá un costo en términos del rendimiento ya que algunos fotosintatos deben desviarse para la adquisición o síntesis de solutos osmóticos. La resistencia a la salinidad es difícil de manejar, pero es posible un mayor avance en el mejoramiento de los cultivos basándose en las estrategias de escape al estrés (vigor y maduración precoz). Resulta desalentador sin embargo que, en algunos casos por lo menos, un análisis costo/beneficio puede llevar directamente a la conclusión de que el mejoramiento para resistencia a la salinidad es simplemente antieconómico.

Es importante considerar, por último, que en condiciones de salinidad es más importante la estabilidad del rendimiento que el potencial de rendimiento en sí mismo, y como requisito para conseguirla es necesario el mejor crecimiento posible del cultivo. La resistencia a la salinidad no puede apreciarse de manera aislada; si contribuye a preservar los sistemas de irrigación y a conservar el recurso agua, entonces representará un objetivo de mucho mayor mérito que el que sólo atiende al rendimiento (Flowers y Yeo, 1995).

IV. HIPOTESIS

Si las variedades resistentes a sequía son también tolerantes a salinidad, entonces presentarán una germinación y desarrollo de plántulas significativos a altas concentraciones salinas.

V. OBJETIVOS

Determinar

- a) los tipos de salinidad y niveles de concentración de sales a que son tolerantes la variedad intermedio-tardía VS-22 y la tardía V-107 durante la germinación y estado de plántula.
- b) si existe efecto tóxico por la presencia de alguna sal en particular o alguna de sus mezclas.

IV. HIPOTESIS

Si las variedades resistentes a sequía son también tolerantes a salinidad, entonces presentarán una germinación y desarrollo de plántulas significativos a altas concentraciones salinas.

V. OBJETIVOS

Determinar

- a) los tipos de salinidad y niveles de concentración de sales a que son tolerantes la variedad intermedio-tardía VS-22 y la tardía V-107 durante la germinación y estadio de plántula.
- b) si existe efecto tóxico por la presencia de alguna sal en particular o alguna de sus mezclas.

VI. MATERIALES Y METODOS¹

6.1. Salinidad

La tolerancia a la salinidad se determinó con la utilización de 6 soluciones de sales puras y 5 soluciones de mezclas salinas. Ambos tipos de soluciones (de sales puras y sus mezclas) se probaron en 7 diferentes concentraciones, partiendo de 0.00 dS/m.

Las mezclas salinas corresponden a los tipos de salinidad más comunes encontradas en suelos afectados.

Las sales puras y sus mezclas probadas en este trabajo se muestran en el siguiente cuadro:

¹ Este trabajo se realizó en el invernadero de la FES-Zaragoza, UNAM, localizada al oriente de la Cd. de México.

Cuadro 1. Sales puras y mezclas salinas utilizadas en los tratamientos

SALES PURAS	
Nombre	Fórmula
Cloruro de sodio anhidro	NaCl
Sulfato de sodio anhidro	Na ₂ SO ₄
Carbonato de sodio anhidro	Na ₂ CO ₃
Cloruro de magnesio hexahidratado	MgCl ₂ ·6H ₂ O
Cloruro de calcio dihidratado	CaCl ₂ ·2H ₂ O
Sulfato de magnesio heptahidratado	Na ₂ SO ₄ ·7H ₂ O
MEZCLAS SALINAS	
Nombre	Relación aniónica
Salinidad clorhídrica	Cl ⁻ /SO ₄ ²⁻ =2.5
Salinidad sulfático-clorhídrica	Cl ⁻ /SO ₄ ²⁻ =1.5
Salinidad clorhídrico-sulfática	Cl ⁻ /SO ₄ ²⁻ =0.6
Salinidad sulfática	Cl ⁻ /SO ₄ ²⁻ =0.15
Salinidad sulfático-sódica	HCO ₃ ⁻ /Cl ⁻ +SO ₄ ²⁻ =2.0

La relación aniónica utilizada en este experimento se eligió siguiendo el criterio expuesto por Escobar (1994), basado a su vez en la metodología del Manual de Análisis Químico de Arinuskina (1970). Las soluciones, para obtener las diferentes salinidades, se prepararon mezclando MgSO₄ y NaCl en las proporciones convenientes, agregando además NaHCO₃, para el caso de la salinidad sulfático-sódica.

6.2. Tratamientos

Para cada una de las sales, puras y mezclas, se probaron 7 concentraciones (C₁ a C₇) las cuales teóricamente, de acuerdo a las curvas de salinidad para el cultivo de maíz forrajero y de grano, elaboradas por Mass y Hoffman

(1977). arrojarían un rendimiento del 100, 75, 50, 25, 0 y -50%. Obviamente las cantidades de cada sal utilizadas, dependieron de sus pesos moleculares. Las soluciones utilizadas tendrían conductividades eléctricas (C.E.) teóricas de 1.89, 5.25, 8.61, 11.97, 15.33 y 22.05 dS/m para el V-107, de 0, 2, 4, 6, 8, 10 y 14 dS/m para el VS-22.

Todos los tratamientos incluyeron 3 repeticiones; cada repetición consistió de 1 maceta o unidad experimental, y cada una de éstas contenía 10 plántulas.

El tratamiento C₁ correspondió al testigo, mismo que careció de sales y consistió únicamente de agua destilada.

La concentración específica para cada una de las sales puras y mezclas salinas (que en adelante también se denominarán tipos de salinidad) en cada uno de los tratamientos se calculó de acuerdo al procedimiento descrito por Escobar (1994).

6.3. Material Biológico.

Las variedades de maíz probadas presentan las siguientes características:

- a) El V-107, un maíz tardío, derivado de un criollo chalqueño, de polinización libre, de uso principalmente forrajero; esta variedad es resistente a sequía en el estadio de plántula, y se recomienda para temporal abundante y riego, en valles de altitudes entre 1,800 y 2600 msnm. También se ha visto que presenta tolerancia a salinidad aunque no ha sido cuantificada (Velázquez-Cardelas, comunicación personal, 1999).
- b) El VS-22, un maíz intermedio tardío, de polinización libre, mazorca grande, gruesa, con granos dentados de color blanco cremoso; tolerante a la sequía y a las bajas temperaturas; recomendado para los Valles Altos de los estados de Puebla, Tlaxcala, Hidalgo y México. Esta variedad sintética se derivó de la raza cónico-chalqueño, mediante tres ciclos de selección masal en el Michoacán 21 Comp. 2T bajo condiciones de sequía, en Chapingo, Méx. (Rocha, 1987; Velázquez-Cardelas, comunicación personal, 1999).

Por otra parte, durante el desarrollo del experimento se utilizó el siguiente equipo:

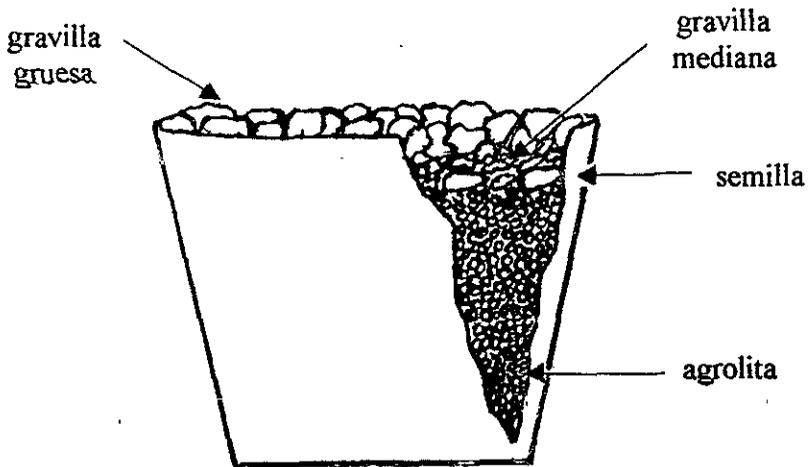
- a. Potenciómetro

- b. Termómetro
- c. Balanza analítica
- d. Balanza electrónica
- e. Balanza granataria
- f. Estufa
- g. Conductímetro

.6.4. Unidades experimentales

Se utilizaron como unidades experimentales macetas de plástico de 1 kg. de capacidad con 110 g de agrolita, como sustrato, 10 semillas y una capa superficial de aproximadamente 1 cm de espesor de gravilla volcánica mediana y otra de 2 cm de gravilla gruesa, así como las soluciones salinas a las concentraciones descritas en los cuadros 1 a 4 del Apéndice A

La gravilla es un material inerte que tiene baja capacidad de absorción de agua, reduce la evaporación y protege a la semilla contra la insolación. Las semillas se colocaron entre la capa de agrolita y la de gravilla, como se muestra en la figura mostrada a continuación:



6.5. Variables evaluadas

6.5.1 Efecto de la salinidad en la germinación

a) Número de semillas germinadas (E). Una vez transcurridas 48 después de la siembra, la variable se determinó cada 24 horas mediante el conteo de las plántulas emergidas, ya que la germinación en el campo se observa como emergencia (Katerji *et al.*, 1994).

b) Toxicidad. Esta variable se estimó en la semilla sólo de manera cualitativa. Una vez concluido el experimento se procedió a examinar visualmente las semillas que no habían producido plántula, para determinar la presencia de oxidaciones, pudriciones, necrosamientos, etc., producidos por las sales

6.5.2. Efecto de la salinidad durante el estadio de plántula

a) Altura de brote (AB). Una vez emergidas las plántulas se procedió a medir, cada 48 hrs y con regla graduada en mm, la longitud del brote a partir del cuello de la plántula y hasta el ápice de la última hoja ligulada

b) Número de hojas (NH). El número de hojas totalmente expandidas (liguladas) se determinó cada 72 hrs.

c) Area foliar (AF). Esta variable se determinó cada 48 hrs midiendo, con regla graduada en mm, largo y ancho de todas las hojas totalmente expandidas (liguladas). Después en gabinete se obtuvo el producto de ambas medidas por el factor de corrección, 0.75 (Montgomery, 1911; Kiesselbach, 1950).

Inmediatamente después de concluido el experimento, 18 días de la siembra y 14 después de las primeras emergencias, se procedió a extraer las plántulas, lavar las raíces, secarlas con papel absorbente y a evaluar las siguientes variables:

d) Longitud de raíz (LR). Esta variable se determinó, con regla graduada en mm.

e) Número de raíces (NR). Se contó el número de raíces de primer orden desarrolladas por cada plántula.

f) Peso fresco de plántula o total (PFT). Esta variable se determinó en g, pesando las plántulas completas en una balanza electrónica.

- g) Peso fresco de brote (PFB). Usando balanza electrónica se obtuvo, en g, el peso del brote considerado éste como la porción aérea de la plántula a partir del cuello o nudo vital.
- h) Peso fresco de raíz (PFR). Esta variable se determinó en gabinete por diferencia entre el peso fresco total (PFT) y el peso fresco de brote (PFB).
- i) Peso seco de plántula o total (PST). Las plántulas se secaron en estufa a 80°C durante 24 hrs. e inmediatamente después se obtuvo peso seco (g) en balanza analítica.
- j) Peso seco de brote (PSB). Una vez desecadas en estufa, se determinó en g el peso seco de brote con balanza analítica.
- j) Peso seco de raíz (PSR). Esta variable se midió también en g, con balanza analítica.
- k) Toxicidad. Esta variable sólo se determinó de manera cualitativa, en forma visual, atendiendo a cambios en coloración y/o morfológicos de hojas, etc. que pudieron presentarse.

6.6. Desarrollo Experimental

Previo al experimento, se determinó el porcentaje de germinación de ambas variedades de maíz.

Las macetas se llenaron con aproximadamente 110 g de agrolita depositando sobre ella las semillas requeridas para asegurar -con base en el porcentaje de germinación-, 10 plántulas por maceta. Se cubrió a aquéllas con la capa de gravilla volcánica de tamaño mediano y grueso de partícula, en ese orden, y a continuación se regó con las soluciones de acuerdo a los tratamientos señalados antes.

Ya que las macetas carecían de drenaje, se impidieron condiciones de anoxia añadiendo la cantidad exacta de solución. De acuerdo a Navejas (1995) la capacidad de absorción de la agrolita es de 300%, por lo cual se agregaron 330 ml de las soluciones respectivas a cada maceta. La cantidad de líquido perdido por evapotranspiración se repuso con riegos de agua destilada cada 24 hrs. a fin de mantener un nivel constante de solución y de conservar las concentraciones salinas.

Como ya se indicó antes, el conteo de la germinación se realizó con base en las plántulas emergidas. hasta el momento en que se registró un porcentaje constante, lo cual coincidió, en general, con el término del experimento.

En algunos casos se registró una germinación superior al 100%, por lo cual se procedió a hacer inmediatamente el aclareo.

El experimento tuvo una duración de 14 días a partir de la emergencia de las primeras plántulas. Aunque se programó para desarrollarse durante 21 días, las altas temperaturas que se registraron en ese lapso aceleraron con mucho el desarrollo de las plántulas y acentuaron los efectos del estrés salino provocando el envejecimiento acelerado de las hojas maduras, particularmente en el tratamiento con CaCl_2 y MgCl_2 .

A lo largo del período experimental se registraron temperaturas en el interior del invernadero de 15 a 23.5°C entre las 7:30 y 9:30 horas, de 31.5 a 37°C entre las 11:30 y 14:00 horas, y de 40 a 30°C entre las 16:00 y 19:00 horas. El lapso también se caracterizó por una intensa radiación solar

Con el dato de emergencia, se procedió a calcular porcentajes de germinación por tratamiento.

Para determinar peso fresco de cada porción vegetal, el brote se separó de la raíz mediante corte, a nivel del cuello de la planta

El PST, PSB y PSR se determinó después de haber desecado ambas porciones vegetales durante un período de 24 hrs a 80 °C.

Se determinó mediante conductímetro la conductividad eléctrica (C.E) efectiva o real de las soluciones utilizadas en el momento mismo de su preparación -que antecedió inmediatamente a su aplicación en las macetas-, y después con potenciómetro, en el laboratorio, su pH Ambos datos se reportan en el Apéndice B.

El experimento se condujo bajo un diseño factorial de $6 \times 7 \times 3 \times 2$ para las soluciones de sales puras, arrojando un total de 252 unidades experimentales; para las soluciones de las mezclas salinas, bajo el diseño factorial de $5 \times 7 \times 3 \times 2$ que dió un total de 210 unidades experimentales. Las unidades experimentales sumaron, entonces, un total de 462.

Para determinar si se produjeron diferencias significativas de las variables entre los tratamientos aplicados, se desarrolló el análisis de varianza y la prueba de Tukey tomando en conjunto los resultados de ambas variedades.

VII. RESULTADOS

La siembra se realizó el día 6 de mayo de 1998, observándose las primeras emergencias a partir del día 10 del mismo mes.

Tres a cuatro días después de esta última fecha se registró, en general, un incremento acelerado de las emergencias, el cual se prolongó por espacio de una semana.

Durante los 3 a 4 días finales del período experimental, el porcentaje de emergencias se estabilizó en algunos casos, y siguió pero a un ritmo apreciablemente menor, en otros. Sin embargo, en los tratamientos de respuesta retrasada comenzaba a incrementarse apreciablemente, y en algunos de alta conductividad (5o., 6o. y/o 7o. orden de concentración) no hubo respuesta.

Las altas temperaturas y radiaciones solares registradas durante el experimento, parecen haber incidido sobre las plántulas acelerando su desarrollo, pero también generando consecuencias como ascensión de sales a la superficie del sustrato -agudizándose el estrés salino justo en el momento de la germinación-, quemaduras foliares, pérdida excesiva de agua y el desecamiento prematuro de las hojas -sin importar su longevidad- en algunos tratamientos.

El conjunto de las circunstancias descritas, obligó a suspender el experimento 14 días después de las primeras emergencias.

7.1 CUANTITATIVOS

En términos generales se encontró que a mayor concentración salina, tanto entre las sales puras como entre las mezclas salinas (a las que también se les denominará **tipos de salinidad**), menores fueron los valores registrados por las variables estudiadas.

7.1.1. EMERGENCIA DE PLANTULAS

Bajo estrés por sales puras.

Variedad V-107

El comportamiento de esta variable se puede observar en la Fig. 1. El nivel de respuesta estuvo determinado por el tipo de sal. En el NaCl, MgCl₂ y en el Na₂CO₃ los tratamientos más concentrados (de mayor conductividad eléctrica) dieron una emergencia (E) menor al 20%; en el CaCl₂, MgSO₄ y Na₂SO₄ los tratamientos de mayor conductividad tuvieron emergencias de entre 50 y 30%, salvo excepciones. En el testigo se observó una E de 60%. En los casos del NaCl, Na₂SO₄ y Na₂CO₃ se hallaron algunos tratamientos en que la emergencia alcanzó un valor constante, mientras que en el resto la emergencia mostró una tendencia creciente en mayor o en menor medida.

Bajo estrés por tipo de salinidad.

Variedad V-107

La Fig. 2 muestra que a pesar de que la salinidad clorhídrico-sulfática y sulfática no presentaron las emergencias más altas, tampoco tuvieron respuestas por debajo del 20%, salvo un tratamiento (C.E.=10.1 dS/m). Siguió por su nivel de respuesta la salinidad clorhídrica con máximos de 86 a 28% y la salinidad sulfático-

Figura 1. EMERGENCIA DE PLANTULAS POR TRATAMIENTO DE SALES PURAS VARIEDAD V-107

(En los recuadros se indica la C E real, dS/m, de los tratamientos)

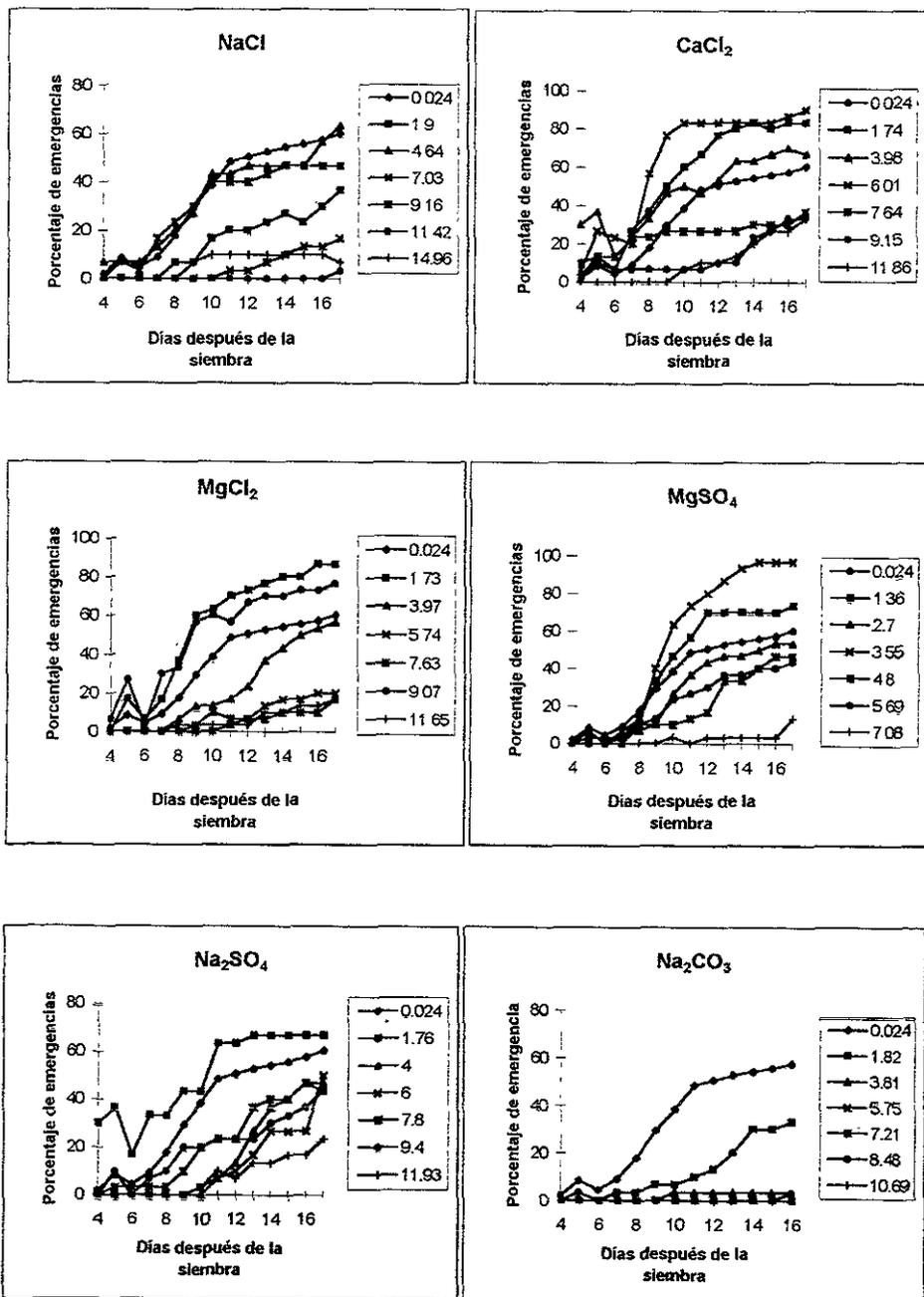
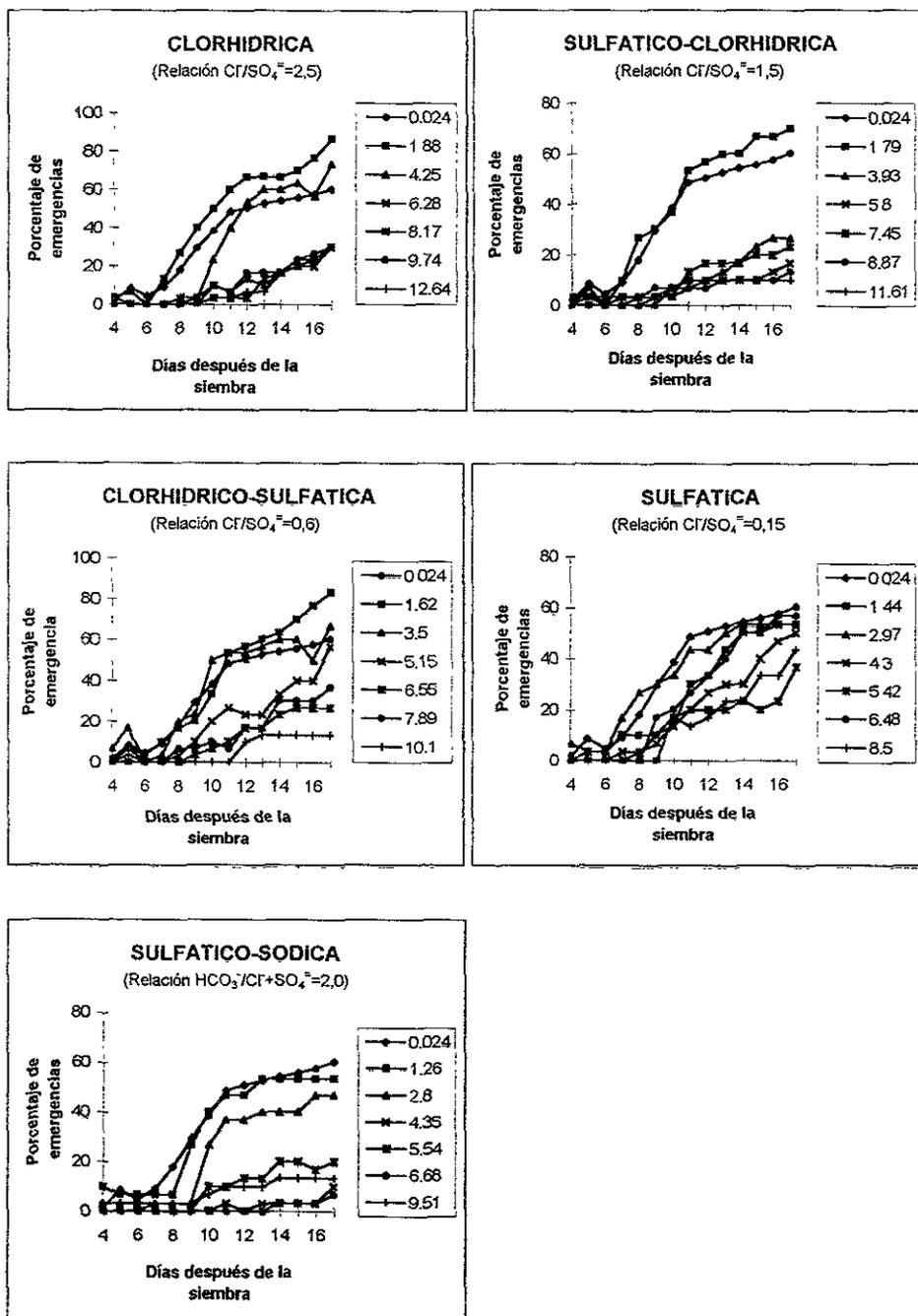


Figura 2. EMERGENCIA DE PLANTULAS POR TRATAMIENTO DE SALINIDAD
 VARIEDAD V-107

(En los recuadros se indica la C E real, dS/m, de los tratamientos)



clorhídrica con máximos de 68 a 8%. Finalmente en la mezcla sulfático-sódica los valores máximos registrados fueron de 52 a 7%.

Bajo estrés por sales puras.

Variedad VS-22

Esta variedad mostró E notablemente superiores (Fig 3) a la del testigo (93%) en el $MgSO_4$ y Na_2SO_4 cuyos valores en el 17o. día después de la siembra, fluctuaron entre el 100 y 70%. También con respuestas superiores al testigo, en términos generales, se hallaron al $CaCl_2$ y $MgCl_2$, aunque con valores de emergencia más dispersos que fluctuaron desde el 98 al 20%.

Las E más pobres se registraron en el $NaCl$ y Na_2CO_3 , puesto que la mayoría de los tratamientos se ubicaron en un rango de 73 a 30%, los hubo con valores menores al 20%, e inclusive uno de ellos (C.E.=8.52 dS/m) no presentó respuesta.

Bajo estrés por mezcla salina

Variedad VS-22

De acuerdo a la Fig 4, esta variedad resulta, por lo menos en lo que a emergencia de plántulas se refiere, tolerante a todas las salinidades puesto que los los valores de E fueron superiores al 40%.

En apariencia, la variedad resultó menos afectada por las mezclas sulfático-clorhídrica y clorhídrico-sulfática - con tratamientos que produjeron porcentajes iguales o superiores a los del testigo (93%)-, seguidas por la salinidad sulfática y clorhídrica.

Figura 3. EMERGENCIA DE PLANTULAS POR TRATAMIENTO DE SALES PURAS VARIEDAD VS-22

(En los recuadros se indica la C E real dS/m de los tratamientos)

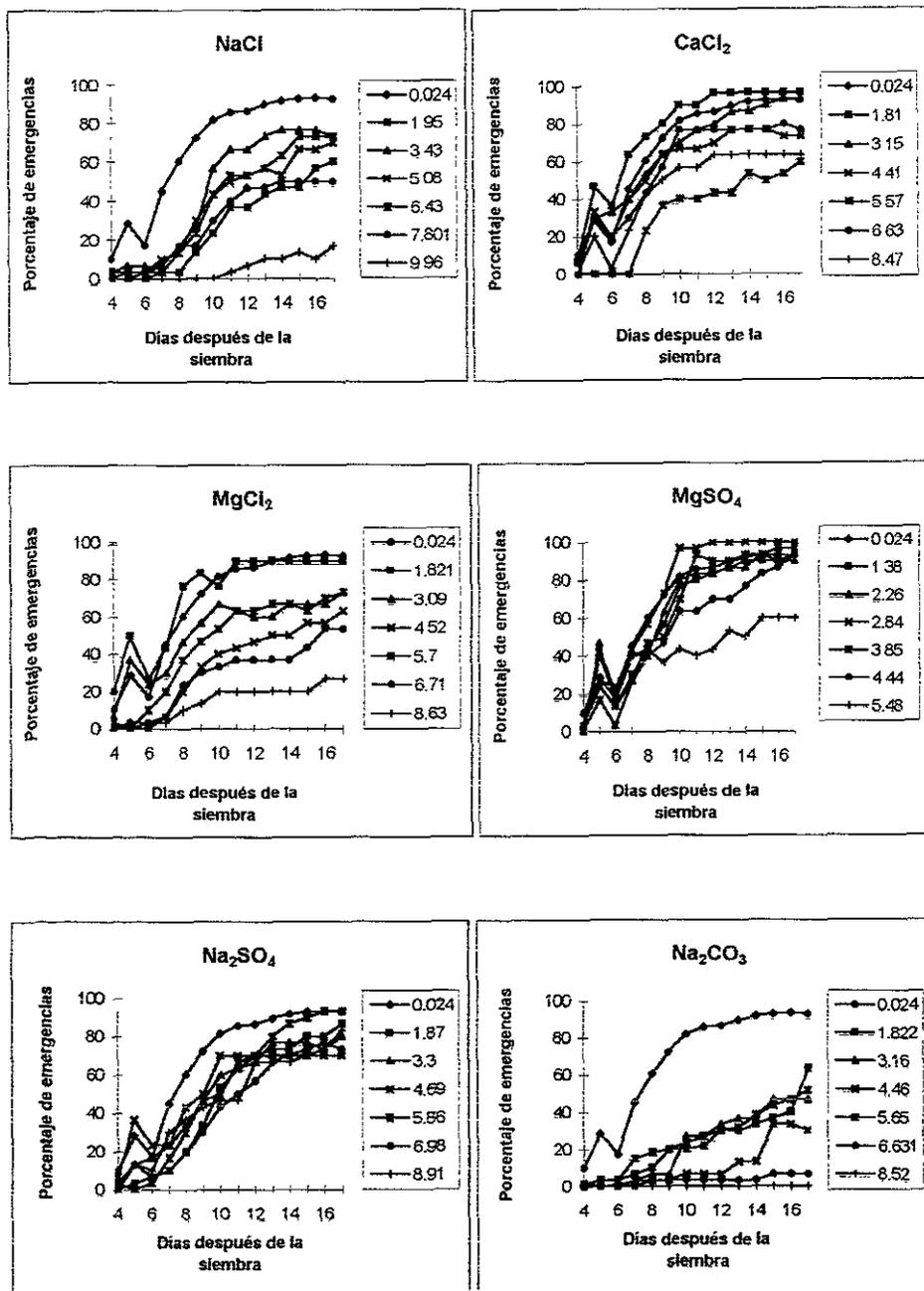
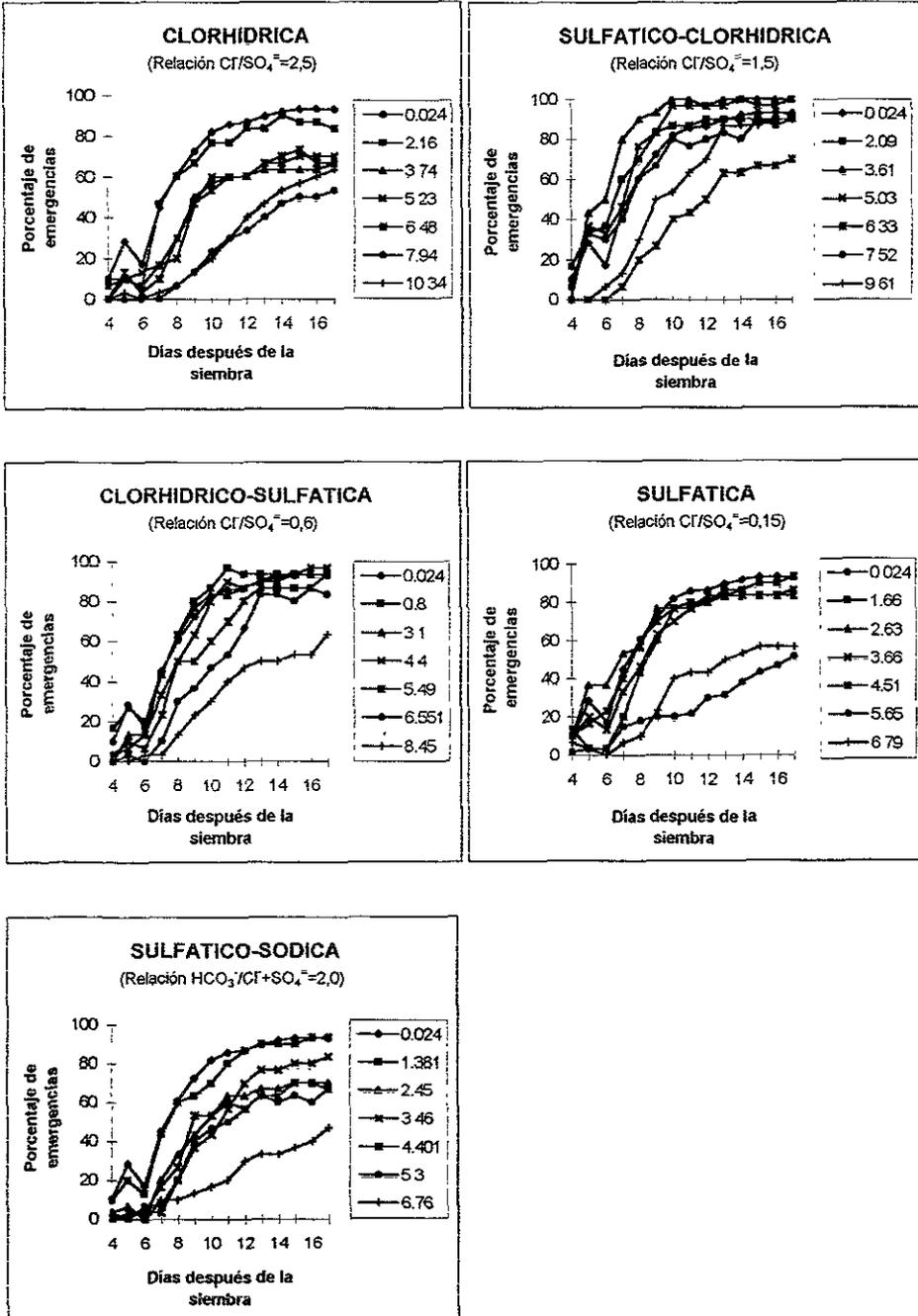


Figura 4. EMERGENCIA DE PLANTULAS POR TRATAMIENTO DE SALINIDAD VARIEDAD VS-22

(En los recuadros se indica la C E. real. dS/m. de los tratamientos)



7.1.2 ALTURA DE BROTE

Bajo estrés por sales puras.

Variedad V-107

Sólo en algunos tratamientos del CaCl_2 y el MgCl_2 se observan AB (Fig. 5) claramente mayores que las del testigo (60 mm). En el MgSO_4 , NaCl , Na_2SO_4 y Na_2CO_3 el daño causado sobre la variable fue sucesivamente mayor.

El incremento de la concentración salina (conductividad eléctrica) produjo un abatimiento gradual en la AB entre los tratamientos de NaCl y de MgCl_2 . Entre las demás sales existen algunos rangos de concentración en los cuales la AB fue prácticamente la misma.

Bajo estrés por mezcla salina

Variedad V-107

La Fig 6 muestra que el abatimiento de la variable por efecto de la salinidad sulfático-clorhídrica y el de la sulfática-sódica fue mayor que en las demás mezclas. Aparentemente la variedad fue afectada en menor medida por la mezcla clorhídrica y la sulfático-sódica en las cuales se registraron alturas de brote superiores a las del testigo.

Al final del período experimental la salinidad clorhídrico-sulfática y la sulfática presentaron rangos de AB semejantes, ubicados entre los 58 y los 20 mm. El tratamiento más concentrado de la mezcla sulfática tuvo 18 mm de AB.

La figura también muestra que en ninguno de los tratamientos se llegó a una AB constante, sino que el incremento de la variable fue continuo aunque en diferente medida para cada mezcla salina.

Figura 5. ALTURA DE BROTE POR TRATAMIENTO DE SALES PURAS VARIEDAD V-107 (En los recuadros se indica la C.E. real. dS/m. de los tratamientos)

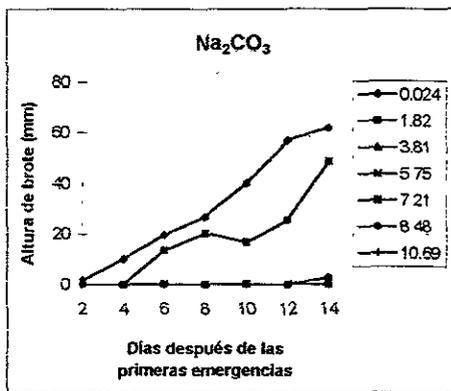
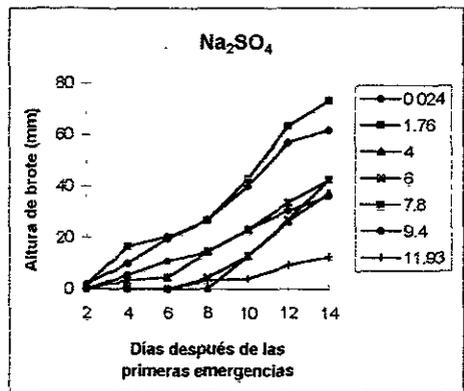
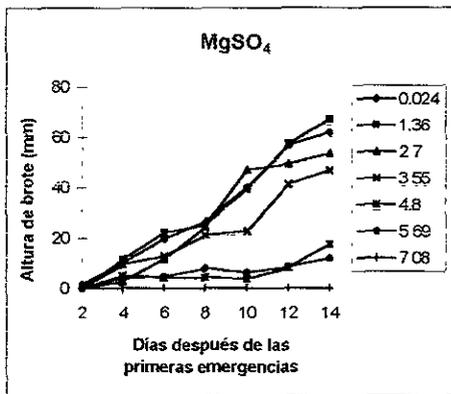
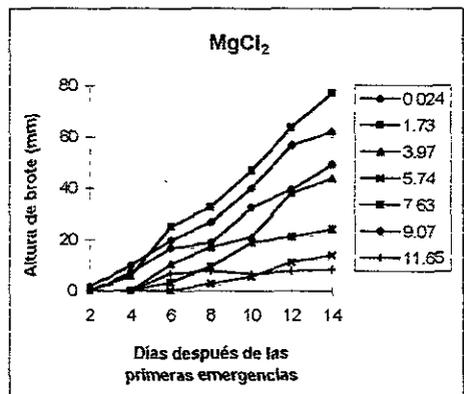
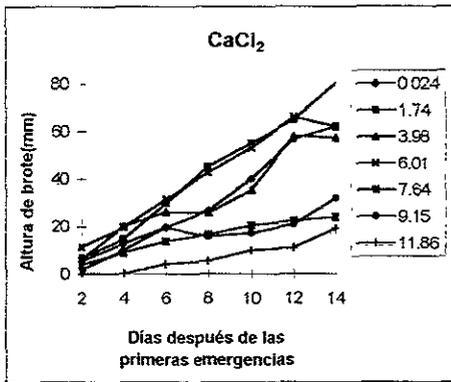
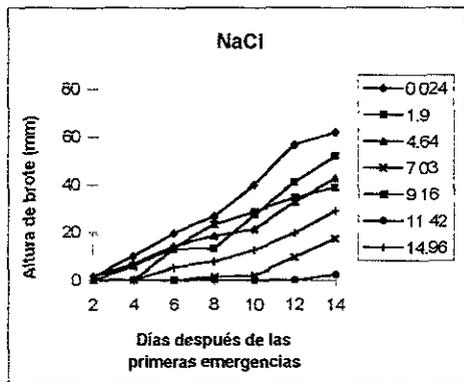
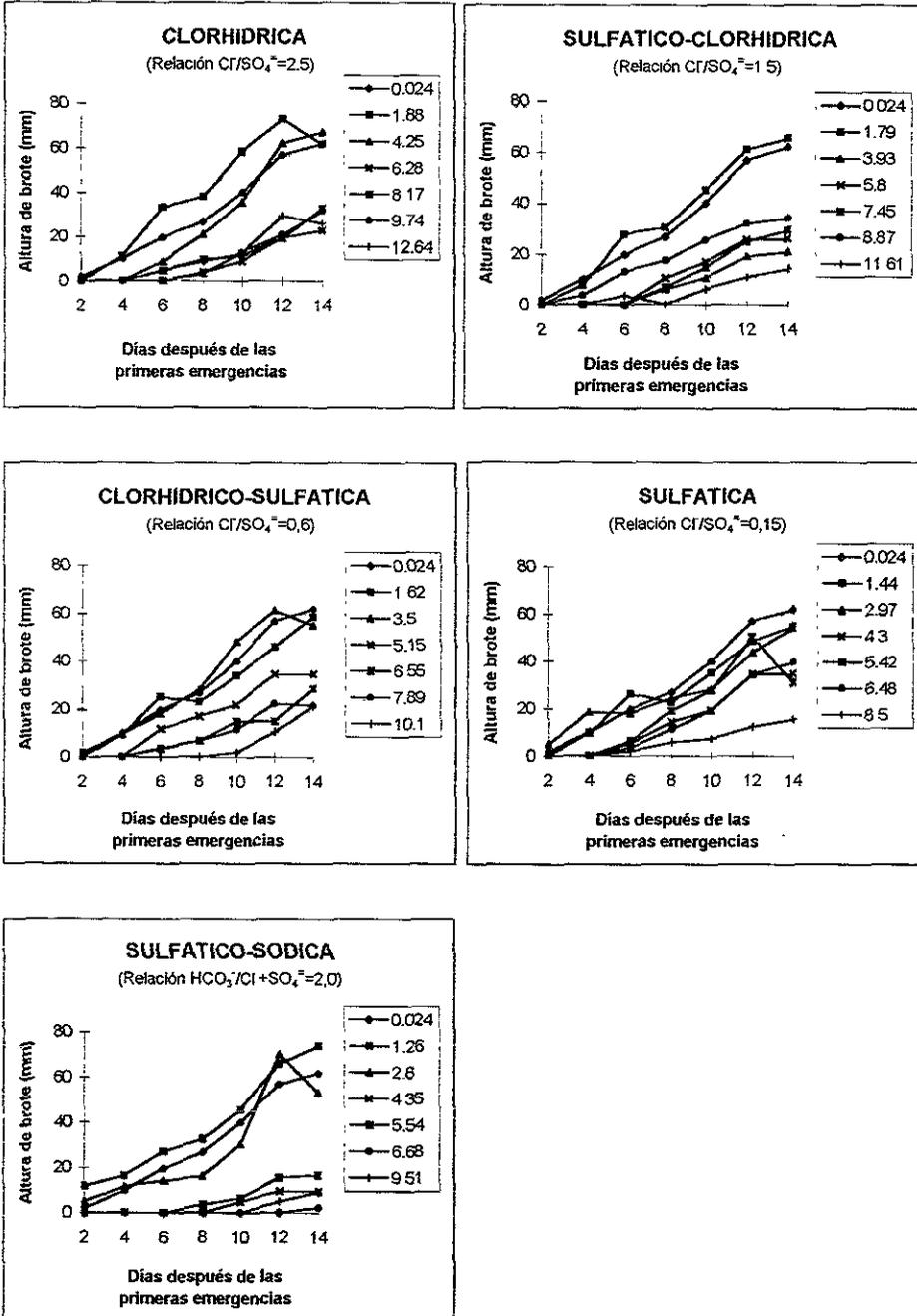


Figura 6. ALTURA DE BROTE POR TRATAMIENTO DE SALINIDAD
 VARIEDAD V-107

(En los recuadros se indica la C.E. real. dS/m, de los tratamientos)



Bajo estrés por sales puras

Variedad VS-22

El conjunto de gráficas de la Fig. 7 muestra que para el caso del CaCl_2 todas las concentraciones produjeron alturas de brote de 50 mm y más, mientras que en el NaCl , MgCl_2 y MgSO_4 los tratamientos de mayor conductividad sólo dieron respuesta mínima a partir del día 10o. después de la siembra, y en el caso del Na_2CO_3 los dos tratamientos más concentrados prácticamente no desarrollaron plántulas. Salvo los tratamiento más diluidos del MgCl_2 (con AB de 80 mm) y CaCl_2 (76 mm), ninguno presentó valores superiores al testigo (AB de 75 mm).

A diferencia del V-107, esta variedad mostró una mayor capacidad de desarrollo aún en presencia del estrés salino, ya que en todas las sales y salvo en los tratamientos de gran concentración, hubo brotes desde el 2o. día después de las primeras E de manera que, para el siguiente día, se inició la fase de crecimiento acelerado de la porción aérea.

Bajo estrés por mezcla salina

Variedad VS-22

Al igual que en los tratamientos anteriores, se observa en la Fig. 8 que la respuesta de esta variedad entre las mezclas salinas fue sensiblemente mayor a la que se observó en el V-107. Se aprecia menor efecto de la mezcla sulfático-clorhídrica; los demás tratamientos, en todas las mezclas, produjeron brotes de menor tamaño. El daño fue más intenso en las mezclas clorhídrica, clorhídrico-sulfática, sulfático-sódica y sulfática en ese orden

Figura 7. ALTURA DE BROTE POR TRATAMIENTO DE SALES PURAS VARIEDAD VS-22

(En los recuadros se indica la C.E. real dS/m. de los tratamientos)

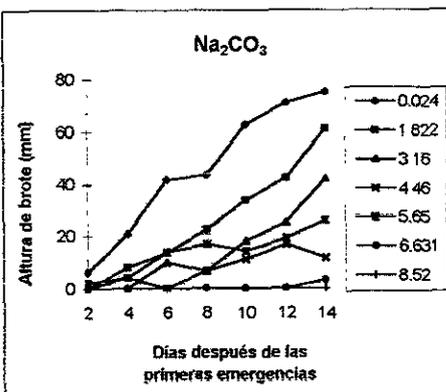
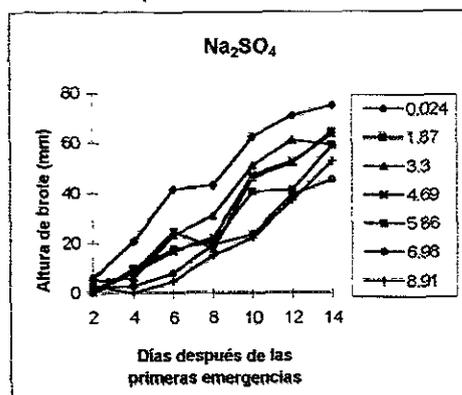
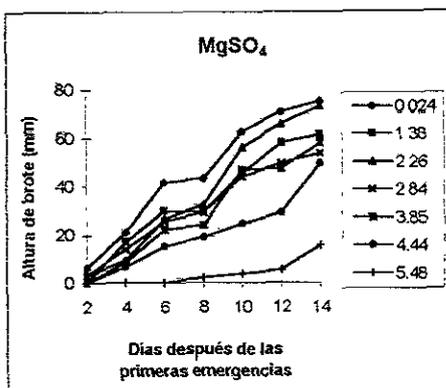
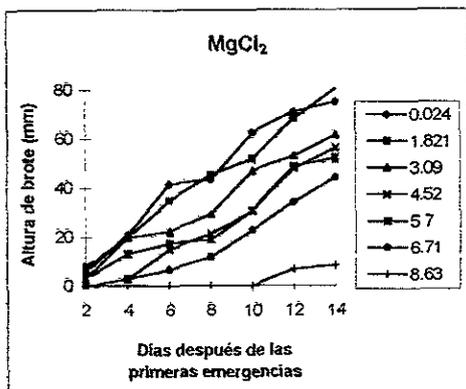
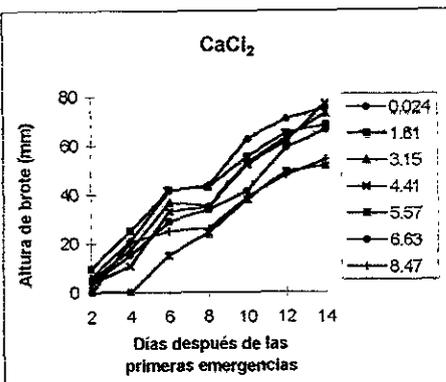
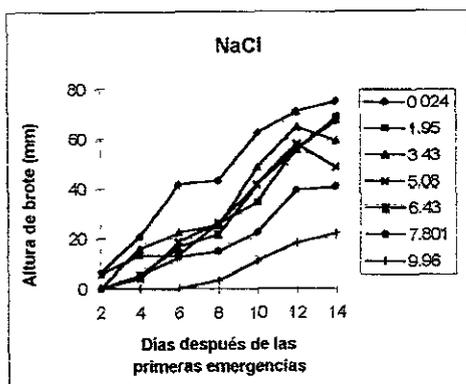
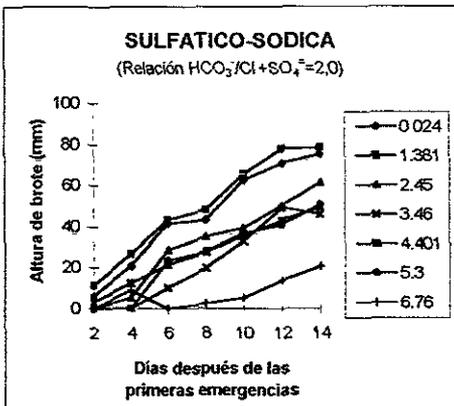
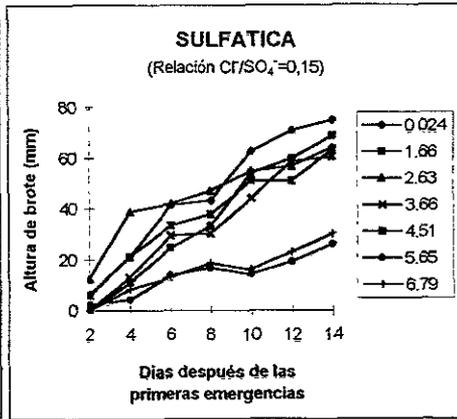
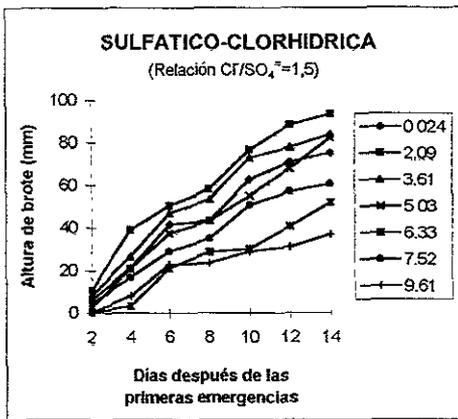
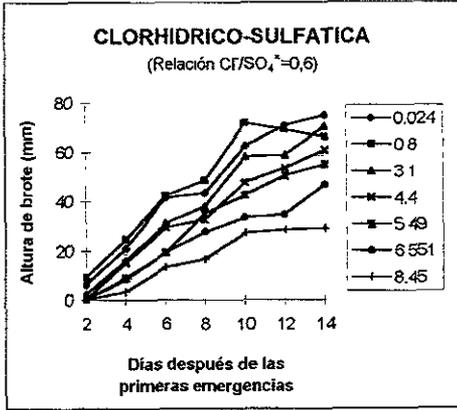
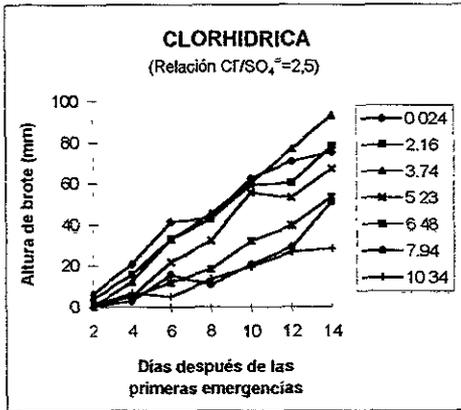


Figura 8. ALTURA DE BROTE POR TRATAMIENTO DE SALINIDAD
 VARIEDAD VS-22

(En los recuadros se indica la C E real, dS/m, de los tratamientos)



7.1.3 AREA FOLIAR

Bajo estrés por sales puras.

Variedad V-107

Aparentemente, la variedad estuvo menos afectada por el CaCl_2 (ver Fig. 9); de efecto progresivamente más dañino sobre la variedad resultó el MgSO_4 , MgCl_2 -a pesar de que su tratamiento más diluido desarrolló al final del período experimental un área mayor (595 mm^2) que la del testigo (450 mm^2)-, Na_2SO_4 , NaCl y Na_2CO_3 , en este último no hubo respuesta para los tratamientos con C.E. de 3.81 dS/m o mayores (C.E. teóricas mayores de 5.25 dS/m).

Bajo estrés por tipo de salinidad.

Variedad V-107

En la Fig. 10 se aprecia que el AF experimentó menor daño por la salinidad clorhídrica. Mayor efecto ocasionaron los tipos de salinidad clorhídrico-sulfática, sulfática, sulfático-clorhídrica y sulfático-sódica que se muestra como la de mayor toxicidad sobre la variedad, ya que en los cuatro tratamientos más concentrados se desarrollaron hojas con menos de 96 mm^2 de superficie.

Bajo estrés por sales puras.

Variedad VS-22

Al parecer las sales puras tienen un efecto más o menos intenso sobre el AF de esta variedad (Fig 11) ya que ningún tratamiento presentó valores mayores a los del testigo (596 mm^2). Las sales que ejercieron menor efecto sobre la variable fueron el CaCl_2 y el MgSO_4 . De mayor perjuicio, y casi en la misma medida, resultaron los tratamientos con NaCl , MgCl_2 y Na_2SO_4 . Desafortunadamente no se dispone de los datos correspondientes, pero la tendencia de las curvas permiten afirmar que, en esta variedad, el Na_2CO_3 resultó de gran toxicidad pues los cuatro tratamientos más concentrados no habían desarrollado hojas en el 11o. día después de las primeras E.

Figura 9 AREA FOLIAR POR TRATAMIENTO DE SALES PURAS VARIEDAD V-107

(En los recuadros se indica la C E real, dS/m, de los tratamientos)

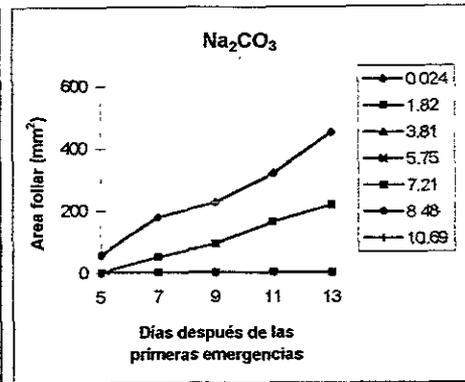
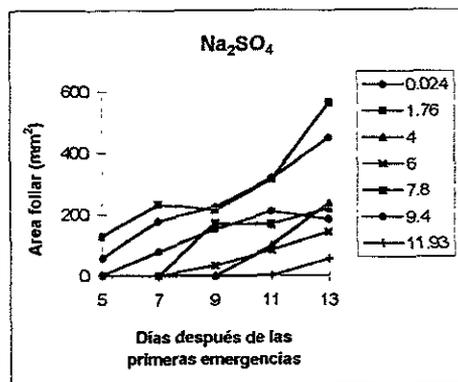
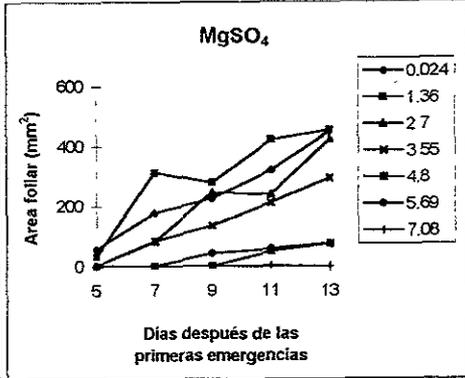
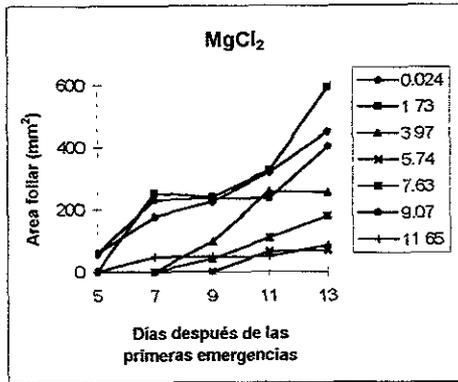
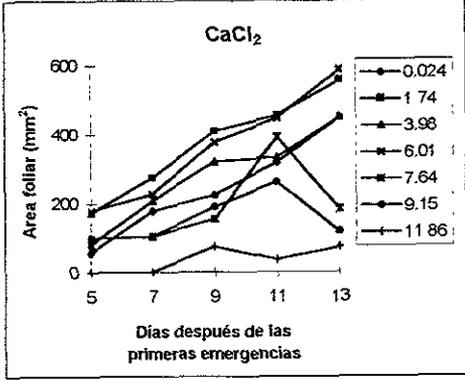
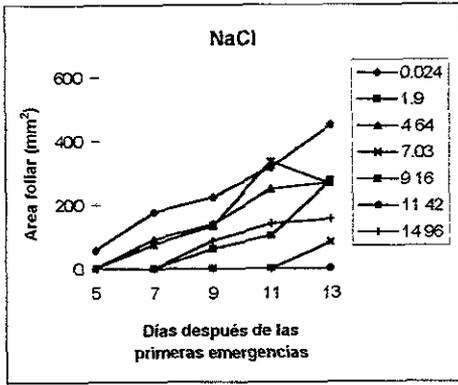


Figura 10. AREA FOLIAR POR TRATAMIENTO DE SALINIDAD
 VARIEDAD V-107

(En los recuadros se indica la C.E. real, dS/m, de los tratamientos)

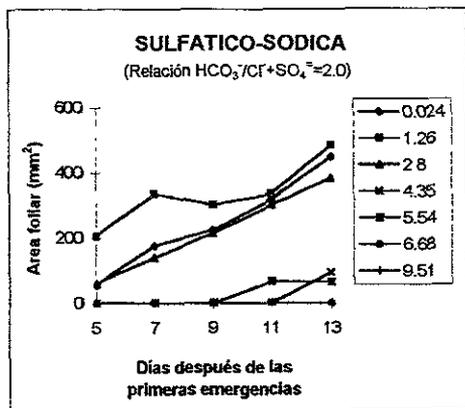
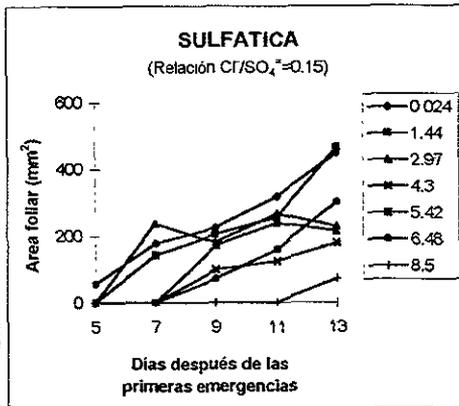
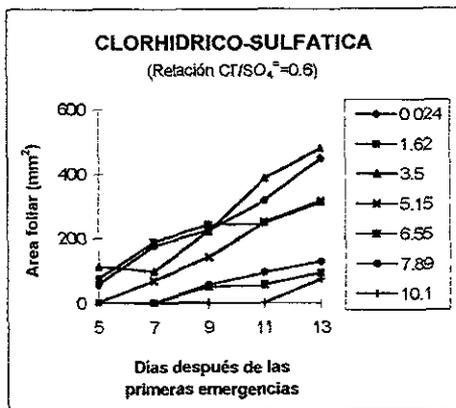
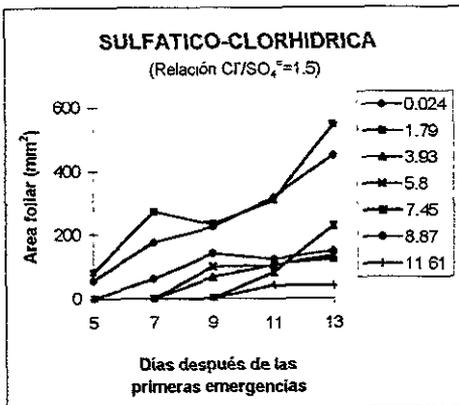
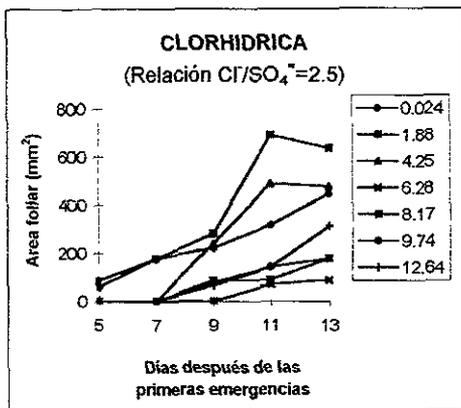
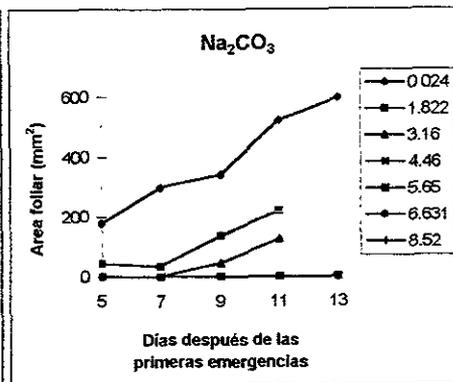
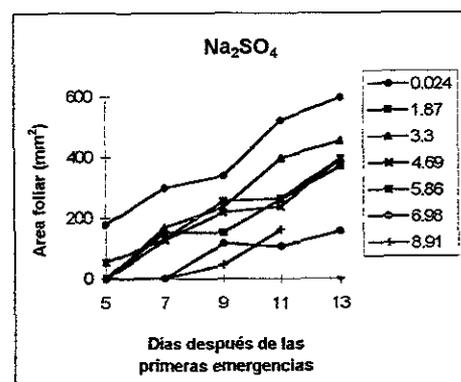
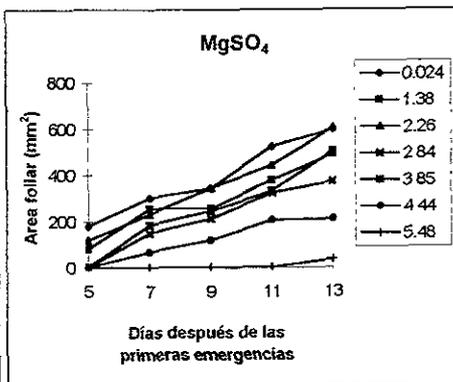
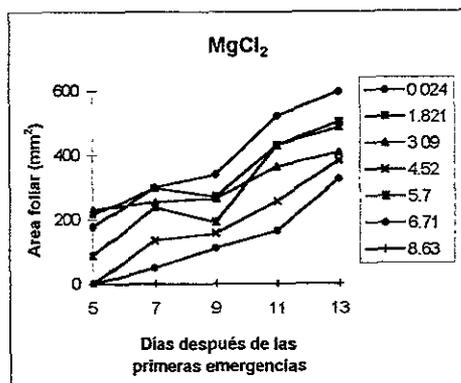
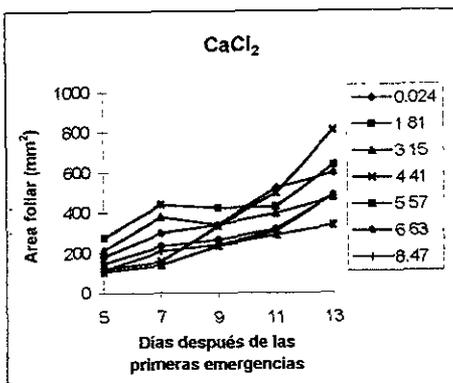
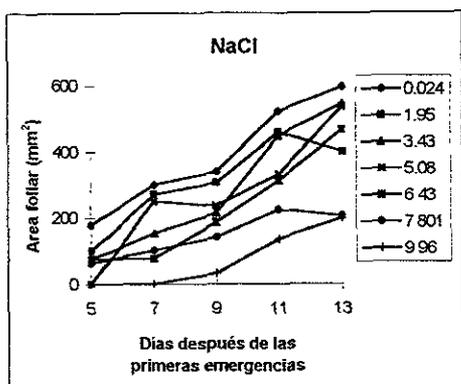


Figura 11. AREA FOLIAR POR TRATAMIENTO DE SALES PURAS VARIEDAD VS-22

(En los recuadros se indica la C.E. real, dS/m, de los tratamientos)



Bajo estrés por tipo de salinidad

Variedad VS-22

La Fig. 12 muestra que las mezclas salinas también produjeron, un efecto notable en el desarrollo de las hojas de esta variedad puesto que en ningún caso hubo mejor respuesta que la del testigo (596 mm² máximo); desafortunadamente no se tienen los datos para los tres tratamientos más diluidos de la mezcla clorhídrica. Se observa que la variedad resultó menos afectada por la mezcla sulfático-clorhídrica. El daño se incrementó por las mezclas sulfática, clorhídrico-sulfática y sulfático-sódica.

7.1.4 NUMERO DE HOJAS

Bajo estrés por sales puras.

Variedad V-107

La Fig. 13 muestra que prácticamente todos los tratamientos de sales puras presentaron hojas liguladas entre el 7o. y 10o. día después de las primeras E, pero sólo hasta el 13o. día en las sales más perjudiciales (NaCl, MgSO₄ y Na₂SO₄) así como en los tratamientos de mayor concentración.

Con mayor o igual NH que el testigo (1.6), destacan tratamientos del CaCl₂, MgCl₂, MgSO₄ y Na₂SO₄, con 1.8 y 2.1 hojas, salvo el tercero. En los demás tratamientos se registró un menor NH, que fluctuó entre 1.3 y 0.3 hojas por plántula. Finalmente, la variedad mostró tan intenso abatimiento por el Na₂CO₃ que, en el tratamiento más diluido, se registraron 1.1 hojas. En los de mayor concentración no hubo respuesta.

Bajo estrés por mezcla salina

Variedad V-107

La Fig. 14 muestra una respuesta semejante al testigo (1.6 hojas) en tratamientos de las mezclas clorhídrica, sulfático-clorhídrica, sulfático-sódica, clorhídrico-sulfática y sulfática, pero en la mayoría de ellos los valores

Figura12. AREA FOLIAR POR TRATAMIENTO DE SALINIDAD VARIEDAD VS-22

(En los recuadros se indica la C.E. real, dS/m, de los tratamientos)

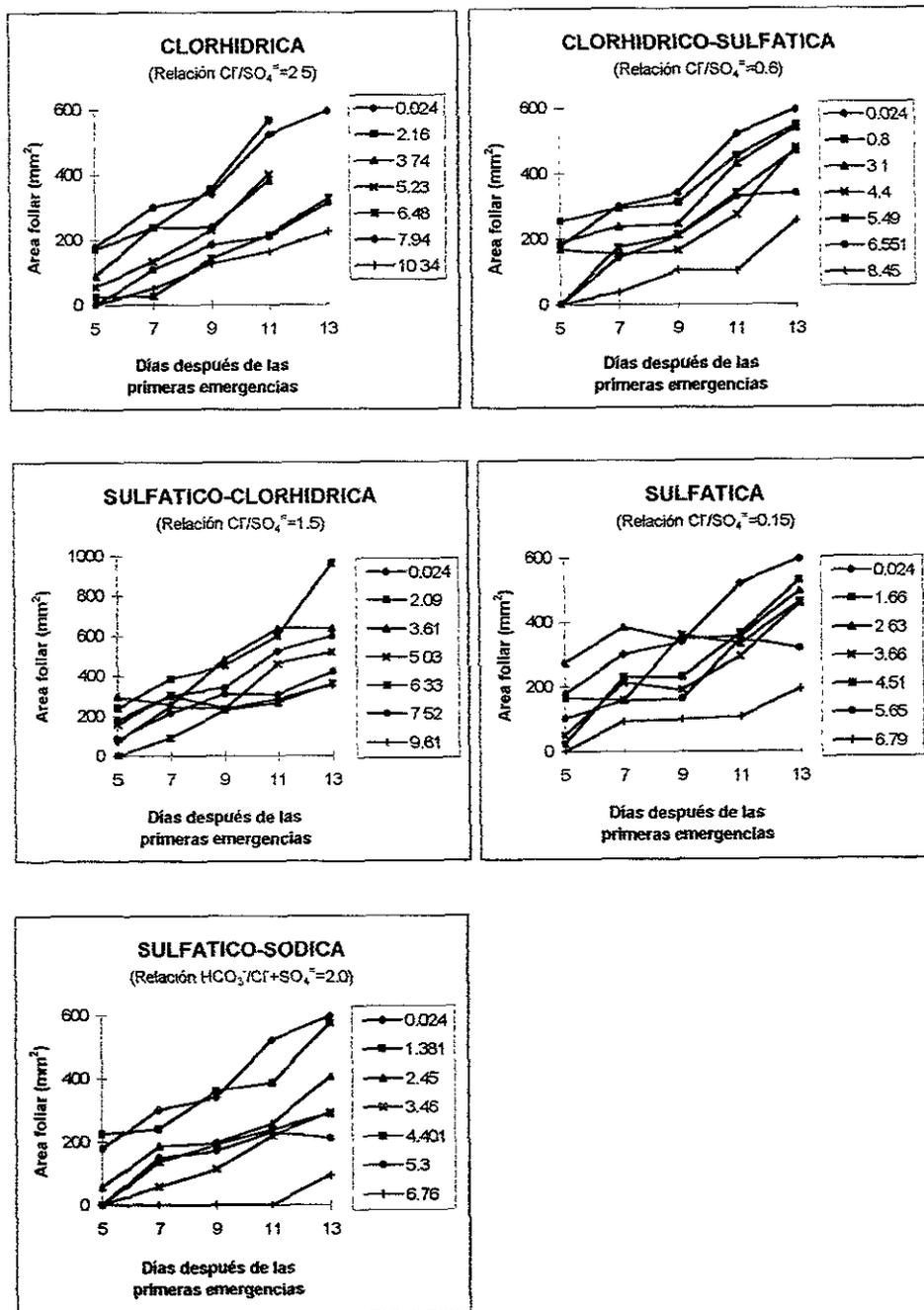


Figura 13. NUMERO DE HOJAS POR TRATAMIENTO DE SALES PURAS
 VARIEDAD V-107

(En los recuadros se indica la C E real, dS/m de los tratamientos)

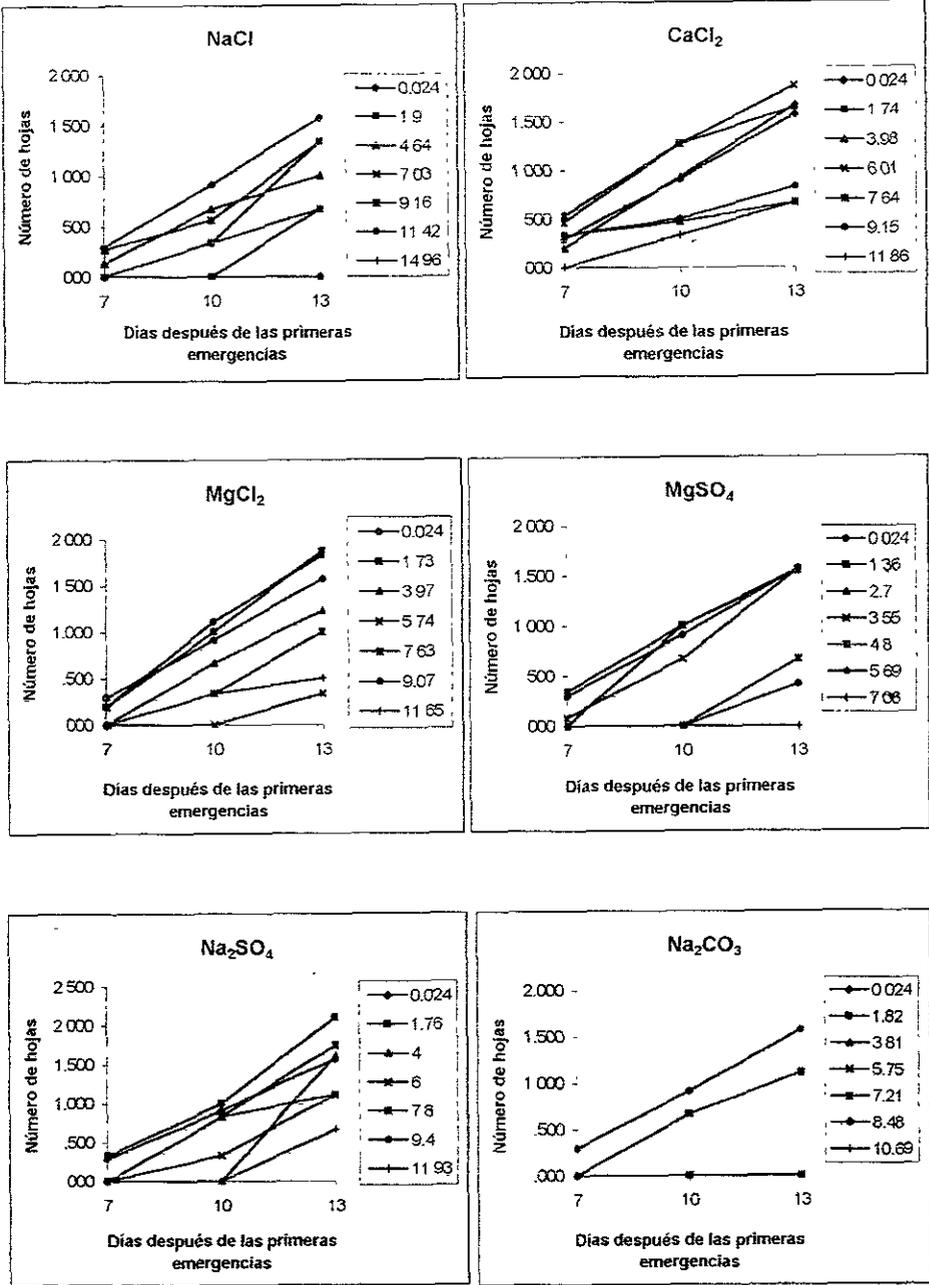
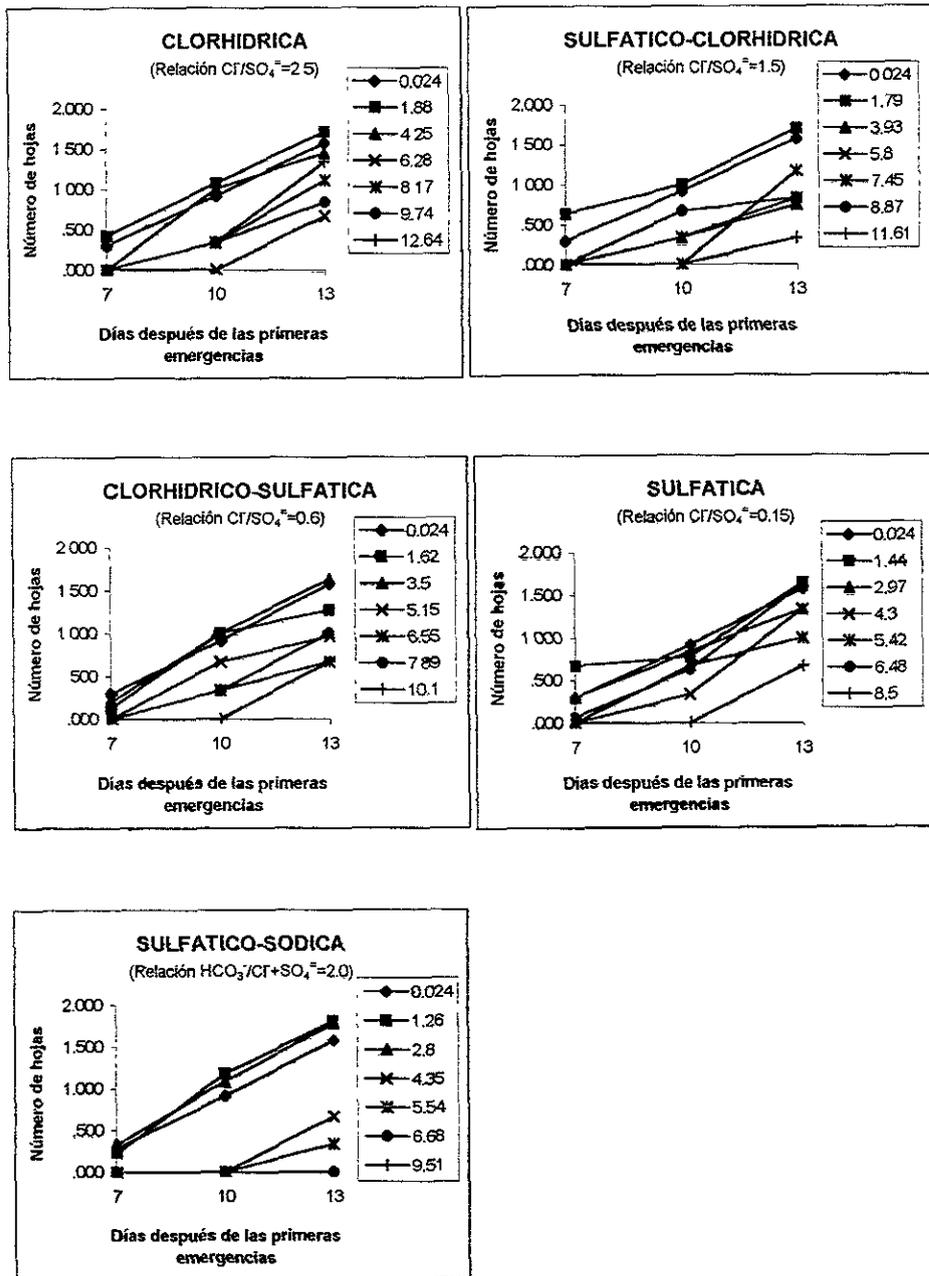


Figura 14. NUMERO DE HOJAS POR TRATAMIENTO DE SALINIDAD VARIEDAD V-107

(En los recuadros se indica la C.E. real, dS/m, de los tratamientos)



fluctuaron entre 1.45 a 0.3 hojas. En la mezcla sulfático-sódica, sin embargo, sólo se encontró respuesta en los dos tratamientos más diluidos.

Bajo estrés por sales puras.

Variedad VS-22

El NH de esta variedad fue notablemente mayor que la del V-107 (Fig 15) a pesar de que ningún tratamiento superó al testigo (2.0 hojas), salvo en el CaCl_2 (C.E.=4.41 dS/m).

En general, se observó una respuesta más o menos uniforme ya que en todas las sales -salvo el Na_2CO_3 que provocó un fuerte abatimiento de la variable-, hubo por lo menos cuatro tratamientos con valores entre 1.9 y 1.5 hojas. El resto de los tratamientos presentó de 1.25 a 0.30 hojas por plántula.

Bajo estrés por salinidad.

Variedad VS-22

Se observa que, en comparación con el V-107, el NH entre las mezclas salinas fue aparentemente mayor para la variedad VS-22 (Fig.16) no obstante que sólo en la sulfático-clorhídrica (C.E.=2.09 dS/m) se obtuvieron 2.15 y en la clorhídrico-sulfática 2.0, es decir, igual al testigo (2.0 hojas). En las demás mezclas salinas hubo al menos cuatro tratamientos cuya respuesta fluctuó entre 1.9 y 1.5 hojas. Únicamente en la mezcla sulfática (C.E.=6.79) se registró el valor más bajo, 0.9 hojas por plántula. No se cuenta con los datos para los tratamientos de la mezcla clorhídrica (C.E.=2.16 a 5.23).

Figura 15. NUMERO DE HOJAS POR TRATAMIENTO DE SALES PURAS VARIEDAD VS-22

(En los recuadros se indica la C.E. real, dS/m, de los tratamientos)

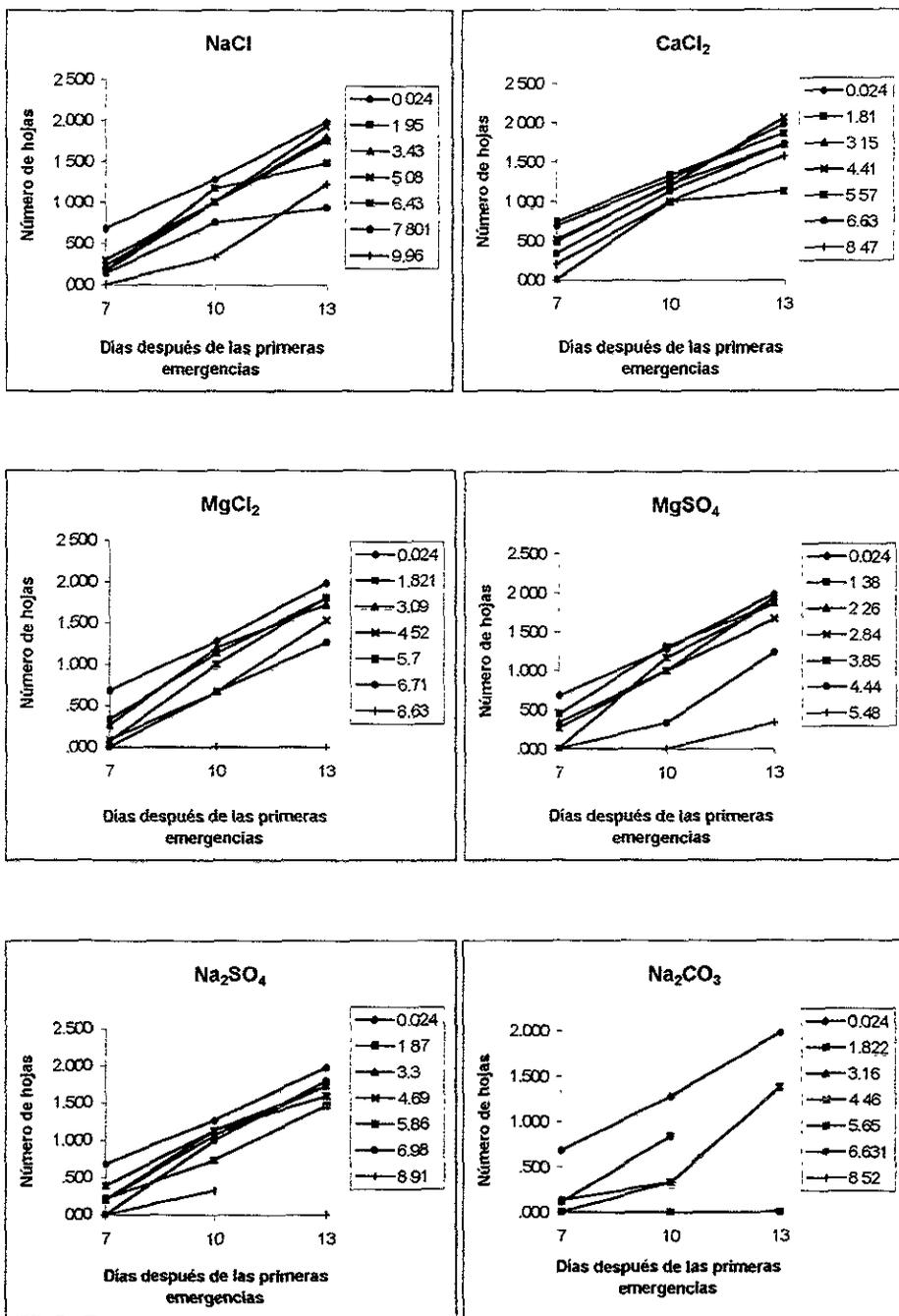
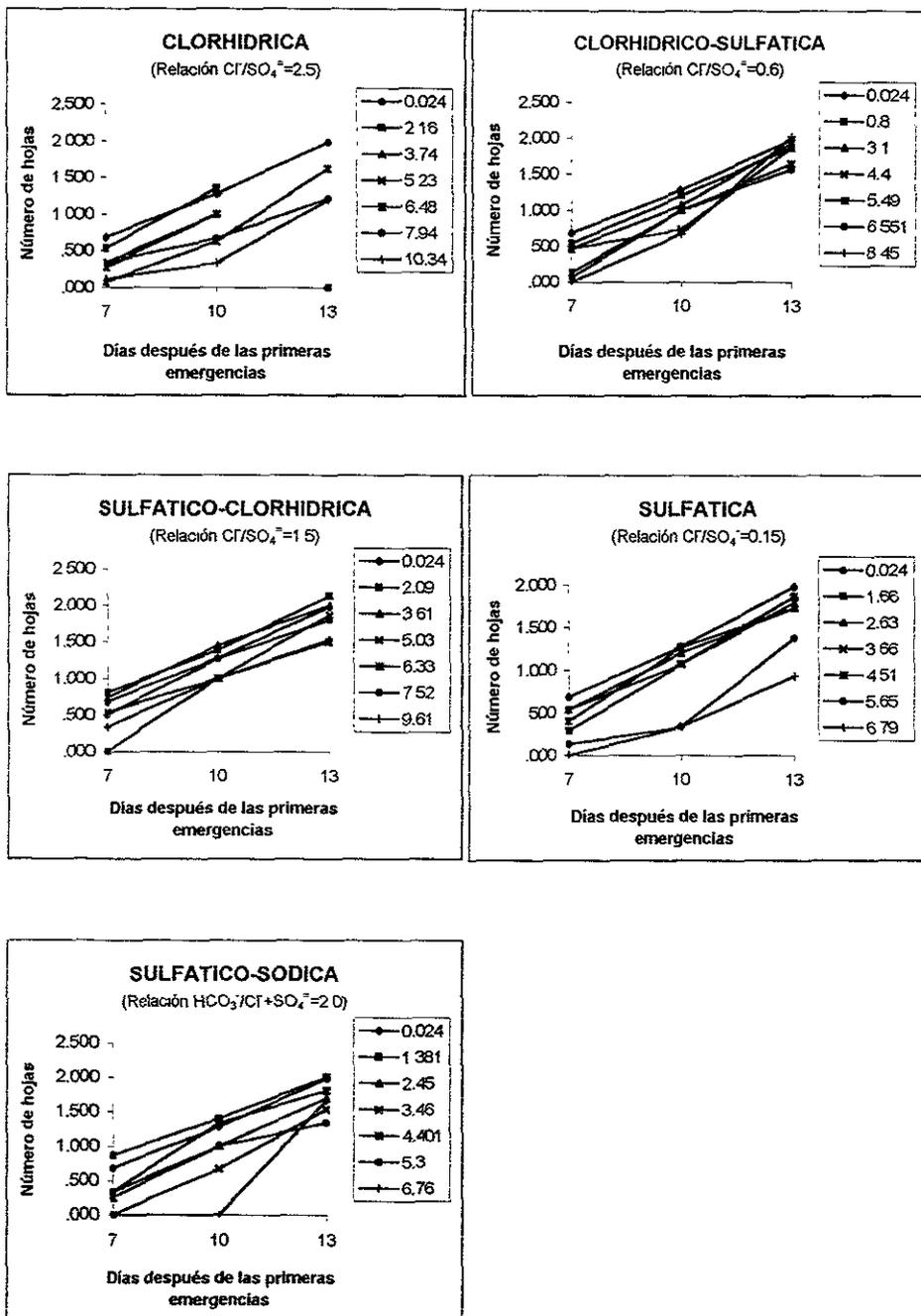


Figura16. NUMERO DE HOJAS POR TRATAMIENTO DE SALINIDAD VARIEDAD VS-22

(En los recuadros se indica la C.E. real, dS/m. de los tratamientos)



7 1.5 NUMERO Y LONGITUD DE RAICES

Bajo estrés por sales puras.

Variedad V-107

La Fig. 17 muestra el comportamiento de ambas variables en la variedad V-107. En general, los tratamientos con CaCl_2 presentaron la mejor respuesta, particularmente para las tres concentraciones más diluidas; le siguieron el Na_2SO_4 (C.E.= 1.76), MgSO_4 (C.E.=1.36), NaCl (C.E.=1.9) y MgCl_2 (C.E.=1.73). Los demás tratamientos mostraron respuestas pobres, particularmente en las LR que se mantuvieron por debajo de los 10 cm. No así el NR que inclusive presentó valores relativamente altos como 12 (CaCl_2 , C.E.= 9.15; Na_2SO_4 , C.E.=7.8) y 11 (MgSO_4 , C.E.=3.55; Na_2SO_4 , C.E.= 9.4; Na_2CO_3 , C.E.=1.82).

Para esta variable se aprecia el intenso efecto del Na_2CO_3 ya que sólo los tratamientos de menor concentración (bajas C.E.) tuvieron desarrollo de raíces.

Llama la atención el hecho de que los tratamientos más diluidos, los tres primeros del CaCl_2 y el primero en el caso de las demás sales, tuvieron LR por encima de los 12 cm y entre 7.5 y 12 raíces. Mientras que los tratamientos de mayor concentración (altas C.E.), en todas las sales -a excepción del tratamiento con NaCl , C.E.=7.03 y el de Na_2SO_4 , C.E.=6.0-, mostraron entre 2 y 11 raíces, con longitudes de 1 a 9 cm de longitud, dando una relación NR/LR > 1. Esto a primera vista pareciera indicar que la susceptibilidad de las plántulas a una determinada sal y a determinadas concentraciones se manifiesta con un abatimiento mayor de la LR que del NR.

Bajo estrés por tipo de salinidad.

Variedad V-107

La Fig. 18 muestra que las plántulas tratadas con salinidad clorhídrica, C.E.=1.88 y 4.25, produjeron la mejor respuesta de las variables ya que presentaron 8 y 9 raíces con una longitud de 11 a 17.5 cm. Siguió por la magnitud de su respuesta, la salinidad sulfático-clorhídrica, C.E.=1.79, clorhídrico-sulfática, C.E.=1.62, sulfática, C.E.=1.44 y sulfático-sódica, C.E.=1.26.

Figura 17. NUMERO (NR) Y LONGITUD DE RAICES (LR en cm) POR TRATAMIENTO DE SALES PURAS VARIEDAD V-107

(El eje x contiene la C.E. real, dS/m, de los tratamientos)

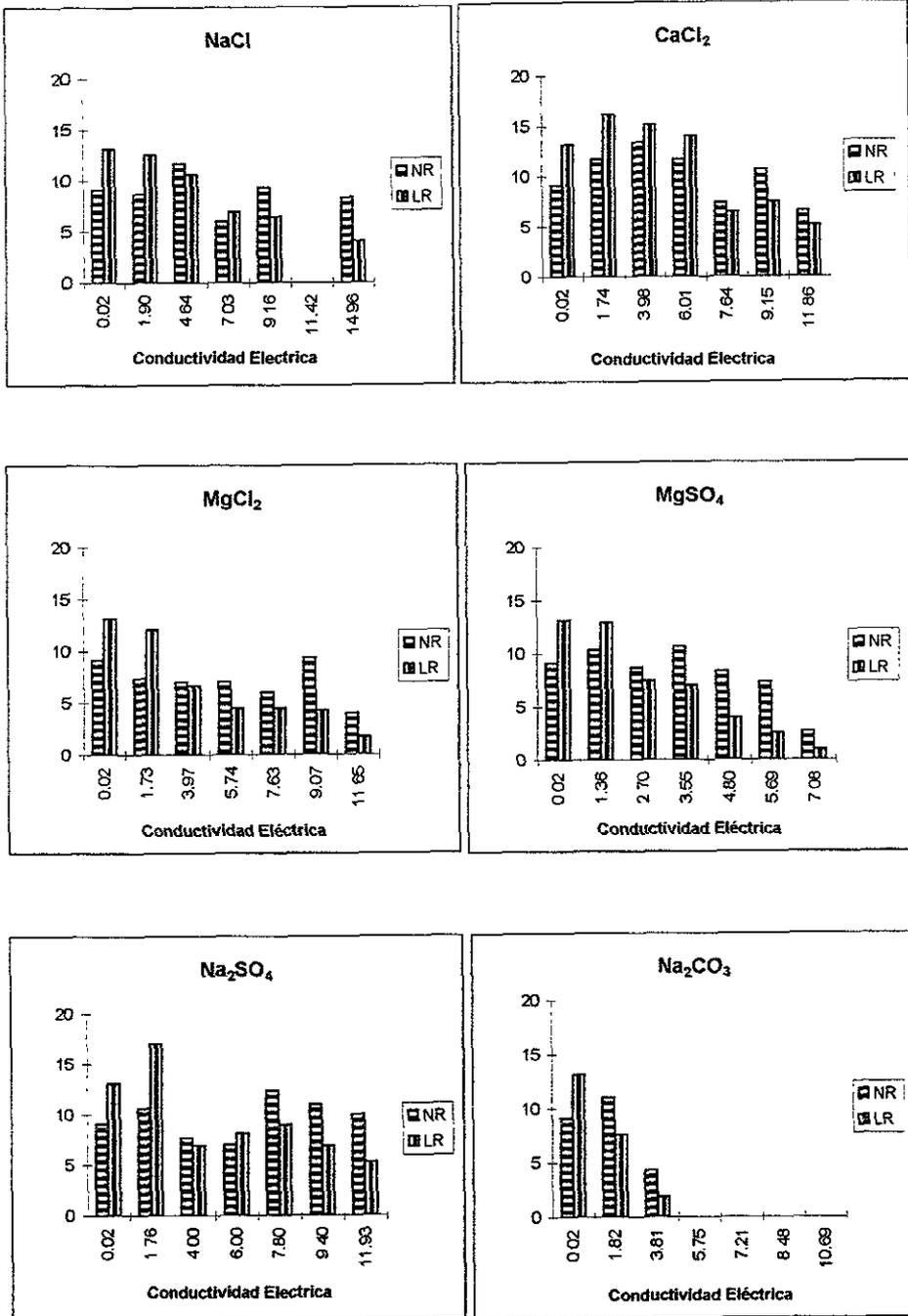
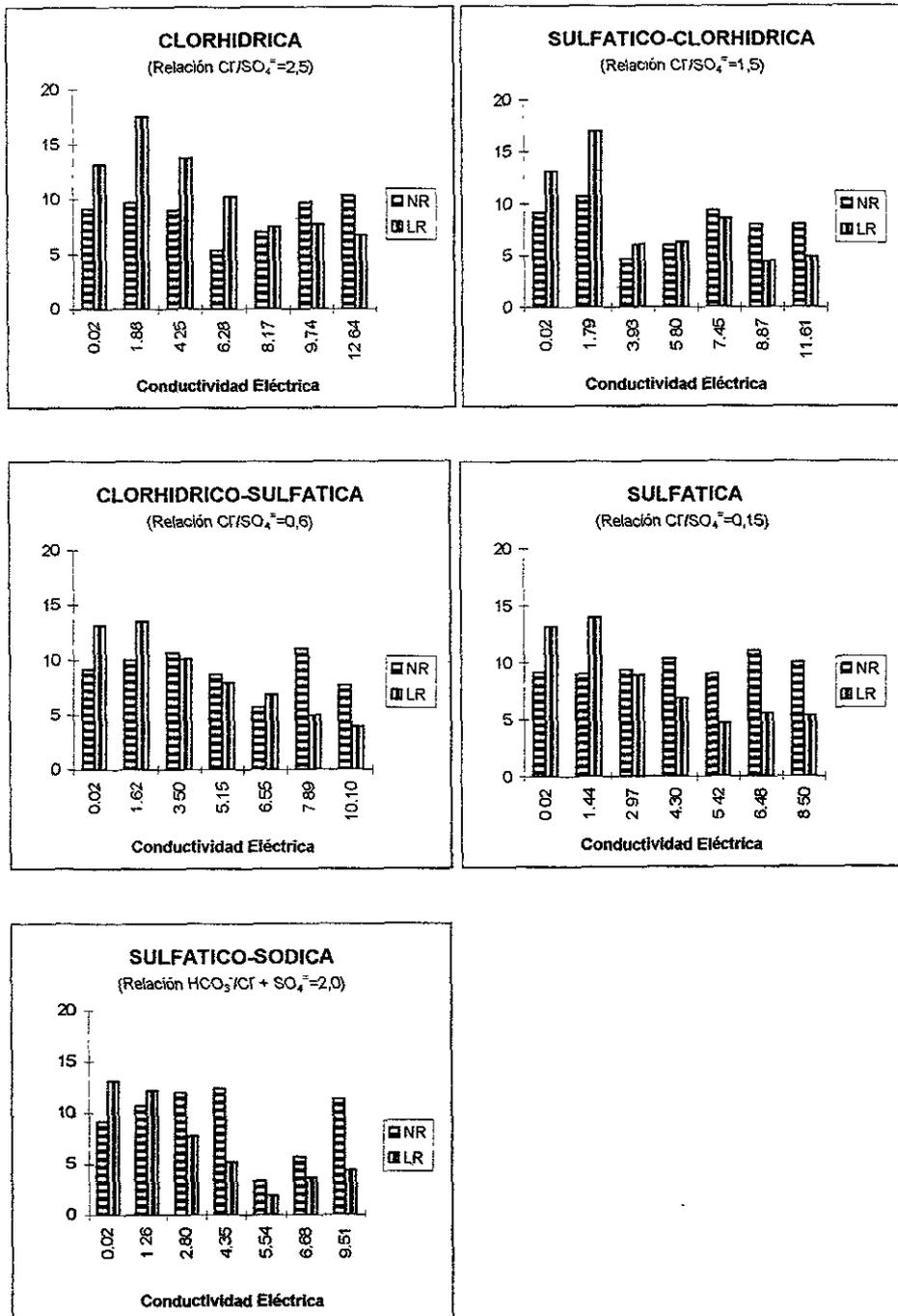


Figura 18. NUMERO (NR) Y LONGITUD DE RAICES (LR en cm) POR TRATAMIENTO DE SALINIDAD
 DE SALINIDAD
 VARIEDAD V-107

(El eje x contiene la C.E. real, dS/m, de los tratamientos)



El resto de los tratamientos presentó valores pobres que oscilaron entre las 3 y 12 raíces, con una LR de 2 a 10 cm.

Al parecer, no existe una mezcla salina que provoque una clara reducción en ambas variables, a diferencia de lo observado en los tratamientos con sales puras. También entre las salinidades se observa la tendencia de que a bajas concentraciones (o conductividades), las raíces se presentan en número relativamente bajo, pero con longitudes mayores. A altas concentraciones, y aquí también parece incidir el tipo de salinidad, las raíces se presentan en un número mayor, pero con longitudes menores.

Bajo estrés por sales puras.

Variedad VS-22

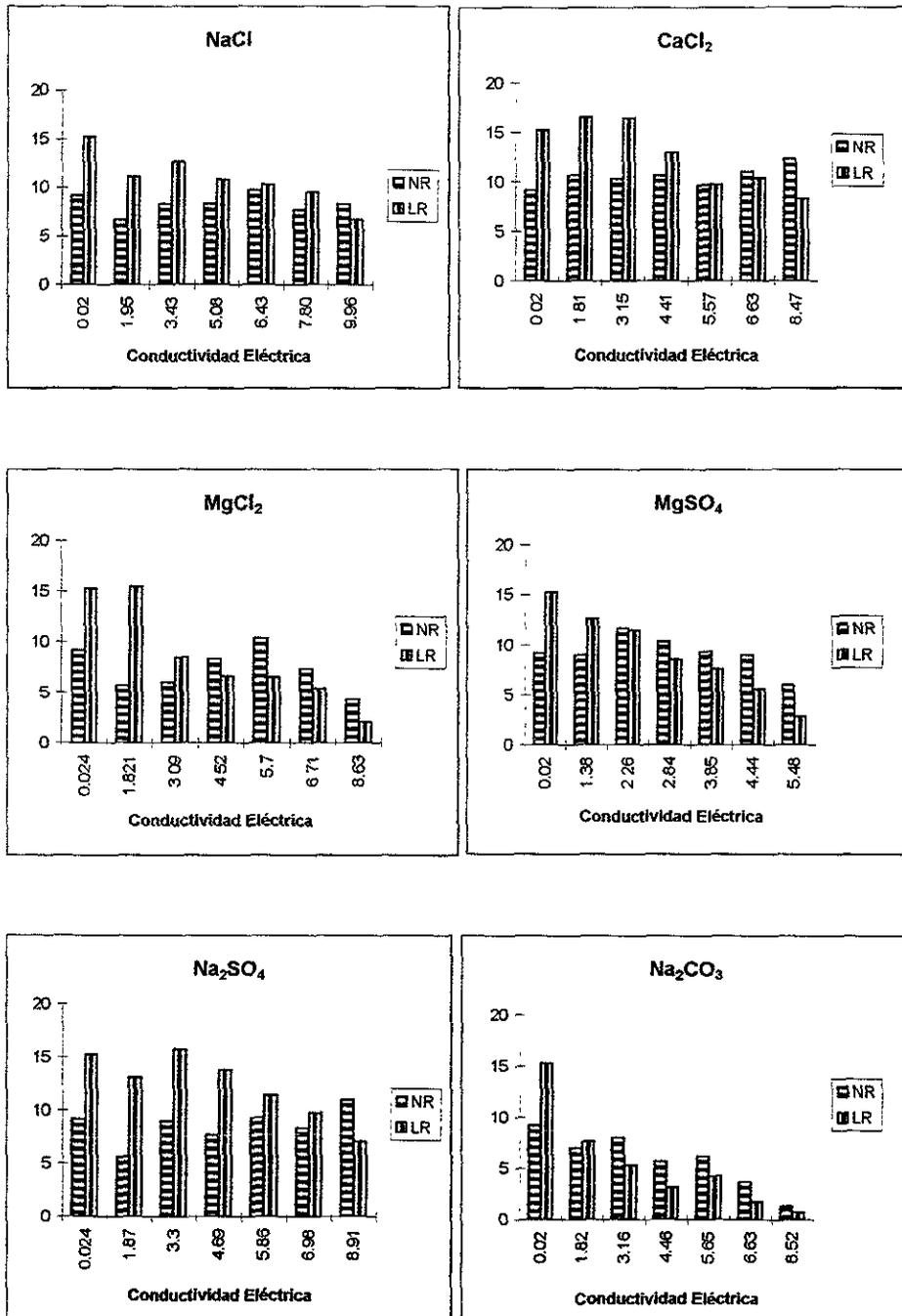
El comportamiento de la variedad VS-22 en los tratamientos de sales puras (Fig. 19) resultó notablemente diferente al del V-107. En general se puede decir que la respuesta fue muy semejante entre tratamientos y, entre los diluidos, superior a la del testigo (9 raíces y 15 cm).

El Na_2CO_3 deprimió intensamente la respuesta de la variedad puesto que la mayoría de los tratamientos tuvieron 7.5 raíces o menos por plántula en promedio, con una longitud inferior a los 8 cm; en el tratamiento de más alta concentración se obtuvieron 2 raíces por plántula de tan sólo 1 cm de longitud.

Se observa un fuerte efecto depresor del MgCl_2 sobre las variables de respuesta -semejante al del Na_2CO_3 , fluctuando de 6 raíces por plántula de 8 cm de longitud (tratamiento con C.E.=3.09 dS/m), a 4 raíces de 2 cm de longitud en el tratamiento más concentrado. El tratamiento más diluido mostró una longitud mayor (15 cm) a la del testigo, aunque un NR menor (6) al de éste. Hecho parecido se aprecia en el tratamiento más diluido del CaCl_2 . Dependiendo de la sal, la concentración (o C.E.) de la solución favorece la proliferación de las raíces, pero inhibe el crecimiento longitudinal de las mismas. Sin embargo, en esta variedad el efecto se presenta en tratamientos de concentración mayor, a diferencia de lo que ocurre en el V-107, inclusive con sales como el NaCl y Na_2SO_4 . En estas últimas también se observa la inversión en la altura de las columnas -en la gráfica- hasta el tratamiento de mayor concentración, C.E.=9.96 y 8.91 respectivamente.

Figura 19 NUMERO (NR) Y LONGITUD DE RAICES (LR en cm) POR TRATAMIENTO DE SALES PURAS VARIEDAD VS-22

(El eje x contiene la C E real, dS/m, de los tratamientos)



La mejor respuesta se encuentra en el CaCl_2 de tal manera que hasta en el tratamiento de mayor concentración (C.E.=8.47) se registraron 12 raíces en promedio por plántula, con una longitud de 8 cm.

Bajo estrés por mezcla salina

Variedad VS-22

Se observa una respuesta sorpresivamente buena (Fig. 20) -en algunos casos incluso superior a la del testigo-, en la salinidad clorhídrico-sulfática (C.E.=0.8), sulfático-clorhídrica (C.E.=2.09 y 3.61) y sulfática (C.E.=1.66), en que las variables oscilaron, en general, entre las 9 raíces con 19 cm de longitud y 4 raíces con 6 cm. En ningún caso se observó una dramática reducción de la respuesta.

El mejor comportamiento de la variedad se observa en la salinidad clorhídrico-sulfática, seguida por la sulfático-clorhídrica, clorhídrica y sulfática. La salinidad sulfática-sódica presentó valores sensiblemente menores, variando de 5 raíces y 12 cm (C.E.=1.38) a 5.5 raíces con 6 cm de longitud (C.E.=6.76 dS/m).

Nuevamente se aprecia que a concentraciones relativamente diluidas -e inclusive en las no tanto-, la longitud de las raíces es mayor que el número de las mismas, como sucede en el testigo. Sólo la salinidad sulfática presenta este comportamiento hasta el tratamiento de segundo orden de conductividad (C.E.=2.63), en tanto que la clorhídrica y clorhídrico-sulfática la presentan en el 4o. (C.E.= 6.48 y 5.49), la sulfático-clorhídrica en el 5o. (C.E.=7.52) y la sulfático-sódica en el 3o. (C.E.=3.46).

7.1.6 PESO FRESCO TOTAL (PFT), DE BROTE (PFB) Y DE RAIZ (PBR); PESO SECO TOTAL (PST), DE BROTE (PSB) Y DE RAIZ (PSR).

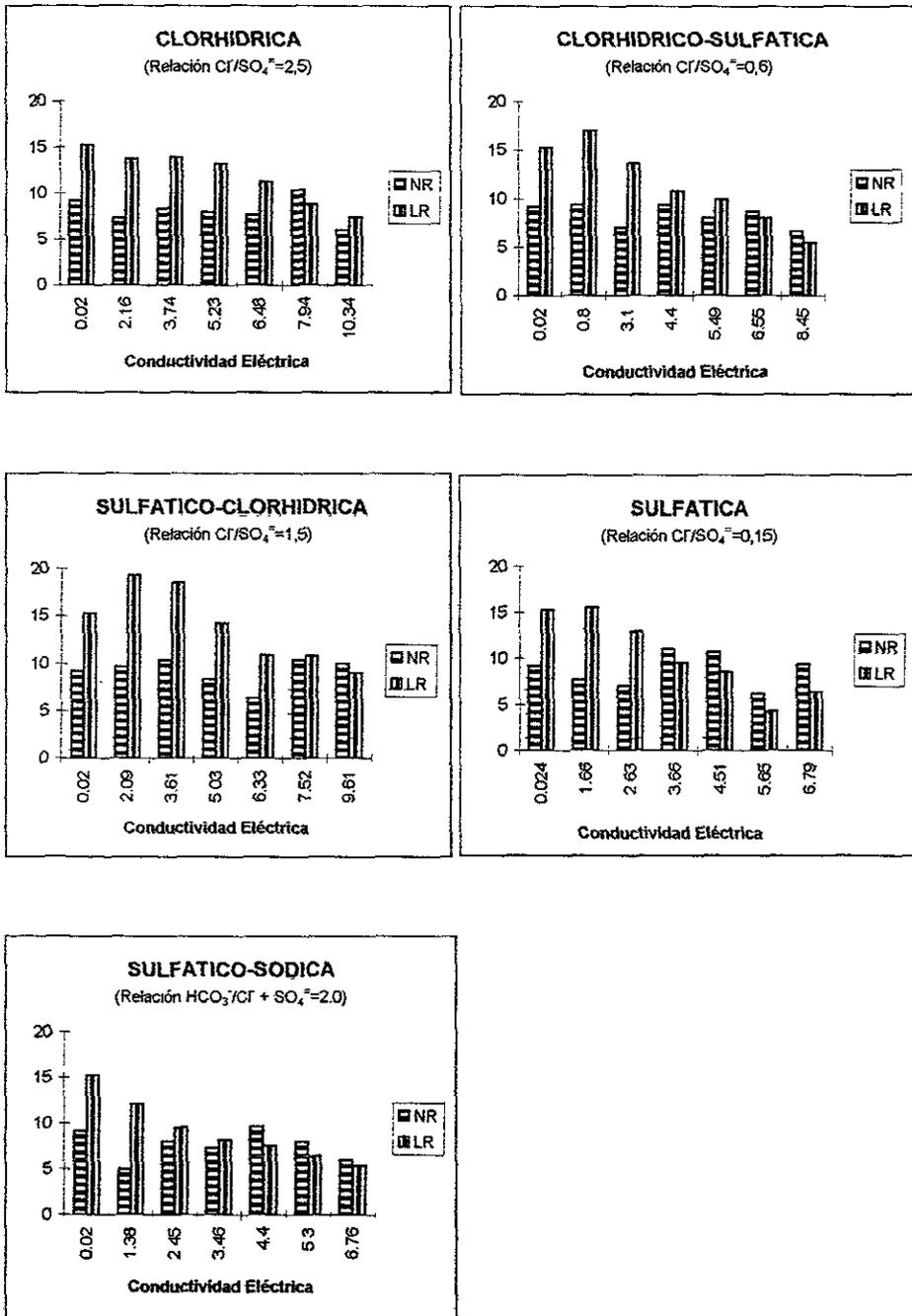
Bajo estrés por sales puras.

Variedad V-107

Con relación a los pesos frescos, la Fig. 21 permite apreciar los contrastes que se dieron entre los diferentes tratamientos: por un lado comparativamente altos pesos en los tratamientos con CaCl_2 , MgCl_2 , MgSO_4 , Na_2SO_4 ; valores intermedios en los tratamientos con NaCl y los más bajos en el Na_2CO_3 .

Figura 20. NUMERO (NR) Y LONGITUD DE RAICES (LR en cm) POR TRATAMIENTO DE SALINIDAD VARIEDAD VS-22

(El eje x contiene la C.E. real, dS/m, de los tratamientos)



Los valores más altos para los pesos secos se encontraron en tratamientos de CaCl_2 (C.E.=3.98 dS/m), MgCl_2 (C.E.=1.73), y MgSO_4 (C.E.=1.36), mientras que los más bajos en los de MgCl_2 (C.E.=11.65) y MgSO_4 (C.E.=7.08). La mayor respuesta para las tres variables se encontró en los tratamientos de MgSO_4 .

Bajo estrés por tipo de salinidad.

Variedad V-107

En la Fig. 22 se observa que ningún tratamiento salino mostró una fuerte reducción en las tres variables de peso fresco, si bien es cierto que en sólo ciertas concentraciones se obtuvieron respuestas inclusive superiores a las del testigo que presentó 1.6, 0.3 y 1.3 g de PFT, PFB y PFR, respectivamente.

La mejor respuesta estuvo en la salinidad clorhídrica (C.E.=1.88, 4.25 y 12.64 dS/m), reduciéndose sucesivamente en la sulfático-clorhídrica, C.E.=1.79, clorhídrico-sulfática, C.E.= 1.62 y 3.5, sulfática, C.E.=1.44 y sulfático-sódica, C.E.=1.26 y 2.8.

Los tratamientos en que se registró la respuesta más pobre fueron de la mezcla sulfático-clorhídrica (C.E.=3.93, 5.8, 8.87 y 11.61 dS/m) y sulfático-sódica, C.E.=5.54 y 6.68.

Llama la atención que, en general, el resto de los tratamientos. en todas las mezclas y todas las concentraciones, presentaron valores para el PFT mayores a 1.0, para el PFB valores no mayores de 0.5 pero tampoco menores de 0.25 g, y para el PFR valores muy próximos a 1.0 g.

En resumen la figura muestra que la variedad presentó mejor comportamiento, para las variables en cuestión, en las mezclas de salinidad clorhídrica, clorhídrico-sulfática y sulfática.

Se puede apreciar (Fig. 22) que en general existe un rango más o menos estrecho de fluctuación de los pesos secos. El PST fluctuó entre 0.3 y 0.2 g, encontrándose los valores más altos en la mezcla sulfático-clorhídrica (C.E.=1.79 dS/m), clorhídrico-sulfática (C.E.=6.55), sulfática (C.E.=1.44 y 2.97) y sulfático-sódica (C.E.=1.26).

El PSR varió entre 0.25 y 0.15 g, siendo los tratamientos de altos valores los de salinidad sulfático-clorhídrica (C.E.=1.79), clorhídrico-sulfática (C.E.=6.55), sulfática (C.E.=1.44 y 2.97) y sulfático-sódica (C.E.=1.26).

El PSB fue inferior a 0.1 g. Los pesos secos más bajos se encontraron en el tratamiento más concentrado (mayor C.E.) de la mezcla sulfático-clorhídrica.

Figura 21. PESO FRESCO TOTAL (PFT), DE BROTE (PFB), DE RAIZ (PFR); PESO SECO TOTAL (PST), DE BROTE (PSB) Y DE RAIZ (PSR) POR TRATAMIENTO DE SALES PURAS VARIEDAD V-107

(El eje x contiene la C. E. real, dS/m, de los tratamientos)

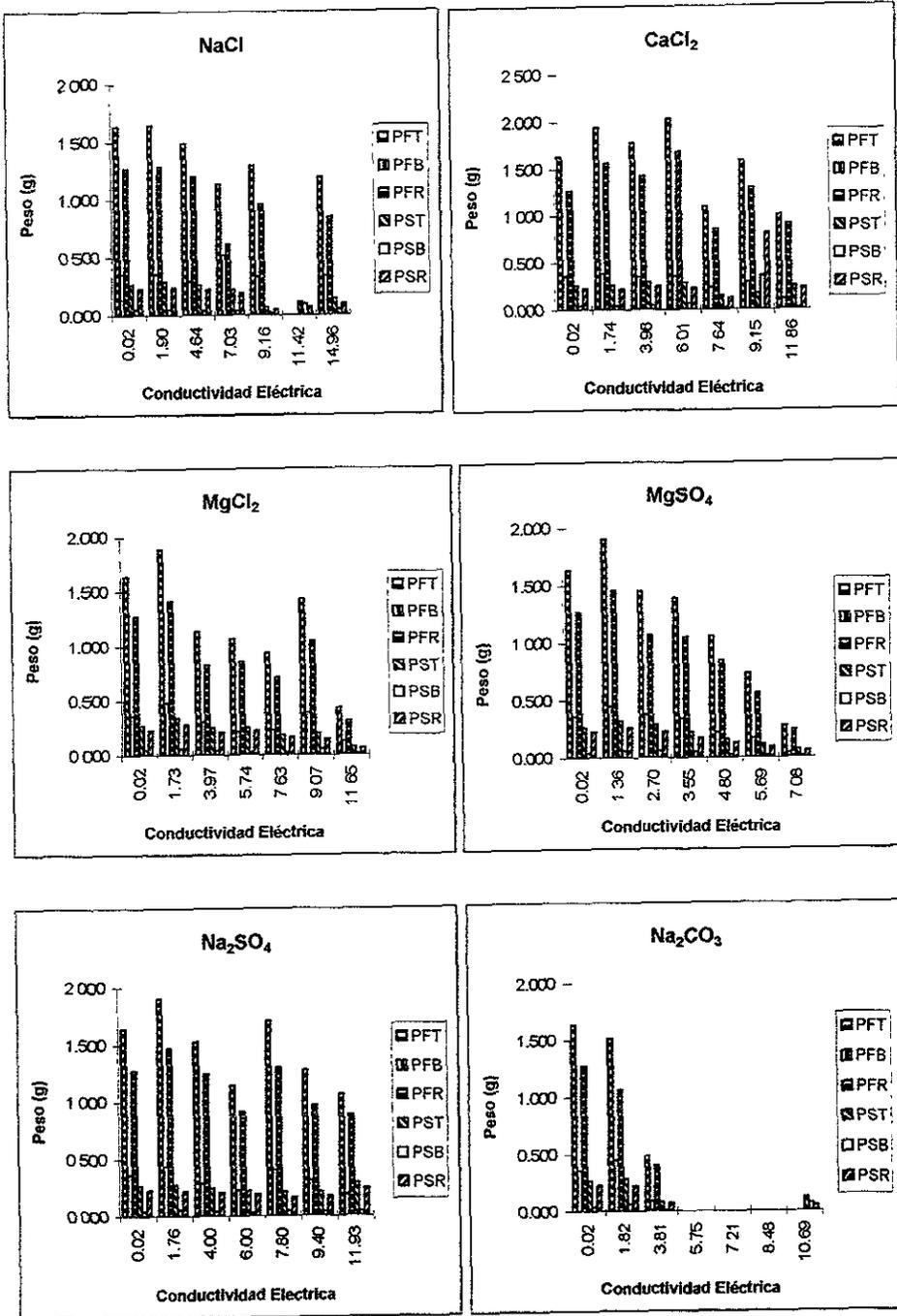
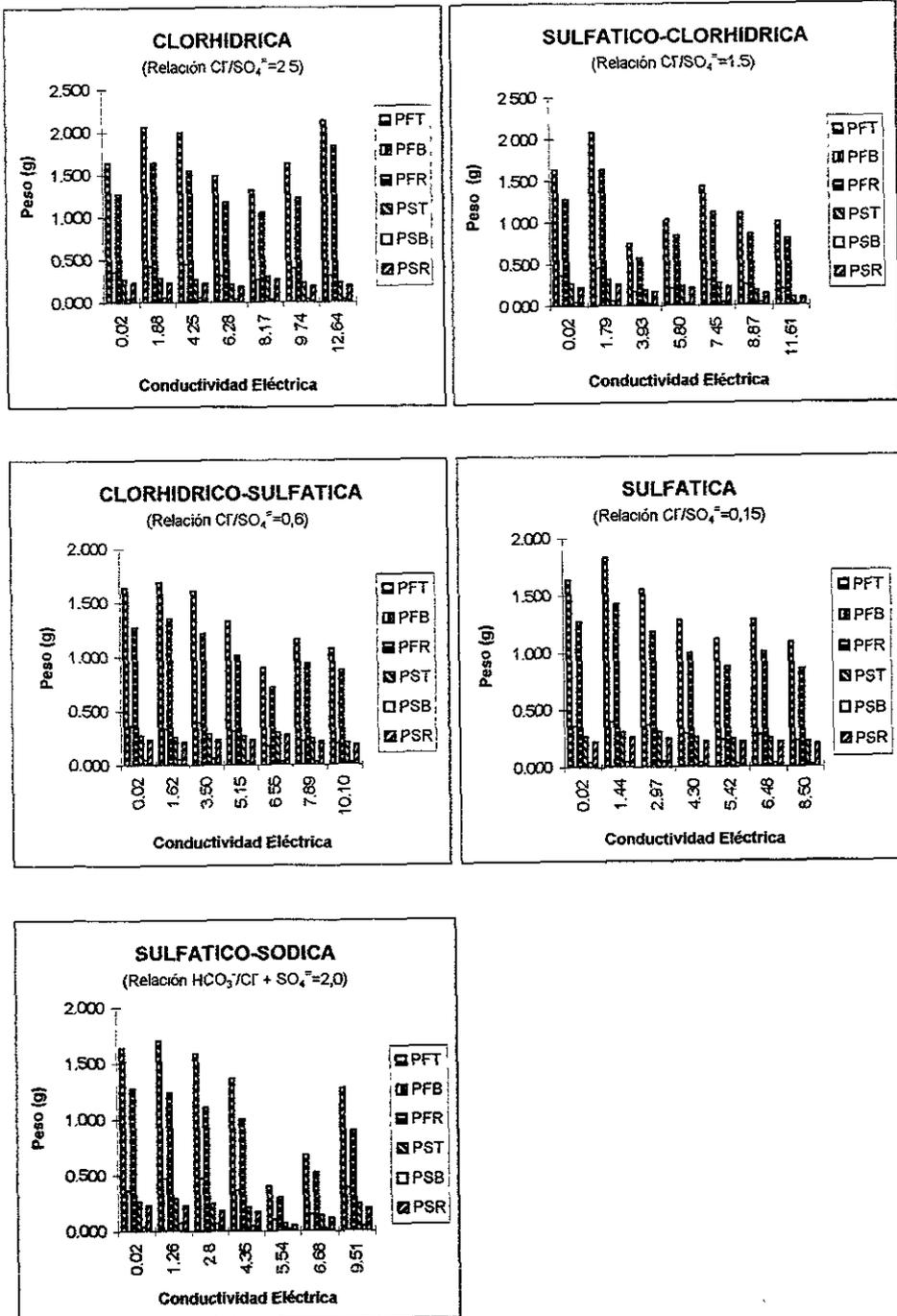


Figura 22 PESO FRESCO TOTAL (PFT), DE BROTE (PFB), DE RAIZ (PFR); PESO SECO TOTAL (PST), DE BROTE (PSB) Y DE RAIZ (PSR) POR TRATAMIENTO DE SALINIDAD VARIEDAD V-107

(El eje x contiene la C.E. real, dS/m, de los tratamientos)



ESTA TESIS NO SALE DE LA BIBLIOTECA

Bajo estrés por sales puras.

Variedad VS-22

En términos globales, la respuesta de las plántulas en los tratamientos salinos (Fig. 23) fue relativamente alta - por lo menos en lo que a las variables de peso fresco se refiere- inclusive en los que se saben de gran toxicidad como el NaCl y Na₂SO₄. Para el PFT, PFB y PFR los valores decayeron progresivamente en los tratamientos de CaCl₂, MgSO₄, Na₂SO₄, NaCl y MgCl₂. En el Na₂CO₃ se obtuvo la respuesta más pobre.

El peso seco entre los tratamientos salinos de esta variedad muestra valores (ver también Fig. 23) que fluctúan en un rango relativamente estrecho (0.3 a 0.25 g, 0.1 a 0.05 y 0.25 a 0.2 g de PST, PSB y PSR, respectivamente) salvo una o dos excepciones. Las plántulas tratadas con CaCl₂ muestran en la figura los valores más altos en los pesos secos (Total, de Brote y de Raíz), siguiéndole los tratamientos del NaCl, MgCl₂, MgSO₄ y Na₂SO₄.

La respuesta más baja se halló en los tratamientos de Na₂CO₃.

Bajo estrés por mezcla salina.

Variedad VS-22

El examen general de la Fig. 24 permite apreciar que los valores más altos se registraron entre los tratamientos de la mezcla sulfúrico-clorhídrica (2.2, 0.4, 1.8 g para el PFT, PFB y PFR, respectivamente), siguiéndole en nivel de respuesta los de la mezcla clorhídrica, clorhídrico-sulfúrica y sulfúrica. La salinidad sulfúrico-sódica rindió los valores más bajos (0.8, 0.2 y 0.65 g).

En lo referente a los pesos secos (Total, de Brote y de Raíz) se encontró una respuesta semejante, con pequeñas diferencias entre los distintos tratamientos (Fig. 24). En forma global se observa que todas las mezclas registraron valores entre 0.3 a 0.2 g de PST, 0.1 a 0.025 g de PSB, y 0.25 a 0.15 g de PSR.

7.2 CUALITATIVOS

7.2.1 Germinación

Aproximadamente el 95% de las semillas germinaron, pero de ellas una pequeña proporción murió antes de

Figura 23. PESO FRESCO TOTAL (PFT), DE BROTE (PFB), DE RAIZ (PFR); PESO SECO TOTAL (PST), DE BROTE (PSB) Y DE RAIZ (PSR) POR TRATAMIENTO DE SALES PURAS VARIEDAD VS-22

(El eje x contiene la C.E. real, dS/m, de los tratamientos)

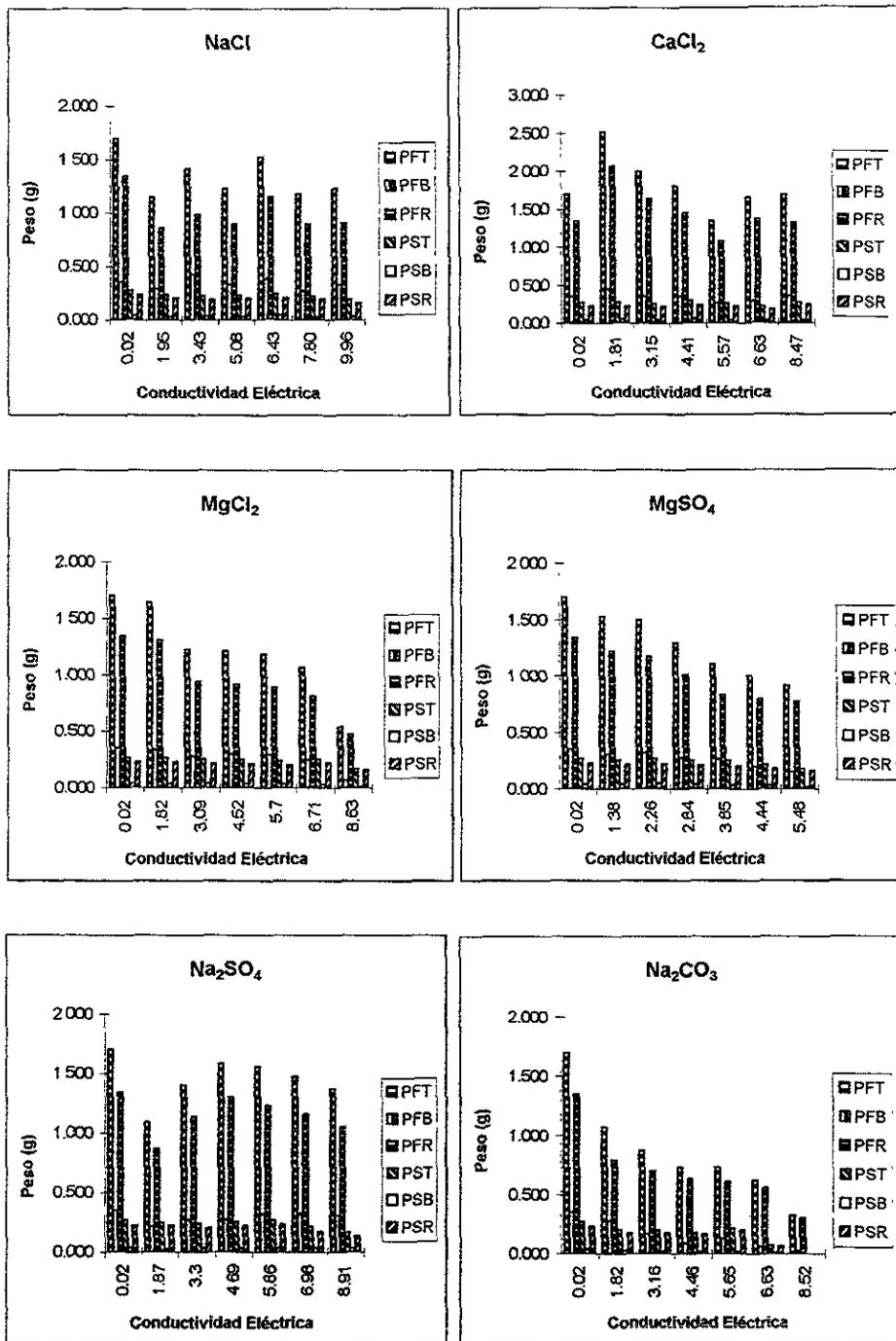
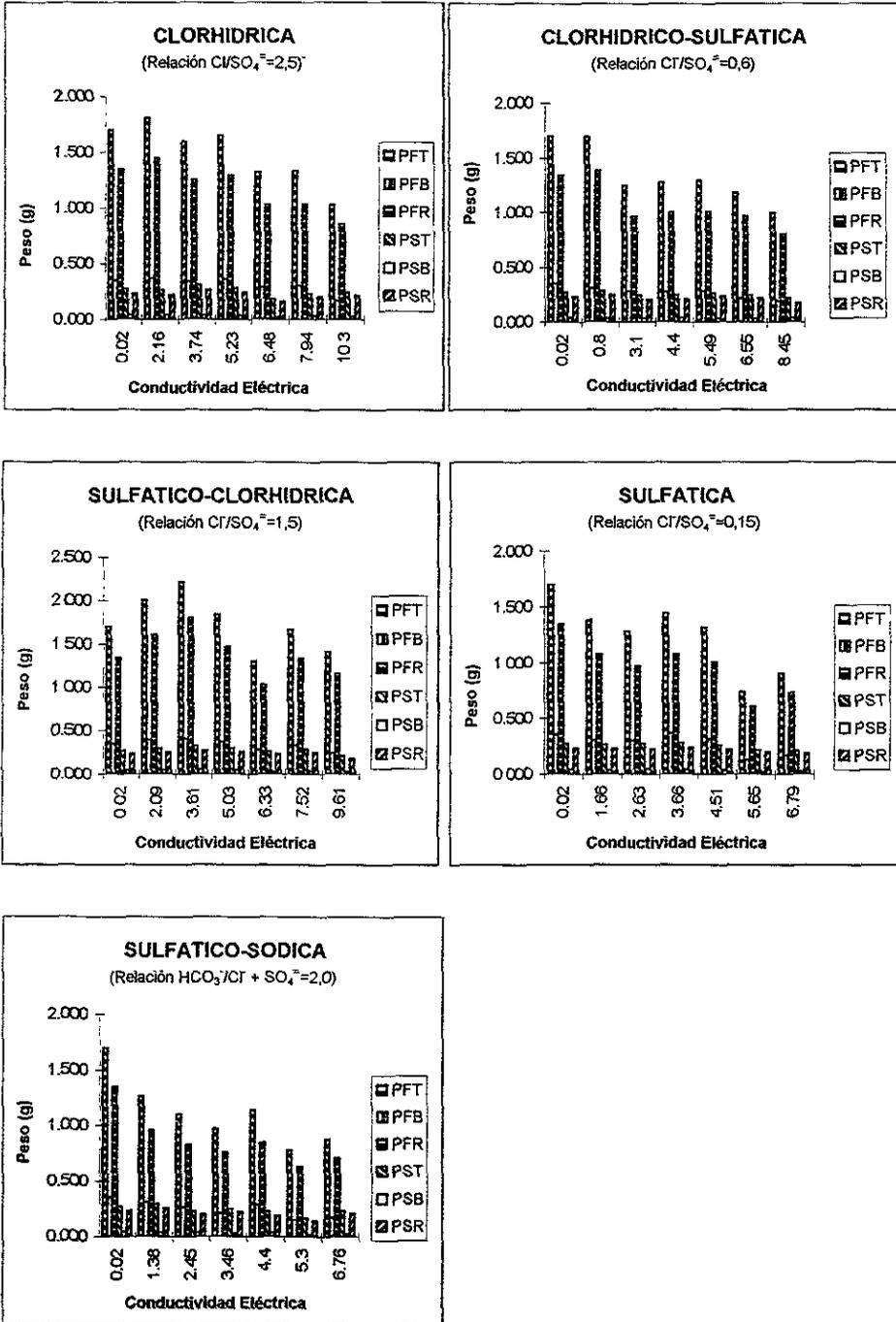


Figura 24. PESO FRESCO TOTAL (PFT), DE BROTE (PFB), DE RAIZ (PFR); PESO SECO TOTAL (PST), DE BROTE (PSB) Y DE RAIZ (PSR) POR TRATAMIENTO DE SALINIDAD VARIEDAD VS-22
(El eje x contiene la C.E. real, dS/m, de los tratamientos)



emerger y otra porción mayor fue incapaz de producir brote.

Las semillas germinadas que no produjeron brote mostraron principalmente diversos grados de oxidación en las raíces, cuyo efecto visible fue el cambio de color -en los casos más agudos, se observó una coloración café-, engrosamientos y deformaciones así como una consistencia apreciablemente quebradiza. También se encontró un mayor NR que en el testigo, pero de longitud notablemente reducida

Todas estas anomalías fueron más visibles en los tratamientos de 6o y 7o. orden de concentración (o C.E.), sobre todo en el caso del Na_2SO_4 y Na_2CO_3 .

En esos mismos tratamientos también se encontraron semillas no germinadas cuya testa presentó un color ligeramente café no atribuible al ataque de microorganismos, porque las semillas se encontraban intactas, es decir, sin reblandecimientos o deterioro de la testa. Incluso se tiene la impresión de que tales semillas no experimentaron imbibición

Aunque se detectó la presencia de hongos -destacando penicillum- y de bacterias (éstas en mucha menor proporción), aparentemente se desarrollaron después de que el embrión murió.

7.2.2 Estadío de Plántula

Algunas plántulas mostraron diversos grados de daño causado por los tratamientos salinos, los cuales consistieron básicamente en lo que podría denominarse "daño ligero": cambio de coloración del brote de verde a café (quemadura), lento desarrollo, marchitamiento y en ocasiones una ligera deformación del brote. Con el avance de la estación de crecimiento, los síntomas se intensificaron ("daño agudo"), presentándose quemadura intensa del ápice, deformación (doblez) y enanismo del brote, incapacidad para la expansión foliar, rupturas de la lámina foliar y/o escaso desarrollo de las hojas.

En algunos casos, se produjo la recuperación total o parcial de las plántulas, pero en otros el daño se intensificó a tal grado que produjo la muerte. Éstos últimos sin embargo, representaron bajos porcentajes (menor al 10%) en la mayoría de los tratamientos.

De las plántulas que lograron establecerse, la mayoría presentaron un desarrollo inferior al testigo, algunas presentaron un desarrollo notablemente superior (en el capítulo de datos cuantitativos se detalla), pero otras

experimentaron secuelas por el contacto con las sales, como clorosis, envejecimiento foliar prematuro (en relación al testigo, por supuesto) y otras más, el desecamiento de hojas

Adicionalmente es importante reportar que en el momento de la cosecha (particularmente entre los tratamientos de muy alta concentración, así como en los de Na_2SO_4 y Na_2CO_3), se encontró en algunas plántulas un desarrollo anormal de las raíces ya que presentaron forma más bien cilíndrica, contorno sinuoso, numerosas pero cortas y frágiles, en comparación con las del testigo en que se observó la típica forma aguzada, contorno liso, poco numerosas pero largas y flexibles.

Bajo estrés por sales puras

Variedad V-107

Se detectó 3.3% de daño ligero en los tratamientos de NaCl (C.E.=1.9 dS/m), MgSO_4 (C.E.=1.36, 2.7 y 5.69) y Na_2SO_4 (C.E.=6.0); 6.7% en MgSO_4 (C.E.=3.55 y 4.8), Na_2SO_4 (C.E.=7.8 y 9.4) y Na_2CO_3 (C.E.=1.82); 10% en MgCl_2 (C.E.=9.07); 13.3% en NaCl (C.E.=9.16), Na_2SO_4 (C.E.=1.76).

Hubo un 3.3% de daño agudo en NaCl (C.E.=4.64 dS/m), MgSO_4 (C.E.=1.36 y 7.08) y Na_2SO_4 (C.E.=4.0); 6.7% en Na_2SO_4 (C.E.=1.76 y 7.8); 10% en Na_2SO_4 (C.E.=9.4 y 11.93); 13.3% en MgSO_4 (C.E.=3.55); 16.7% en NaCl (C.E.=9.16) y MgSO_4 (C.E.=5.69); 26.7% en MgSO_4 (C.E.=4.8) y 30% en MgCl_2 (C.E.=9.07).

Los primeros indicios de envejecimiento foliar se observaron en algunos casos en el 9o. día, pero sobre todo entre el 11o. y 14o. día, en NaCl (C.E.=1.9, 4.64 y 9.16 dS/m), CaCl_2 (C.E.=6.01, 7.64 y 11.86), MgCl_2 (C.E.=9.07 y 11.65), MgSO_4 (C.E.=1.36 a 3.55 y 7.08), Na_2SO_4 (C.E.=1.76 a 11.93) y Na_2CO_3 (C.E.=1.82).

Finalmente se encontró mortalidad de 3.3% en CaCl_2 (C.E.=7.64), MgSO_4 (C.E.=4.8 y 7.08), Na_2SO_4 (C.E.=1.76 y 7.8 a 11.93), Na_2CO_3 (C.E.=1.82 y 3.81); de 6.7% en NaCl (C.E.=9.16) y CaCl_2 (C.E.=11.86); 16.7% en MgSO_4 (C.E.=5.69), 23.3% en MgSO_4 (C.E.=6.59) y 30% en MgCl_2 (C.E.=9.07).

Bajo estrés por mezcla salina

Variedad V-107

Se halló daño ligero en el 3.3% de las plántulas de la mezcla clorhídrico-sulfática (C.E.=1.62, 3.5 y 5.15 dS/m) y sulfática (C.E.=2.97). Daño agudo en el 3.3% de las plántulas de la salinidad clorhídrica (C.E.=8.17 y 12.64), sulfático-clorhídrica (en todos los tratamientos), clorhídrico-sulfática (C.E.=7.89), sulfática (C.E.=2.97, 4.3 y 6.48) y sulfático-sódica (C.E.=1.26 y 2.8).

Inicio del envejecimiento foliar entre el 11o. y 14o. día (en algunos casos desde el 9o.) en la mezcla clorhídrica (C.E.=1.88), sulfático-clorhídrica (C.E.=1.79 y 5.8), clorhídrico-sulfática (C.E.=1.62 y 3.5), sulfática (C.E.=1.44 y 2.97) y sulfático-sódica (C.E.=1.26 y 2.8).

Mortalidad del 3.3% en las mezclas clorhídrica (C.E.=8.17), sulfático-clorhídrica (C.E.=7.45 y 11.61), clorhídrico-sulfática (C.E.=7.89), sulfática (C.E.=5.42 y 8.5) y sulfático-sódica (C.E.=6.68). La cifra aumentó al 6.7% en esta última mezcla (C.E.=9.51).

Bajo estrés por sales puras

Variedad VS-22

Daño ligero en el 3.3% de las plántulas del $MgCl_2$ (C.E.=1.821 y 3.09 dS/m), $MgSO_4$ (C.E.=1.38 y 2.26) y Na_2SO_4 (C.E.=5.86 y 6.98), 6.7% del $MgSO_4$ (C.E.=2.84, 3.85 y 4.44), 10% del $NaCl$ (C.E.=1.95, 3.43, 6.43, 7.801), 13.3% en el Na_2SO_4 (C.E.=3.3 y 4.69), 16.7% en Na_2CO_3 (C.E.=1.822), 30% en Na_2CO_3 (C.E.=4.46), y 43.3% en Na_2SO_4 (C.E.=8.91).

Se registró 3.3% de daño agudo en $CaCl_2$ (C.E.=4.41 y 8.47), $MgCl_2$ (C.E.=4.52, 5.7 y 6.71), Na_2SO_4 (C.E.=5.86) y Na_2CO_3 (C.E.=1.822). Hubo 6% en Na_2SO_4 (C.E.=6.98) y Na_2CO_3 (C.E.=5.65), 10% en el $NaCl$ (C.E.=1.95, 3.43 y 5.08), 16.7% en Na_2CO_3 (C.E.=4.46), 20% en Na_2SO_4 (C.E.=4.69), 26.7% en $MgSO_4$ (C.E.=5.48) y Na_2CO_3 (C.E.=3.16), 33.3% en $MgSO_4$ (C.E.=4.44) y 43.3% Na_2SO_4 (C.E.=8.91).

El envejecimiento foliar se inició desde el 8o. día después de las primeras E en el $CaCl_2$ (C.E.=6.63), y desde el 9o. al 11o. día en $NaCl$ (C.E.=1.95, 3.43 y 7.801), $CaCl_2$ (C.E.=1.81, 3.15 y 4.41), $MgSO_4$ (C.E.=3.85 y 4.44), Na_2SO_4 (C.E.=3.3 a 8.91).

Se registró mortalidad del 3.3% en CaCl_2 (C.E.=1.81), MgCl_2 (C.E.=4.52, 5.7 y 6.71), MgSO_4 (C.E.=1.38 y 2.26), Na_2SO_4 (C.E.=3.3) y Na_2CO_3 (C.E.=6.631); del 6.7% en MgSO_4 (C.E.=4.44) y Na_2CO_3 (C.E.=3.16); del 10% en NaCl (C.E.=6.43 y 9.96), Na_2SO_4 (C.E.=8.91), Na_2CO_3 (C.E.=5.65), 13.3% en MgCl_2 (C.E.=3.09) y Na_2SO_4 (C.E.=6.98), 20% en MgCl_2 (C.E.=8.63) y 26.7% en MgSO_4 (C.E.=5.48) y Na_2CO_3 (C.E.=4.46).

Bajo estrés por mezcla salina

Variedad VS-22

Se observó daño ligero en 3.3% de las plántulas de las mezclas clorhídrica (C.E.=5.23, 6.48 y 10.34 dS/m), clorhídrico-sulfática (C.E.=0.8 y 3.1), sulfático-clorhídrica (C.E.=2.09 y 9.61), sulfática (C.E.=1.66 y 6.79) y sulfático-sódica (C.E.=6.76); en 6.7% de las plántulas en la mezcla clorhídrica (C.E.=7.94), sulfática (C.E.=5.651) y sulfático-sódica (C.E.=5.3); en el 10% de la sulfática (C.E.=3.66 y 4.51) y sulfático-sódica (C.E.=2.45 y 4.401); 13.3% de la clorhídrica (C.E.=2.16) y 16.7% de la sulfático-clorhídrica (C.E.=7.52).

Daño agudo se encontró en 3.3% de plántulas de la mezcla clorhídrica (C.E.=10.34), clorhídrico-sulfática (C.E.=8.45), sulfático-clorhídrica (C.E.=6.33), sulfática (C.E.=3.66 y 4.51) y sulfático-sódica (C.E.=1.381 y 2.45); en 6.7% de la salinidad clorhídrica (C.E.=2.16, 5.23 y 6.48), clorhídrico-sulfática (C.E.=4.4 y 6.551) y sulfático-clorhídrica (C.E.=5.03 y 9.61); 10% de la mezcla clorhídrico-sulfática (C.E.=5.49), sulfático-clorhídrica (C.E.=7.52), sulfática (C.E.=6.79); 13.3% de la sulfático-sódica (C.E.=5.3), 16.7% de la sulfático-sódica (C.E.=3.46 y 6.76) y 30% de ésta misma en la C.E.=4.401

Los primeros indicios de envejecimiento foliar se detectaron entre los días 9o. a 14o. en la salinidad clorhídrica (C.E.=3.74 y 10.34), clorhídrico-sulfática (C.E.=0.8, 3.1, 4.4, 6.551 y 8.45), sulfático-clorhídrica (C.E.=2.09 a 9.61), sulfática (C.E.=1.66 a 4.51 y 6.79) y sulfático-sódica (C.E.=1.381 a 6.76).

Por último se hallaron mortalidades de 3.3% en la salinidad clorhídrica (C.E.=6.48), clorhídrico-sulfática (C.E.=0.8, 6.551 y 8.45), sulfático-clorhídrica (C.E.=5.03, 7.52 y 9.61), sulfática (C.E.=5.651) y sulfático-sódica (C.E.=2.45 y 6.76); mortalidad de 6.7% en la mezcla sulfática (C.E.=6.79) y sulfático-sódica (C.E.=5.3), y del 10% también en ésta última (C.E.=4.401).

VIII. ANALISIS DE RESULTADOS

8.1 EMERGENCIA DE PLANTULAS

Parece necesario examinar el comportamiento de la curva de germinación en el testigo, puesto que a pesar de que en esta variedad la prueba de germinación arrojó un 100% de emergencia dentro de un lapso de 5 a 8 días, durante el experimento alcanzó un máximo de 60% y 93% (V-107 y VS-22, respectivamente). Esta diferencia podría deberse -amén de las posibles diferencias entre variedades-, a dos factores fundamentales: en primer lugar, el agua destilada puede considerarse como una solución hipotónica con la cual la semilla, y en particular el embrión, establece relaciones osmóticas anormales que conducen a perturbaciones metabólicas. Estos se traducen, por ejemplo, en emergencias reducidas y retrasadas (el testigo alcanzó su máximo porcentaje a los 17 días después de la siembra), que a su vez repercutieron más tarde en otros atributos como la AB, AF, etc., o en palabras de Wright (citado por Valdés, 1976), el desarrollo inicial y el vigor. En segundo lugar, el hecho podría explicarse por el efecto combinado de las altas temperaturas registradas durante el desarrollo de este trabajo.

Desafortunadamente, como ya se mencionó en el capítulo de Resultados, fue necesario acortar el período experimental debido a que las altas temperaturas, aparentemente, aceleraron el crecimiento de las plántulas al

mismo tiempo que, por un lado, acentuaron los efectos del estrés salino al incrementar la evaporación y la ascensión capilar de las sales (van Hoorn, 1991) y, por el otro, representaron una segunda variable de estrés que las plántulas enfrentaron. En este sentido, Francois *et al.* (1989) reportan que las plantas son más tolerantes a la salinidad cuando se cultivan en climas fríos.

El desarrollo acelerado explica, por lo menos parcialmente, que desde el 14o. día después de la siembra se observó, aunado al efecto de las quemaduras de sol, el de la carencia de nutrimentos (presentándose clorosis y/o amarillamientos) en algunos tratamientos.

En general, se puede afirmar que los tratamientos diluidos muestran un comportamiento parecido al del testigo, o inclusive mayor. También se aprecia que, en términos generales, a mayor concentración, y por tanto a mayor conductividad eléctrica de los tratamientos, la E se abate considerablemente, tanto así que, dependiendo del tipo de sal, puede mantenerse en cero.

Sin embargo, también se observan tratamientos de altas concentraciones (altas C.E.) que presentaron mejores respuestas que algunos tratamientos de concentraciones diluidas.

Ya que al término del experimento se pudo contabilizar el total de semillas germinadas (en numerosos casos distinto al total de brotes), estos resultados difieren de los reportados por Francois *et al.* (1989) quienes encontraron la misma significancia entre los porcentajes de emergencia de semillas de centeno sometidas a tratamientos salinos. La tolerancia de la especie y cultivares, así como el hecho de que las soluciones utilizadas por los autores consistieron de una mezcla de NaCl y CaCl₂ (1:1), posiblemente explican tal diferencia.

Si bien es cierto que las plántulas disponen de reservas en el endospermo remanente de la semilla, también es cierto que durante esta etapa no sólo absorben agua del sustrato sino también aquellos nutrimentos que utilizan en mayor cantidad, entre los que se encuentran el Ca⁺, Mg²⁺ y los sulfatos, sin tomar en cuenta el papel que éstos tienen en el balance osmótico. De aquí que habiéndolos en el medio, en cantidades no tóxicas u osmóticamente dañinas, representan la única fuente de nutrimentos que utilizan -a diferencia del testigo que no la tiene disponible- y que terminó por reflejarse en el porcentaje de emergencia y más tarde, en otras características biológicas.

Evidentemente, el Ca y el Mg son nutrimentos esenciales para el desarrollo de la planta, mientras que el Na es un elemento requerido en cantidades extremadamente pequeñas. Al rebasar ciertos límites en su concentración, los dos últimos se convierten en elementos tóxicos afectando en grado diverso, dependiendo de la variedad.

Las sales neutras -cloruros y sulfatos- abaten en menor medida la respuesta de la variable que las sales de naturaleza alcalina -carbonatos-, pero su efecto puede ser mayor dependiendo del catión que los acompañe (Ca^{2+} o Na^+ , en el caso de los cloruros; Mg^{2+} o Na^+ , en el de los sulfatos).

Por tratamiento de sales puras

Variedad V-107

a. Los tratamientos con CaCl_2 y MgCl_2 mostraron valores de E que fluctuaron de 33 a 89% para el primero, y 16 a 20 y 58 a 88% para el segundo.

b. Los sulfatos de Mg presentaron E de 13, 38 a 62 y 98%, mientras que los de Na las tuvieron de 18 a 52 y 67%

c. Los tratamientos con Na_2CO_3 rindieron E raquíticas de todo el conjunto (0 a 5 y 34%)

Estos resultados confirman que el tipo de sal tiene mucho que ver en la respuesta del material. Ashraf (1994) halló que el NaCl es más tóxico que el CaCl_2 , Na_2SO_4 y MgSO_4 , pero desafortunadamente no probó el efecto del Na_2CO_3 .

Observando el conjunto de gráficas de la Fig. 1 se encontró que:

1. Todos los tratamientos que incluyen Na^+ producen en general E menores que los que incluyen Mg, y menor aún que los de Ca^{2+} , en concordancia con su esencialidad en la nutrición de las plantas (en este caso de los embriones), o con su capacidad tóxica.

2. Los sulfatos abaten en mayor medida la E que los cloruros, pero si éstos se acompañan de Na^+ el efecto es más drástico. Los carbonatos, sin embargo, deprimen incomparablemente la variable de respuesta.

3. Las E presentan valores apreciablemente bajos en los tratamientos cuya relación catión-anión es 2:1 (Na_2SO_4 y Na_2CO_3); altos donde la relación es 1:2 (CaCl_2 y MgCl_2). Donde la relación es 1:1 (MgSO_4) los valores de E

son intermedios, sin embargo, en el caso del NaCl, la toxicidad del Na⁺ parece imponerse al efecto de dicha relación.

Por último, parece que la variable presenta el mismo nivel de respuesta más allá de cierto nivel de conductividad -que varía con el tipo de sal-, puesto que las curvas presentan prácticamente el mismo comportamiento y el mismo valor final en los tratamientos de NaCl (C.E.=7.03, 11.42 y 14.96 dS/m), Na₂SO₄ (C.E.=4.0, 6.0, 7.8, 9.4 y 11.93 dS/m) y Na₂CO₃ (C.E.=3.81, 5.75, 7.21, 8.48 y 10.69).

Por tratamiento de mezcla salina.

Variedad V-107

a. Para la E, la predominancia de sulfatos en las mezclas salinas resultó menos dañina ya que rindieron los valores más altos: 38 a 57% (mezcla sulfática, relación anión-catiónica=0.15), 13 a 38 y 57 a 82% (mezcla clorhídrico-sulfática, relación=0.6).

b. La variable presentó valores finales menores con la predominancia de los cloruros: 29 y 70 a 86% (mezcla clorhídrica, relación 2.5), 10 a 27 y 70% (mezcla sulfático-clorhídrica, relación 1.5)

c. Si los carbonatos prevalecen en la mezcla (mezcla sulfático-sódica, relación $\text{HCO}_3^-/(\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}) = 3.0$), entonces las E presentaron valores extremadamente bajos 6 a 19 y 47 a 54%.

Considerando los tratamientos en forma global se encontró que:

1. A mayor cantidad de sulfatos (relación aniónica mayor que cero pero menor de 1), mayores valores de E.
2. A mayor cantidad de cloruros (relación aniónica mayor que 1), menor E.
3. La presencia de carbonatos en un complejo salino, abate drásticamente los porcentajes de E.

Se observa además, que la E es prácticamente la misma a partir de cierta conductividad, que varía con el tipo de mezcla, como sucede en la salinidad clorhídrica (C.E.=6.28, 8.17, 9.74 y 12.64 dS/m), sulfático-clorhídrica (C.E.=3.93, 5.8, 7.45, 8.87 y 11.61), clorhídrico-sulfática (C.E.=6.55, 7.89 y 10.1), sulfática (C.E.=5.42 y 8.5) y sulfático-sódica (C.E.=4.35, 5.54, 6.68 y 9.51).

Por tratamiento de sales puras

Variedad VS-22

Aparentemente, la respuesta de la variedad fue superior a la del V-107 en sus respectivos tratamientos de sales puras.

- a. Los sulfatos de Na y Mg arrojaron las E más altas (71 a 94%; 60 y 88 a 100%, respectivamente.
- b. Los cloruros afectaron en mayor medida la variable, rindiendo 59 a 98%, el de Ca^{2+} ; 27 y 52 a 90% el de Mg^{2+} ; 18 y 50 a 74% el de Na^+ .
- c. El carbonato de sodio muestra su intenso efecto salino-alkalino-tóxico, abatiendo las E finales a un rango de 0 a 7 y 30 a 58%. La respuesta es aquí, sin embargo, mayor que en la variedad anterior.

Para este cultivar se observó también que:

1. El efecto del catión al parecer varía con el anión acompañante. En el caso del Mg^{2+} y Na^+ , presentaron los porcentajes de E más altos, si se encontraban acompañados del SO_4^{2-} , acompañados de Cl^- la E se abatió notoriamente. El Ca^{2+} mostró en esta ocasión emergencias intermedias a altas (59 a 98%), mientras que el Na^+ resultó el catión más dañino para la variable.
2. Los sulfatos produjeron las mejores E en la variedad (del 60 al 100%), mientras que los carbonatos rindieron las más bajas (0 a 58%). Con el grueso de sus E ubicadas en valores más bien intermedios se encuentra a los cloruros.
3. El efecto de las sales donde la relación catión-anión es 1:1, depende del catión, siendo más perjudicial con el Na^+ ; donde la relación es 2:1, depende del anión, siendo más perjudicial con el CO_3^{2-} . En las sales donde la relación es 1:2, la E presenta valores intermedios a altos (27 y 52 a 98%), siendo ligeramente más perjudicial la presencia del Mg^{2+} .

Por tratamiento de tipo de salinidad.

Variedad VS-22

a. Una ligera predominancia de cloruros, relación $Cl^-/SO_4^{2-}=1.5$, mezcla sulfático-clorhídrica, produjo E de 70 y 90 a 100%; relaciones anión-catiónicas de 2.5 (mezcla clorhídrica) abatieron, como en ninguna otra mezcla, la variable (54 a 70 y 80%).

b. Si en la mezcla fueron predominantes los sulfatos ($Cl^-/SO_4^{2-}=0.15$, mezcla sulfática), se obtuvieron E finales de 52 a 57 y 82 a 92%. Pero si su influencia fue menor ($Cl^-/SO_4^{2-}=0.6$, mezcla clorhídrico-sulfática), las E resultaron de 62 y 84 a 98%.

c. Al prevalecer los carbonatos ($HCO_3^-/(Cl^- + SO_4^{2-}) = 2.0$) las E finales presentaron valores de 48, 69 a 82 y 93%.

Además se observa que.

1. A bajo contenido de cloruros (relación anión-catiónica de 1.5 a 0.6) los valores de E son altos (62, 70, y 84 a 100%). Altos valores de la relación (2.5) abaten apreciablemente la respuesta (54 a 70 y 80%).

2. Relaciones anión-catiónicas de 0.6, rindieron porcentajes de E intermedios (52 a 57 y 82 a 92%). La relación $HCO_3^-/(SO_4^{2-} + Cl^-) = 2.0$ produjo E ligeramente menores (48 y 67 a 93%).

Por otra parte, de acuerdo a la Prueba de Tukey aplicada al conjunto de datos, (ver Apéndice C) el cultivar VS-22 presentó porcentajes de emergencia significativamente ($\alpha=0.05$) mayores con un promedio general de 72.12% al V-107 que tuvo un promedio de 39.44% (Tabla I, Apéndice C).

Englobando la respuesta de las dos variedades, la Prueba indica, por otra parte, que la sal de menor efecto dañino fue el $MgSO_4$. El daño se intensificó progresivamente con los tratamientos de $CaCl_2$, Na_2SO_4 , $MgCl_2$, $NaCl$ y Na_2CO_3 (Tabla II. y Cuadro I., del Apéndice C). La mezcla clorhídrico-sulfática y sulfática ejercieron el menor daño en la germinación de las plántulas de ambos cultivares. El daño aumentó paulatinamente por efecto de las mezclas clorhídrica y sulfático-clorhídrica -las dos al mismo nivel- y sulfático-sódica; esta última provocó el daño más intenso sobre la variable de respuesta (Tabla II. y Cuadro 2., Apéndice C).

Por último suponiendo que, por un lado, todas las plántulas emergidas serán capaces de sobrevivir a lo largo del ciclo de crecimiento bajo condiciones de estrés salino y más aún que serán capaces de producir, y, por el otro, considerando que un abatimiento del 35% en la densidad de población esperada sería económicamente aceptable para terrenos salinos, ya que de acuerdo a Mass y Hoffman se tendría un rendimiento teórico del 75%, la comparación de medias nos permite afirmar que el VS-22 tolera fácilmente conductividades de 2.0 dS/m y moderadamente las de 4.0 dS/m, pero se muestra incapaz de tolerar conductividades superiores a los 6.0 dS/m, las cuales arrojarían un rendimiento teórico del 50% o menos.

El V-107 tolera con facilidad conductividades de 1.89 dS/m y moderadamente las de 5.25, pero más allá de los 8.61 dS/m sufre daño severo, con rendimientos teóricos del 50% o menores (Tabla III y Cuadro 3., Apéndice C).

8.2 CARACTERISTICAS VEGETATIVAS DE LAS PLANTULAS

En términos generales se observó que a mayor conductividad de las soluciones salinas aplicadas, menor la respuesta en los atributos vegetativos de las plántulas (AB, AF, NH, LR, NR, PFT, PFB, PFR, PST, PSB, PSR). Ello a causa, posiblemente, de la pequeña disponibilidad de agua debida a la presencia de las sales (Grant, 1995) lo cual impide, a su vez, que las células se dividan y elonguen (Ashraf, 1994), así como al retraso en el ritmo de crecimiento (Martínez *et al.*, 1987).

También se halló que el tipo de sal o salinidad afecta, en algunos casos notablemente, el nivel de respuesta de las variables estudiadas en las plántulas. Aunque en algunos atributos vegetativos el efecto de las sales o mezclas salinas fue el mismo, no necesariamente sucedió así en todas ellas.

Por otra parte, a pesar de que la altura de la planta (un parámetro del vigor) sea uno de los factores que determinan el rendimiento, es difícil definir si las plántulas más altas sobrevivirán a un período prolongado, hasta la madurez, y si serán capaces de producir, pues se ha comprobado que plantas pequeñas sobreviven con mayor facilidad al estrés salino (Richards, 1992).

La variabilidad genética impide a los cultivares sobrellevar los efectos del estrés salino más allá de un umbral de conductividad el cual varía con el tipo de sal, de manera que los efectos en algunas de ellas ($MgSO_4$ y Na_2SO_4), aún a conductividades (concentraciones) relativamente bajas, son drásticos para el desarrollo de las plántulas.

El comportamiento de la AB debe considerarse dentro del conjunto de las variables de respuesta para concluir si pequeñas AB son indicio o no de tolerancia a sales, durante la etapa de plántula.

En otro punto, hasta ahora es imposible predecir si el comportamiento del AF -como de las demás variables-, durante la etapa de plántula continuaría con las mismas tendencias tanto en los días siguientes, como en estadios de crecimiento posteriores. A este respecto, Kingsbury y Epstein (1984) concluyeron que la relativa tolerancia a la salinidad durante los estadios tempranos de trigo no son indicativos de la tolerancia en estadios posteriores.

Sin duda alguna es necesaria la fase complementaria de campo, en la cual se contrastaría el comportamiento de ambas variedades en la misma etapa de crecimiento así como en las posteriores y, lo más trascendente, se trataría de encontrar alguna correlación entre las variables aquí estudiadas y el rendimiento.

8.2.1 ALTURA DE BROTE

Por tratamiento de sales puras

Variedad V-107

- Se detectaron las mejores AB finales, con 18 a 31 y 57 a 80 mm en el $CaCl_2$, 9 a 24 y 43 a 78 mm en el $MgCl_2$, aunque el $NaCl$ presentó brotes de menor tamaño (3 a 51 mm).
- Los sulfatos rindieron AB de: 12, 36 a 42 y 74 en el $MgSO_4$; 0, 12 a 18 y 48 a 68 en el Na_2SO_4 .
- En el Na_2CO_3 se desarrollaron los brotes más débiles (3 y 49 mm), pero en la mayoría de sus tratamientos no hubo E.

Considerando el conjunto de gráficas de la Fig. 5, se tiene:

1. Las sales de Na^+ son más perjudiciales que las de Mg^{2+} y Ca^{2+} .

2. Los aniones presentaron el siguiente nivel de daño: $\text{Cl}^- < \text{SO}_4^{2-} < \text{CO}_3^{2-}$, aunque en el caso del NaCl parece predominar la toxicidad impuesta por el Na^+

3. Las sales cuya relación anión-cation es 1:2 produjeron los valores más altos de AB (9 a 31 y 43 a 80 mm). Las sales con relación 2:1 y 1:1 produjeron sucesivamente valores más bajos (12, 36 a 42 y 74 mm; 0, 12 a 18 y 48 a 68 mm, respectivamente); el anión acompañante intensifica el efecto tóxico en el primero (rindiendo AB de 3 a 51 mm), y el catión en el segundo caso (con AB de 0 a 3 y 49 mm).

Los tratamientos de CaCl_2 (C.E.=7.64, 9.15 y 11.86 dS/m), MgCl_2 (C.E.=5.74 y 11.65), MgSO_4 (C.E.=4.8 y 5.69), Na_2SO_4 (C.E.=4.0, 6.0, 7.8 y 9.4) y Na_2CO_3 (C.E.=3.81 a 10.69) aparentemente tienen el mismo efecto en el comportamiento de la variedad ya que sus curvas y valor final alcanzado son muy parecidos.

Por tratamiento de mezcla salina

Variedad V-107

a. El predominio de los sulfatos, $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}=0.15$, en las mezclas salinas, arrojó las mejores AB (16, 31 a 55 mm en 5 tratamientos), en tanto que al disminuir su influencia, $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}=0.6$, la variable se abate (20 a 33 mm en 4 tratamientos y 54 a 60 mm en dos de ellos).

b. Preponderando los cloruros ($\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}=2.5$), también se obtuvieron AB de: 22 a 32 y 60 a 67 mm. Con una relación de 1.5 la variable se reduce a valores de 13 a 33 y 63 mm.

c. Las AB más bajas, 2 a 18 y 42 a 74 mm, se presentan en mezclas que contienen carbonatos ($\text{HCO}_3^-/(\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-)=2.0$).

La mejor respuesta de la variedad se encontró en los tratamientos diluidos de la salinidad clorhídrica (C.E.=1.88 dS/m) y sulfático-sódica (C.E.=1.26).

Por último, considerando en forma global las gráficas de la Fig. 6 se observa:

1. Aunque no se encuentran tendencias claras, a mayor contenido de sulfatos o cloruros, mejores AB (16, 22 a 55 y 60 a 67 mm); con relaciones anión-catiónicas de 0.6 y 1.5 los valores de AB son intermedios (20 a 33 y 54

a 60 mm: 13 a 33 y 63 mm, respectivamente). Las AB más bajas (2 a 18 y 42 a 74 mm) se encontraron en la mezcla de relación $\text{HCO}_3^-/(\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}) = 2.0$.

La respuesta de la variable es semejante entre ciertos niveles de conductividad, como ocurre en la salinidad clorhídrica (C.E.=6.28 a 12.64 dS/m), sulfático-clorhídrica (C.E.=3.93 a 11.61), clorhídrico-sulfática (C.E.=5.15 a 10.1), sulfática (C.E.=5.42 y 6.48) y sulfático-sódica (C.E.=4.35 a 9.51).

Por tratamiento de sales puras

Variedad VS-22

- a. De los cloruros, el de Ca^{2+} mostró las mejores AB, 50 a 54 y 66 a 78 mm; el de Mg^{2+} las desarrolló de 8, 43 a 60 y 80 mm, mientras que el de Na^+ , de 21 y 39 a 67 mm.
- b. El MgSO_4 rindió valores medios (16, 47 a 61 y 72), pero el Na_2SO_4 los rindió bajos (43 a 63 mm).
- c. Notable abatimiento de la variable (0 a 61 mm) se presentó entre los tratamientos con Na_2CO_3 .

Incrementos sucesivos en la conductividad tuvieron intensos efectos en los casos del NaCl , MgCl_2 , MgSO_4 , pero sobre todo del Na_2CO_3 , sugiriendo que son altamente tóxicos para la variedad y que ésta tiene un limitado rango de tolerancia.

De la Fig. 7 también se desprende que:

1. El nivel de daño provocado por los cationes, sigue el orden $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$.
2. El efecto perjudicial producido por el anión, sigue el orden $\text{Cl}^- < \text{SO}_4^{2-} < \text{CO}_3^{2-}$, intensificándose con el tipo de catión acompañante.
3. Sales con relación anión-catiónica de 1:2 produjeron AB de 43 a 78 y 80 mm; las de relación 1:1 rindieron AB de 16, 21, 39 a 67 y 72 mm, y las de relación 2:1, de 0 a 63 mm.

Por tratamiento de sales puras

Variedad VS-22

La respuesta entre las mezclas salinas fué aparentemente mejor que entre las sales puras.

- a. En el caso de que los cloruros fueron ligeramente predominantes ($Cl^-/SO_4^{2-}=1.5$, mezcla sulfático-clorhídrica) se obtuvieron AB de 37 a 92 mm; y con relaciones Cl^-/SO_4^{2-} de 2.5, mezcla clorhídrica, se observaron de 28, 51 a 80 y 92 mm.
- b. La predominancia de los sulfatos arrojó brotes de 30 y 48 a 70 mm ($Cl^-/SO_4^{2-}=0.6$, mezcla clorhídrico-sulfática), así como 27 a 31 y 61 a 70 ($Cl^-/SO_4^{2-}=0.15$, mezcla sulfática).
- c. Las AB más bajas (20, 46 a 61 y 78 mm) se encontraron entre los tratamientos con carbonatos ($HCO_3^-/(Cl^- + SO_4^{2-})=2.0$).

En términos globales, los tratamientos de salinidad para esta variedad muestran:

1. Mezclas salinas con relación anión-catiónica de 1.5 a 2.5 produjeron brotes de 28 y 37 a 92 mm.
2. Mezclas salinas con contenidos mayores de sulfatos (relación de 0.15 a 0.6) rindieron AB de 27 a 31 y 48 a 79 mm.
3. Mezclas salinas con altos contenidos de carbonatos ($HCO_3^-/(Cl^- + SO_4^{2-})=2.0$) produjeron las plántulas más pequeñas: 20, 46 a 61 y 78 mm.

Para terminar con esta variable, la comparación de medias por la Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) indica que el VS-22 fue superior, con un promedio general de 53.40 mm, al V-107 que presentó un promedio de 33.48 mm (Tabla I, Apéndice C).

De las sales puras, la Prueba de Tukey muestra que el $CaCl_2$ es la menos dañina para las plántulas (Tabla II, y Cuadro 1., Apéndice C); en segundo lugar se encuentra el Na_2SO_4 ; en tercero, y ejerciendo el mismo grado de daño, se encuentran el $MgCl_2$, $MgSO_4$ y $NaCl$. Finalmente, el Na_2CO_3 resultó ser la sal más tóxica sobre la AB en ambas variedades.

La salinidad clorhídrico-sulfática, por otra parte, afectó en menor proporción la longitud de brote, pero el efecto aumentó sucesivamente en la clorhídrica y sulfática -por igual-, sulfático-clorhídrica y sulfático-sódica, esta última causante del mayor abatimiento en la respuesta (Tabla II, y Cuadro 2., Apéndice C).

La Prueba de Tukey muestra (Tabla III, y Cuadro 3., Apéndice C) que las variedades desarrollaron en conjunto un promedio de 67.98 mm de AB (a una conductividad de 1.89 dS/m para el V-107 y de 2.0 dS/m para el VS-22), una reducción del 17.6% en este atributo con el segundo nivel de concentración salina (C.E =5.25 y 4.0 dS/m, respectivamente), y de 36.8% o más a partir del tercero (C.E.=8.61 y 6.0, respectivamente). Considerando que uno de los parámetros del vigor es la altura de planta -o de plántula en este caso-, la reducción del 36.8% en ese atributo, de seguir esta misma tendencia durante el resto del ciclo de crecimiento, repercutirá intensamente en el rendimiento, reduciéndolo hasta el 50% de acuerdo a Maas y Hoffman (1977). Podría plantearse entonces que, en lo que respecta a la altura de brote, el V-107 y VS-22 toleran fácilmente conductividades de 1.89 y 2.0 dS/m, con moderación las de 5.25 y 4.0 dS/m, pero que no toleran conductividades iguales o mayores a 8.61 y 6.0 dS/m, respectivamente.

8.2.2 AREA FOLIAR

Se ha observado que en los casos donde se produjo emergencia precoz -la cual permitió evadir las altas temperaturas y el efecto combinado de estas con la salinidad-, incluyendo tratamientos de alta C. E., las plántulas tuvieron la oportunidad de establecerse, de aprovechar osmótica y nutricionalmente (por lo menos en parte) las sales disponibles en el medio y, por consiguiente, de desarrollar una porción aérea relativamente robusta. En este mismo sentido Misra *et al.* (1997) plantean que el establecimiento temprano de las plántulas es crucial para estimular el desarrollo de atributos como el follaje.

Por tratamiento de sales puras

Variedad V-107

a. Entre los cloruros se encontró la mejor respuesta ya que el CaCl_2 mostró AF de 75 a 190 y 425 a 580 mm^2 y el MgCl_2 de 75 a 260 y 400 a 590 mm^2 ; sin embargo, el NaCl rindió AF de sólo 0 y 100 a 280 mm^2 .

b. Los sulfatos desarrollaron AF que midieron de 0 a 75 y 290 a 450 mm² en el MgSO₄; 50, 130 a 240 y 570 mm².

c. Raquífica respuesta se encontró entre los tratamientos con Na₂CO₃ (0 y 210 mm²).

La respuesta de la variedad es aproximadamente la misma a partir de un nivel de conductividad (concentración), como ocurre en el MgSO₄ (C.E =4.8 y 5.69 dS/m) y Na₂SO₄ (C.E.= 4.0, 6.0, 7.8 y 9.4).

La Fig. 9 muestra además que:

1 Los cationes infringen daño foliar en el orden Na⁺ > Mg²⁺ > Ca²⁺, intensificándose con el anión acompañante

2. Los aniones abaten el AF en el siguiente orden: CO₃^m > SO₄^m > Cl⁻. Sin embargo, el Na⁺ resulta más tóxico en el NaCl que en el Na₂SO₄.

3 Sales con relación anión-catiónica 1:2 produjeron hojas con 75 a 260 y 400 a 590 mm² de superficie; las de relación 1:1, las desarrollaron con 0 a 75 y 100 a 450 mm². En las sales de relación 2:1 se hallaron hojas de 0 a 240 y 570 mm².

Por tratamiento de tipo de salinidad.

Variedad V-107

a. En las mezclas salinas con relación (Cl⁻/SO₄^m =2.5, mezclas clorhídricas) se registraron AF de 90 a 310 y 480 a 650 mm², pero en las de relación 1.5 las hojas tuvieron 40 a 220 y 550 mm² de superficie.

b. AF de 90 a 120 y 310 a 480 mm², así como de 70, 180 a 300 y 470 mm² se desarrollaron en las mezclas con predominancia de sulfatos (relación 0.6 y 0.15, respectivamente).

c. Las hojas alcanzaron AF de 0 a 95, 380 y 490 mm² en presencia de las mezclas ricas en carbonatos.

Incrementos en la salinidad sulfático-clorhídrica, clorhídrico-sulfática y sulfático-sódica a partir de las soluciones de 2o., 4o. y 3er. orden de conductividad, respectivamente, rindieron prácticamente el mismo nivel de respuesta en la variable. En otras palabras, la variedad presenta el mismo comportamiento más allá de cierto nivel de C.E. (o concentración).

En general las gráficas muestran que:

1. Relaciones anión-catiónicas de 2.5 o 0.6 generan AF altas (90 a 120 y 310 a 650 mm²).
2. Relaciones anión-catiónicas de 1.5 o 0.15 arrojaron AF de 40 a 300, 470 y 550 mm².
3. Mezclas con una relación igual a 2.0 abaten intensamente la variable 0 a 95, alcanzando en los dos tratamientos más diluidos hasta 380 y 490 mm².

Por tratamiento de sales puras.

Variedad VS-22

- a. Entre los cloruros se encontraron las mejores AF: 320 a 620 y 800 mm² en el CaCl₂, 210 y 400 a 540 mm² en el NaCl. No obstante, en el MgCl₂ las AF tuvieron valores bajos (0 y 320 a 505 mm²).
- b. En donde los sulfatos predominan ligeramente (relación Cl⁻/SO₄²⁻ = 0.6, mezcla clorhídrico-sulfática) se desarrollaron AF de 20, 210 y 380 a 600 mm²; en las mezclas donde la relación fue de 0.15, mezclas sulfáticas, las AF fueron 180 y 370 a 450 mm².
- c. Aunque desafortunadamente no se disponen de todos los datos para el caso del Na₂CO₃, se observa que el AF fue igual a cero en los cuatro tratamientos más concentrados.

El NaCl, CaCl₂ y Na₂SO₄ parecen no tener un efecto fuertemente tóxico -por lo menos para el VS-22- aún a altas concentraciones, de suerte que la variedad desarrolló áreas foliares sensiblemente diferentes.

Al parecer el CaCl₂ es la sal menos tóxica, puesto que en todas las conductividades (concentraciones) se observó el incremento progresivo del AF con el tiempo, y en las más altas (C.E.=5.57, 6.63 y 8.47 dS/m) se tuvieron valores finales por sobre los 200 mm² a diferencia de otros tratamientos, a los mismos niveles de C.E., que tuvieron áreas foliares por debajo de dicho valor.

El examen global de la Fig. 11 nos sugiere que:

1. El daño al AF es en el Na⁺ > Mg²⁺ > Ca²⁺, aunque la variedad respondió bien (210 y 400 a 540 mm²) a los tratamientos con NaCl.
2. Cloruros, sulfatos y carbonatos, en ese orden, perjudican progresivamente el desarrollo del AF.

3. Las sales con relación anión-catiónica 1:1 y 1:2 produjeron AF de 20, 210 y 380 a 600 mm², así como de 0. 320 a 614 y 800 mm², respectivamente. Aunque no se tienen todos los datos para las sales de relación 2:1, se encontró que los tratamientos de mejor respuesta tuvieron AF en un rango de 370 a 460 mm².

Por otra parte, se observó que el CaCl₂ y MgCl₂ provocaron amarillamiento y posterior secado de las hojas a partir del 11o. día después de las primeras E, anomalía que se acentuó pronunciadamente en los siguientes días. El fenómeno probablemente se debió al desbalance iónico (Bliss *et al.*, 1984; Greenway y Munns, 1980) combinado con el estrés térmico, o bien a que excesivos niveles de sales en las hojas provocaron quemaduras después de días en que el aire se mantuvo seco y caliente (Maas, 1984).

Posiblemente el secado de las hojas no se presentaría en condiciones de campo ya que -si obedece a un desbalance iónico- el suelo posee numerosos compuestos, además del CaCl₂ y MgCl₂, que conforman un balance iónico sensiblemente diferente al de los tratamientos aquí probados.

El envejecimiento prematuro de las hojas observada aquí en los diferentes tratamientos salinos, tanto en este cultivar como en el V-107, comparados con el testigo, puede relacionarse con la rápida acumulación, a niveles tóxicos, en las hojas maduras (Munns, 1993), pero también por movimientos de agua desde las hojas maduras hacia los puntos de crecimiento, los cuales compiten más eficientemente por este recurso (Kramer, 1963).

En general, la tendencia a la aproximación entre las curvas, especialmente en los últimos registros, sugiere que la variedad tiene el mismo desarrollo foliar para dos o más concentraciones salinas, tal como se aprecia en el NaCl (C.E.=1.95, 3.43 y 5.08 dS/m), MgCl₂ (C.E.=3.09 y 4.52), MgSO₄ (C.E.=1.38 y 3.85), así como Na₂SO₄ (C.E.=1.87, 4.69 y 5.86).

Por tratamiento de mezcla salina.

Variedad VS-22

a. Mezclas con una relación Cl⁻/SO₄²⁻=1.5, sulfático-clorhídrica, produjeron AF de 380 a 620 y 980 mm²; una relación 2.5, en cambio, rindió las AF más bajas (220 a 320).

b. Los sulfatos arrojaron AF de 190, 320 y 460 a 520 mm², si la relación es de 0.15, mezcla sulfática; 260 y 350 a 570 mm² si la relación es de 0.6, mezcla clorhídrico-sulfática.

c En las mezclas sulfático-sódicas ($\text{HCO}_3^-/(\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}) = 2.0$) las AF midieron de 100, 200 a 400 y 580 mm^2 .

Los valores registrados parecen indicar que el efecto de las mezclas y sus concentraciones es el mismo en el desarrollo de la variedad, por lo menos en lo referente a AF. Sin embargo, Navejas (1995) encontró en maíz bajo condiciones de estrés salino, que existen diferencias significativas en días a floración, AF, rendimiento de materia seca y eficiencia de uso de agua

Al examinar en forma global el AF en esta variedad, se tiene:

1. Bajos contenidos de cloruros (relación anión-catiónica de 1.5) produjeron AF de 380 a 620 y 980 mm^2 .
2. Con altos contenidos de sulfatos (relación 0.6 a 0.15) las AF alcanzaron los 190 a 350 y 460 a 570 mm^2 .
3. En tratamientos con gran contenido de cloruros y de carbonatos (relación 2.5 y 2.0, respectivamente), hubo hojas con 100, 200 a 400 y 580 mm^2 .

Por otro lado, en la Tabla I. del Apéndice C se observa que, de acuerdo a los resultados de la Prueba de Tukey ($\alpha = 0.01$), el cultivar VS-22 presentó un AF superior (407.40 mm^2) a la del V-107 (219.91 mm^2).

La Prueba también indica que, englobando a ambas variedades, el CaCl_2 es la sal que menos daño provoca en el desarrollo del AF. Mayor efecto tóxico tienen el MgCl_2 , MgSO_4 , NaCl y Na_2SO_4 , todos ellos en el mismo nivel, mientras que el Na_2CO_3 resultó ser la sal de mayor impacto (Tabla II. y Cuadro 1., Apéndice C).

Las mezclas clorhídrico-sulfática y sulfática tienen el efecto dañino más bajo, siguiéndole por la intensidad de daño provocado, la sulfático-clorhídrica, clorhídrica y sulfático-sódica, en ese orden (Tabla II y Cuadro 2., Apéndice C).

En lo referente a los niveles de conductividad (o concentración salina), la Prueba de Tukey reveló un abatimiento del 22% y del 38.5% en el AF en el tercero y cuarto orden de conductividad con respecto al segundo. Posiblemente sería drástico (en términos económicos, inaceptable), el efecto que éste último podría tener sobre el desempeño de la planta madura y, en particular, en el rendimiento. En otras palabras, podría plantearse en principio que concentraciones salinas iguales o superiores a 8.61 y 6.0 dS/m (Tabla III. y Cuadro 3., Apéndice C) infringen intenso daño sobre el área foliar de una y otra variedad, respectivamente. La fase

complementaria de este trabajo permitiría comprobar si existe alguna relación entre la respuesta aquí hallada y la de la planta madura en condiciones de campo.

8.2.3 NUMERO DE HOJAS

Por tratamiento de sales puras

Variedad V-107

- a. El NH en el Na_2SO_4 fue de 0, 0.700 y 1.125 a 2.125; en el MgSO_4 de 0, 0.400 a 0.650 y 1.6.
- b. Los cloruros mostraron NH que fluctuaron entre 0.650 y 0.850 y 1.700 a 1.800 ml CaCl_2 , 0.350 a 0.500 y 1.000 a 1.850 en el MgCl_2 ; en el NaCl se hallaron de 0, 0.630 a 1.000 y 1.350 hojas.
- c. Se registró un NH nulo en los tratamientos con Na_2CO_3 , salvo en el tratamiento más diluido (1.100).

Por otra parte resalta el hecho de que en el MgSO_4 tres de los tratamientos (C.E.=1.36, 2.7, 3.55 dS/m) hayan generado el mismo NH que el testigo, por lo menos para el 13o. día después de las primeras E y bajo las condiciones experimentales señaladas. La interpretación a este hecho sería que para el caso de esta sal, soluciones cuya C. E. es de hasta 3.55 dS/m (teórica de 8.61 dS/m) producen el mismo NH en esta variedad.

Considerando en grupo las gráficas de la Fig 13, se observa que:

1. En general el daño causado por los cationes tiene el orden. $\text{Ca}^{2+} < \text{Mg}^{2+} < \text{Na}^+$. aunque los NH encontrados en el Na_2SO_4 fueron los más altos (0.700 y 1.125 a 2.125).
2. Los sulfatos resultaron menos perjudiciales que los cloruros y carbonatos para el AF.
3. Sales de relación anión-catiónica 1:2 presentaron 0.350 a 0.850 y 1.000 a 1.850 hojas; las de relación 1:1, desarrollaron 0, 0.400 a 0.650 y 1.000 a 1.600 hojas; y los de relación 2:2 tuvieron NH de 0.700 y 1.125 a 2.125, así como 0 y 1.100, los dos últimos en presencia del Na_2CO_3 .

Por tratamiento de tipo de salinidad

Variedad V-107

- a. Relaciones Cl^-/SO_4^{2-} de 0.15, mezcla sulfática, presentaron NH de 0.650 a 1.100 y 1.350 a 1.650, pero las de 0.6, mezcla clorhídrico-sulfática, tuvieron 0.650 a 1.000 y 1.250 a 1.650 hojas.
- b. Con los cloruros siendo predominantes se obtuvieron NH de 0.650 a 0.850 y 1.125 a 1.700 (relación 2.5, mezcla clorhídrica), así como de 0.350 a 0.750 y 1.200 a 1.450 (relación 1.5, mezcla sulfático-clorhídrica).
- c. Cuando la influencia de los carbonatos fue mayor a la de SO_4^{2-} y Cl^- , se obtuvieron NH de 0.350 a 0.650 y 1.600 a 1.850

Aparentemente, también los tratamientos de respuesta precoz, que fundamentalmente son los de concentraciones diluidas, mantienen valores altos de NH, aunque no siempre son mayores o iguales que el testigo.

La Fig. 14 nos muestra además que:

1. Altos contenidos de sulfatos (relación anión-catiónica = 0.15, mezcla sulfática) produjeron los mejores NH (1.350 a 1.650 y 0.650 a 1.100). Contenidos menores de estos aniones rindieron NH intermedios (1.250 a 1.650 y 0.650 a 1.000).
2. Grandes contenidos de cloruros (relación=2.5, mezclas clorhídricas) rindieron 1.125 a 1.700 y 0.650 a 0.850 hojas, mientras que bajos contenidos (relación=1.5, salinidad sulfático-clorhídrica), permitieron el desarrollo de 0.350 a 0.750 y 1.200 a 1.450 hojas
3. La presencia de carbonatos (relación $HCO_3^-/(Cl^- + SO_4^{2-}) = 2.0$) dió por resultado NH de 1.600 a 1.850 en los tratamientos diluidos, pero menores, 0 y 0.350 a 0.650, a partir del 3er orden de conductividad.

Por tratamiento de sales puras

Variedad VS-22

Para esta variedad y variable, el comportamiento es apreciablemente diferente del observado en el V-107. Aquí no se observa que a mayor concentración (conductividad) menor NH, sino que los tratamientos, por lo menos entre las concentraciones de hasta 4o. orden, parecen tener más o menos el mismo nivel de respuesta.

- a. Se encontraron los mejores valores de NH en el CaCl_2 (1.150 y 1.600 a 2 100) y en el NaCl (0.950 a 1.500 y 1.700 a 1.950). En el MgCl_2 la variable tuvo valores de 0, 1.250 y 1.550 a 1.950.
- b. Se hallaron NH de 0.350, 1.250 y 1.700 a 1.950 en el MgSO_4 ; 0 y 1.450 a 1.800 en el Na_2SO_4 .
- c. Los tratamientos con carbonato de sodio no produjeron respuesta, salvo en el de 4o. orden de concentración (1.875).

Considerando el conjunto de gráficas, se tiene que:

1. Para el NH en esta variedad, el nivel de perjuicio causado por los cationes sigue el orden: $\text{Ca}^{2+} < \text{Na}^+ < \text{Mg}^{2+}$.
2. El grado de daño entre los aniones presentó la secuencia cloruros < sulfatos < carbonatos, siendo modificado por el catión acompañante: el MgCl_2 resultó más tóxico que los otros dos cloruros, y de los sulfatos, el de Na^+ fue el más dañino.
3. En las sales de relación anión-catiónica 1:1 se hallaron NH de 0.350, 0.950 a 1.500 y 1.700 a 2.000; las de relación 2:1, tuvieron NH que variaron de 0 y 1.450 a 2.000. Las sales de relación 1:2 produjeron plántulas con 0, 1.250 y 1.550 a 2.100 hojas.

Prácticamente en todas las sales y hasta el 4o. orden de conductividad, el VS-22 presentó respuesta desde el 7o. día después de las primeras E.

Si bien es cierto que las concentraciones de los tratamientos aplicados a esta variedad fueron apreciablemente menores -cotejar en el Apéndice A-, también es cierto que, de acuerdo a Maas y Hoffman (1977), las variedades de maíz de grano son más susceptibles a la salinidad que las variedades forrajeras. De aquí que valores altos para las variables de respuesta pueden ser indicativos de tolerancia a sales.

Una vez más se insiste que los datos obtenidos hasta aquí son sólo indicadores y que será necesaria la fase de campo para contrastar el comportamiento de ambas variedades en el estadio de plántula y buscar posibles correlaciones entre las variables aquí manejadas y el rendimiento económico. O en palabras de Jefferies (1996), se debe verificar la relación con el desempeño de la planta completa, así como su relevancia en cuanto a su respuesta a largo plazo, en condiciones de campo.

Por tratamiento de tipo de salinidad.

Variedad VS-22

- a. Mezclas salinas con relación $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}=0.6$ rindieron un NH de 1.600 a 2.050, mientras que las mezclas de relación=0.15 tuvieron los valores más bajos del conjunto (0.900 a 1.375 y 1.750 a 2.000).
- b. Con una pequeña influencia de cloruros (relación 1.5) el NH presentó valores de 1.500 a 2.150. Con una influencia mayor (relación 2.5), el NH fue de 1.200 a 1.600.
- c. Los carbonatos parecen no afectar gravemente al NH, el cual fluctuó de 1.350 a 1.700 y 1.850 a 2.000.

Al igual que en los tratamientos con las sales puras, la variedad mostró respuesta desde los 7 días después de las primeras E en casi todas las mezclas y concentraciones.

El conjunto de gráficas de la Fig. 16 indica que:

1. Bajos contenidos de sulfatos, relación anión-catiónica=0.6, produjeron altos NH (1.600 a 2.050). Contenidos mayores abatieron sensiblemente la variable (1.750 a 2.000 y 0.900 a 1.375)
2. Bajos contenidos de cloruros, relación=1.5, rindieron altos NH (1.500 a 2.150), pero aumentos en la concentración, relación=2.5, reducen sensiblemente la variable (aunque sólo se tienen los tres últimos de la serie de 6).
3. Tratamientos con carbonatos (relación $\text{HCO}_3^-/(\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})=2.0$) produjeron NH con valores intermedios (1.850 a 2.000 y 1.350 a 1.700).

La comparación de medias por la Prueba de Tukey señala (Tabla I., Apéndice C) que el cultivar VS-22 fue superior (con 1.60 hojas) que el V-107 (0.99).

Englobando la respuesta de ambas variedades, el efecto del NaCl, CaCl₂, MgCl₂, MgSO₄ y Na₂SO₄ en el NH es el mismo. En cambio, como sucedió con los atributos anteriores, el Na₂CO₃ redujo significativamente ($\alpha=0.05$) la variable en ambas variedades (Tabla II. y Cuadro I., Apéndice C).

Todas las mezclas salinas tuvieron el mismo efecto sobre la variable de respuesta (Tabla II. y Cuadro 2., Apéndice C).

Para este atributo el incremento en la cantidad de sales tuvo un efecto gradual ya que los tratamientos de 2o., 3o. y 4o., así como el de 5o. orden de conductividad redujeron el NH en un 12, 25.5 y 37.5%, respectivamente (Tabla III. y Cuadro 3., Apéndice C)

En otras palabras, en el estadio de plántula concentraciones salinas iguales o superiores a 15.22 y 10.0 dS/m, para el V-107 y VS-22 respectivamente, generan un abatimiento del NH, igual o superior al 37.5%.

8.2.4 NUMERO (NR) Y LONGITUD DE RAICES (LR).

Si se considera la razón NR/LR se encuentra que el testigo presenta, para los datos aquí registrados, una razón NR/LR menor a 1.

Además, se observa entre el conjunto de gráficas correspondientes a los tratamientos, que a determinada conductividad (o concentración), dependiente del tipo de sal, el valor de dicha razón cambia de menor que 1 a mayor que 1

Por tratamiento de sales puras.

Variedad V-107

Se observa que más allá de cierto nivel de conductividad hay un daño apreciable, abatiendo apreciablemente tanto el NR como LR, resultando esta última afectada en mayor medida.

A partir de los tratamientos de segundo orden de conductividad en el NaCl, MgSO₄ y Na₂SO₄ la razón NR/LR fue mayor de 1. Este hecho podría interpretarse como un indicador del efecto tóxico que tales tratamientos produjeron en el desarrollo de las raíces y que seguramente se manifestó también en el crecimiento de la porción aérea.

Adicionalmente, la mencionada razón NR/LR también podría utilizarse como criterio de selección de plantas tolerantes a la salinidad ya que Richner *et al.* (1997) encontraron una relación significativa de la biomasa y área

radicales, longitud de las ramificaciones en las raíces primarias y longitud de la raíz primaria, con el peso del tallo en el estadio de la tercera hoja

En conjunto, las gráficas de la Fig. 17 muestran que:

1. Los sulfatos generan plantas con un NR de 3, 7.5 a 8 y 10.5 a 12.5 cm; los cloruros produjeron plantas con NR's que fluctuaron en un rango de 6.5 a 7.5 y 11 a 13.75 cm, y también de 4 y 6.5 a 9.5 cm; los carbonatos permitieron únicamente el desarrollo de plantas con NR alto (11.5) o bajo (4 cm). El efecto específico entre cada uno de ellos, depende del catión acompañante. Debe recordarse que plantas en condiciones normales (testigo) no presentan NR's menores a 1.

Los sulfatos son más inocuos (LR=1.25 a 9, 7.75 a 13 y 17 cm) que los carbonatos (0 a 2 y 13 cm), mientras que el efecto de los cloruros depende del catión acompañante, siendo el orden de toxicidad: $Ca^{2+} < Na^{+} < Mg^{2+}$.

2. Los cationes parecen abatir el NR y la LR en el orden $Ca^{2+} < Na^{+} < Mg^{2+}$.

3. En las sales de relación anión-catiónica 1:1 se hallaron NR de 0, 3, 6.25 a 12 cm; en las de relación 1:2 los NR variaron en rangos de 6.5 a 7.5 y 11 a 13.75 cm, así como de 4 y 6.5 a 7.5 cm. Las de relación 2:1 arrojaron NR de 7.5 a 8 y 10.5 a 12.5, pero también los hubo de 4 y 0 cm.

La LR fluctuó de 4 a 9 y 11 a 17 cm en las de relación 1:1; la LR tomó valores de 2.0 a 7.5 y 12.5 a 16.5 cm entre las sales de relación 1:2. Entre los tratamientos con sales de relación 2:1, la LR presentó valores altos (5 a 9 y 17) a bajos (0, 2 y 13 cm).

Por tratamiento de mezcla salina

Variedad V-107

a. Cuando los sulfatos prevalecieron, relación anión-catiónica 0.15 y 0.6, se obtuvieron altos NR (9 a 11.25 en la primera, 6 y 7.5 a 11 en la segunda).

La respuesta en la LR, sin embargo, osciló entre valores de 4 a 5 y 7.5 a 13.5 en la mezcla clorhídrico-sulfática, así como 5 a 9 y 14 en la sulfática.

b. Con predominio intenso de los cloruros (relación 2.5) se obtuvieron NR de 5.5 a 7.0 y 9 a 10.5; si su influencia fue pequeña (relación 1.5) se registraron NR de 5 a 8 y 9.5 a 11.

En lo que respecta a la LR, se observaron valores de 7 a 8.5 y 10.5 a 17.5 cm (relación 2.5), así como de 5 a 8.5 y 17 cm (relación 1.5).

c. Si los carbonatos tuvieron mayor influencia, relación $\text{HCO}_3^-/(\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})=2.0$, se hallaron NR de 3.5 a 6.5 y 11 a 12.5. Las LR fluctuaron de 2 a 5.5 y 8 a 12.5 cm.

Al observar globalmente la Fig. 18 se encuentra que:

1. Se obtuvieron altos valores de NR 6 y 7.5 a 11.25 en las mezclas con pequeños a grandes contenidos de sulfatos (relación anión-catiónica de 0.6 a 0.15).

Si la cantidad de sulfatos cambia de baja (relación anión-catiónica=0.6) a alta (relación=0.15), se tienen LR altas (6 y 7.5 a 11 cm) a intermedias (5 a 9 y 14 cm).

2. Altos contenidos de cloruros rindieron NR de 5.5 a 7.0 y 9.0 a 10.5; pero bajos contenidos de estos aniones permitieron el desarrollo de 5 a 8 y 9.5 a 11 raíces

Si la cantidad de cloruros fluctúa de alta (relación 2.5) a baja (relación 1.5), los valores de LR varían de altos (7 a 8.5 y 10.5 a 17.5 cm) a intermedios (5 a 8.5 y 17.0 cm).

3. Mezclas con relación $\text{HCO}_3^-/(\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})=2.0$ produjeron 11 a 12.5 raíces a bajas concentraciones, pero en tratamientos más concentrados se observaron 3.5 a 6.5 raíces. En cuanto a LR, la tendencia no es tan clara pero también se observó que a concentraciones bajas la variable fluctuó de 8 a 12.5 cm, pero a concentraciones mayores tomó valores de 2 a 5.5 cm.

Por tratamiento de sales puras

Variedad VS-22

La Fig. 19 muestra en general que:

1. Los cationes perjudican el NR en el orden $\text{Ca}^{2+} < \text{Mg}^{2+} < \text{Na}^+$, aunque el tipo de anión acompañante al parecer modifica el efecto del Mg.

La LR es abatida por el tipo de catión en el orden $\text{Na}^+ < \text{Ca}^{2+} < \text{Mg}^{2+}$. También el anión acompañante parece intensificar el daño.

2. Los sulfatos ejercen menor daño (NR= 6.0 a 7.5 y 8.5 a 12.0) que los cloruros (NR= 4.5 a 6.25 y 7 a 12.5) y carbonatos, aunque el efecto se intensifica en función del catión acompañante.

Los sulfatos produjeron LR de 3.0 a 6.0 y 7.0 a 16.0 cm, los cloruros de desde 2.5 a 12.5, 16 y 17 cm. Los carbonatos exhibieron bajas LR (1.0 a 3.0, 4.5 y 7.5 cm)

3. Las sales de relación anión-catiónica 1:1 presentaron entre 6.25 a 12 raíces. En las de relación 1:2 las plántulas desarrollaron entre 7.5 a 12.5 y 4.5 a 6.25 raíces; las de relación 2:1 mostraron NR de 5.5 a 11.25 y 1.25 a 3.5.

Valores de LR entre los 3.0 a 6.0 y 7 a 12.5 cm se hallaron en las sales de relación 1:1. LR's que variaron de 2.25 a 11.0, 16 y 17 cm se observaron entre de relación 1:2. Entre las sales de relación 2:1 hubo LR's de entre 7 a 16, 1.0 a 3.0 y 4.5 a 7.0 cm.

La fragilidad y pequeña longitud de las raíces, observada entre las plántulas sometidas a altas concentraciones salinas así como al efecto del Na_2CO_3 y Na_2SO_4 , puede deberse, tal como lo explican Neumann *et al.* (1994), al gran endurecimiento de las paredes celulares, más que a cambios en el potencial de turgencia.

Los datos aquí registrados coinciden también con Zydane *et al.* (1990), quienes plantean que la pequeña longitud de las raíces primarias se acompañó de la reducción de la zona de elongación, del tamaño de las células epidérmicas y de la tasa aparente de reproducción celular.

Podría esperarse que las sinuosidades encontradas en el contorno de las raíces más afectadas, se deben a la reducción en el tamaño de las células epidérmicas. Sin embargo, confirmar si las características de las raíces para ambos cultivos en condiciones de estrés salino, concuerdan con lo reportado por estos autores requeriría de observaciones al microscopio.

Cabe recordar aquí que Vicencio (1990) encontró resultados semejantes tanto en condiciones de estrés salino como de estrés hídrico.

Por tratamiento de mezcla salina.

Variedad VS-22

En su conjunto, la Fig. 20 muestra que:

1. Relaciones anión-catiónicas de 0.15 rindieron entre 7.0 a 11.25 raíces, pero las de 0.6 produjeron NR's de 6.75 y 7.5 a 9 La presencia importante de sulfatos en la solución arrojó LR's de 4.5 a 7.5 y 8 a 17 cm.
2. La predominancia de los cloruros (relación 2.5 y 1.5) generó plantas con NR's que variaron de 6.0 a 8.0 y 7.5 a 11. Estas mismas relaciones anión-catiónicas rindieron altas LR (7.5 a 19 cm).
3. Si las mezclas salinas contienen carbonatos, se observaron NR y LR raquíticos (5 a 6.25 y 7.5 a 10; 6 a 8 y 10 a 13 cm, respectivamente).

Para finalizar con esta variable, la Prueba de Tukey indica que no hubo diferencia significativa entre las variedades para el NR (Tabla I., Apéndice C).

Entre las sales puras, el CaCl_2 resultó ser la menos dañina para ambas variedades. En segundo lugar, el NaCl y MgCl_2 produjeron mayor abatimiento de la variable, seguidos en tercero, por el MgSO_4 y Na_2SO_4 . Una vez más la Prueba de Tukey indica que el Na_2CO_3 es la sal más dañina (Tabla II. y Cuadro 1., Apéndice C)

Todas las mezclas salinas tuvieron el mismo nivel de significancia sobre el NR, salvo la sulfático-clorhídrica que produjo los más bajos NR (Tabla II. y Cuadro 2., Apéndice C).

Por último, no existieron diferencias significativas entre las concentraciones salinas (Tabla III. y Cuadro 3., Apéndice C).

Con respecto a la LR (Tabla I., Apéndice C), el cultivar VS-22 fue superior (9.76 cm) al V-107 (7.18 cm).

Se encontraron diferencias significativas en el efecto de todas las sales puras, siendo la más benigna el CaCl_2 , incrementándose sucesivamente el daño en el Na_2SO_4 , NaCl , MgSO_4 , MgCl_2 y Na_2CO_3 (Tabla II. y Cuadro 1., Apéndice C).

Entre las mezclas salinas, la clorhídrica y clorhídrico-sulfática abatieron en menor grado la LR. La intensidad del daño aumentó progresivamente con la sulfático-clorhídrica, sulfática y sulfático-sódica, en ese orden (Tabla II. y Cuadro 2., Apéndice C).

Siguiendo el mismo procedimiento que para el caso de los atributos anteriores, se encontró una reducción del 24 y 38% en la LR de los tratamientos de 2o. y 3er. orden de conductividad (Tabla III. y Cuadro 3., Apéndice C).

La intensidad del daño experimentado por la variable indica que las variedades difícilmente tolerarían concentraciones salinas de 8.61 y 6.0 dS/m, respectivamente, o mayores.

8.2.5 PESO FRESCO TOTAL (PFT), DE BROTE (PFB) Y DE RAIZ (PFR); PESO SECO TOTAL (PST), DE BROTE (PSB) Y DE RAIZ (PSR).

Por tratamiento de sales puras.

Variedad V-107

Las gráficas permiten apreciar que el peso fresco de la raíz representa aproximadamente de dos tercios a tres cuartos del peso fresco total de la plántula y que a su vez, el peso fresco del brote representa de un tercio a un cuarto del peso fresco de la raíz.

El conjunto de gráficas para las sales puras muestra con suficiente claridad que el peso seco de la raíz representa entre el 80% y el 90% del peso seco total de la plántula y que, por consiguiente, el restante 10 a 20% lo representa el peso seco de brote.

PFT. Las plántulas presentaron pesos de 1.000 a 2.000 g en los tratamientos con CaCl_2 ; mientras que en el NaCl y MgCl_2 , los pesos fluctuaron entre 1.200 a 1.650 y 0.450 a 1.900 g, respectivamente. Las plántulas tratadas con Na_2SO_4 mostraron valores de 1.100 a 1.900, abatiéndose considerablemente en el caso del MgSO_4 (0.300 a 1.900). Con los pesos más pobres se encontró a los tratamientos con Na_2CO_3 (0, 0.500 y 1.500 g).

PFR. Entre los cloruros se registraron pesos que variaron desde 0.875 a 1.300 (NaCl), 0.800 a 1.200 (CaCl_2) y 0.350 a 1.400 (MgCl_2). Entre los sulfatos, el de sodio generó pesos de 0.850 a 1.450 g, pero el de magnesio abatió sensiblemente la respuesta (0.255 a 1.450 g). En el tratamiento más diluido del Na_2CO_3 se encontró un peso de 1.100 g, y en los de mayor concentración de 0 y 0.500 g.

PFB. Entre los cloruros los pesos fluctuaron de 0.200 a 0.400 g (CaCl_2), 0.250 a 0.500 (MgCl_2) y 0.300 a 0.500 g (NaCl). En los tratamientos con Na_2SO_4 se observaron pesos de 0.225 a 0.550 g, y de 0.200 a 0.450 g en los

tratamientos con $MgSO_4$. Bajas concentraciones de Na_2CO_3 produjeron brotes de hasta 0.500 g, pero concentraciones mayores, sólo de 0.125 o 0.0 g.

PST. La variable fluctuó entre los cloruros de 0.125 a 0.300 ($CaCl_2$ y $NaCl$) y 0.250 a 0.350 ($MgCl_2$); entre los sulfatos, se registraron valores de 0.100 a 0.350 ($MgSO_4$) y 0.225 a 0.275 (Na_2SO_4). Los tratamientos con carbonatos rindieron pesos de 0.100 a 0.300 g.

PSR. Entre los cloruros las raíces pesaron de 0.100 a 0.250 g ($NaCl$), 0.125 a 0.250 ($CaCl_2$) y 0.150 a 0.300 g ($MgCl_2$). Ambos sulfatos desarrollaron raíces de aproximadamente el mismo peso: 0.100 a 0.250 g ($MgSO_4$) y 0.200 a 0.250 g (Na_2SO_4). En presencia de carbonatos las raíces tuvieron pesos de 0, 0.100 y 0.300 g.

PSB. El peso de brote osciló entre los 0.029 a 0.045 g ($NaCl$), 0.036 a 0.059 ($CaCl_2$) y 0.010 a 0.039 ($MgCl_2$). En el caso de los sulfatos, la variable presentó valores de 0.017 a 0.046 ($MgSO_4$) y 0.025 a 0.039 g (Na_2SO_4). Entre los tratamientos con carbonatos, los pesos fueron de 0.0 a 0.033 g.

Examinando el conjunto de gráficas correspondientes, se encontró que:

1. En sales de relación anión-catión 1:1, el PFT varió de 0.300 a 1.900 g y 1.200 a 1.650 g; PFR de 0.255 a 1.450 y 0.875 a 1.300; PFB de 0.200 a 0.450 g y 0.300 a 0.500 g. PST de 0.100 a 0.350 y 0.125 a 0.300; PSR de 0.100 a 0.250; PSB de 0.029 a 0.045 y 0.017 a 0.046 g.

En sales de relación 1:2, el PFT fluctuó entre 0.450 a 1.900 y 1.000 a 2.000 g; el PFR de 0.350 a 1.400 y 0.800 a 1.200 g; el PFB de 0.200 a 0.400 y 0.250 a 0.500 g; PST de 0.125 a 0.300 y 0.250 a 0.350; PSR de 0.125 a 0.250 y 0.150 a 0.300; PSB de 0.036 a 0.059 y 0.010 a 0.039 g.

Sales con relación anión-catión 2:1 tuvieron PFT de 0, 0.500 a 1.500 y 1.100 a 1.900; PFR de 0, 0.400 a 1.100 y 0.850 a 1.450; PFB de 0.125 a 0.500 y 0.225 a 0.550 g; PST de 0, 0.100 a 0.300 y 0.225 a 0.275; PSR de 0.125 a 0.500 y 0.200 a 0.250; PSB de 0.025 a 0.039 y 0.0 a 0.033 g.

2. De acuerdo a los valores de pesos frescos, el orden de perjuicio de los cationes es $Na^+ < Ca^{2+} < Mg^+$.

3. El efecto dañino de los aniones tiene un orden progresivo carbonatos > cloruros > sulfatos, pero es modificado en los últimos dos casos por el catión acompañante.

Por tratamiento de mezcla salina

Variedad V-107

Resulta desconcertante, con relación a las tendencias hasta aquí examinadas, el comportamiento -en lo referente a los pesos frescos- de la variedad entre las mezclas salinas: se observa un abatimiento de la respuesta a medida que se incrementa la concentración hasta llegar a un valor mínimo, aparentemente dependiente del tipo de mezcla, a partir del cual hay un repunte de la respuesta con el incremento de la conductividad (concentración).

En todas las salinidades el valor mínimo para los pesos frescos se localiza en el tratamiento de 4o orden de conductividad, a excepción de la sulfático-clorhídrica en la cual se localiza en el tratamiento de 2o. orden de conductividad (C.E.=3.93 dS/m).

Con respecto a los pesos secos, se observan dos tendencias: en las mezclas clorhídrica, clorhídrico-sulfática y sulfática se encontraron valores semejantes a pesar del incremento de la conductividad (concentración salina).

En la segunda tendencia, salinidad sulfático-clorhídrica y sulfático-sódica, se observa un abatimiento de la respuesta a medida que se incrementó la conductividad de los tratamientos, aunque existen excepciones

PFT. Siendo predominantes los cloruros, la variable fluctuó de 1.350 a 2.125 (relación $Cl^-/SO_4^{2-}=2.5$, salinidad clorhídrica) y de 0.750 a 2.100 g (relación 1.5, mezcla sulfático-clorhídrica); prevaleciendo los sulfatos, la respuesta fue de 0.900 a 1.700 g (relación=0.6, mezcla clorhídrico-sulfática) y 1.100 a 1.850 g (relación 0.15, salinidad sulfática). La presencia de carbonatos en mayor proporción, produjo pesos de 0.400 a 1.100 g.

PFR. Mezclas salinas con influencia de cloruros produjeron pesos de 1.050 a 1.800 g (salinidad clorhídrica) y 0.600 a 1.600 g (sulfático-clorhídrica). Donde prevalecen los sulfatos se observaron valores de 0.700 a 0.350 g (relación 0.6) o 0.875 a 1.400 g (relación 0.15). Con predominio de carbonatos la variable adquirió valores de 0.250 a 1.250 g.

PFB. En mezclas con preponderancia de cloruros se registraron pesos de 0.225 a 0.500 (relación 1.5) y 0.300 a 0.450 g (relación 2.5). Con mayor influencia de sulfatos en las mezclas, los pesos fluctuaron de 0.200 a 0.400, salinidad clorhídrico-sulfática, y 0.250 a 0.400 g en la sulfática. Fuerte influencia de carbonatos (relación $HCO_3^-/(Cl^- + SO_4^{2-})=2.0$) produjo pesos de 0.125 a 0.500 g.

PST. Mezclas con mayor presencia de cloruros mostraron valores de 0.250 a 0.300 g (relación 2.5) y 0.130 a 0.350 g (relación 1.5). Salinidades de relación $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}=0.6$ presentaron de 0.225 a 0.300 g mientras que las de relación=0.15 mostraron pesos de 0.200 a 0.300 g. En presencia de carbonatos (relación 2.0) se encontraron pesos de 0.125 a 0.325 g.

PSR. Las mezclas con mayor proporción de cloruros rindieron 0.125 a 0.250 g, relación 1.5, y 0.200 a 0.275 en la relación 2.5. En donde los sulfatos prevalecieron, se hallaron pesos de 0.175 a 0.250 g y 0.200 a 0.275 g. Predominando los carbonatos, la raíz presentó pesos de 0.100 a 0.250 g.

PSB. En las mezclas clorhídrica y sulfático-clorhídrica (relación 2.5 y 1.5, respectivamente) se hallaron valores de 0.025 a 0.045 y 0.027 a 0.051 g, en tanto que la clorhídrico-sulfática y sulfática (relación 0.15 y 0.6) los tuvieron de 0.030 a 0.039 y 0.017 a 0.048 g, respectivamente. Las mezclas ricas en carbonatos generaron plántulas con brotes de 0.020 a 0.038 g.

Por tratamiento de sales puras

Variedad VS-22

PFT. Los tratamientos con cloruros arrojaron pesos de 0.575 a 1.650 g en el MgCl_2 , 1.150 a 1.500 en el NaCl y 1.375 a 2.550 en el CaCl_2 . Los sulfatos produjeron plántulas con pesos de 0.900 a 1.550 g y 1.125 a 1.700 g en el Na_2SO_4 . Con los pesos más bajos, 0.350 a 1.100 g se halló a las plántulas tratadas con carbonatos.

PFR. Se observaron raíces con pesos de 0.500 a 1.300 g, en el MgCl_2 , 0.850 a 1.150 en el NaCl y 1.125 a 2.100 en el CaCl_2 . Pesos menores se registraron en los tratamientos con MgSO_4 (0.300 a 1.225 g) y Na_2SO_4 (0.875 a 1.350 g). Los pesos más bajos, 0.325 a 0.800 g, se registraron en los tratamientos con Na_2CO_3 .

PFB. Entre los cloruros se hallaron pesos de : 0.060 a 0.325 en el MgCl_2 , 0.300 a 0.450 g en el NaCl y 0.275 a 0.500 en el CaCl_2 . Las plántulas tratadas con Na_2SO_4 presentaron pesos de 0.225 a 0.375; en tratamientos con MgSO_4 se desarrollaron brotes de 0.200 a 0.300 g. Pequeños brotes, con pesos de 0.100 a 0.300 se registraron en presencia de Na_2CO_3 .

PST. Intenso efecto dañino ocasionó el MgCl_2 ya que generó pesos de 0.175 a 0.300 g, encontrándose mejores respuestas en el NaCl (0.200 a 0.250 g) y CaCl_2 (0.250 a 0.300 g). Los tratamientos con MgSO_4 y Na_2SO_4

presentaron pesos que fluctuaron entre los 0.150 a 0.275 y 0.200 a 0.275, respectivamente. En presencia del carbonato de sodio, los pesos estuvieron en un rango de entre 0.125 y 0.250 g

PSR. La respuesta varió entre los cloruros: 0.150 a 0.250 g, en el caso del $MgCl_2$, 0.175 a 0.225 g en el $NaCl$ y 0.200 a 0.250 g en el $CaCl_2$. En los tratamientos con Na_2SO_4 las raíces pesaron de 0.125 a 0.225 g; en los de $MgSO_4$, 0.175 a 0.250 g. Valores más bajos, 0.100 a 0.200 g, se observaron en las plántulas tratadas con Na_2CO_3 .

PSB. La variable osciló de los 0.023 a 0.099 g ($NaCl$), 0.016 a 0.057 g ($CaCl_2$), y 0.011 a 0.058 ($MgCl_2$) entre los cloruros; de 0.007 a 0.060 g ($MgSO_4$) y 0.028 a 0.056 (Na_2SO_4) entre los sulfatos. Los tratamientos con Na_2CO_3 generaron brotes con pesos de 0.0 a 0.070 g

Considerando al conjunto de gráficas, se tiene que:

1. En términos generales, los cationes afectaron al PFT siguiendo el orden $Ca^{2+} < Mg^{2+} < Na^+$; la intensidad del daño está modificada por el anión acompañante.
2. Los cationes afectan los pesos secos en el orden $Ca^{2+} < Mg^{2+} < Na^+$.
3. El anión más perjudicial para los pesos frescos es el CO_3^{2-} . Entre los sulfatos y cloruros, el efecto depende del catión acompañante.
4. En cuanto a los pesos secos, el orden de perjuicio causado por los aniones es: $Cl^- < SO_4^{2-} < CO_3^{2-}$. Entre los sulfatos, el efecto se relaciona al catión acompañante.
5. Entre las sales de relación anión-catión 1:1, se encontraron PFT de 0.900 a 1.550 g y 1.150 a 1.500 g; PFR de 0.300 a 1.225 y 0.850 a 1.150 g; PFB de 0.200 a 0.300 y 0.300 a 0.450 g. Se hallaron PST de 0.200 a 0.275 y 0.200 a 0.250 g; PSR de 0.175 a 0.250 y 0.175 a 0.225 g; PSB de 0.023 a 0.099 y 0.007 a 0.060 g
6. Entre las sales de relación anión-catión 1:2 los pesos frescos fueron. PFT de 0.575 a 1.650 y 1.375 a 2.550; PFR de 0.500 a 1.300 y 1.125 a 2.100; PFB de 0.060 a 0.325 y 0.275 a 0.500 g. Los pesos secos fluctuaron así: PST de 0.175 a 0.300 y 0.250 a 0.300 g; PSR de 0.150 a 0.250 y 0.200 a 0.250; PSB de 0.016 a 0.056 y 0.011 a 0.058 g

7. Las sales cuya relación es 2:1, presentaron: PFT de 0.350 a 1.100 y 1.125 a 1.700 g; PFR de 0.325 a 0.800 y 0.875 a 1.350 g; PFB de 0.100 a 0.300 y 0.225 a 0.375 g. PST de 0.125 a 0.250 y 0.150 a 0.275 g; PSR de 0.100 a 0.200 y 0.125 a 0.325; PSB de 0.028 a 0.056 y 0.0 a 0.070 g.

Por tratamiento de tipo de salinidad.

Variedad VS-22

PFT. Mezclas salinas con predominancia de cloruros presentaron pesos de 1.050 a 1.800 (relación 2.5, mezcla clorhídrica) y 1.300 a 2.225 (relación 1.5, salinidad sulfático-clorhídrica). Si en las mezclas fueron predominantes los sulfatos, el peso varió de 0.750 a 1.450 (relación 0.15, mezcla clorhídrico-sulfática) y 1.000 a 1.725 g (relación 0.6, mezcla sulfática). Con aparentemente los pesos más bajos, 0.825 a 1.275 g, se halló a las mezclas salinas con gran influencia de carbonatos.

PFR. Altas proporciones de Cl^- rindieron pesos de entre 0.875 a 1.450 (relación 2.5) y 1.050 a 1.850 g (relación 1.5). Cuando los sulfatos tienen mayor influencia, los pesos estuvieron entre los 0.625 a 1.100 (relación 0.15) y 0.850 a 1.400 (relación 0.15). Con predominancia del NaHCO_3 , los pesos variaron de 0.650 a 0.975 g.

PFB. Se observaron valores de 0.200 a 0.375 g en mezclas con relación anión-catiónica de 2.5 y de 0.250 a 0.400 g (relación de 1.5). En los tratamientos con fuerte influencia de sulfatos, los pesos se ubicaron en un rango de 0.125 a 0.375 g (relación 0.15) o 0.225 a 0.300 g (relación 0.6). Si la proporción de carbonatos es superior al resto de los aniones, se encontraron valores de 0.200 a 0.300 g.

PST. La variable fluctuó entre 0.175 a 0.280 g y 0.200 a 0.300 g en las mezclas con predominancia de cloruros (relación 2.5 y 1.5, respectivamente). En mezclas con proporción dominante de sulfatos se hallaron 0.225 a 0.300 g de PST (relación 0.6) y de 0.175 a 0.250 g (relación 0.15). Prevalciendo los carbonatos, la variable fluctuó de 0.150 a 0.325 g.

PSR. Mezclas con gran influencia de cloruros rindieron pesos de 0.150 a 0.275 (relación 2.5) y de 0.150 a 0.250 (relación 1.5). Con preponderancia de sulfatos, la variable fluctuó de 0.150 a 0.200 g (relación 0.15) y de 0.150 a 0.250 (relación 0.6). En los casos en que los carbonatos predominaron, la variable estuvo entre los 0.125 a 0.250 g.

PSB. Las mezclas ricas en cloruros presentaron brotes con pesos de 0.029 a 0.054 y 0.018 a 0.059 g (clorhídrica y sulfático-clorhídrica); en las que predominaron los sulfatos los brotes pesaron de 0.021 a 0.052 y 0.019 a 0.056 g (clorhídrico-sulfática y sulfática) y en la sulfático-sódica de 0.015 a 0.070 g.

La Prueba de Tukey indica que ambas variedades son estadísticamente iguales en lo referente al PFT y PFB, pero con respecto al PFR el cultivar VS-22 resultó significativamente diferente ($\alpha=0.05$), con un promedio de 1.027 g, al V-107 que tuvo un PFR de 0.956 g (Tabla I., Apéndice C).

El PFT fue menos afectado por el CaCl_2 , pero el daño se incrementó con los tratamientos de Na_2SO_4 , más intensamente con el NaCl , MgCl_2 y MgSO_4 , todos en la misma medida. Finalmente el Na_2CO_3 ejerció el mayor daño sobre la variable (Tabla II. y Cuadro 1., Apéndice C).

La mezcla salina menos dañina para el PFT fue la clorhídrica, incrementándose el efecto con la clorhídrico-sulfática, sulfático-clorhídrica y sulfática -estas dos en igual medida-, hasta la que generó el mayor abatimiento en la respuesta, la mezcla sulfático-sódica (Tabla II. y Cuadro 2., Apéndice C).

Adicionalmente, con base en los resultados de la Prueba de Tukey, se encontró que las variedades experimentan abatimientos del 32.5% o más en el PFT (Tabla III. y Cuadro 3., Apéndice C) a concentraciones iguales o superiores a 11.97 y 10.0 dS/m para el V-107 y VS-22, respectivamente

Todas las sales puras tuvieron el mismo efecto sobre el PFB, salvo el Na_2CO_3 que produjo los valores más bajos (Tabla II. y Cuadro 1., Apéndice C).

No se encontraron diferencias significativas entre los PFB producidos por las diferentes mezclas salinas probadas (Tabla II y Cuadro 2., Apéndice C).

Se detectaron reducciones menores al 30% del PFB (Tabla III. y Cuadro 3., Apéndice C) con conductividades de hasta 8.61 y 6.0 dS/m (V-107 y VS-22, respectivamente). Concentraciones salinas iguales o superiores a los 11.97 (V-107) y 10.0 dS/m (VS-22) intensifican el daño.

Sobre el PFR el efecto de las sales puras fue claramente diferenciable, resultando el CaCl_2 el menos dañino. En orden consecutivo del abatimiento que generaron siguen el Na_2SO_4 , MgSO_4 , MgCl_2 y NaCl (en el mismo nivel), y el Na_2CO_3 que de nueva cuenta resultó la sal más tóxica (Tabla II. y Cuadro 1., Apéndice C)

Las mezclas clorhídrica, clorhídrico-sulfática, sulfático-clorhídrica y sulfática (estas dos por igual), en ese orden, arrojaron PFR sucesivamente menores. Al igual que en las otras variables, la mezcla sulfático-sódica abatió dramáticamente la respuesta (Tabla II. y Cuadro 2., Apéndice C).

Conductividades iguales o superiores a 11.97 y 10.0 dS/m (para el V-107 y VS-22, respectivamente), produjeron reducciones mayores al 30% en el PFR (Tabla III. y Cuadro 3., Apéndice C).

Con respecto a los pesos secos, la Prueba de Tukey reveló que el efecto de las sales puras sobre el PST fue, en orden progresivo de daño: CaCl_2 , MgCl_2 y Na_2SO_4 (ambos en la misma medida), MgSO_4 , NaCl y Na_2CO_3 (Tabla II. y Cuadro 1., Apéndice C).

Así mismo, las diferencias significativas halladas con la Prueba de Tukey señalan que la intensidad del daño provocado por las mezclas salinas tiene el siguiente orden (de menor a mayor): clorhídrico-sulfática, clorhídrica y sulfática (al mismo nivel), sulfático-clorhídrica y, la más agresiva, sulfático-sódica (Tabla II. y Cuadro 2., Apéndice C).

La Tabla III. y Cuadro 3., Apéndice C, muestra que a conductividades de hasta 15.33 dS/m (V-107) y 10.0 dS/m (VS-22), se produjo un abatimiento del PST igual o menor al 29%.

No se encontraron diferencias significativas en el efecto del CaCl_2 , Na_2SO_4 , MgSO_4 y NaCl , pero resultaron sucesivamente más dañinos, en lo que al PSB se refiere, el MgCl_2 y el Na_2CO_3 (Tabla II. y Cuadro 1., Apéndice C).

Todas las mezclas salinas, ver Tabla II. y Cuadro 2., Apéndice C, tuvieron el mismo efecto, de acuerdo a los resultados de la Prueba de Tukey.

La mencionada Prueba indica que los cultivos experimentaron reducciones del 24.5% en el PSB a conductividades de hasta 8.61 (V-107) y 6.0 dS/m (VS-22). Concentraciones mayores, abatieron la respuesta en un 31% o más (Tabla III. y Cuadro 3., Apéndice C).

Referente al PSR, se hallaron diferencias significativas (Tabla II. y Cuadro 1., Apéndice C). entre el efecto de las sales puras, de tal manera que el daño ejercido por ellas, en orden creciente, fue: CaCl_2 , Na_2SO_4 , MgCl_2 , MgSO_4 , NaCl y Na_2CO_3 .

Las mezclas salinas abatieron la respuesta en el siguiente orden ascendente: clorhídrico-sulfática, sulfática, clorhídrica, sulfático-clorhídrica y sulfático-Sódica (Tabla II. y Cuadro 2., Apéndice C).

La Tabla III. y Cuadro 3., Apéndice C, muestra que conductividades de hasta 15.33 (V-107) y 10.0 dS/m (VS-22) generaron una reducción de 29% en el PSR.

Para redondear este capítulo hace falta mencionar el análisis de correlación. En el Apéndice D se puede apreciar que existe una interacción débil ($r=0.6695$) tratamiento-variedad, y de la conductividad (=C.E.) con la AB ($r=-0.5952$), AF ($r=-0.5564$) y LR ($r=-0.6800$). Estos valores resultan más bien bajos con respecto a lo esperado y sugieren que existe(n) otro(s) factor(es) no considerados (posiblemente la temperatura, a la cual se aludió en capítulos anteriores, así como el factor genético) que incidieron en dichas variables de respuesta.

También se encontró interacción moderada ($r=0.6876$ a 0.7898) del PFT con el PST, del PFB con el PFR y del PFR con el PST. Esto indica que: a) el agua contenida por las plántulas está considerablemente relacionada con la cantidad de CO_2 fijada (expresada en términos de PST) por ellas, b) que el agua contenida en las raíces se relaciona apreciablemente con el PST.

Interacciones de la misma magnitud ($r=0.6712$ a 0.7951) se hallaron entre el PFT con la AB, AF, NH, NR y LR; del PFB con AB, NR y LR, así como del PFR con AB, AF, NR y LR.

Nivel semejante de interacción ($r=0.7154$ a 0.8704) se encontró también entre la E y AB, AF, NH y LR; de la AB con AF, NH y LR; entre AF y NH y LR, al igual que del NH con LR. De los valores aquí apuntados se desprende que:

a) este resultado parece aproximarse a la suposición de que el establecimiento temprano ... estimula el crecimiento del follaje (Misra *et al.*, 1997) y resulta bastante significativo pues indica que la emergencia está relacionada con el vigor de las plántulas, considerado este en términos de AB, AF, NH y LR.

Así se puede esperar que entre más rápida sea la emergencia (por lo menos bajo las condiciones señaladas para este trabajo), más vigorosas serán las plántulas, posiblemente sean más tolerantes a la salinidad durante la etapa adulta y de mejor rendimiento. Esto requerirá probar ambas variedades en el campo, bajo condiciones de salinidad semejantes a las llevadas aquí.

b) que la AB está apreciablemente relacionada con el desarrollo del follaje (considerando superficie y número de hojas) y el de las raíces (especialmente con su longitud), y

c) que el desarrollo del follaje está considerablemente relacionado con el tamaño de las raíces.

Por último, se encontró una fuerte correlación ($r=0.8748$ a 0.9880) del PFT con el PFB y PFR, así como entre el PST y PSR, indicando que:

a) no obstante que el brote (su peso fresco) representa una pequeña parte del total de la masa vegetal- de un cuarto a un tercio- se relaciona estrechamente con el PFT;

b) la raíz, que representa del 66 al 75% del total de la masa vegetal, está muy relacionada con el vigor global de la planta, y

c) que el PSR es el componente más importante del PST.

IX. CONCLUSIONES

En base al análisis estadístico y bajo las condiciones experimentales indicadas se concluye que:

1 La variedad VS-22 presentó mayor tolerancia al estrés salino, ya que en 8 (E, AB, AF, NH, LR, PFR, PST y PSR) de las 12 variables de respuesta presentó diferencias significativas con respecto al V-107.

2. Tolerancia a la concentración salina

Concentraciones de 5.25 (V-107) y 4.0 dS/m (VS-22) redujeron en 9.2% a 30% las características estudiadas.

Las de 8.61 a 11.97 y 6.0 10.0 dS/m (V-107 y VS-22, respectivamente) abatieron en 57.5% la AB, 55% el AF y 50.8% la LR; el resto de las variables se redujo de 22.9% a 33.3%.

Concentraciones teóricas de 11.97 a 15.33 y 8.0 a 10.0 dS/m (V-107 y VS-22, respectivamente), abatieron significativamente el NH, PST y PSR.

3. Tolerancia a los tipos de salinidad

3.1 De las sales puras, el CaCl_2 ejerció el menor daño, sobre plántulas de 14 días de edad, mientras que el Na_2CO_3 fue la de mayor perjuicio sobre todas las variables de respuesta. El resto de las sales tienen efectos intermedios, pero inconsistentes.

3.1.1 El AF, NH, PFB y PSB presentaron el mismo nivel de significancia al estrés salino, mientras que la E, LR y PSR mostraron el espectro máximo de significancias (6 posibilidades). Por ello se considera que las cuatro primeras son inapropiadas y las tres últimas convenientes para diferenciar el efecto de las sales puras.

3.2 De las mezclas salinas, la clorhídrico-sulfática produjo el menor abatimiento de las variables de respuesta, en tanto que la sulfático-sódica resultó la más perjudicial. Las demás mezclas presentaron efectos intermedios, pero inconsistentes.

3.2.1 El PSR facilita la detección del efecto por mezclas salinas porque mostró el espectro máximo de niveles de significancia (5 posibles). El NH, NR, PFB y PSB la dificultan porque tuvieron el mismo nivel de significancia.

4. De acuerdo al análisis de correlación se encontró que bajo condiciones de estrés salino:

4.1 La interacción de la concentración salina con la AB ($r=-0.5952$), AF ($r=-0.5564$) y LR ($r=-0.6800$), indican que el abatimiento en la respuesta de estas variables se debe parcialmente a incrementos en aquélla.

4.2 El valor de la correlación ($r=0.7154$ a 0.8704) entre la E y el vigor de las plántulas, considerado este en términos de AB, AF, NH y LR, sugiere que entre más temprana sea la E, más vigorosas serán las plántulas y posiblemente mejores oportunidades tendrán de establecerse.

4.3 Los valores de r (0.8227 a 0.8704) sugieren que a) la AB está apreciablemente relacionada con el desarrollo del follaje (considerando AF y NH) y LR, b) el AF con NH y LR, c) y el NH con LR.

El PFR está parcialmente relacionado ($r=0.6714$ a 0.7930), con la AB, AF, NR y LR.

4.4 Los valores de r (0.7847 con el AF y 0.7193 con el NH) sugieren que el follaje se desarrolla paralelamente a LR.

4.5 El agua contenida en las plántulas está parcialmente relacionada ($r=0.6982$) con la cantidad de CO₂ fijada (expresada en términos de PST) por ellas.

4.6 El agua contenida en las raíces se relaciona parcialmente ($r=0.6876$) con el PST.

4.7 El desarrollo de la raíz, que representa del 66 al 75% del total de la masa vegetal está altamente relacionada ($r=0.9880$) con el vigor global de la planta, cuyo indicador es el PFT.

4.8 El valor de la correlación encontrado ($r=0.9728$) sugiere que el PSR es el componente más importante del PST.

X. BIBLIOGRAFIA

- Aceves N., E. 1979. El ensalitramiento de los suelos agrícolas. Chapingo, México. Colegio de Posgraduados.
- Ashraf, M. 1994. Breeding for salinity tolerance in plants. *Critical Rev. Plant Sciences*. 13: 17-42
- Ashraf, M., T. McNeilly y A. D. Bradshaw. 1987. Selection and heritability of tolerance to sodium chloride in four forage species. *Crop Sci*. 26: 232-234
- Ayers, A. D. 1951. Seed germination as affected by soil moisture and salinity. *Agron. J.* 44: 82-84
- Azaizeh, H., B. Gunse y E. Steudle. 1992. Effects of NaCl and CaCl₂ on water transport across root cells of maize (*Zea mays* L.) seedlings. *Plant Physiol*. 99: 886-894
- Bliss, R. D., K. A. Platt-Aloia y W. W. Thomson. 1984. Effects of salt on cell membranes of germinating seeds. *Cal. Agric.* 38: 24-25
- Davenport, R. J., R. J. Reid y F. A. Smith. 1997. Sodium-calcium interactions in two wheat species differing in salinity tolerance. *Physiol. Plant*. 99: 323-327
- Donahue, R. L., R. W. Miller y J. C. Shichena. 1977. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. México: Prentice-Hall Hispanoamericana.

- Escobar R., 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 Licenciatura. FES-Zaragoza, UNAM.
- Cheeseman, J. M. 1988. Mechanisms of salinity tolerance in plants. *Plant Physiol.* **87**: 547-550
- Flowers, T. J. y A. R. Yeo. 1986. Ion relations of plants under drought and salinity. *Aust. J. Plant Physiol.* **13**: 75-91
- Flowers, T. J. y A. R. Yeo. 1995. Breeding for salinity resistance in crop plants: where next? *Aust. J. Plant Physiol.* **22**: 875-884
- Francois, L. E., T. J. Donovan, D. Lorenz y E. V. Maas. 1989. Salinity effects on rye grain yield, quality, vegetative growth, and emergence. *Agron. J.* **81**: 707-712
- Frensch, J., R. Stelzer y E., Steudle. 1992. NaCl uptake in roots of *Zea mays* seedlings: comparison of root pressure probe and EDX data. *Ann. Bot.* **70**: 543-550
- González R., H., J. K. M. Roberts, W. R. Jordan y M. C. Drew. 1997. Growth, water relations, and accumulation of organic and inorganic solutes in roots of maize seedling during salt stress. *Plant Physiol.* **113**: 881-893.
- Grant, R. F. 1995. Salinity, water use and yield of maize: testing of the mathematical model ecosys. *Plant Soil.* **172**: 309-322
- Greenway, H. y R. Munns. 1980. Mechanisms of salt tolerance in non halophytes. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **31**: 149-190.
- Grieve, C. M. y E. V. Maas. 1988. Crop physiology and metabolism. *Crop Sci.* **28**: 659-665.
- Hajibagheri, M. A., A. r. Yeo, T. J. Flowers y J. C. Collins. 1989. Salinity resistance in *Zea mays*: fluxes of potassium, sodium and chloride, cytoplasmic concentrations and microsomal membrane lipids. *Plant, Cell Environ.* **12**: 753-757
- Hoorn, J. W. van. 1991. Development of soil salinity during germination and early seedling growth and its effect on several crops. *Agric. Water Manag.* **20**: 17-28.
- Jefferies, R. A. 1996. Evaluation of seedling selection for salinity tolerance in potato (*Solanum tuberosum* L.).

Euphytica 88: 207-213.

- Johanson, J. G. y J. M. Cheeseman. 1983. Uptake and distribution of sodium by corn seedlings I. Role of the mesocotyl in "sodium exclusion". *Plant Physiol.* 73: 153-158
- Katerji, N., J. W. van Hoorn, A. Hamdy, F. Karam y M. Mastrorilli. 1994. Effect of salinity on emergence and on water stress and early seedling growth of sunflower and maize. *Agric. Water Manag.* 26: 81-91.
- Kiesselbach, T. A. 1950. Progressive development and seasonal variations of the corn crop. *Nebraska Agric Exp. Sta. Res. Bul* 166
- Kingsbury, R. W. y E. Epstein. 1984. Selection for salt-resistant spring wheat. *Crop Sci.* 24: 310-315
- Kramer, P. J. 1963. Water stress and plant growth. *Agron. J.* 55: 31-35
- Lauchi, A. y E. Epstein. 1984. Mechanisms of salt tolerance in plants. *Cal. Agric.* 38: 18-20
- Lazof, D. y J. M. Cheeseman. 1986. Sodium transport and compartmentation in *Spergularia marina*: partial characterization of a functional symplasm. *Plant Physiol.* 81: 742-747
- López, A. G. 1986. Sequía en dos etapas fenológicas del trigo (*Triticum aestivum* L.) y sus efectos en el rendimiento. Tesis de Maestría. C. P.. Programa de Genética.
- Lynch, J., G. R. Cramer y A. Läuchli. 1987. Salinity reduces membrane-associated calcium in corn root protoplasts. *Plant Physiol.* 83: 390-394
- Maas, E. V. 1984 Crop tolerance. *Calif. Agric.* 38: 20-21
- Maas, E. V. y G. J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance: evaluation of existing data. *J. Irrig. and Drainage*, Div. Am. Soc. Civil Eng. 103: 187-198
- Maiti, R. K., L. E. Delgado A., S. Ibarra C., A. M. Ontiveros D., M. de la Rosa-Ibarra y H. de Leon C. 1996. Genotypic variability in maize cultivars (*Zea mays* L.) for resistance to drought and salinity at the seedling stage. *J. Plant Physiol.* 148: 741-744
- Marambe, B. y T. Ando. 1995. Physiological basis of salinity tolerance of sorghum seeds during germination. *J. Agron. Crop Sci.* 174: 291-296
- Marquez F., J. A. 1979. Estudio de la resistencia a sequía de 8 variedades de maíz (*Zea mays* L.) por el metodo de germinación de semillas en concentraciones molares de sacarosa. Tesis de Maestría. ITESM, Mex

- Martínez, C. A., A. Royo y R. Aragués. 1987. Tolerancia de la cebada (*Hordeum vulgare* L.) a la salinidad. Comunicaciones INIA, serie producción vegetal No 68. Madrid, España
- Misra, A. N., S. M. Sahu, I. Meera, P. Mohapatra, N. Das y M. Misra. 1997. Root growth of a salt susceptible and a salt resistant rice (*Oryza sativa* L.) during seedling establishment under NaCl salinity. *J. Agron. Crop Sci.* 178: 9-14
- Montgomery, E. G. 1911. Correlation studies of corn. Nebraska Agric. Exp. Sta. 24th. Ann. Rep 24: 109-159
- Munns, R. 1993. Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses. *Plant Cell and Environ.* 16: 15-24
- Munns, R. y A. Termaat. 1986. Whole-plant response to salinity. *Aust. J. Plant Physiol.* 13: 143-160.
- Muñoz O., A. 1975. Relaciones agua-planta bajo sequía, en varios sintéticos de maíz resistentes a sequía y heladas. Tesis Doctorado. C.P. Programa de Genética. Chapingo, Méx.
- Muñoz O., A., K. R. Stevenson, J. Ortíz C., G. W. Thurtell y A. Carballo C. 1983. Transpiración, fotosíntesis, eficiencia en uso de agua y potencial hídrico en maíces resistentes a sequía y a heladas. *Agrociencia* 51: 115-153
- Navejas J., J. 1995. Respuesta del frijol y maíz a la salinidad en las etapas fenológicas de germinación y vegetativa. Tesis de Maestría. C.P. Programa de Hidrociencias, Montecillos, Méx
- Neumann, P. M. 1993. Rapid and reversible modifications of extension capacity of cell walls in elongating maize leaf tissues responding to root addition and removal of NaCl. *Plant, Cell Environ.* 16: 1107-1114
- Neuman, P. M. 1995. The role of cell wall adjustment in plant resistance to water deficits. *Crop Sci.* 35: 1258-1266
- Neumann, P. M., H. Azaizeh y D. Leon. 1994. Hardening of root cell walls: a growth inhibitory response to salinity stress. *Plant Cell Environ.* 17: 303-309
- Neumann, P. M., E. van Volkenburgh, y R. E. Cleland. 1988. Salinity inhibits bean leaf expansion by reducing turgor not wall extensibility. *Plant Physiol.* 88: 233-237
- Ortega T., E. 1978. Química de suelos. Chapingo, México: UACH. Depto de suelos.
- Pasternak, D., M. Sagih, Y. DeMalach, Y. Keren y A. Shaffer. 1995. Irrigation with brackish water under desert

- conditions. XI. Salt tolerance in sweet-corn cultivars. *Agric. Water Manag.* **28**: 325-334
- Poljakoff-Mayber, A. 1975. Morphological and anatomical changes in plants as a response to salinity stress
En: Poljakoff-Mayber, A y J. Gale (Ed.): *Plants in saline environments*. Springer-Verlag, Berlin, Alemania, pp. 97-117
- Pruvot, G., J. Massimino, G. Peltier y P. Rey. 1996. Effects of low temperature, high salinity and exogenous ABA on the synthesis of two chloroplastic drought-induced proteins in *Solanum tuberosum*. *Physiol. Plant.* **97**: 123-131
- Reid, R. J. y F. A. Smith. 1992. Measurements of calcium fluxes in plants using ^{45}Ca . *Planta* **186**: 558-566
- Richards, R. A. 1992. Increasing salinity tolerance of grain crops. Is it worthwhile?. *Plant Soil* **146**: 89-98
- Richner, W., C. Kiel y P. Stamp. 1997. Is seedling root morphology predictive of seasonal accumulation of shoot dry matter in maize? *Crop Sci.* **37**: 1237-1241
- Ristic, Z, D. J. Gifford y D. D. Cass. 1991. Heat shock proteins in two lines of *Zea mays* L. that differ in drought and heat resistance. *Plant Physiol.* **97**: 1430-1434
- Rocha A., J. L. 1987. Crecimiento y desarrollo de dos variedades de maíz (*Zea mays* L.) sometidas a sequía en diferentes etapas fenológicas. Tesis de Maestría. C.P. Programa de Genética. Montecillos, Méx.
- Seeman, J. R. y C. Critchley. 1985. Effects of salt stress on the growth, ion content, stomatal behaviour and photosynthetic capacity of a salt sensitive species, *Phaseolus vulgaris* L. *Planta* **164**: 151-162
- Shalhevet, J, M. G. Huck y B. P. Schroeder. 1995. Root and shoot growth responses to salinity in maize and soybean. *Agron. J.* **87**: 512-516
- Shannon, M. C. y C. O. Qualset. 1984. Benefits and limitations in breeding salt-tolerant crops. *Cal. Agric.* **38**: 33-34
- Simane, B., J. M. Peacock y P. C. Struik. 1993. Differences in developmental plasticity and growth rate among drought-resistant and susceptible cultivars of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum). *Plant soil.* **157**: 155-166
- Terry, N. y L. J. Waldron. 1984. Salinity, photosynthesis, and leaf growth. *Calif. Agric.* **38**: 38-39
- Valdés G., J. A. 1976. Evaluación del método de selección de semillas de maíz (*Zea mays* L.) germinadas en

una solución de sacarosa, bajo condiciones de laboratorio y campo para la obtención de selecciones tolerantes a la sequía. Tesis de Maestría ITESM, Méx.

Vicencio de la R., M. G. 1990. Estudio de la resistencia a la salinidad en cultivos *in vitro* e *in vivo* de maíz (*Zea mays* L.) variedad Zacatecas 58. Tesis de Maestría. C. P. Programa de Genética, Montecillos, Méx.

Weerathaworn, P., A. Soldati y P. Stamp. 1992. Shoot and root growth of tropical maize seedlings at different moisture regimes. *Maydica* 37. 209-215

Zepeda C., A., G. Esparza y M. Rocha. 1987. Relaciones entre agua de riego, suelo y vid (*Vitis vinifera*) de un viñedo de Zacatecas. Chapingo, México: UACH.

Zidane, I., H. Azazeh y P. M. Neumann. 1990. Does salinity reduce growth in maize root epidermal cells by inhibiting their capacity for cell wall acidification? *Plant Physiol* 93. 7-11

APENDICE A

CONCENTRACION TEORICA POR SAL PURA
(NaCl, CaCl₂ 2H₂O, MgCl₂ 6H₂O, MgSO₄ 7H₂O, Na₂SO₄, Na₂CO₃)
VARIEDAD V-107

CUADRO No. 1

TRATAM.	PRODUCCION %	CONC. (meq/l)
C ₁	100.0	0.0
C ₂	100.0	18.9
C ₃	75.0	52.5
C ₄	50.0	86.1
C ₅	25.0	119.7
C ₆	0.0	153.3
C ₇	-50.0	220.5

CONCENTRACION TEORICA POR MEZCLA SALINA* (CLORHIDRICA, Cl⁻/SO₄⁼=2.5,
SULFATICO-CLORHIDRICA, Cl⁻/SO₄⁼=1.5, CLORHIDRICO-SULFATICA, Cl⁻/SO₄⁼=0.15,
SULFATICA, Cl⁻/SO₄⁼=0.6, Y SULFATICO-SODICA, HCO₃⁻/Cl⁻+SO₄⁼=2.0.
VARIEDAD V-107

CUADRO No. 2

TRATAM	PRODUCCION %	CONC (meq/l)
C ₁	100.0	0.0
C ₂	100.0	18.9
C ₃	75.0	52.5
C ₄	50.0	86.1
C ₅	25.0	119.7
C ₆	0.0	153.3
C ₇	-50.0	220.5

*La mezcla sulfatico-sodica se obtuvo mezclando MgSO₄ 7H₂O, Na₂SO₄ y NaHCO₃. El resto de las mezclas se obtuvo mezclando NaCl y MgSO₄ 7H₂O en las proporciones adecuadas.

CONCENTRACION TEORICA POR SAL PURA
(NaCl, CaCl₂·2H₂O, MgCl₂·6H₂O, MgSO₄·7H₂O, Na₂SO₄, Na₂CO₃)
VARIEDAD VS-22

CUADRO No. 3

TRATAM	PRODUCCION %	CONC (meq/l)
C ₁	100.0	0.0
C ₂	100.0	20.0
C ₃	75.0	40.0
C ₄	50.0	60.0
C ₅	25.0	80.0
C ₆	0.0	100.0
C ₇	-50.0	140.0

CONCENTRACION TEORICA POR MEZCLA SALINA* (CLORHIDRICA, Cl⁻/SO₄⁼=2.5,
SULFATICO-CLORHIDRICA, Cl⁻/SO₄⁼=1.5, CLORHIDRICO-SULFATICA, Cl⁻/SO₄⁼=0.15,
SULFATICA, Cl⁻/SO₄⁼=0.6, Y SULFATICO-SODICA, HCO₃⁻/Cl⁻+SO₄⁼=2.0.
VARIEDAD V-107

CUADRO No. 4

TRATAM	PRODUCCION %	CONC. (meq/l)
C ₁	100.0	0.0
C ₂	100.0	20.0
C ₃	75.0	40.0
C ₄	50.0	60.0
C ₅	25.0	80.0
C ₆	0.0	100.0
C ₇	-50.0	140.0

*La mezcla sulfatico-sodica se obtuvo mezclando MgSO₄·7H₂O, Na₂SO₄ y NaHCO₃. El resto de las mezclas se obtuvo mezclando NaCl y MgSO₄·7H₂O en las proporciones adecuadas.

APENDICE B

EFFECTO DE LA SALINIDAD EN LA GERMINACIÓN Y ESTADÍO DE
 PLANTULA DE DOS VARIEDADES DE MAÍZ (Zea mays, L.)
 RESISTENTES A SEQUIA
 CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (C.E. en dS/m) Y pH REALES
 DE LAS SOLUCIONES SALINAS APLICADAS

VARIEDAD	SAL o MEZCLA	CONC	C. E. (dS/m)	pH
V-107	NaCl	C ₁	0.024	7.0
V-107	NaCl	C ₂	1.90	6.3
V-107	NaCl	C ₃	4.64	6.3
V-107	NaCl	C ₄	7.03	6.4
V-107	NaCl	C ₅	9.16	6.0
V-107	NaCl	C ₆	11.42	6.4
V-107	NaCl	C ₇	14.96	6.3
V-107	CaCl ₂	C ₁	0.024	7.0
V-107	CaCl ₂	C ₂	1.74	5.9
V-107	CaCl ₂	C ₃	3.98	6.1
V-107	CaCl ₂	C ₄	6.01	5.4
V-107	CaCl ₂	C ₅	7.64	5.7
V-107	CaCl ₂	C ₆	9.15	-
V-107	CaCl ₂	C ₇	11.86	5.5
V-107	MgCl ₂	C ₁	0.024	7.0
V-107	MgCl ₂	C ₂	1.73	5.9
V-107	MgCl ₂	C ₃	3.97	5.8
V-107	MgCl ₂	C ₄	5.74	5.8
V-107	MgCl ₂	C ₅	7.63	6.8
V-107	MgCl ₂	C ₆	9.07	5.6
V-107	MgCl ₂	C ₇	11.65	5.1
V-107	MgSO ₄	C ₁	0.024	7.0
V-107	MgSO ₄	C ₂	1.36	5.6
V-107	MgSO ₄	C ₃	2.70	6.4
V-107	MgSO ₄	C ₄	3.55	6.0
V-107	MgSO ₄	C ₅	4.80	6.3
V-107	MgSO ₄	C ₆	5.69	6.1
V-107	MgSO ₄	C ₇	7.08	6.1
V-107	Na ₂ SO ₄	C ₁	0.024	7.0
V-107	Na ₂ SO ₄	C ₂	1.76	7.3
V-107	Na ₂ SO ₄	C ₃	4.00	6.6
V-107	Na ₂ SO ₄	C ₄	6.00	6.8
V-107	Na ₂ SO ₄	C ₅	7.80	7.1
V-107	Na ₂ SO ₄	C ₆	9.40	6.5
V-107	Na ₂ SO ₄	C ₇	11.93	7.1

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (C E. en dS/m) Y pH REALES
DE LAS SOLUCIONES SALINAS APLICADAS

VARIEDAD	SAL o MEZCLA	CONC	C. E (dS/m)	pH
V-107	Na ₂ CO ₃	C ₁	0.024	7.0
V-107	Na ₂ CO ₃	C ₂	1.82	10.4
V-107	Na ₂ CO ₃	C ₃	3.81	10.7
V-107	Na ₂ CO ₃	C ₄	5.75	10.7
V-107	Na ₂ CO ₃	C ₅	7.21	10.8
V-107	Na ₂ CO ₃	C ₆	8.48	10.9
V-107	Na ₂ CO ₃	C ₇	10.69	10.9
V-107	Clorhidrica	C ₁	0.024	7.0
V-107	Clorhidrica	C ₂	1.88	7.3
V-107	Clorhidrica	C ₃	4.25	6.2
V-107	Clorhidrica	C ₄	6.28	6.1
V-107	Clorhidrica	C ₅	8.17	5.9
V-107	Clorhidrica	C ₆	9.74	6.2
V-107	Clorhidrica	C ₇	12.64	5.8
V-107	Sulf.-Clorh.	C ₁	0.024	7.0
V-107	Sulf.-Clorh.	C ₂	1.79	6.2
V-107	Sulf.-Clorh.	C ₃	3.93	5.7
V-107	Sulf.-Clorh.	C ₄	5.80	6.1
V-107	Sulf.-Clorh.	C ₅	7.45	5.9
V-107	Sulf.-Clorh.	C ₆	8.87	6.0
V-107	Sulf.-Clorh.	C ₇	11.61	6.5
V-107	Clorh.-Sulf	C ₁	0.024	7.0
V-107	Clorh.-Sulf.	C ₂	1.62	6.3
V-107	Clorh.-Sulf.	C ₃	3.50	8.9
V-107	Clorh.-Sulf.	C ₄	5.15	6.1
V-107	Clorh.-Sulf.	C ₅	6.55	5.8
V-107	Clorh.-Sulf.	C ₆	7.89	5.6
V-107	Clorh.-Sulf.	C ₇	10.10	5.9
V-107	Sulfática	C ₁	0.024	7.0
V-107	Sulfática	C ₂	1.44	7.5
V-107	Sulfática	C ₃	2.97	6.4
V-107	Sulfática	C ₄	4.30	7.4
V-107	Sulfática	C ₅	5.42	7.8
V-107	Sulfática	C ₆	6.48	7.7
V-107	Sulfática	C ₇	8.50	8.0
V-107	Sulf.-Sodica	C ₁	0.024	7.0
V-107	Sulf.-Sodica	C ₂	1.26	8.2
V-107	Sulf.-Sodica	C ₃	2.80	9.1
V-107	Sulf.-Sódica	C ₄	4.35	9.0
V-107	Sulf.-Sodica	C ₅	5.54	9.2
V-107	Sulf.-Sodica	C ₆	6.68	8.2
V-107	Sulf.-Sodica	C ₇	9.51	9.0

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (C.E. en dS/m) Y pH REALES
DE LAS SOLUCIONES SALINAS APLICADAS

VARIEDAD	SAL o MEZCLA	CONC	C. E. (dS/m)	pH
VS-22	NaCl	C ₁	0.024	7.0
VS-22	NaCl	C ₂	1.95	6.9
VS-22	NaCl	C ₃	3.43	7.0
VS-22	NaCl	C ₄	5.08	8.1
VS-22	NaCl	C ₅	6.43	6.6
VS-22	NaCl	C ₆	7.80	6.6
VS-22	NaCl	C ₇	9.96	6.5
VS-22	CaCl ₂	C ₁	0.024	7.0
VS-22	CaCl ₂	C ₂	1.81	8.7
VS-22	CaCl ₂	C ₃	3.15	7.0
VS-22	CaCl ₂	C ₄	4.41	5.8
VS-22	CaCl ₂	C ₅	5.57	5.9
VS-22	CaCl ₂	C ₆	6.63	6.0
VS-22	CaCl ₂	C ₇	8.47	5.6
VS-22	MgCl ₂	C ₁	0.024	7.0
VS-22	MgCl ₂	C ₂	1.82	6.0
VS-22	MgCl ₂	C ₃	3.09	6.3
VS-22	MgCl ₂	C ₄	4.52	7.8
VS-22	MgCl ₂	C ₅	5.70	6.8
VS-22	MgCl ₂	C ₆	6.71	6.0
VS-22	MgCl ₂	C ₇	8.63	7.0
VS-22	MgSO ₄	C ₁	0.024	7.0
VS-22	MgSO ₄	C ₂	1.38	6.3
VS-22	MgSO ₄	C ₃	2.26	6.5
VS-22	MgSO ₄	C ₄	2.84	5.9
VS-22	MgSO ₄	C ₅	3.85	6.8
VS-22	MgSO ₄	C ₆	4.44	7.5
VS-22	MgSO ₄	C ₇	5.48	6.4
VS-22	Na ₂ SO ₄	C ₁	0.024	7.0
VS-22	Na ₂ SO ₄	C ₂	1.87	7.1
VS-22	Na ₂ SO ₄	C ₃	3.30	8.0
VS-22	Na ₂ SO ₄	C ₄	4.69	7.2
VS-22	Na ₂ SO ₄	C ₅	5.86	7.2
VS-22	Na ₂ SO ₄	C ₆	6.98	7.1
VS-22	Na ₂ SO ₄	C ₇	8.91	8.1

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (C.E. en dS/m) Y pH REALES
DE LAS SOLUCIONES SALINAS APLICADAS

VARIEDAD	SAL o MEZCLA	CONC	C. E. (dS/m)	pH
VS-22	Na ₂ CO ₃	C ₁	0.024	7.0
VS-22	Na ₂ CO ₃	C ₂	1.82	9.6
VS-22	Na ₂ CO ₃	C ₃	3.16	10.0
VS-22	Na ₂ CO ₃	C ₄	4.46	10.6
VS-22	Na ₂ CO ₃	C ₅	5.65	10.3
VS-22	Na ₂ CO ₃	C ₆	6.63	10.0
VS-22	Na ₂ CO ₃	C ₇	8.52	10.3
VS-22	Clorhidrica	C ₁	0.025	7.0
VS-22	Clorhidrica	C ₂	2.16	8.0
VS-22	Clorhidrica	C ₃	3.74	7.1
VS-22	Clorhidrica	C ₄	5.23	6.6
VS-22	Clorhidrica	C ₅	6.48	6.4
VS-22	Clorhidrica	C ₆	7.94	6.4
VS-22	Clorhidrica	C ₇	10.34	6.4
VS-22	Clorh.-Sulf.	C ₁	0.024	7.0
VS-22	Clorh.-Sulf.	C ₂	0.80	-
VS-22	Clorh.-Sulf.	C ₃	3.10	7.7
VS-22	Clorh.-Sulf.	C ₄	4.40	8.2
VS-22	Clorh.-Sulf.	C ₅	5.49	6.4
VS-22	Clorh.-Sulf.	C ₆	6.55	6.4
VS-22	Clorh.-Sulf.	C ₇	8.45	6.1
VS-22	Sulf.-Clorh.	C ₁	0.024	7.0
VS-22	Sulf.-Clorh.	C ₂	2.09	6.7
VS-22	Sulf.-Clorh.	C ₃	3.61	8.4
VS-22	Sulf.-Clorh.	C ₄	5.03	9.0
VS-22	Sulf.-Clorh.	C ₅	6.33	8.6
VS-22	Sulf.-Clorh.	C ₆	7.52	6.9
VS-22	Sulf.-Clorh.	C ₇	9.61	6.4
VS-22	Sulfática	C ₁	0.024	7.0
VS-22	Sulfática	C ₂	1.66	6.9
VS-22	Sulfática	C ₃	2.63	8.0
VS-22	Sulfática	C ₄	3.66	8.4
VS-22	Sulfática	C ₅	4.51	6.6
VS-22	Sulfática	C ₆	5.65	-
VS-22	Sulfática	C ₇	6.79	6.4
VS-22	Sulf.-Sodica	C ₁	0.024	7.0
VS-22	Sulf.-Sodica	C ₂	1.38	8.6
VS-22	Sulf.-Sodica	C ₃	2.45	9.0
VS-22	Sulf.-Sodica	C ₄	3.46	9.0
VS-22	Sulf.-Sodica	C ₅	4.40	9.0
VS-22	Sulf.-Sodica	C ₆	5.30	8.9
VS-22	Sulf.-Sodica	C ₇	6.76	9.0

APENDICE C

TABLA I COMPARACION DE MEDIAS POR PRUEBA DE TUKEY ($\alpha=0.05$)
ENTRE VARIETADES

VARIEDAD	VARIABLES MEDIDAS											
	E	AB	AF	NH	NR	LR	PFT	PFB	PFR	PST	PSB	PSR
VS-22	72.12 a	53.40 a	407.40 a	1.60 a	8.20 a	9.76 a	1.30 a	0.2742 a	1.0266 a	0.2379 a	0.0394 a	0.2042 a
V-107	39.44 b	33.48 b	219.91 b	0.99 b	8.10 a	7.18 b	1.23 a	0.2799 a	0.9561 b	0.2139 b	0.0372 a	0.1767 b

TABLA II. COMPARACION DE MEDIAS POR PRUEBA DE TUKEY ($\alpha=0.05$)
ENTRE SALES PURAS Y SALINIDADES

	VARIABLES MEDIDAS											
	E	AB	AF	NH	NR	LR	PFT	PFB	PFR	PST	PSB	PSR
NaCl	42.78 d	40.68 bc	283.44 bc	1.18 a	7.75 b	8.46 def	1.21 cd	0.3233 a	0.8836 e	0.2058 c	0.0393 a	0.1865 d
CaCl ₂	67.22 ab	55.41 a	432.69 a	1.46 a	10.61 a	11.57 a	1.71 a	0.3208 a	1.3919 a	0.2538 ab	0.0414 a	0.2123 abc
MgCl ₂	54.44 bcd	43.25 bc	307.20 bc	1.24 a	6.89 b	6.50 g	1.14 cd	0.2722 a	0.8739 e	0.2272 abc	0.0331 ab	0.1941 bcd
MgSO ₄	71.87 a	42.24 bc	283.97 bc	1.22 a	8.61 ab	6.95 gf	1.18 cd	0.2594 a	0.9211 de	0.2170 bc	0.0363 a	0.1792 cd
Na ₂ SO ₄	63.33 abc	49.03 abc	292.33 bc	1.50 a	8.14 ab	10.34 abc	1.43 abc	0.2963 a	1.1275 abcd	0.2368 abc	0.0381 a	0.1986 abcd
Na ₂ CO ₃	18.33 e	14.81 d	36.16 d	0.19 b	3.92 c	2.54 h	0.52 e	0.1036 b	0.4186 f	0.1082 d	0.0189 b	0.0804 e
Clorh	56.94 abcd	51.09 abc	304.91 bc	1.24 a	8.22 ab	10.97 ab	1.61 a	0.3336 a	1.2806 ab	0.2531 ab	0.0375 a	0.2157 abc
Sulf-Clorh	56.94 abcd	43.16 bc	321.30 abc	1.38 a	7.87 b	9.32 bcd	1.26 bcd	0.2622 a	0.9944 cde	0.2328 abc	0.0345 a	0.1982 abcd
Clorh-Sulf	68.61 ab	52.32 ab	386.50 ab	1.42 a	9.06 ab	10.83 ab	1.52 ab	0.3083 a	1.2083 abc	0.2709 a	0.0371 a	0.2339 a
Sulfatica	65.28 ab	46.81 abc	326.45 ab	1.42 a	9.22 ab	8.67 cde	1.27 bcd	0.2889 a	0.9881 cde	0.2617 ab	0.0368 a	0.2250 ab
Sulf-Sod	48.06 cd	39.25 c	241.23 c	1.22 a	8.28 ab	7.03 efg	1.09 d	0.2792 a	0.8167 e	0.2169 bc	0.0359 a	0.1811 cd

Cuadro 1 INTENSIDAD DEL DAÑO PROVOCADO POR LAS SALES PURAS*

INTENS	VARIABLES DE RESPUESTA												
	E	AB	AF	NH	NR	LR	PFT	PFB	PFR	PST	PSB	PSR	
1	MgSO ₄	CaCl ₂	CaCl ₂	MgCl ₂ MgSO ₄ Na ₂ SO ₄ CaCl ₂ NaCl	CaCl ₂	CaCl ₂	CaCl ₂	MgCl ₂ MgSO ₄ Na ₂ SO ₄ CaCl ₂ NaCl	CaCl ₂	CaCl ₂	CaCl ₂ MgSO ₄ Na ₂ SO ₄ NaCl	CaCl ₂	
2	CaCl ₂	Na ₂ SO ₄	MgCl ₂ MgSO ₄ Na ₂ SO ₄ NaCl	Na ₂ CO ₃	MgCl ₂ NaCl	Na ₂ SO ₄	Na ₂ SO ₄	Na ₂ CO ₃ Na ₂ SO ₄	Na ₂ SO ₄	MgCl ₂ Na ₂ SO ₄	MgCl ₂	Na ₂ SO ₄	
3	Na ₂ SO ₄	MgCl ₂ MgSO ₄ NaCl	Na ₂ CO ₃	MgSO ₄ Na ₂ SO ₄	NaCl	NaCl	MgCl ₂ MgSO ₄ NaCl		MgSO ₄	MgSO ₄	Na ₂ CO ₃	MgCl ₂	
4	MgCl ₂	Na ₂ CO ₃		Na ₂ CO ₃	Na ₂ CO ₃ MgSO ₄	MgSO ₄	Na ₂ CO ₃		MgSO ₄ NaCl	NaCl		MgSO ₄	
5	NaCl												

*En base a los resultados de la Prueba de Tukey (α=0.05).

A MAYOR MAGNITUD DEL NUMERO, MAYOR INTENSIDAD DEL DAÑO

VARIABLE	INTENSIDAD		
	1	2	3
E	Clorhidrico-Sulfatica Sulfatica	Clorhidrica Sulfatico-clorhidrica	Sulfatico-Sodica
AB	Clorhidrico-Sulfatica	Clorhidrica Sulfatica	Sulfatico-Clorhidrica
AF	Clorhidrico-Sulfatica Sulfatica	Sulfatico-Clorhidrica Sulfatica	Clorhidrica
NH	Clorhidrica Clorhidrico-Sulfatica Sulfatica		
NR	Sulfatico-Clorhidrica Sulfatico-Sodica Clorhidrico sulfatica	Sulfatico-clorhidrica	
LR	Clorhidrica Clorhidrico-Sulfatica	Sulfatico-Clorhidrica	Sulfatico-Sulfatica
PFT	Clorhidrica	Clorhidrico sulfatica	Sulfatico-Clorhidrica Sulfatica
PFB	Clorhidrica Clorhidrico-Sulfatica Sulfatica		
PFR	Sulfatico-Sodica Clorhidrica	Clorhidrica-Sulfatica	Sulfatico-Sodica Sulfatica
PST	Clorhidrico-Sulfatica	Clorhidrica Sulfatica	Sulfatico-Clorhidrica
PSB	Clorhidrica Clorhidrico-Sulfatica Sulfatica		
PSR	Sulfatico-Clorhidrica Sulfatico-Sodica Clorhidrico-Sulfatica	Sulfatica	Sulfatico-Clorhidrica

*En base a los resultados de la Prueba de Tukey (α=0.05)

A MAYOR MAGNITUD DEL NUMERO, MAYOR INTENSIDAD DEL DAÑO

TABLA III. COMPARACION DE MEDIAS POR PRUEBA DE TUKEY ($\alpha=0.05$)
ENTRE CONCENTRACIONES SALINAS

CONC.	VARIABLES MEDIDAS											
	E	AB	AF	NH	NR	LR	PFT	PFB	PFR	PST	PSB	PSR
2	76.21 a	67.98 a	505.40 a	1.70 a	8.79 a	13.94 a	1.69 a	0.3733 a	1.3229 a	0.2790 a	0.0469 a	0.2321 a
3	65.30 b	55.70 b	394.25 b	1.51 ab	8.74 a	10.62 b	1.42 b	0.3177 ab	1.0992 b	0.2515 ab	0.0407 ab	0.2108 ab
4	58.18 bc	42.59 c	311.53 c	1.30 bc	8.18 a	8.58 c	1.29 bc	0.2897 bc	0.9970 bc	0.2366 bc	0.0354 bc	0.2012 bc
5	51.21 c	39.07 c	276.01 cd	1.25 bc	7.92 a	7.06 d	1.14 cd	0.2549 cd	0.8818 cd	0.2102 cd	0.0324 bc	0.1790 cd
6	48.64 c	34.73 c	215.98 d	1.06 cd	7.92 a	5.90 e	1.07 d	0.2289 da	0.8467 cd	0.1974 d	0.0304 c	0.1649 d
7	35.15 d	20.68 d	135.46 e	0.80 d	7.35 a	4.70 f	1.00 d	0.1973 e	0.8005 d	0.1809 d	0.0262 c	0.1547 d

Cuadro 3. INTENSIDAD DEL DAÑO PROVOCADO POR LA CONCENTRACION SALINA*

INTENS	VARIABLES DE RESPUESTA											
	E	AB	AF	NH	NR	LR	PFT	PFB	PFR	PST	PSB	PSR
1	C ₂	C ₂	C ₂	C ₂	C ₂ C ₃ C ₄ C ₅ C ₆ C ₇	C ₂	C ₂					
2	C ₂	C ₃	C ₃	C ₃	C ₃	C ₃	C ₃	C ₃	C ₃	C ₃	C ₃	C ₃
3	C ₄	C ₄ C ₅ C ₆	C ₄	C ₄ C ₅	C ₄	C ₄	C ₄	C ₄	C ₄	C ₄	C ₄ C ₅	C ₄
4	C ₄ C ₅	C ₄ C ₅	C ₄ C ₅	C ₄ C ₅	C ₄	C ₄	C ₄	C ₄	C ₄	C ₄	C ₄ C ₅	C ₄
5	C ₇	C ₇	C ₇	C ₇	C ₇	C ₇	C ₇	C ₇	C ₇	C ₇	C ₇	C ₇

*En base a los resultados de la Prueba de Tukey (α=0.05)

A MAYOR MAGNITUD DEL NUMERO, MAYOR INTENSIDAD DEL DAÑO

APENDICE D

RESULTADOS DEL ANALISIS DE CORRELACION

Variable	N	Mean	Std Dev	Sum	Minimum	Maximum
VAR	462	1.5	0.50054	693	1	2
SAL	462	6	3.16571	2772	1	11
CONC	462	4	2.00217	1848	1	7
REPET	462	2	0.81738	924	1	3
TRAT	462	76.07143	42.40402	35145	1	134
CE	462	4.77206	3.34507	2204.691	0.024	14.96
Y1	462	58.76623	33.26084	27150	0	100
Y2	462	47.01392	27.24192	21720	0	127
Y3	430	339.19881	237.4636	145855	0	1310.85
Y4	430	1.34737	0.71317	579.37	0	3
Y5	462	8.29437	3.67142	3832	0	22
Y6	462	9.2874	5.05641	4290.78	0	23.64
Y7	462	1.32476	0.57097	612.04	0	3.29
Y8	462	0.28853	0.14304	133.3	0	1.13
Y9	462	1.03682	0.45142	479.01	0	2.88
Y10	462	0.2323	0.08392	107.323	0	0.4
Y11	462	0.03655	0.02124	16.887	0	0.21
Y12	462	0.19578	0.07241	90.451	0	0.382

VAR=variedad; SAL=sal pura o mezcla salina; CONC=concentración salina; REPET=repeticón;
 TRAT=tratamiento; C.E.=conductividad eléctrica; Y₁= E; Y₂= AB; Y₃= AF; Y₄= NH; Y₅= NR; Y₆= LR;
 Y₇= PFT; Y₈= PFB; Y₉=PFR; Y₁₀= PST; Y₁₁= PSB; Y₁₂=PSR.

RESULTADOS DEL ANALISIS DE CORRELACION

	VAR	SAL	CONC	REPET	TRAT	CE
VAR	1	0	0	0	0.66946	-0.16478
	0	1	1	1	0.0001	0.0004
	462	462	462	462	462	462
SAL	0	1	0	0	0.38394	-0.1025
	1	0	1	1	0.0001	0.0276
	462	462	462	462	462	462
CONC	0	0	1	0	-0.30944	0.92784
	1	1	0	1	0.0001	0.0001
	462	462	462	462	462	462
REPET	0	0	0	1	0	0
	1	1	1	0	1	1
	462	462	462	462	462	462
TRAT	0.66946	0.38394	-0.30944	0	1	-0.46834
	0.0001	0.0001	0.0001	1	0	0.0001
	462	462	462	462	462	462
CE	-0.16478	-0.1025	0.92784	0	-0.46834	1
	0.0004	0.0276	0.0001	1	0.0001	0
	462	462	462	462	462	462

	VAR	SAL	CONC	REPET	TRAT	CE
Y1	0.49186	0.03523	-0.41662	0.02314	0.44804	-0.50518
	0.0001	0.45	0.0001	0.6198	0.0001	0.0001
	462	462	462	462	462	462
Y2	0.34844	0.00715	-0.59516	-0.00174	0.3995	-0.59884
	0.0001	0.8782	0.0001	0.9702	0.0001	0.0001
	462	462	462	462	462	462
Y3	0.39734	-0.01179	-0.55639	-0.00907	0.41155	-0.56162
	0.0001	0.8073	0.0001	0.8512	0.0001	0.0001
	430	430	430	430	430	430
Y4	0.41369	0.03469	-0.4509	-0.04213	0.42141	-0.48391
	0.0001	0.473	0.0001	0.3835	0.0001	0.0001
	430	430	430	430	430	430
Y5	0.01298	0.01661	-0.15493	0.00217	0.06165	-0.1675
	0.7807	0.7218	0.0008	0.9629	0.1859	0.0003
	462	462	462	462	462	462
Y6	0.24937	0.03774	-0.68004	-0.00135	0.36919	-0.63775
	0.0001	0.4183	0.0001	0.9769	0.0001	0.0001
	462	462	462	462	462	462

VAR=vanedad, SAL=sal pura o mezcla salina, CONC=concentración salina; REPET=repeticón,
 TRAT=tratamiento; C.E.=conductividad eléctrica, Y₁= E; Y₂= AB, Y₃= AF; Y₄= NH; Y₅= NR, Y₆= LR,
 Y₇= PFT; Y₈= PFB; Y₉=PFR; Y₁₀= PST; Y₁₁= PSB; Y₁₂=PSR.

RESULTADOS DEL ANALISIS DE CORRELACION

	VAR	SAL	CONC	REPET	TRAT	CE
Y7	0.05708 0.2208 462	-0.02397 0.6074 462	-0.44263 0.0001 462	-0.0211 0.651 462	0.1439 0.0019 462	-0.3895 0.0001 462
Y8	-0.0203 0.6634 462	-0.03291 0.4804 462	-0.41696 0.0001 462	-0.00686 0.883 462	0.06704 0.1503 462	-0.35795 0.0001 462
Y9	0.07848 0.092 462	-0.01976 0.6718 462	-0.42731 0.0001 462	-0.02463 0.5974 462	0.16024 0.0005 462	-0.37869 0.0001 462
Y10	0.12676 0.0064 462	0.11091 0.0171 462	-0.40383 0.0001 462	-0.045 0.3345 462	0.22028 0.0001 462	-0.40412 0.0001 462
Y11	-0.08517 0.0674 462	-0.018 0.6996 462	-0.30966 0.0001 462	-0.00974 0.8346 462	-0.00762 0.8669 462	-0.25357 0.0001 462
Y12	0.16844 0.0003 462	0.13305 0.0042 462	-0.36063 0.0001 462	-0.05303 0.2553 462	0.25973 0.0001 462	-0.39603 0.0001 462

	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
Y1	1 0 462	0.7454 0.0001 462	0.76241 0.0001 430	0.7521 0.0001 430	0.45311 0.0001 462	0.71535 0.0001 462
Y2	0.7454 0.0001 462	1 0 462	0.8704 0.0001 430	0.8249 0.0001 430	0.47854 0.0001 462	0.82267 0.0001 462
Y3	0.76241 0.0001 430	0.8704 0.0001 430	1 0 430	0.85063 0.0001 430	0.44618 0.0001 430	0.78471 0.0001 430
Y4	0.7521 0.0001 430	0.8249 0.0001 430	0.85063 0.0001 430	1 0 430	0.51962 0.0001 430	0.71928 0.0001 430
Y5	0.45311 0.0001 462	0.47854 0.0001 462	0.44618 0.0001 430	0.51962 0.0001 430	1 0 462	0.46931 0.0001 462
Y6	0.71535 0.0001 462	0.82267 0.0001 462	0.78471 0.0001 430	0.71928 0.0001 430	0.46931 0.0001 462	1 0 462

VAR=variedad; SAL=sal pura o mezcla salina; CONC=concentración salina; REPET=repeticón,
 TRAT=tratamiento; C.E.=conductividad eléctrica; Y₁= E; Y₂= AB; Y₃= AF; Y₄= NH; Y₅= NR; Y₆= LR;
 Y₇= PFT; Y₈= PFB; Y₉= PFR; Y₁₀= PST; Y₁₁= PSB; Y₁₂=PSR

RESULTADOS DEL ANALISIS DE CORRELACION

	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
Y7	0.57732 0.0001 462	0.72769 0.0001 462	0.68756 0.0001 430	0.6794 0.0001 430	0.73356 0.0001 462	0.79512 0.0001 462
Y8	0.48707 0.0001 462	0.67122 0.0001 462	0.61983 0.0001 430	0.63069 0.0001 430	0.69844 0.0001 462	0.67135 0.0001 462
Y9	0.57489 0.0001 462	0.70737 0.0001 462	0.67136 0.0001 430	0.65771 0.0001 430	0.70627 0.0001 462	0.79296 0.0001 462
Y10	0.49092 0.0001 462	0.60956 0.0001 462	0.52372 0.0001 430	0.53789 0.0001 430	0.52026 0.0001 462	0.64787 0.0001 462
Y11	0.34117 0.0001 462	0.50577 0.0001 462	0.45163 0.0001 430	0.45156 0.0001 430	0.48527 0.0001 462	0.46353 0.0001 462
Y12	0.46752 0.0001 462	0.55818 0.0001 462	0.46939 0.0001 430	0.48678 0.0001 430	0.48973 0.0001 462	0.61677 0.0001 462

	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12
Y7	1 0 462	0.87481 0.0001 462	0.98802 0.0001 462	0.69823 0.0001 462	0.61057 0.0001 462	0.63099 0.0001 462
Y8	0.87481 0.0001 462	1 0 462	0.78976 0.0001 462	0.61775 0.0001 462	0.65041 0.0001 462	0.52528 0.0001 462
Y9	0.98802 0.0001 462	0.78976 0.0001 462	1 0 462	0.68756 0.0001 462	0.56563 0.0001 462	0.63199 0.0001 462
Y10	0.69823 0.0001 462	0.61775 0.0001 462	0.68756 0.0001 462	1 0 462	0.63331 0.0001 462	0.97276 0.0001 462
Y11	0.61057 0.0001 462	0.65041 0.0001 462	0.56563 0.0001 462	0.63331 0.0001 462	1 0 462	0.44112 0.0001 462
Y12	0.63099 0.0001 462	0.52528 0.0001 462	0.63199 0.0001 462	0.97276 0.0001 462	0.44112 0.0001 462	1 0 462

VAR=variedad; SAL=sal pura o mezcla salina; CONC=concentración salina, REPET=repeticón;
 TRAT=tratamiento, C.E.=conductividad eléctrica, Y₇= E; Y₈= AB; Y₉= AF; Y₁₀= NH; Y₁₁= NR; Y₁₂= LR,
 Y₇= PFT; Y₈= PFB; Y₉=PFR; Y₁₀= PST; Y₁₁= PSB; Y₁₂=PSR.