



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN
EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO
EDAFOLOGÍA**

**RESPUESTAS AGRONÓMICAS Y FISIOLÓGICAS
DEL PEPINO A DIFERENTES CONCENTRACIONES
DE CLORURO DE SODIO**

SOLEDAD GARCÍA MORALES

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2007

La presente tesis titulada: **“RESPUESTAS AGRONÓMICAS Y FISIOLÓGICAS DEL PEPINO A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE CLORURO DE SODIO”**, realizada por la alumna: Soledad García Morales bajo la dirección del consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS
EDAFOLOGÍA**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERA: _____
DRA. LIBIA IRIS TREJO-TÉLLEZ

ASESOR: _____
DR. DAVID ESPINOSA VICTORIA

ASESOR: _____
DR. FERNANDO C. GÓMEZ MERINO

Montecillo, Texcoco, Edo. de México, julio del 2007

CONTENIDO GENERAL

	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1. Problemática mundial y nacional de la salinidad	2
2.2. Diversidad genética a la tolerancia a sales en plantas	3
2.3. Genética y fisiología de la tolerancia al estrés en las plantas	5
2.4. Movimiento de la sal a través de la planta	8
2.5. Mecanismos celulares de sobrevivencia al estrés salino	9
2.5.1 Osmolitos y osmoprotectantes	12
2.5.2. Homeostasis iónica: Determinantes del transporte y su regulación	13
2.5.3. Sistemas de transporte iónico que media la homeostasis de Na ⁺	13
2.5.3.1. Bomba de protones (H ⁺)	13
2.5.3.2. Eflujo e Influjo de Na ⁺ a través del plasmalema	15
2.5.3.3. Transporte de Na ⁺ y Cl ⁻ a través del plasmalema	16
2.5.3.4. Compartimentalización vacuolar de Na ⁺ y Cl ⁻	17
2.5.3.5. Señalización de Ca ²⁺ y la activación de la ruta de traducción de señales sensible al exceso de salinidad (SOS)	18
2.6. Alteraciones fisiológicas, bioquímicas y agronómicas en plantas ocasionadas por altas concentraciones de Na ⁺	21
2.7. El cultivo del pepino	22
2.7.1. Importancia del pepino	22
2.7.2. Generalidades del cultivo	22
2.8. Conclusiones de la revisión de literatura	23

III. OBJETIVOS	25
3.1. General	25
3.2 Particulares	25
IV. HIPÓTESIS	26
4.1 General	26
4.2. Particulares	26
V. MATERIALES Y MÉTODOS	27
5.1. Ubicación del experimento y condiciones experimentales	27
5.2. Material vegetal	27
5.3. Diseño de tratamientos	28
5.4. Diseño experimental	29
5.5. Instalación del experimento	30
5.5.1. Construcción de parcelas grandes	30
5.5.2. Sustrato	30
5.5.3. Siembra	30
5.5.4. Riego	31
5.5.5. Tutorado	31
5.6. Medición de variables	31
5.6.1. Variables agronómicas	31
5.6.2. Variables fisiológicas	34
5.7. Análisis estadístico	36
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
6.1. Parámetros agronómicos	37
6.1.1. Altura de planta.....	37
6.1.2. Diámetro de tallo	39
6.1.3. Número de hojas y flores por planta	42
6.1.4. Rendimiento.....	44
6.1.5. Diámetro y longitud individual de fruto.....	46
6.1.6. Coloración del fruto.....	50
6.1.7. Uniformidad del fruto.....	53
6.1.8. Firmeza del fruto.....	55

6.1.9. pH del jugo de fruto.....	55
6.1.10. Conductividad eléctrica del jugo del fruto	56
6.1.11. Acidez titulable del jugo del fruto	57
6.1.12. Concentración de sólidos solubles totales (°Brix)	58
6.1.13. Biomasa fresca y seca de vástago y raíz	59
6.2. Parámetros fisiológicos.....	66
6.2.1. Transpiración y conductancia estomática.....	66
6.2.2. Concentración de clorofila a, b y total.....	69
6.2.3. Lecturas SPAD	72
6.2.4. Potencial osmótico en extracto celular de hojas.....	74
6.2.5. Concentración nutrimental en tejido foliar y radical	76
6.2.6. Extracción nutrimental en vástago y raíz.....	101
6.2.7. Relaciones nutrimentales en vástago y raíz	119
6.2.8. Contenido catiónico de frutos	125
6.2.9. Concentración de prolina	129
VII. CONCLUSIONES	133
VIII. LITERATURA CITADA	136

ÍNDICE DE CUADROS

		Pág.
Cuadro 2-1	Tolerancia relativa de los cultivos a la salinidad	5
Cuadro 2-2	Expresión de genes involucrados en el transporte de iones en plantas transgénicas tolerantes a sales.....	8
Cuadro 5-1	Fuentes de fertilización de macronutrientes para la preparación de la solución nutritiva de Steiner al 100%	28
Cuadro 5-2	Concentraciones de micronutrientes	28
Cuadro 6-1	Estándares de calidad postcosecha en frutos de pepino fresco en Estados Unidos.....	47
Cuadro 6-2	Diámetro (cm) de frutos de dos variedades de pepino desarrolladas bajo diferentes concentraciones de cloruro de sodio.....	48
Cuadro 6-3	Ángulo hue en frutos de dos variedades de pepino tratadas con diferentes niveles de cloruro de sodio.....	52
Cuadro 6-4	Índice de saturación (chroma) en frutos de dos variedades de pepino..	52
Cuadro 6-5A	Clasificación de frutos de dos variedades de pepino, desarrollados bajo diferentes concentraciones de NaCl.....	54
Cuadro 6-5B	Clasificación de frutos de dos variedades de pepino, desarrollados bajo diferentes concentraciones de NaCl.....	54
Cuadro 6-6	Firmeza de frutos de dos variedades de pepino.....	55
Cuadro 6-7	Valor de pH del jugo de frutos de dos variedades de pepino.....	56
Cuadro 6-8	Acidez titulable en el jugo de frutos de dos variedades de pepino.....	58
Cuadro 6-9	Grados Brix en jugo de frutos de dos variedades de pepino.....	59
Cuadro 6-10	Efecto de cinco concentraciones de cloruro de sodio en la producción de biomasa fresca de plantas de las variedades AF-1661 (AF) y Slice Max (SM) de pepino.....	60
Cuadro 6-11	Biomasa seca de diferentes partes de la planta de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM) por efecto de cinco niveles de NaCl.....	63
Cuadro 6-12	Efecto de diferentes niveles de NaCl en las lecturas SPAD en hojas, al inicio y durante el ciclo de desarrollo de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM).....	73
Cuadro 6-13	Concentración de nitrógeno total (N) en diferentes órganos de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), desarrolladas bajo diferentes concentraciones de NaCl.....	77
Cuadro 6-14	Concentración de fósforo (P) en diferentes órganos de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), desarrolladas en diferentes concentraciones de NaCl.....	79
Cuadro 6-15	Concentración de calcio (Ca ²⁺) en diferentes órganos de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), desarrolladas en diferentes concentraciones de NaCl.....	85
Cuadro 6-16	Concentración de Magnesio (Mg ²⁺) en diferentes órganos de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), desarrolladas bajo cinco concentraciones de NaCl.....	87

	Pág.
Cuadro 6-17 Efecto de la salinidad en la concentración de hierro (Fe^{2+}) en la parte vieja, parte joven y raíz de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), durante dos muestreos.....	89
Cuadro 6-18 Efecto de la salinidad en la concentración de Cu^{2+} en la parte vieja, joven y raíz de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), durante dos muestreos.....	91
Cuadro 6-19 Concentración de Zn^{2+} en plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM) irrigadas con diferentes niveles de NaCl, a los 30 y 60 ddt.....	93
Cuadro 6-20 Concentración de Mn^{2+} en plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM) irrigadas con diferentes niveles de salinidad, a los 30 y 60 ddt.....	95
Cuadro 6-21 Efecto de la salinidad en la concentración de Boro en la parte vieja, joven y raíz de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), a los 30 y 60 ddt.....	97
Cuadro 6-22 Efecto de la salinidad en la concentración de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ en frutos de las variedades de pepino AF-1661 (AF) Slice Max (SM)...	126
Cuadro 6-23 Acumulación de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ en frutos de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), desarrollados bajo diferentes concentraciones de NaCl.....	128
Cuadro 6-24 Relaciones K^+/Na^+ , $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ y $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ en frutos de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), desarrollados bajo diferentes niveles de salinidad.....	129

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 2-1	Distribución de los suelos salinos en México.....	3
Figura 2-2	Clasificación de especies vegetales por su tolerancia a la salinidad basada en la comparación de la producción obtenida en condiciones de elevada salinidad con controles bajos en salinidad.....	4
Figura 2-3	Procesos de transporte de Na ⁺ que afectan los mecanismos de tolerancia a sodio en plantas superiores.....	11
Figura 2-4	Homeostasis celular establecida después de la adaptación a sal (NaCl).....	14
Figura 5-1	Frutos de pepino de las variedades AF-1661 (A.) y Slice Max (B.) empleadas en el experimento	27
Figura 5-2	Distribución física de las parcelas grandes y chicas dentro de los bloques en el experimento	29
Figura 5-3	Dimensión de la parcela grande (A) y número de plantas por variedad (V) dentro de ésta.....	30
Figura 5-4	Separación de la planta en parte joven (PJ), parte vieja (PV) y raíz; para la determinación de biomasa fresca y seca	34
Figura 5-5	Curvas de calibración para determinar el contenido de prolina en hojas de dos variedades de pepino, a los 24 (A) y 37 (B) días después de inicio de tratamientos	36
Figura 6-1	Altura de planta de las variedades AF-1661 (AF) y Slice Max (SM) de pepino, tratadas con distintas concentraciones de cloruro de sodio. A: Inicio de tratamientos; B: 14 ddt; C: 28 ddt; D: 42 ddt; E: 56 ddt; F: 70 ddt.....	38
Figura 6-2	Altura de plantas de pepino desarrolladas bajo distintas concentraciones de cloruro de sodio.....	39
Figura 6-3	Diámetro de tallo de dos variedades de pepino (AF-1661, AF y Slice Max, SM) tratadas con distintas concentraciones de cloruro de sodio. A: Inicio de tratamientos; B: 14 ddt; C: 28 ddt; D: 42 ddt; E: 56 ddt; F: 70 ddt.....	41
Figura 6-4	Número de hojas por planta de dos variedades de pepino (AF-1661, AF y Slice Max, SM) irrigadas con diferentes niveles de cloruro de sodio. A: 30 ddt; B: 60 ddt.....	42
Figura 6-5	Número de flores por planta de dos variedades de pepino (AF-1661, AF y Slice Max, SM) irrigadas con diferentes niveles de cloruro de sodio. A. 30 ddt; B. 60 ddt.....	44
Figura 6-6	Efecto de cinco concentraciones de cloruro de sodio sobre el rendimiento total por planta de las variedades AF-1661 (AF) y Slice Max (SM) de pepino.....	45
Figura 6-7	Influencia de cinco concentraciones de cloruro de sodio en el número de frutos por planta en las variedades AF-1661 (AF) y Slice Max (SM) de pepino.....	46
Figura 6-8	Longitud del fruto de dos variedades de pepino (AF-1661, AF y Slice Max, SM) irrigadas con cinco concentraciones de cloruro de sodio.....	49
Figura 6-9	Diagrama de los parámetros del color: luminosidad (L), ángulo hue e índice de saturación, usados en el color poscosecha de frutos.....	50
Figura 6-10	Luminosidad en frutos de dos variedades de pepino (AF-1661, AF y Slice Max, SM) tratadas con diferentes niveles de cloruro de sodio.....	51

	Pág.	
Figura 6-11	Conductividad eléctrica del jugo de frutos de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM) desarrolladas bajo diferentes concentraciones de NaCl.....	57
Figura 6-12	Efecto de diferentes concentraciones de cloruro de sodio en la biomasa fresca de pepino, variedades AF-1661, AF (A y C, 30 y 60 ddt, respectivamente) y Slice Max, SM (B y D, 30 y 60 ddt, respectivamente). PJ: parte joven. PV: parte vieja.....	61
Figura 6-13	Cambios en el peso de la biomasa seca de la parte joven (PJ), parte vieja (PV) y raíz, de dos variedades de pepino, tratadas con diferentes niveles de cloruro de sodio. Variedad AF-1661, AF (A y C, 30 y 60 ddt respectivamente) y Slice Max, SM (B y D, 30 y 60 ddt, respectivamente).....	64
Figura 6-14	Transpiración y conductancia estomática en hojas de las variedades de pepino AF-1661 y Slice Max sometidas a diferentes concentraciones externas de cloruro de sodio.....	68
Figura 6-15	Efecto del estrés salino por cloruro de sodio en el contenido de clorofila <i>a</i> , clorofila <i>b</i> , clorofila <i>total</i> y la relación <i>a/b</i> , en hojas de pepino, variedades: AF-1661 (AF) y Slice Max (SM).....	70
Figura 6-16	Efecto de diferentes niveles de NaCl en el potencial osmótico del extracto celular de hojas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), 53 ddt.....	76
Figura 6-17	Concentración de K ⁺ en la parte joven (PJ), parte vieja (PV) y raíz de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM) crecidas bajo diferentes niveles de NaCl a 30 ddt.....	81
Figura 6-18	Concentración de K ⁺ en la parte joven (PJ), parte vieja (PV) y raíz de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM) crecidas bajo diferentes niveles de NaCl a los 60 ddt.....	82
Figura 6-19	Efecto de diferentes niveles de NaCl en la concentración de Na ⁺ en la parte joven (PJ), parte vieja (PV) y raíz de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), durante 30 días de la aplicación de tratamientos.....	99
Figura 6-20	Efecto de diferentes niveles de NaCl en la concentración de Na en la parte joven (PJ), parte vieja (PV) y raíz de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), a los 60 ddt.....	100
Figura 6-21	Efecto de diferentes niveles de NaCl en la acumulación de N en el vástago y raíz de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), a 30 ddt (A y B) y 60 ddt (C y D).....	102
Figura 6-22	Influencia de diferentes concentraciones de NaCl en la acumulación de P en el vástago y raíz de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), a 30 ddt (A y B) y 60 ddt (C y D).....	104
Figura 6-23	Efecto de la salinidad en la acumulación de K ⁺ en diferentes tejidos vegetales de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), a 30 ddt (A y B) y 60 ddt (C y D).....	105
Figura 6-24	Efecto de la salinidad en la acumulación de Ca ²⁺ en diferentes tejidos vegetales de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), a 30 ddt (A y B) y 60 ddt (C y D).....	107
Figura 6-25	Efecto de la salinidad en la acumulación de Mg ²⁺ en vástago y raíz de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), a 30 ddt (A y B) y 60 ddt (C y D).....	109

	Pág.
Figura 6-26	Acumulación de Fe en vástago y raíz de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM) desarrolladas bajo diferentes niveles de NaCl, a 30 ddt (A y B) y 60 ddt (C y D)..... 110
Figura 6-27	Acumulación de Cu en vástago y raíz de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM) desarrolladas bajo diferentes niveles de NaCl, a 30 ddt (A y B) y 60 ddt (C y D)..... 112
Figura 6-28	Acumulación de Zn en vástago y raíz de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM) desarrolladas bajo diferentes niveles de NaCl, a 30 ddt (A y B) y 60 ddt (C y D)..... 114
Figura 6-29	Efecto de diferentes niveles de NaCl en la acumulación de Mn en la parte aérea y raíz de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), a los 30 ddt (A y B) y 60 ddt (C y D)..... 115
Figura 6-30	Efecto de diferentes niveles de NaCl en la acumulación de B en la parte aérea y raíz de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), a los 30 ddt (A y B) y 60 ddt (C y D)..... 117
Figura 6-31	Efecto de diferentes niveles de NaCl en la acumulación de Na en la parte aérea y raíz de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), a los 30 ddt (A y B) y 60 ddt (C y D)..... 119
Figura 6-32	Relación K^+/Na^+ en vástago y raíz de plantas de las variedades de pepino (AF-1661, AF y Slice Max, SM) desarrolladas bajo diferentes concentraciones de NaCl, a los 30 ddt (A y B) y 60 ddt (C y D)..... 121
Figura 6-33	Relación Na^+/Ca^{2+} en vástago y raíz de plantas de las variedades de pepino (AF-1661, AF y Slice Max, SM) desarrolladas bajo diferentes concentraciones de NaCl, a los 30 ddt (A y B) y 60 ddt (C y D)..... 123
Figura 6-34	Relación Ca^{2+}/Mg^{2+} en vástago y raíz de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM) desarrolladas bajo diferentes niveles de NaCl, a los 30 (A y B) y 60 (C y D) ddt..... 125
Figura 6-35	Contenido de prolina en hojas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM) desarrolladas bajo diferentes niveles de cloruro de sodio. A. 24 ddt, B. 37 ddt..... 132

RESUMEN

La salinidad del suelo es una de las principales limitantes en la producción de alimentos debido a que afecta negativamente muchos aspectos del metabolismo y rendimiento de las plantas cultivadas. La respuesta de las plantas a la salinidad consiste en numerosos procesos que funcionan coordinadamente para aliviar tanto el estrés osmótico como la toxicidad y el desbalance nutrimental.

La presente investigación fue conducida bajo condiciones de invernadero durante el período Otoño del 2006 en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Se evaluó el efecto de cinco concentraciones de cloruro de sodio (0, 47, 97, 150 y 205 mM de NaCl) suministradas en la solución nutritiva Steiner al 100 % empleada para el riego, para analizar sus efectos en crecimiento vegetativo, rendimiento, calidad postcosecha, producción de biomasa, transpiración, conductancia estomática, contenido de clorofila y prolina, potencial osmótico, concentración y acumulación nutrimental en vástago, raíz y fruto, de dos variedades de pepino: AF-1661 y Slice Max.

Los resultados obtenidos muestran que en ambas variedades, las variables altura de la planta, diámetro del tallo y rendimiento disminuyen al incrementar los niveles de salinidad; número de hojas y flores por planta también presentan esta tendencia. Por el contrario, variables como diámetro y firmeza del fruto, pureza del color, ángulo Hue, porcentaje de ácido cítrico, °Brix, y pH del jugo no presentan cambios significativos con el incremento en los niveles de NaCl. En las dos variedades de pepino, la mayor acumulación de biomasa fresca y seca, tanto de vástago como de raíz, se registra en el control, y disminuye conforme se incrementa la concentración de NaCl. La transpiración y la conductancia estomática presentan alta correlación ($R^2 > 0.9$), estas variables disminuyen con el incremento de la salinidad en el medio de cultivo. Plantas sometidas al tratamiento con 205 mM de NaCl en la solución nutritiva muestran una disminución de más del 20 % en el contenido de clorofila respecto a plantas testigo; el mismo efecto se presenta en el potencial osmótico en hojas, sin que estos cambios muestren diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. La misma tendencia se obtuvo en las lecturas SPAD de ambas variedades, con respecto al testigo. Por otra parte, el contenido de prolina se incrementa con la aplicación de NaCl. La salinidad afecta la concentración y acumulación de P, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} y Na^+ en parte aérea y raíz; respuestas semejantes se observan en las relaciones Na^+/K^+ y Na^+/Ca^{2+} ; mientras que las concentraciones de N total, Mn^{2+} , B y la relación Ca^{2+}/Mg^{2+} no son afectadas por los tratamientos evaluados en ninguna de las variedades en estudio.

PALABRAS CLAVES: salinidad, crecimiento, rendimiento, calidad de frutos, fisiología de plantas, nutrición de plantas.

ABSTRACT

Soil salinity is one of the major constraints that limit food production as it negatively affects plant metabolism and yield. Plants responses to soil salinity consist of a number of processes that coordinately work to alleviate not only osmotic stress but also salt toxicity and nutrient unbalance produced by high salinity into the plant cell. This study was carried out under green house conditions during the Fall season of 2006 at the Postgraduated Collage, in Montecillo, Mexico. We evaluated the effect of five sodium chloride concentrations (0, 47, 97, 150 y 205 mM NaCl) supplied in the Steiner's nutrient solution at 100% applied to irrigate the plants on plant growth, yield, fruit quality, biomass production, transpiration, stomatic conductance, chlorophyll and proline content, osmotic potential, nutrient concentration and accumulation in stems, roots and fruits, of two cucumber varieties: AF-1661 and Slice Max.

In both varieties, results show that plant height, stem diameter and yield diminish as salt content is raised in the nutrient solution. Number of leaves and flowers per plant, also show this trend. Conversely, fruit diameter and firmness, color purity, hue angle, citric acid content, °Brix and pH of fruit juice do not show significant changes in response to increased amounts of salt in the nutrient solution. In both varieties, the major dried and fresh biomass accumulation, both in stems and roots, is observed in control plants and decreases as NaCl content in the nutrient solution is increased. Transpiration and stomatic conductance are highly correlated ($R^2 > 0.9$); these variables diminish according to the increasing amounts of salts in the nutrient solution. Plants treated with 205 mM NaCl in the nutrient solution have a chlorophyll content more than 20 % lower respect to control plants. The same pattern is observed in osmotic potential, but these changes are not significantly different among treatments. The same tendency is observed on SPAD values. Proline content increases according to the amount of NaCl applied in the nutrient solution. Salt content affects concentration and accumulation of P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Fe²⁺, Cu²⁺, Zn²⁺ and Na⁺ both in shoots and roots. Similar responses are observed with regard to Na⁺/K⁺ and Na⁺/Ca²⁺ ratios, while Mn²⁺, B and total N concentrations and Ca²⁺/Mg²⁺ ration are not affected by treatments evaluated in any of the varieties under study.

KEY WORDS: salinity, growth, yield, fruit quality, plant physiology, plant nutrition.

I. INTRODUCCIÓN

Altas concentraciones de sodio son tóxicas para la mayoría de las especies vegetales, siendo por ello la salinidad, el principal estrés abiótico que limita la productividad de los cultivos. La salinidad afecta la absorción de agua y transpiración, y la excesiva absorción de sodio causa desbalances eléctricos, nutrimentales así como deficiencias provocando disminución del crecimiento y en casos severos conduce a la senescencia y muerte posterior de la planta.

La tolerancia a sales en plantas halófitas depende de un intervalo de adaptaciones que incluyen diversos aspectos fisiológicos como la compartimentalización de iones, producción de osmolitos, respuestas de germinación, adaptación osmótica, succulencia, transporte y absorción de iones selectivos, respuestas enzimáticas, excreción de sales y control genético. Los mecanismos anteriores y sus relaciones no han sido completamente entendidos; en consecuencia, es necesario abordar el problema desde diversos aspectos entre los que se encuentran el bioquímico y fisiológico, los cuales inciden directamente sobre el comportamiento agronómico de los cultivos.

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es una especie moderadamente sensible a la salinidad, por lo que altas concentraciones de sal en el suelo o en el medio de crecimiento causan lento desarrollo, tallos débiles, hojas pequeñas y de color oscuro, y los frutos obtenidos son de mala calidad. En México, este cultivo es producido especialmente en algunos estados del norte donde el principal factor limitante es la salinidad tanto en el suelo como en el agua. Esta problemática, requiere ser solucionada para incrementar los rendimientos y la calidad de esta especie es de suma importancia en nuestro país, que ocupó en el año 2002 el lugar décimo primero a escala mundial por el volumen de producción y en el mismo año dominó el volumen de exportación, siendo el primer exportador mundial de esta hortaliza.

En esta investigación se pretende hacer un estudio integral de las respuestas fisiológicas, bioquímicas y agronómicas del pepino a diferentes concentraciones de cloruro de sodio aplicados en la solución nutritiva.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Problemática mundial y nacional de la salinidad

El concepto salinidad se refiere a la acumulación de sales solubles en agua y en el suelo. La FAO (2000) considera que la salinidad está destruyendo al menos 3 ha de capa arable cada minuto y estimó que en el año 2005 cerca del 20 % de la superficie de cultivo bajo irrigación, estaría afectada por la salinidad; esto representa una superficie mayor a los 60 millones de hectáreas en todo el mundo (Zhang y Blumwald, 2001).

Los altos contenidos de sales en el suelo, originados de manera natural o por la actividad del hombre afectan cerca de un tercio de la superficie agrícola mundial (alrededor de 491 millones de ha), son responsables del crecimiento deficiente y bajos rendimientos en diversos cultivos. La excesiva salinidad del suelo se presenta frecuentemente en regiones áridas y semiáridas del mundo, en las cuales inhibe el desarrollo y rendimiento de los cultivos (Tanji, 1990). La salinización natural del suelo conduce principalmente a la salinización de áreas agrícolas útiles en zonas áridas: a mayor agua evaporada, mayor contenido de sales permanece en el suelo. La salinización de áreas agrícolas útiles mediante el riego se ha incrementado aceleradamente (Lewis, 2002).

En lo que respecta a México, las zonas áridas y semiáridas ocupan al rededor del 40 % de la superficie nacional, y es muy frecuente encontrar en éstas, condiciones de salinidad en los suelos (Figura 2-1). Fuera de estas zonas, existen también diversas cuencas cerradas donde se presentan fuertes acumulaciones de sales y amplias zonas costeras ocupadas por suelos salinos. No existe una evaluación precisa de las superficies de los suelos con problemas de salinidad y sodicidad en México, sobre todo en las áreas no agrícolas. Sin embargo, puede señalarse, de manera aproximada, la presencia de 3.5 millones de ha afectadas en las zonas áridas y semiáridas, 1 millón en otras zonas no agrícolas, 800 000 en las áreas costeras, 1 millón en áreas agrícolas de temporal y 500 000 en zonas agrícolas de riego, lo cual totaliza cerca de 6.8 millones de ha de suelos afectados por sales en todo el país (SEMARNAP/INEGI, 1998).

En la Figura 2-1, se muestra la distribución de los suelos salinos en nuestro país, donde destacan los estados Baja California Norte y Sur, Sonora, parte de Chihuahua y Sinaloa que en conjunto representan el 50 % de los suelos con problemas de salinidad a nivel nacional.

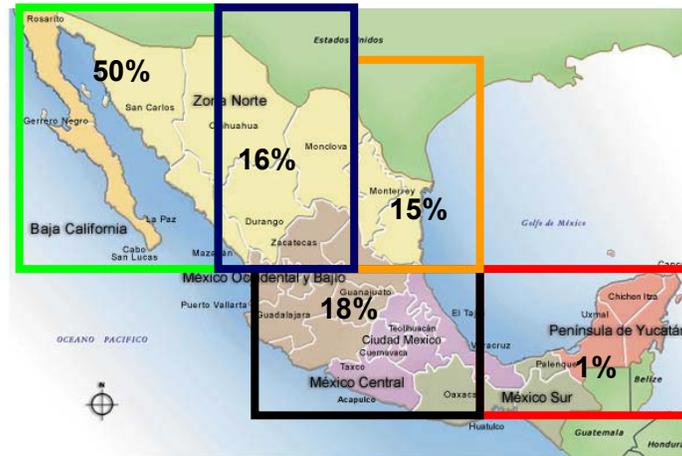


Figura 2-1. Distribución de los suelos salinos en México (Sánchez, 2006).

2.2. Diversidad genética de la tolerancia a sales en plantas

En función de la respuesta de los cultivos a la salinidad se han realizado diversas clasificaciones. De manera general, la mayoría de ellas se agrupan en plantas halófitas y no halófitas (o glicófitas). Las primeras pueden completar su ciclo de vida en hábitats que tienen concentraciones de sales de moderadas a altas en el suelo. Las glicófitas restringen el movimiento de iones al vástago procurando controlar la afluencia de iones en el xilema de la raíz (Hasegawa *et al.*, 2000).

La mayoría de los cultivos son sensibles o hipersensibles (glicófitas), en contraste con las halófitas, las cuales son flora nativa de ambientes salinos. Algunas halófitas tienen la capacidad de adecuarse a la salinidad extrema debido a adaptaciones morfológicas y anatómicas o por poseer mecanismos de defensa muy especiales. Sin embargo, éstas son más bien características únicas, por las cuales los genes no pueden ser fácilmente introducidos en plantas cultivadas.

Para lograr un mejoramiento en la tolerancia de la planta al estrés por sal, primero se tiene que definir un objetivo que proporcione una base contra la cual se pueda medir el aumento a la tolerancia. Yokoi *et al.* (2002), identificaron los elementos

importantes de la tolerancia a la salinidad entre los que se tienen: la capacidad de tolerar la hiperosmolaridad celular y el desequilibrio iónico, manteniendo una producción satisfactoria. Anteriormente, Mass y Hoffman (1977) habían integrado estos conceptos dentro de un método de evaluación de tolerancia a sal basado en la comparación del rendimiento relativo a elevada salinidad y a ambientes no salinos (Figura 2-2).

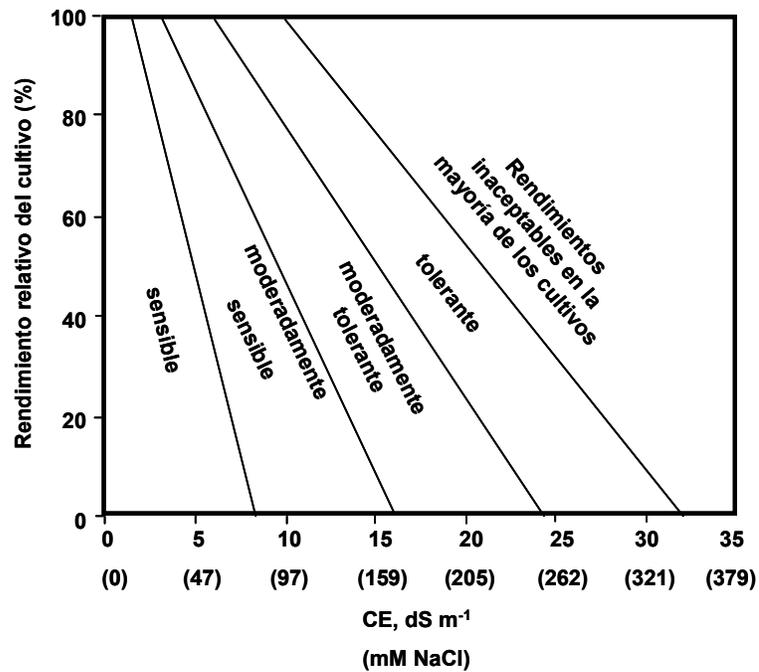


Figura 2-2. Clasificación de especies vegetales por su tolerancia a la salinidad basada en la comparación de la producción obtenida en condiciones de elevada salinidad con controles bajos en salinidad (Mass y Hoffman, 1977).

En este modelo, la tolerancia a la salinidad se define como la capacidad de mantener un rendimiento aceptable dentro de un intervalo de salinidad establecido. Como tal, la tolerancia práctica a la salinidad para la producción de cultivos es un balance entre la producción y la demanda fisiológica del comportamiento con el estrés a la sal. Una planta que es capaz de sobrevivir a la salinidad extrema tiene poco valor si la demanda fisiológica de distribuir el exceso de la concentración interna y externa de sal reduce el crecimiento y la producción debajo de los límites aceptables; particularmente, si el nivel de salinidad tolerado

excede el intervalo típico al cual probablemente la mayoría de situaciones de campo están expuestas.

Finalmente, la tolerancia a sales de un cultivo se puede evaluar de acuerdo a tres criterios: (1) la capacidad del cultivo para sobrevivir en suelos salinos; (2) el rendimiento del cultivo en suelos salinos, siendo éste el de mayor importancia agronómica; y (3) el rendimiento relativo del cultivo en un suelo salino, en comparación con un suelo no salino bajo condiciones semejantes. De acuerdo a este último criterio se han clasificado diferentes cultivos en cuatro grupos principales; en el cuadro 2-1 se presentan los cultivos representativos de cada grupo; las concentraciones de NaCl (en mM), su CE (dS m^{-1}) correspondiente y el rendimiento relativo (en %) de cada grupo se pueden ver en la Figura 2-2.

Cuadro 2-1. Tolerancia relativa de algunas especies vegetales a la salinidad (Blaylock, 1994).

Sensibles	Moderadamente sensibles	Moderadamente tolerante	Tolerante	
Manzana	Álamo	Cereales	Olivo de Otoño	Pasto salado
Pera	Abeto	Maíz	Pino	Zacate alcalino
Ciruelos	Uva	Pepino	Pasto búfalo	Tamarix
Frambuesa	Acacia	Gladiola	Adelfa	Palma datilera
Durazno	Arce	Lechuga	Centeno perenne	Espárrago
Rosa	Sauce	Pimienta	Zacate inglés	Betabel
Violeta africana	Hiedra inglesa	Papa	Trigo (para heno)	Cebada
Frijol	Salvia	Calabaza	Trébol agrio	
Zanahoria	Áster	Rábano	Remolacha azucarera	
Cebolla	Brócoli	Espinaca	Clavel	
Fresa	Col/repollo	Tomate	Crisantemo	
	Melón	Nabo	Calabacín	
	Coliflor	Sandía		

2.3. Fisiología y genética de la tolerancia al estrés en las plantas

El control del estrés abiótico por genes de efecto mayor están modificados por muchos genes de efecto pequeño y puede ser entendido mejor si se consideran los mecanismos de la sal y la tolerancia al estrés empleando especies de plantas no halófitas. El exceso de salinidad en el suelo afecta las plantas de dos maneras.

En primer lugar, la alta concentración externa de sal crea un gradiente osmótico que dificulta a la planta para que extraiga agua y nutrimentos del suelo en cualquier nivel de humedad (Frommer *et al.*, 1999). De esta manera, la salinidad ejerce un estrés fisiológico similar a la sequía. El estrés osmótico puede ser el efecto a corto plazo más importante de la salinidad en las plantas. En segundo lugar, los iones de sodio y cloro que entran en los tejidos finos de la planta pueden tener efectos tóxicos o interrumpir específicamente rutas metabólicas como resultado de un desequilibrio iónico (Allen *et al.*, 1994). Bajo condiciones prolongadas de exposición a sales, la máxima concentración de sal tolerada por hojas totalmente expandidas se cree que es el factor más importante que afecta el funcionamiento de la planta (Munns, 1993).

Los efectos secundarios del exceso de sal incluyen un aumento en el gasto de energía para mantener la respiración o el transporte de iones, reduciendo la energía para la translocación de carbohidratos, y desviando fotosintatos de crecimiento a osmoregulación (Allen *et al.*, 1994). Además, el cierre de estomas debido al estrés por sequía inducido por sal reduce la disponibilidad de CO₂ para la síntesis de carbohidratos aun cuando la fotosíntesis continúe, conduciendo a un exceso de radicales libre de alta energía que pueden dañar directamente las células de la planta.

Dado los varios mecanismos de respuesta de la planta a salinidad, los genes implicados en la tolerancia a la sal incluye los que controlan los siguientes procesos: (1) la capacidad de la raíz de excluir la absorción de sodio y cloruro por medios activos (canales iónicos) o pasivos (permeabilidad de la membrana), pero manteniendo la absorción selectiva de iones importantes para el crecimiento; (2) habilidad de compartamentalizar el sodio y cloruro dentro de la vacuola de la célula, o en tejidos finos senescentes, manteniendo así bajos niveles citoplásmicos de estos iones dañinos, particularmente en hojas de activo crecimiento; (3) síntesis de osmoprotectantes que ayudan a la planta a conservar la turgencia de las células, a mantener el agua y la absorción de nutrientes contra un gradiente osmótico creado por la sal en el suelo; y (4) respuestas secundarias

al estrés que eliminan radicales libres de alta energía para prevenir daños en la célula (Dale y Henry, 2003).

Recientemente se han identificado y caracterizado genes que codifican proteínas involucradas en la tolerancia al estrés iónico y osmótico que abren la posibilidad a para incrementar la tolerancia a sal en plantas por medio de la ingeniería genética. Nakayama *et al.* (2005), resumen los más recientes hallazgos sobre cuatro genes y sus respectivas proteínas que confieren a las plantas un incremento en la tolerancia a sal. Primero, la identificación y caracterización de dos transportadores de potasio de alta afinidad en arroz (OsHKTs), miembros de la familia de transportadores de potasio de alta afinidad (HKT), explican el mecanismo de homeostasis del Na^+ y K^+ en esta especie (Horie *et al.*, 2001; Mäser *et al.*, 2002). Segundo, la expresión de Ena1p, una bomba (ATPasa) de eflujo de sodio tipo P codificada por el gen *ENA1* inicialmente encontrado en levaduras. La proteína Ena1p exporta Na^+ citosólico durante los eventos de estrés por salinidad (Nayakama *et al.*, 2004). Finalmente, la proteína NtHAL3a, una 4-fosfopantotenoilcisteína descarboxilasa involucrada en la biosíntesis de coenzima A (CoA). La CoA es un sustrato importante en la biosíntesis de muchos aminoácidos incluyendo la prolina, uno de los principales solutos compatibles en plantas (Yonamine *et al.*, 2004). La función de los tres genes (*NtHAL3a*, *NtHAL3b* y *NtHAL3c*) que codifican a HAL3, fue caracterizada usando mutantes de *E. coli* y células transgénicas BY2 (Nakayama *et al.*, 2005).

Manipulación genética en las proteínas de transporte en la absorción de sales en *Arabidopsis* muestran incrementos en la tolerancia a sal. La sobreexpresión del antiporte (Na^+/H^+), *AtNHX1*, en la membrana del tonoplasto de *Arabidopsis* resulta en plantas transgénicas que son capaces de desarrollarse a altas concentraciones de sal (Apse *et al.*, 1999). Resultados similares han sido reportados en plantas transgénicas de tomate y canola (*Brassica napus*) sobreexpresando el gen *AtNHX1* (Zhang y Blumwald, 2001).

La sobreexpresión del gen *SOS1* mejora la tolerancia a sal de *Arabidopsis*, mostrando que el desarrollo de la tolerancia a la salinidad puede ser alcanzada al limitar la acumulación de Na^+ en células vegetales (Shi *et al.*, 2002). Resultados

semejantes se han obtenido cuando los antiportes, Na^+/H^+ en la membrana plasmática, SOD2 en *Schizosaccharomyces pombe* y nhaA de *E. coli* son sobreexpresados en *Arabidopsis* (Gao *et al.*, 2003) y arroz (Wu *et al.*, 2005), respectivamente. Los genes expresados en plantas transgénicas que involucran el transporte de iones se presenta en el Cuadro 2-2.

Cuadro 2-2. Expresión de genes involucrados en el transporte de iones en plantas transgénicas tolerantes a sales (Yamaguchi y Blumwald, 2005).

Gen	Efecto del gen	Origen	Papel celular	Planta designada
<i>AtNHX1</i>	Antiporte Na^+/H^+ en vacuola	<i>Arabidopsis</i>	Secuestro del Na^+ en vacuola	<i>Arabidopsis</i>
<i>AtNHX1</i>	Antiporte Na^+/H^+ en vacuola	<i>Arabidopsis</i>	Secuestro del Na^+ en vacuola	Tomate
<i>AtNHX1</i>	Antiporte Na^+/H^+ en vacuola	<i>Arabidopsis</i>	Secuestro del Na^+ en vacuola	<i>Brassica napus</i>
<i>AtNHX1</i>	Antiporte Na^+/H^+ en vacuola	<i>Arabidopsis</i>	Secuestro del Na^+ en vacuola	Maíz
<i>AtNHX1</i>	Antiporte Na^+/H^+ en vacuola	<i>Arabidopsis</i>	Secuestro del Na^+ en vacuola	Trigo
<i>GhNHX1</i>	Antiporte Na^+/H^+ en vacuola	<i>Gossypium hirsutum</i>	Secuestro del Na^+ en vacuola	Tabaco
<i>AgNHX1</i>	Antiporte Na^+/H^+ en vacuola	<i>Atriplex gmelini</i>	Secuestro del Na^+ en vacuola	Arroz
<i>OsNHX1</i>	Antiporte Na^+/H^+ en vacuola	<i>Oryza sativa</i>	Secuestro del Na^+ en vacuola	Arroz
<i>BnNHX1</i>	Antiporte Na^+/H^+ en vacuola	<i>Brassica napus</i>	Secuestro del Na^+ en vacuola	Tabaco
<i>HbNHX1</i>	Antiporte Na^+/H^+ en vacuola	<i>Hordeum brevisubculatum</i>	Secuestro del Na^+ en vacuola	Tabaco
<i>AtSOS1</i>	Antiporte Na^+/H^+ en membrana plasmática	<i>Arabidopsis</i>	Expulsión de Na^+	<i>Arabidopsis</i>
SOD2	Antiporte Na^+/H^+ en membrana plasmática	<i>Schizosaccharomyces pombe</i>	Expulsión de Na^+	<i>Arabidopsis</i>
nhaA	Antiporte Na^+/H^+ en membrana plasmática	<i>Escherichia coli</i>	Expulsión de Na^+	Arroz
AVP1	PP- H^+ en vacuola	<i>Arabidopsis</i>	Acidificación vacuolar	<i>Arabidopsis</i>

2.4. Movimiento de la sal a través de la planta

El movimiento de la sal en raíces y vástago es producto del flujo de transpiración requerido para mantener el potencial hídrico de la planta. La transpiración no regulada puede dar lugar a niveles tóxicos de acumulación de iones en la parte aérea de la planta. Una respuesta inmediata a la salinidad, que disminuye el flujo

iónico al vástago, es el cierre estomático. Sin embargo, debido a la diferencia en el potencial hídrico entre la atmósfera y células de la hoja, y la necesidad de fijación de carbón, esta respuesta constituye una estrategia insostenible de la tolerancia a largo plazo (Yeo, 1998).

Para proteger activamente el crecimiento y el metabolismo de las células, las plantas regulan el movimiento iónico en los tejidos finos (Munns, 1993). Un modo por el cual las plantas controlan el flujo de la sal al vástago es la entrada de iones en el flujo del xilema. Aún se discute hasta que punto el transporte iónico vía simplasto a través de las células epidermales y corticales contribuyen a la reducción de la entrada de Na^+ al xilema. En la endodermis, el movimiento radial de solutos debe ser por la vía simplasto, ya que la banda de Caspary constituye una barrera física al transporte apoplástico (Flowers y Yeo, 1992).

La acumulación de grandes cantidades de iones en hojas maduras y viejas, provoca abscisión foliar, situación observada frecuentemente bajo estrés salino. En una función como contenedor y acumulador de iones, las hojas viejas pueden restringir la deposición de iones dentro de las células meristemáticas y activar el crecimiento de las células fotosintéticas. Una posible alternativa es que la discriminación celular de iones es una consecuencia natural del flujo de transpiración y del crecimiento expansivo, la morfología de la célula, y al grado de conexión intercelular. Las células meristemáticas, que no están directamente conectadas a las células vasculares, están menos expuestas a liberar iones a través de la transpiración, y debido a su pequeño espacio vacuolar no son aptas para el almacenamiento de iones. De hecho, el contenido de solutos incluidos en células de tejidos finos con poca vacuolación (por ejemplo, regiones meristemáticas) está constituido predominantemente por osmolitos orgánicos y en tejidos finos con células altamente vacuoladas por iones (Hasegawa *et al.*, 2000).

2.5. Mecanismos celulares de sobrevivencia al estrés salino

La alta salinidad causa estrés hiperosmótico y desequilibrio iónico que produce efectos secundarios o patologías y como consecuencia de éstos la muerte de la planta (Hasegawa *et al.*, 2000). Fundamentalmente, las plantas tratan de evitar o

de tolerar el estrés salino. Esto es que las plantas están en período de dormancia durante el episodio salino o éstas deben hacer ajustes celulares para tolerar el ambiente salino. Los mecanismos de tolerancia pueden ser definidos como aquellos que funcionan para minimizar el estrés osmótico o el desequilibrio iónico, o disminuir los efectos secundarios causados por estos tipos de estreses. El potencial químico de la solución salina inicialmente establece un desbalance en el potencial hídrico entre el apoplasto y el simplasto que conduce a la disminución del turgor, el cual sí es severo puede causar reducción del crecimiento (Bohnert *et al.*, 1995). La deshidratación celular comienza cuando la diferencia en el potencial de agua es mayor que puede ser compensada por la pérdida de turgor (Taiz y Zeiger, 1998).

La respuesta celular a la reducción del turgor es el ajuste osmótico. La maquinaria citosólica y de los organelos de glicófitas y halófitas son igualmente sensitivos a Na^+ y Cl^- ; de esta manera el ajuste osmótico parece ser alcanzado en estos compartimentos por osmolitos compatibles y osmoprotectantes (Bohnert *et al.*, 1995). No obstante, el Na^+ y Cl^- son osmolitos energéticamente eficientes para el ajuste osmótico y son compartimentalizados dentro de la vacuola para minimizar la toxicidad. Dado que el crecimiento celular *in planta* ocurre en primer lugar por la expansión direccional mediada por un incremento en el volumen vacuolar, la compartimentalización del Na^+ y Cl^- facilitan el ajuste osmótico que es necesario para el desarrollo celular.

Los movimientos iónicos en la vacuola podrían ocurrir directamente desde el apoplasto a la vacuola a través de vesículas membranales o mediante un proceso citológico que yuxtapone el plasmalema al tonoplasto (Hasegawa *et al.*, 2000). Sin embargo, en la actualidad no es claro hasta que punto que procesos contribuyen a la compartimentalización iónica en vacuola. La mayor parte del movimiento de Na^+ y Cl^- es mediado por sistemas de transporte iónico localizados en plasmalema y tonoplasto. Presumiblemente, la regulación estrechamente coordinada de este sistema de transporte iónico es requerido para controlar el influjo neto a través del plasmalema y la compartimentalización celular. La ruta de señalización sensible al exceso de salinidad (SOS, por sus siglas en inglés Salt Overly Sensitive), es un

regulador pivote de al menos algunos de los sistemas clave requerido para la homeostasis iónica (Hasegawa *et al.*, 2000).

Los mecanismos para minimizar el daño causado por la alta salinidad varían entre especies, y algunos de ellos deben operar de manera coordinada para regular las concentraciones celulares de sodio (Figura 2-3). Por ejemplo, las plantas pueden: 1) minimizar la entrada inicial, 2) maximizar el eflujo, 3) minimizar el flujo hacia el xilema o maximizarlo antes de que alcance el vástago, 4) maximizar la recirculación fuera del vástago en el floema, 5) maximizar la compartimentalización o confinamiento en partes específicas del vástago (por ejemplo hojas viejas o células medulares), o bien pueden 6) secretar sales desde la superficie de la hoja (gutación) (Tester y Davenport, 2003). En la Figura 2-3 se muestra la minimización de la entrada del Na^+ al xilema con lo que podría incrementar la tolerancia.

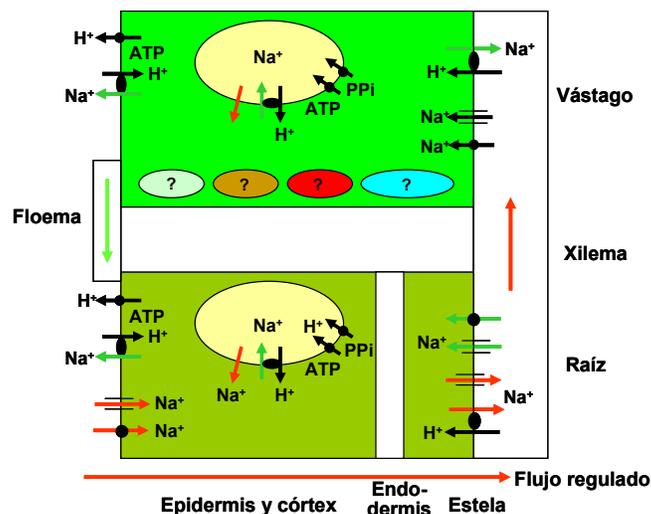


Figura 2-3. Procesos de transporte de Na^+ que afectan los mecanismos de tolerancia a sodio en plantas superiores. Flechas rojas indican el movimiento del Na^+ ; líneas verdes representan los movimientos del Na^+ mostrando la salida del Na^+ del xilema. Las formas coloreadas dentro de la hoja representan cloroplastos (verde), mitocondria (café), peroxisoma (rojo) y retículo endoplásmico (azul). Los procesos de transporte de Na^+ dentro y fuera de estos organelos son desconocidos. La vacuola está representada por el ovalo grande de color amarillo (Tester y Davenport, 2003).

2.5.1 Osmolitos y osmoprotectantes

La tolerancia a sales requiere solutos compatibles acumulados en el citosol y organelos, donde éstos funcionan en el ajuste osmótico y osmoprotección. Algunos osmolitos compatibles son iones esenciales tales como el K^+ , pero la mayoría son solutos orgánicos. La acumulación de solutos compatibles como respuesta a estrés osmótico es un proceso ubicuo en organismos tan diversos como bacterias, plantas y animales. Sin embargo, los solutos que se acumulan varían entre organismos e incluso entre especies. Una categoría principal de solutos osmóticos orgánicos consiste de azúcares simples (principalmente fructosa y glucosa), alcoholes azúcares (glicerol e inositoles metilados) y azúcares complejos (trealosa, rafinosa y fructanos) (Bohnert y Jensen, 1996). Otros incluyen derivados cuaternarios de aminoácidos (prolina, glicina, betaína, β -alanina betaína, prolina betaína), aminas terciarias y compuestos sulfonados (colina o-sulfato y propionato de dimetilsulfonilo). Muchos osmolitos orgánicos actúan como osmoprotectantes, y como consecuencia al incrementar la síntesis y acumulación de estos solutos es suficientes para facilitar el ajuste osmótico. La glicina betaína preserva la integridad del tilacoide y del plasmalema después de la exposición a soluciones salinas, al congelamiento o a altas temperaturas (Rhodes y Hanson, 1993). Adicionalmente, muchos de los osmoprotectantes incrementan la tolerancia a sales en plantas cuando son expresados como transgenes (Zhu, 2001a). Una función bioquímica adaptativa de los osmoprotectantes es la limpieza de las especies reactivas de oxígeno que son productos derivados de estreses hiperosmótico e iónico y causan disfuncionalidad membranal y muerte celular (Bohnert y Jensen, 1996).

Una característica común de los solutos compatibles es que estos pueden acumularse a altos niveles sin ocasionar disturbios bioquímicos intracelulares. Los solutos compatibles tienen la capacidad de preservar la actividad de enzimas que están en soluciones salinas. Estos compuestos tienen un efecto mínimo sobre el pH o sobre el balance de carga del citosol o compartimentos lumenales de los organelos. La síntesis de osmolitos compatibles es frecuentemente alcanzada por la diversificación de metabolitos intermediarios básicos dentro de reacciones

bioquímicas únicas. Con frecuencia, los estreses originan esta diversificación metabólica.

2.5.2. Homeostasis iónica: determinantes del transporte y su regulación

Puesto que el NaCl es el principal factor de estrés presente en suelos salinos, un punto de investigación ha sido el estudio de los sistemas de transporte que están involucrados en la utilización del Na⁺ como un soluto osmótico (Hasegawa *et al.*, 2000). La homeostasis intracelular del Na⁺ y la tolerancia a sales son moduladas por Ca²⁺ y que altas concentraciones externas de Na⁺ tiene efectos negativos sobre la adquisición del K⁺ (Rains y Epstein, 1967). El Na⁺ compite con el K⁺ por la absorción a través de sistemas de transporte comunes ya que efectivamente la concentración externa de Na⁺ en ambientes salinos es usual y considerablemente mayor que la de concentración externa de K⁺. El Ca²⁺ incrementa la acumulación intracelular selectiva.

La homeostasis de Na⁺ y K⁺ puede estar regulada por Ca²⁺ en la regulación de estos sistemas de transporte. Además la ruta de señalización de estrés sensible al exceso de salinidad (SOS) fue identificada como un regulador pivote de la homeostasis iónica en plantas y de la tolerancia a sales (Hasegawa *et al.*, 2000). Poco se conoce acerca de los mecanismos responsables del transporte de Cl⁻ o de la regulación de la homeostasis de Cl⁻ (Hedrich, 1994).

2.5.3. Sistemas de transporte iónico que media la homeostasis de Na⁺

2.5.3.1. Bomba de protones (H⁺)

Las bombas de protones en el plasmalema y el tonoplasto proporcionan energía para el transporte de solutos necesaria para compartamentalizar los iones citotóxicos fuera del citoplasma y para facilitar la función de iones como determinantes de señalización. Es decir, estas bombas proveen la fuerza impulsora (potencial electroquímico H⁺) para el transporte secundario activo y funcionan para establecer los gradientes de potencial membranal que facilitan el flujo electroforético de iones (Figura 2-4). La bomba de protones localizada en el

plasmalema es una ATP-asa tipo P y es principalmente responsable de gradientes de pH y del gradiente de potencial a través de la membrana (Morsomme y Boutry, 2000). Una ATP-asa vacuolar tipo H^+ y una pirofosfatasa vacuolar generan ΔpH (diferencial de pH) y el potencial de membrana a través del tonoplasto (Figura 2-4). La actividad de estas bombas de protones es incrementada con el tratamiento con sales y la expresión inducida de genes puede participar parcialmente en esta inducción (Hasegawa *et al.*, 2000).

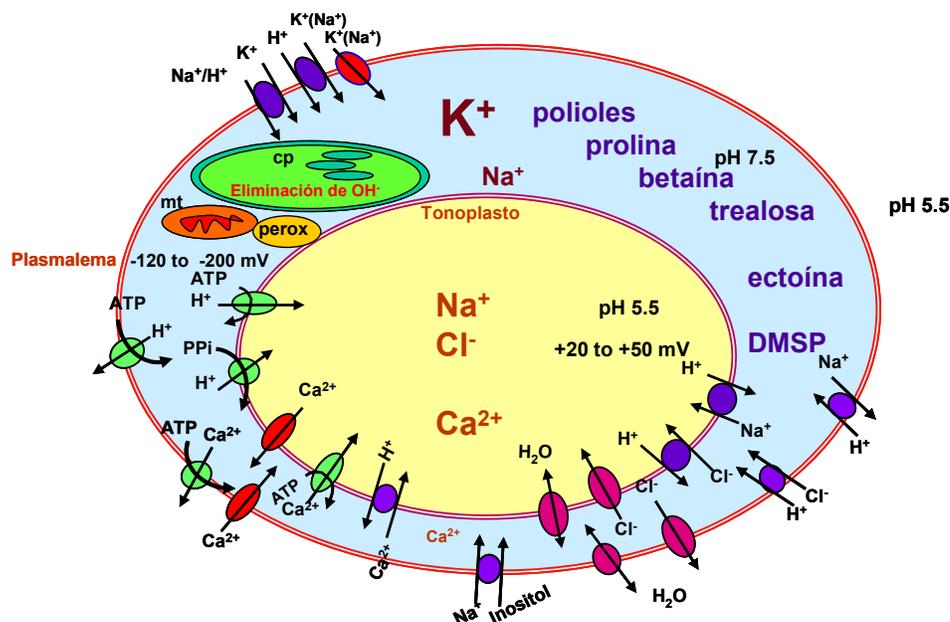


Figura 2-4. Homeostasis celular establecida después de la adaptación a sal (NaCl). Se indican los osmolitos y los iones compartimentalizados en el citoplasma y la vacuola; las proteínas del transporte responsables de la homeostasis del Na y Cl; los canales de agua; y los potenciales electroquímicos a través del plasmalema y del tonoplasto. Se incluyen organelos: cloroplasto (cp), mitocondria (mt) y peroxisoma (perox), DMSP: propionato de dimetilsulfonilo (Hasegawa *et al.*, 2000).

La H^+ -ATPasa del plasmalema resulta determinante en la tolerancia a sales, basada en el análisis de fenotipos causados por la mutación semidominante del gen *aha4-1*. La mutación de la proteína AHA4, expresada predominantemente en las raíces, causa una reducción en el crecimiento de raíz y vástago (en comparación con el tipo silvestre) de plantas que están creciendo en un medio

suplementado con 75 mM de NaCl. Disminución en la longitud de raíz de plantas mutantes *aha4-1* tratadas con sales es debida a la reducción de la longitud celular. En el medio suplementado con Na⁺, las hojas de las plantas *aha4-1* acumularon sustancialmente más Na⁺ y menos K⁺ que las plantas tipo silvestre. Se postula que la proteína AHA4 funciona en el control del flujo de Na⁺ a través de la endodermis (Vitar *et al.*, 2001).

2.5.3.2. Eflujo e influjo de Na⁺ a través del plasmalema

Los sistemas de transporte con mayor selectividad para K⁺ posiblemente faciliten la salida del Na⁺ en las células. Específicamente el Na⁺ es un competidor para la entrada de K⁺ vía plasmalema. Los canales externos de K⁺ también pueden facilitar el flujo de Na⁺. El transportador de K⁺ de alta afinidad (HKT) de trigo y el transportador de cationes de baja afinidad (LCT) también pueden participar en el flujo de Na⁺ a través de la membrana plasmática. Ambos, HKT y LCT, transportan Na⁺ cuando son expresados en sistemas heterólogos, lo que pone en evidencia su función en la absorción de Na⁺. El HKT1 de trigo es un transportador de K⁺ dependiente de Na⁺ y H⁺. Modificaciones en el HKT1 que incrementan el transporte de K⁺ también reducen el influjo de Na⁺ e incrementan la tolerancia a sales, lo que permite deducir que la conductancia de Na⁺ ocurre a través de esta proteína. Los canales no sensitivos a cationes (NSC) también participan en el flujo de Na⁺ (Amtmann y Sanders, 1999). Recientemente, las propiedades de las proteínas HKT de *Arabidopsis*, arroz y eucalipto han sido caracterizadas. *AtHKT1* es el único miembro de la familia de genes de *Arabidopsis*, mientras que tanto en arroz como en eucalipto existen al menos dos genes.

La función *in planta* de *AtHKT1* como un efector del influjo de Na⁺ ha sido confirmada recientemente (Rus *et al.*, 2001). Mutaciones insercionales de ADN-T y deleciones de *AtHKT1* fueron identificadas en un barrido para supresores del mutante *SOS3-1*. La supresión del gen *SOS3-1* sensitivo a NaCl está correlacionada con la reducción en la acumulación celular de Na⁺ y la capacidad para mantener la concentración interna de K⁺. Conjuntamente, estos resultados establecen que la proteína *AtHKT1* controla el influjo del Na⁺ dentro de la planta.

Si bien la proteína AtHKT1 es un sistema de influjo de Na^+ , su función como un regulador de los sistemas de influjo de Na^+ y K^+ no puede ser excluida. Puesto que el transcripto es expresado predominantemente en las raíces, la función más probable de AtHKT1 es el control de Na^+ dentro del xilema para exportarlo al vástago (Rus *et al.*, 2001).

La identificación de la doble mutación *sos3-1 hkt1* en *Arabidopsis* ha confirmado la existencia de sistemas de entrada de Na^+ diferentes al HKT1 que funciona *in planta*. Reducción en la concentración micromolar externa de calcio anula la capacidad de mutación para supresión del *sos3-1* sensitivo a Na^+ . Estos resultados indican la presencia de un sistema de influjo de Na^+ inhibido por Ca^{2+} .

2.5.3.3. Transporte de Na^+ y Cl^- a través del plasmalema

El transporte del Na^+ y Cl^- a través del plasmalema en un ambiente hipersalino debe ser considerado en dos contextos celulares: después del choque del estrés por sal y después del reestablecimiento de la homeostasis iónica. Inmediatamente después del estrés por sal, el gradiente electroquímico de H^+ es alterado. El influjo del Na^+ disipa el potencial de la membrana, de este modo facilita la absorción de Cl^- por gradiente químico. Un canal aniónico tiene que estar implicado en el flujo pasivo (Dreyer *et al.*, 1999). Sin embargo, después de que se reestablezcan las condiciones de estado constante, incluyendo el establecimiento de un potencial negativo dentro del plasmalema de -120 a -200 mV. El influjo de Cl^- probablemente requiere equilibrarse con iones H^+ para translocarse, probablemente vía simporte Cl^- — H^+ de estequiometría desconocida.

El sistema de transporte preciso y responsable de la absorción de Na^+ dentro de la célula es desconocido. La competencia de Na^+ con K^+ en el influjo celular es debido a que estos cationes son transportados por proteínas en común (Figura 2-4). Mientras que el K^+ es un cofactor esencial para muchas enzimas, el Na^+ no lo es. La necesidad de Na^+ como un osmolito vacuolar en ambiente salino puede ser entendida porque la planta no tiene un sistema de transporte desarrollado que excluya completamente al Na^+ del K^+ relativo. El influjo del K^+ y Na^+ puede ser diferenciado fisiológicamente dentro de dos categorías principales, uno de alta

afinidad a K^+ por encima de Na^+ y el otro en el que hay baja selectividad K^+/Na^+ . Muchos sistemas de transporte de K^+ tienen alguna afinidad por Na^+ (Blumwald *et al.*, 2000). Estos incluyen canales que rectifican el K^+ interior; simporte Na^+-K^+ ; transportadores de K^+ dependientes de voltaje; no selectivos; canal de cationes de rectificación exterior que interviene en el influjo de Na^+ en la despolarización de la membrana plasmática; y canales de cationes independientes de voltaje (White, 1999). El tamaño del gradiente de potencial electroquímico del Na^+ a través del plasmalema, resultado del gran potencial negativo dentro de la membrana y el potencial químico del Na^+ , implica el flujo electroforético como la principal manera de influjo de Na^+ intracelular (Maathuis *et al.*, 1997).

El eflujo del Na^+ a través del plasmalema y la compartimentalización dentro de la vacuola o prevacuolas presumiblemente es mediado por antiporte Na^+/H^+ , sin tener en cuenta si el potencial dentro de la membrana es negativo o positivo. Aunque la actividad de la Na^+ -ATPasa ha sido descrita en algunas algas, no hay evidencia que esta bomba exista en células de plantas superiores (Niu *et al.*, 1995). Sin embargo, ya que muchos sistemas de transporte en plantas son semejantes a levaduras, es probable que ortólogos de NHA1/SOD1 puedan ser identificados como responsables del eflujo del Na^+ a través del plasmalema (Hasegawa *et al.*, 2000).

2.5.3.4. Compartimentalización vacuolar de Na^+ y Cl^-

Una peculiaridad estructural de las células de la planta es la presencia de grandes compartimentos en los límites de la membrana, las vacuolas. Los primeros análisis de la bioquímica y transporte del tonoplasto conducen a un modelo de secuestro excesivo de Na^+ bajo estrés por sal que es mediado por antiporte Na^+/H^+ localizado en la membrana de la vacuola. Este antiporte es mediado por la absorción de Na^+ dentro de la vacuola y conducido por el gradiente de protones vacuolar establecido por la ATPasa de protones vacuolar que acidifica el lumen en vacuola (Horie y Schroeder, 2004). El resultado del secuestro vacuolar de Na^+ es la protección esencial de las reacciones enzimáticas en el citoplasma por los niveles altos de Na^+ aun cuando se mantiene la turgencia.

La compartimentalización del Na^+ en la vacuola requiere de transportes dependientes de energía, y un efecto inmediato de tratamientos con NaCl es la alcalinización de la vacuola. La actividad del antiporte Na^+/H^+ está asociada con las vesículas del tonoplasto, y se supone que por lo menos es parcialmente responsable de la alcalinización (Guern *et al.*, 1989).

La proteína AtNHX1, un antiporte Na^+/H^+ que energizado por un diferencial de pH (ΔpH) a través del tonoplasto facilita la compartimentalización vacuolar de catión en *Arabidopsis* fue aislado por complementación funcional genética de un mutante de levadura carente del antiporte endosomal Na^+/H^+ (ScNHX1) y tiene secuencia similar a los transportadores NHE (antiporte Na^+/H^+) de mamíferos. Plantas transgénicas de tomate y *Arabidopsis* que sobreexpresan el gen *AtNHX1* acumulan cantidades abundantes del transportador en el tonoplasto y exhiben un sustancial incremento a la tolerancia a sales (Apse *et al.*, 1999).

Los determinantes del transporte de Cl^- al tonoplasto son predichos por canales o portadores que acoplan el influjo de Cl^- al gradiente de H^+ . Un potencial de la membrana del tonoplasto de +50 mV (positivo en el interior) sería suficiente para facilitar casi diez veces la concentración de Cl^- en la vacuola basado en el flujo electroforético a través de un canal permeable de anión. También se ha propuesto el transporte activo secundario (antiporte $\text{H}^+/\text{anión}$).

2.5.3.5. Señalización de Ca^{2+} y la activación de la ruta de traducción de señales sensible al exceso de salinidad (SOS)

El Ca^{2+} tiene al menos dos funciones en la tolerancia a sales: una función pivote en la señalización en la respuesta a estrés por sales conduciendo a la adaptación y un efecto directo inhibitorio sobre el sistema de entrada de Na^+ .

Zhu (2000, 2001a) identificó 3 loci en *Arabidopsis* ligados genéticamente (*SOS1*, *SOS2* y *SOS3*), los cuales son componentes de una ruta de señalización de estrés que controla la homeostasis iónica y la tolerancia a sales (Hasegawa *et al.*, 2000). Análisis genéticos de la sensibilidad a Na^+/Li^+ establecieron que *SOS1* es epistático a *SOS2* y *SOS3* (Zhu, 2000). Estos mutantes SOS también exhiben un fenotipo deficiente de K^+ en un medio suplementado con concentraciones externas

micromolares de K^+ y Ca^{2+} . La deficiencia de Na^+ y K^+ de SOS2 y SOS3 es suprimida con concentraciones milimolares de Ca^{2+} en el exterior. SOS1 exhibe una sensibilidad hiperosmótica a diferencia de SOS3 y SOS2. A la vez, estos resultados indican que la ruta de señalización de SOS regula la homeostasis de Na^+ y K^+ y es activada por Ca^{2+} .

El gen SOS3 codifica una proteína que se une a Ca^{2+} con similaridad en la secuencia a la subunidad regulatoria B de calcineurina (proteína fosfatasa 2B) y a los sensores neuronales Ca^{2+} (Ishitani *et al.*, 2000). La interacción de SOS3 con la cinasa SOS2 y la activación de SOS2 es dependiente de Ca^{2+} . La función *in planta* de SOS3 como determinante de la tolerancia a sal es dependiente de la unión a Ca^{2+} y de un proceso de miristilación en su región animoterminal. La miristilación de la proteína se refiere al enlace covalente del ácido mirístico con un amida en la ligadura aminoterminal de residuos de glicina de un polipéptido nuevo (Ishitani *et al.*, 2000).

La evidencia genética y bioquímica indica que los componentes de la ruta de señalización de SOS funciona en el perfil de la secuencia jerárquica (Hasegawa *et al.*, 2000). Las uniones de Ca^{2+} a SOS3 conducen a la interacción con SOS2 y activación de la cinasa. En la ruta de señalización SOS los productos son sistemas de transporte que facilitan la homeostasis iónica. El antiporte SOS1 Na^+/H^+ situado en el plasmalema es controlado por la ruta SOS a nivel transcripcional (Guo *et al.*, 2001). La interrupción funcional del AtHKT1 mostró suprimir el fenotipo sensitivo a sales de SOS3-1, indicando que la ruta SOS controla negativamente este sistema de influjo de Na^+ (Rus *et al.*, 2001). Igualmente, la ruta SOS controla negativamente la expresión de los miembros de la familia *AtNHX* que están implicados como determinantes en la respuesta a estrés por sales.

La concentración externa de Ca^{2+} incrementa la tolerancia a sales y el estrés por salinidad incrementa momentáneamente la concentración citosólica de Ca^{2+} , proveniente de una fuente interna o externa, que ha sido implicada en la adaptación (Knight *et al.*, 1997). Datos recientes de experimentos en levaduras han dado conocimientos de la activación por Ca^{2+} en la señalización al estrés salino que controla la homeostasis iónica y la tolerancia. El componente

hiperosmótico de la alta salinidad induce un incremento de corta duración en la concentración de Ca^{2+} en el citosol, que es debido a un influjo a través del plasmalema mediante el sistema de transporte de Ca^{2+} Cch1p y Mid1p. El incremento momentáneo de la concentración de Ca^{2+} en el citosol activa la fosfatasa calcineurina PP2B (un intermediario claro en la señalización del estrés por sales controlando la homeostasis iónica) conduciendo a la activación de *Ena1*, que codifica la ATP-asa tipo P que es la principal responsable del eflujo de Na^+ a través del plasmalema (Mendoza *et al.*, 1994). La calmodulina activa la señalización a través de la ruta de la calcineurina, la cual media la homeostasis iónica la tolerancia sales. A partir de estos resultados, se puede sugerir un paradigma para la señalización de sales inducida por calcio y la activación de la ruta SOS. Componentes de la ruta SOS o SOS3, probablemente pudieran ser asociados con un canal de respuesta osmótica a través del cual el influjo de Ca^{2+} puede iniciar la señalización mediante la ruta.

Es notable que una elevada concentración de Ca^{2+} en el citosol en equilibrio dinámico es establecida en células de levaduras que están mantenidas en un medio suplementado con NaCl, después de la inoculación hiperosmótica de la concentración citosólica de Ca^{2+} de corta duración. Es posible que la nueva concentración de Ca^{2+} en el citosol establecida, contribuya a la capacidad celular para crecer en condiciones de salinidad. El antiporte $\text{H}^+/\text{Ca}^{2+}$ Vcx1p del tonoplasto y la Ca^{2+} -ATPasa localizada en la endomembrana son efectores pivotaes que regulan la amplitud y duración de la $[\text{Ca}^{2+}]_{\text{citosol}}$ transitoria. El equilibrio dinámico de la $[\text{Ca}^{2+}]_{\text{citosol}}$ establecido en medio conteniendo sales presumiblemente también involucra la coordinación de la activación del canal que facilita el influjo desde fuentes externas e internas y los sistemas de transporte dependientes de energía que compartimentalizan el catión divalente. Es razonable asumir que la $[\text{Ca}^{2+}]_{\text{citosol}}$ transitoria inducida por sales detectada en células vegetales y quizás una nueva $[\text{Ca}^{2+}]_{\text{citosol}}$ en equilibrio dinámico son controlados por el ECA (gen encontrado en el retículo endoplásmico tipo: Ca^{2+} -ATPasa de *Arabidopsis*) y las Ca^{2+} -ATPasas y los transportadores CAX1 y 2, los cuales son ortólogos de *Vcx1p* (Sze *et al.*, 2000).

2.6. Alteraciones fisiológicas, bioquímicas y agronómicas en plantas ocasionadas por altas concentraciones de Na⁺

Con base en lo descrito anteriormente, se tiene que las principales alteraciones en las plantas ocasionadas por altas concentraciones de sodio son:

- efectos hiperiónicos e hiperosmóticos inducidos por estrés;
- desorganización de la membrana (Quintero *et al.*, 2002);
- toxicidad metabólica;
- reducción del crecimiento, como consecuencia de la reducción del potencial hídrico del suelo, el cual a su vez se ve reducido por el potencial osmótico;
- reducción del área foliar, por la inhibición de la división y extensión celular;
- cambios en las funciones biosintéticas, incluyendo fotorrespiración y en la síntesis de aminoácidos y carbohidratos (Liska *et al.*, 2004);
- inhibición de la fotosíntesis, como resultado de la disminución de los porcentajes de fijación de CO₂, reducción del contenido de clorofila e inhibición de la fosforilación (Yeo, 1998);
- disminución de la exportación de fotosintatos; y
- disminución en la adquisición de nutrimentos;
- reducción del rendimientos causado fundamentalmente por desequilibrios iónicos y/o disminución del agua disponible para las plantas; y
- alteración en la calidad postcosecha.

Estas alteraciones pueden tener como consecuencia más severa la muerte de la planta.

2.7. El cultivo del pepino

2.7.1. Importancia del pepino

El cultivo del pepino tiene un elevado índice de consumo, pues sirve de alimento tanto en fresco como industrializado. El cultivo de esta hortaliza tiene estabilidad en la superficie que ocupa, con un aumento de la producción y exportación. En 2002 la FAO reportó a México como el primer exportador mundial de pepino con 386,094 t y el lugar 11 a nivel mundial en producción con un volumen de 420,000 t.

En el 2003, el pepino ocupaba el cuarto lugar en cuanto a superficie sembrada de hortalizas en México, con una producción de 314,556 t y un rendimiento de 14.6 t ha⁻¹; donde los principales estados productores son Sinaloa, Michoacán, Baja California Norte, Morelos y Nayarit (SIAP, 2003).

2.7.2. Generalidades del cultivo

El pepino pertenece a la familia de las cucurbitáceas y su nombre científico es *Cucumis sativus* L. Es originario de las regiones tropicales de Asia (Sur de Asia), siendo cultivado en la India desde hace más de 3000 años. Dentro de las características generales de la especie se tienen su duración anual y que es una planta herbácea de crecimiento rastroso e indeterminado (Moroto, 2002).

La temperatura mínima para la germinación es de 15.5 °C y una óptima de 20-35 °C. Para la formación de la planta se considera una temperatura óptima de 21/19 °C (diurna/nocturna), mientras que en la etapa de desarrollo del cultivo se recomienda mantener una temperatura de 19/16 °C. Temperaturas de 20 a 30 °C durante el día modifican muy poco la producción. No obstante, por encima de los 30 °C se observan desequilibrios en las plantas que afectan directamente a los procesos de fotosíntesis y respiración y temperaturas nocturnas iguales o inferiores a 17 °C ocasionan malformaciones en hojas y frutos (InfoAgro, 2003).

Es una planta con elevados requerimientos de humedad, debido a su gran superficie foliar, siendo la humedad relativa óptima durante el día del 60-70 % y durante la noche del 70-90 %.

El pepino es una planta que requiere de días cortos (con menos de 12 horas de luz) para tener un adecuado crecimiento y una apropiada fructificación, aunque también soporta elevadas intensidades luminosas y a mayor cantidad de radiación solar, mayor es la producción.

Es una planta medianamente tolerante a la salinidad (algo menos que el melón), de tal forma que si la concentración de sales en el suelo es demasiado elevada las plantas presenta problemas para absorber el agua de riego, el crecimiento es más lento, el tallo se debilita, las hojas son más pequeñas y de color oscuro y los frutos obtenidos se enroscan. Si la concentración de sales, en tejidos vegetales, es demasiado baja las plantas serán más frondosas y con mayor susceptibilidad a diversas enfermedades. En cuanto a pH, el cultivo se adapta a un rango de 5.5-6.8, tolerando hasta 7.5; se deben evitar los suelos ácidos con pH menores de 5.5.

2.8. Conclusiones de la revisión de la literatura

La mayoría de los cultivos son sensibles o moderadamente sensibles a la salinidad, entre los que se encuentran los de mayor valor comercial. Algunas especies han desarrollado mecanismos de adaptaciones fisiológicas y bioquímicas a la tolerancia a la salinidad, la cual se define como la capacidad de las plantas para sobrevivir y producir rendimientos económicamente aceptables bajo condiciones adversas ocasionadas por salinidad. Dichas condiciones adversas son causadas principalmente por altas concentraciones de sodio.

Entre algunas de las adaptaciones de las plantas a salinidad se encuentran mecanismos celulares para sobrevivir al estrés salino y para la regulación interna de alta concentración de sodio, por lo que las plantas pueden minimizar la entrada de sales a la célula, evitar el flujo hacia el xilema; maximizar la salida de sodio por el floema; sintetizar osmolitos y osmoprotectores que participan en el ajuste osmótico y compartimentalización vacuolar.

La presencia de altas concentraciones de sodio en el medio de crecimiento ocasiona alteraciones fisiológicas en las plantas como son: inhibición de la fotosíntesis, toxicidad, alteraciones en la biosíntesis de aminoácidos y

carbohidratos, disminución en la absorción de nutrimentos, reducción del rendimiento y disminución en la calidad de postcosecha, mermando la producción. El pepino es uno de los cultivos más rentables en México, y es cultivado en sistemas intensivos de producción, los cuales frecuentemente tienen como problema principal la salinidad del agua empleada para el riego o bien del propio suelo. El pepino es una especie clasificada como moderadamente sensible a salinidad, además es de las principales hortalizas que contribuyen a la economía agrícola del país y por ello es importante estudiar los mecanismos de adaptación que esta especie pueda desarrollar.

III. OBJETIVOS

3.1. General

Comparar las respuestas agronómicas y fisiológicas de las variedades, AF-1661 y Slice Max, de pepino desarrolladas en solución nutritiva con diferentes concentraciones de cloruro de sodio.

3.2 Particulares

- Determinar el efecto de cinco concentraciones (0, 47, 97, 150 y 205 mM) de cloruro de sodio sobre el crecimiento, rendimiento, y calidad postcosecha de dos variedades de pepino.
- Evaluar la variación de los procesos fisiológicos en dos variedades de pepino en respuesta a cinco concentraciones de cloruro de sodio.
- Detectar síntesis de prolina como osmoprotectante, y variaciones en la concentración y acumulación de nutrimentos; en respuesta a cinco concentraciones de cloruro de sodio.

IV. HIPÓTESIS

4.1 General

Concentraciones de cloruro de sodio superiores a 25 mM en la solución nutritiva, originan alteraciones agronómicas y fisiológicas en dos variedades de pepino.

4.2. Particulares

- Contenidos de cloruro de sodio mayores a 25 mM en la solución nutritiva reducen el rendimiento y calidad postcosecha de dos variedades de pepino
- Concentraciones superiores a 50 mM de cloruro de sodio en la solución nutritiva, ocasionan una reducción en la tasa de transpiración, conductancia estomática y contenido de clorofila en dos variedades de pepino.
- Concentraciones mayores a 50 mM de cloruro de sodio en la solución nutritiva, incrementan la síntesis de prolina e inhibe la concentración y acumulación cationes en plantas de pepino.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Ubicación del experimento y condiciones experimentales

El cultivo de pepino se estableció del 20 de junio al 30 de septiembre del 2006, en un invernadero con una estructura rectangular y techo de dos aguas, cubierto con plástico calibre 600, el cual permite una transmitancia luminosa del 50%. Tiene una superficie de 8 m X 45 m y un altura de 5.7 m. El experimento se llevó acabo en el Colegio de Postgraduados, *Campus* Montecillo.

5.2. Material vegetal

En este experimento se emplearon las variedades de pepino: AF-1661 y Slice Max, distribuidas por Sakata Seed de México.

La variedad AF-1661 tiene frutos de buen tamaño, rectos, color verde oscuro medio y pequeñas espinas blancas, con longitud de 20 cm y diámetro de 4.5 cm; (Figura 5-1A). La variedad Slice Max presenta frutos rectos y uniformes, de aproximadamente 22 cm de longitud y 5 cm de diámetro, con cáscara muy tersa de color verde oscuro y buen sabor (Figura 5-1B) (Sakata, 2000-2005).

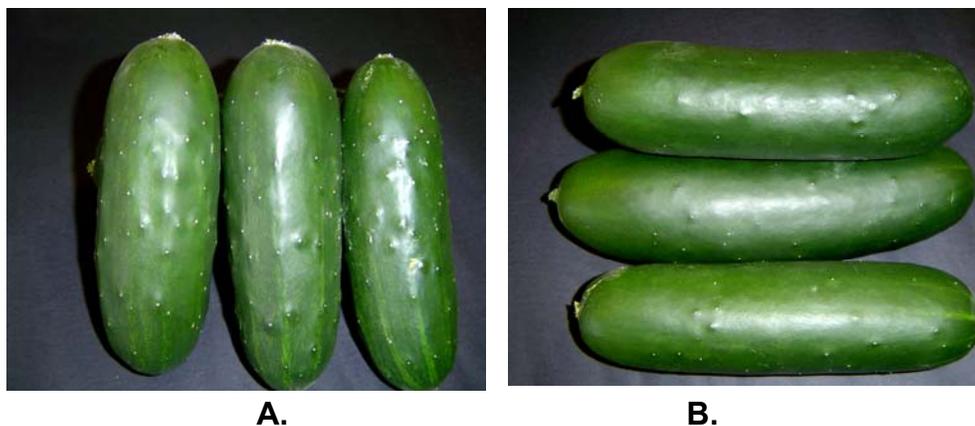


Figura 5-1. Frutos de pepino de las variedades AF-1661 (A.) y Slice Max (B.) empleadas en el experimento.

5.3. Diseño de tratamientos

Se evaluaron cinco concentraciones de cloruro de sodio (NaCl) en la solución nutritiva: 0, 47, 97, 150 y 205 mM (0, 5, 10, 15 y 20 dS m⁻¹ de C. E. aportada por NaCl en la solución nutritiva), así como dos variedades de pepino (apartado 5.2). La solución nutritiva empleada fue la universal de Steiner al 100% (concentración en m_c m⁻³: 12 NO₃⁻; 1 H₂PO₄⁻; 7 SO₄²⁻; 7 K⁺, 9 Ca²⁺, 4 Mg²⁺; pH = 5.5 y C. E.=2 dS m⁻¹).

El inicio de la aplicación de tratamientos se llevó a cabo 10 días después del trasplante. La solución nutritiva de Steiner se preparó al 100% (Cuadro 5-1) con reactivos grado analítico, para lo cual se usó agua destilada.

Cuadro 5-1. Fuentes de fertilización de macronutrientes para la preparación de la solución nutritiva de Steiner al 100% (Steiner, 1984).

Fuente	Peso Molecular	Peso Equivalente	m _c m ⁻³	g L ⁻¹
Ca(NO ₃) ₂	236.15	118.08	9	1.06
KNO ₃	101.10	101.10	3	0.30
K ₂ SO ₄	174.30	87.15	3	0.26
MgSO ₄	246.50	123.25	4	0.49
KH ₂ PO ₄	136.09	136.09	1	0.14

A la solución nutritiva se le agregó una mezcla de micronutrientes, los cuales se muestran en el Cuadro 5-2, en la que el Mn, Cu y Zn se suministraron en forma de sulfatos; el B como H₃BO₃ y el Fe fue abastecido en forma de quelato (Fe-EDTA) a partir de una solución concentrada preparada de acuerdo al método descrito por Steiner y van Winden (1970).

Cuadro 5-2. Concentraciones de micronutrientes (Baca, 1983).

Micronutrientes	Mn	Cu	B	Zn	Fe
Concentración (mg L ⁻¹)	1.600	0.110	0.865	0.023	5.000

El pH de la solución se mantuvo en 5.5, para lo cual, se realizaron ajustes al momento de la preparación y posteriormente cada 5 días, utilizando NaOH (1 N)

y/o H_2SO_4 (al 95 %) para subir o bajar el pH, respectivamente, hasta alcanzar el pH indicado.

5.4. Diseño experimental

El diseño experimental empleado consistió en bloques completamente al azar con arreglo en parcelas divididas con cuatro repeticiones. La parcela grande (A) corresponderá a la concentración de cloruro de sodio: $A_0=0$ mM, $A_1=47$ mM, $A_2=97$ mM, $A_3=150$ mM y $A_4=205$ mM. La parcela chica corresponde a las variedades de pepino a evaluar: $V_0=AF-1661$ y $V_1=Slice\ Max$. Con un total de 160 unidades experimentales.

En la Figura 5-2 se muestra la distribución física de las parcelas grandes y chicas.

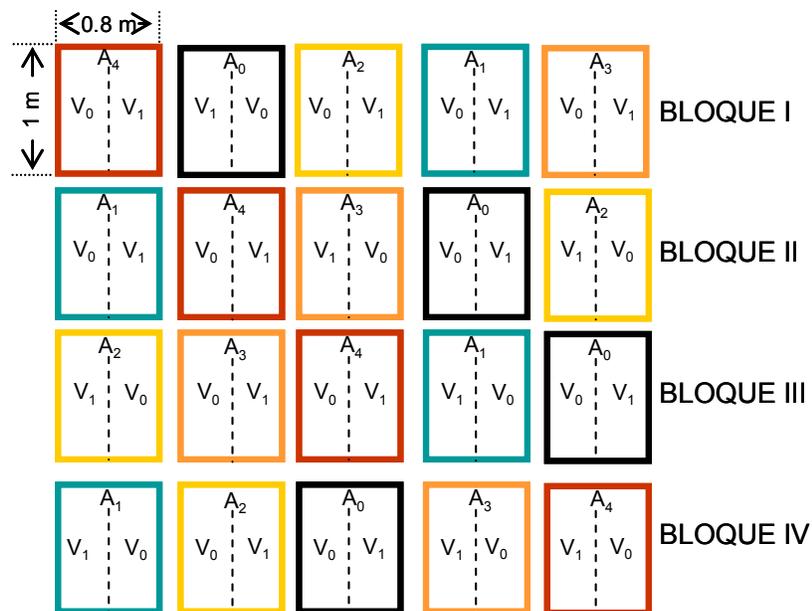


Figura 5-2. Distribución física de las parcelas grandes y chicas dentro de los bloques en el experimento.

Las dimensiones de las parcelas grandes fueron de 1 X 0.8 m con 8 unidades experimentales (una planta contenida en bolsa de polietileno), y los detalles de éstas se observan en la Figura 5-3. En cada parcela grande se tuvieron 4 unidades experimentales por variedad.

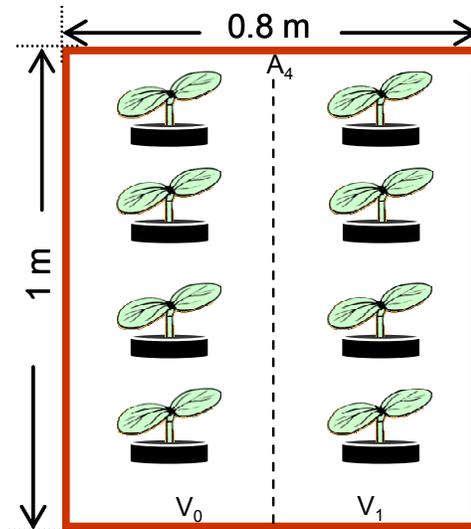


Figura 5-3. Dimensión de la parcela grande (A) y número de plantas por variedad (V) dentro de ésta.

5.5. Instalación del experimento

5.5.1. Construcción de parcelas grandes

Las parcelas grandes estuvieron conformadas por 8 unidades experimentales, cada unidad experimental correspondió a una planta contenida en una bolsa de polietileno.

5.5.2. Sustrato

El sustrato utilizado fue tezontle rojo, el cual fue tamizado para obtener partículas con diámetro entre 3 y 5 mm.

5.5.3. Siembra

Las semillas de ambas variedades de pepino a evaluar fueron sembradas en almácigo empleando como sustrato una mezcla de helecho *Sphagnum*, perlita y vermiculita (PROMIX®). A partir de la emergencia y hasta la fecha de transplante, las plantas fueron regadas con un 1/3 de la solución de Steiner (ver apartado 5.3) y posteriormente fueron transplantadas a las bolsas de polietileno para formar las parcelas chicas y posteriormente la integración de las parcelas grandes, de acuerdo a la distribución indicada en la Figura 5-3.

5.5.4. Riego

Los tratamientos fueron suministrados con la solución nutritiva Steiner al 100 %, la cual fue abastecida mediante riegos manuales. Los volúmenes de riego se aplicaron de manera homogénea en todas las parcelas grandes y fueron determinados en función de las necesidades del cultivo.

5.5.5. Tutorado

El tutorado de las plantas se realizó 25 días después del transplante, con la finalidad de mantener la planta erguida y evitar que las hojas y sobre todo los frutos estuvieran en contacto con el tezontle. Las plantas se sujetaron con rafia atada de un extremo a la zona basal de la planta y de otro a un alambre situado a 2 m por encima de la planta.

Además, se llevaron a cabo podas de las yemas laterales con la finalidad de tener una mayor producción y mejor tamaño de frutos. Entre otras labores culturales, se realizaron acomodo de guías.

5.6. Medición de variables

A continuación se presentan las variables que fueron medidas en la presente investigación:

5.6.1. Variables agronómicas

Altura de planta. Se llevó a cabo al inicio de la aplicación de tratamientos y posteriormente cada 14 días, a partir de la superficie del sustrato y hasta la yema de crecimiento, para lo cual se utilizó un flexómetro, graduado en cm.

Diámetro de tallos. Al iniciar la aplicación de tratamientos y después cada 14 días, se midió la base del tallo, aproximadamente a 2 cm de la superficie del sustrato, usando un vernier digital.

Número de hojas y flores por planta. Esta actividad se realizó manualmente, a los 30 y 60 días después del inicio de tratamientos.

Rendimiento. Se determinó considerando el peso total de frutos por planta al corte.

Peso, diámetro y longitud individual de fruto. Se determinaron a la cosecha.

Coloración del fruto. Se hicieron clasificaciones de los frutos obtenidos en función de la intensidad del verde del fruto, empleando el colorímetro HunterLab D25-PC2 (Reston, Virginia, USA), considerándose de mayor calidad los frutos color verde oscuro. La evaluación del color del fruto mediante el colorímetro se llevo a cabo, en los lados opuestos ecuatoriales, con la lectura de tres parámetros: “L” que mide la luminosidad; “a” registra las tonalidades correspondientes al color verde con valores negativos (-a) o positivos para el color rojo (+a); y “b” el cual registra tonalidades correspondientes al amarillo (-b) y un valor negativo (-b) para el azul.

Con los valores de los parámetros L, a y b se calculó el ángulo Hue como la $\tan^{-1} b/a$, usado para medir los cambios de color y el índice de saturación $(a^2 + b^2)^{1/2}$ con el que se evalúa el cambio en la intensidad de color (Minolta, 1994; Contreras, 2006)

Uniformidad del fruto. Las escalas de calidad del fruto se definieron considerando la superficie de la cáscara, forma y estructura del fruto. La mayor calidad en pepino se define cuando se tienen superficies cilíndricas, lisas y rectas; de acuerdo a lo anterior, los frutos se agruparon en tres clases: buena, regular y mala calidad.

Firmeza del fruto. La firmeza del fruto expresada en kg cm^{-2} , se determinó empleando un texturómetro Chatillon, mod. FDV- 30 con puntal cóncavo de 0.7 cm de diámetro. Se registró la fuerza necesaria para penetrar el fruto; esta variable se midió en los lados opuestos ecuatoriales.

pH en el jugo del fruto. Se emplearon 10 g de fruto fresco y se licuaron con 50 mL de agua destilada, el pH de esta mezcla se determinó con un potenciómetro Corning 12.

Conductividad eléctrica. En el extracto obtenido para la determinación del pH se medirá la CE empleando un potenciómetro Corning 12, a 25 °C.

Acidez titulable del jugo del fruto. Se utilizó el método de la AOAC (Boland, 1990), para lo cual se pesaron 10 g de fruto, de la parte central de tal manera que fuera lo más representativo posible, y se licuó con 50 mL de agua destilada. Se midió el volumen total, posteriormente se tomó una alícuota de 10 mL y se tituló con NaOH al 0.01 N. Se agregaron 3 gotas de fenoftaleína, como indicador. El porcentaje de acidez, con base al ácido cítrico, se calculó con la siguiente expresión:

$$\% \text{ ácido} = \frac{(\text{mL NaOH gastados})(\text{N del NaOH})(\text{meq del ácido})(V)(100)}{(\text{peso de la muestra})(\text{alícuota})}$$

Donde:

N = Normalidad del NaOH

meq = miliequivalentes del ácido que se encuentra en mayor proporción en el fruto (ácido cítrico = 0.064)

V = volumen total (mL de agua más gramos de fruto)

Concentración de sólidos totales (°Brix). Se midió con el empleo del refractómetro digital ATAGO (Palette), modelo PR-100 (0-32 %), colocando una gota del jugo de los frutos directamente sobre la celda del aparato.

Biomasa seca y fresca de vástago y raíz. Cada planta se separó en vástago y raíz, a su vez, el vástago se dividió en parte joven (PJ) y parte vieja (PV), como se indica en la Figura 5.4. Esta actividad se llevó a cabo a los 30 y 60 días después del inicio de tratamientos. Se determinó el peso fresco en una balanza electrónica (Mod. EK 3052-P, cap. 5 kg/11 lb) y posteriormente las plantas se depositaron en una estufa de secado (circulación forzada de aire) a 72 °C, hasta que el material alcanzó peso constante (aproximadamente 48 h) y posteriormente se pesaron en una balanza digital.

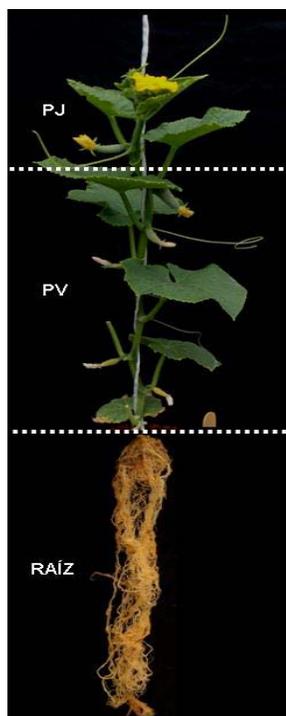


Figura 5-4. Separación de la planta en parte joven (PJ), parte vieja (PV) y raíz; para la determinación de biomasa fresca y seca.

5.6.2. Variables fisiológicas

Transpiración y conductancia estomática. Para la determinación de estas variables se utilizó el porómetro LI-1600 (LI-COR, Inc. Lincoln, NE, USA). La toma de lecturas se llevó a cabo en la tercera y/o cuarta hoja del ápice de crecimiento hacia la base de la planta.

Concentración de clorofila a y b. Se realizó la extracción etanólica siguiendo la metodología de Geiger *et al.* (1998). Para la extracción de las muestras se pesaron 0.5 g de hoja fresca finamente picada, a la cual se le agregó acetona y se aforó el volumen con acetona a 70 mL; se dejaron reposar por 48 horas en oscuridad. De la disolución aforada se tomaron 15 mL a la que se le agregaron 20 mL más de acetona. Los extractos fueron leídos en el espectrofotómetro Bausch & Lomb (Spectronic 20), para la cuantificación se registró la absorbancia a 645 y 663 nm, utilizando acetona como blanco. Las expresiones para calcular la concentración de clorofila son las siguientes:

$$\text{Clorofila a (mg g de tejido}^{-1}) = [12.7(A_{663}) - 2.59(A_{645})] \times \frac{V}{(1000)(P)}$$

$$\text{Clorofila b (mg g de tejido}^{-1}) = [22.9(A_{645}) - 4.68(A_{663})] \times \frac{V}{(1000)(P)}$$

$$\text{Clorofila total (mg g de tejido}^{-1}) = [20.2(A_{645}) - 8.02(A_{663})] \times \frac{V}{(1000)(P)}$$

Donde:

A = Longitud de onda a la que se realizó la lectura

V = volumen aforado (mL)

P = peso de la muestra

1000 = factor de conversión

Lecturas SPAD. Como una cuantificación indirecta de clorofila y como un método no destructivo, se llevaron a cabo lecturas con el medidor Minolta SPAD 502, éstas se tomaron al inicio de la aplicación de tratamientos y posteriormente cada 14 días. Las mediciones con este aparato se tomaron entre la tercera y cuarta hoja del ápice de crecimiento hacia la base de la planta (hoja recientemente madura).

Potencial osmótico en extracto celular de hojas. A los 53 días después del inicio de tratamientos, se muestrearon para esta determinación las hojas más jóvenes, éstas se cortaron en la madrugada y se colocaron dentro de un sobre de papel aluminio y se sumergieron en un contenedor de nitrógeno líquido para detener todas las reacciones metabólicas. Posteriormente las muestras fueron maceradas y el potencial osmótico se determinará en el jugo resultante de la maceración; con una micropipeta se empapó un disco pequeño de papel filtro, el cual fue introducido dentro de un osmómetro (Ramírez *et al.*, 1998).

Concentración nutrimental en tejido foliar y radical. Después del secado de las muestras, éstas se molieron en un molino tipo Wiley de acero inoxidable provisto de un tamiz malla 40. La concentración de nitrógeno total se determinó empleando el método Semimicro-Kjeldahl (Bremner, 1965). Los contenidos de P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, B y Na se cuantificaron en raíz y vástago, mediante digestión húmeda del material seco con una mezcla de ácidos perclórico y nítrico (Alcántar y Sandoval, 1999). Posteriormente, los extractos obtenidos se leyeron en un equipo de espectrofotometría de emisión atómica, de inducción con plasma acoplado ICP-

AES VARIAN™ Liberty II. Esta determinación se hizo a los 30 y 60 días después de iniciada la aplicación de los tratamientos.

Extracción nutrimental en vástago y raíz. Con los valores de concentración nutrimental y el peso seco de cada órgano, se obtuvieron los valores de acumulación nutrimental en la parte aérea (vástago) y raíz, de plantas en ambas variedades, para cada tratamiento.

Concentración de prolina. Se determinó en hojas recientemente maduras, las hojas se pusieron en nitrógeno líquido para detener la actividad metabólica, posteriormente se colocaron en matraces para su liofilización durante 48 horas, y posteriormente se molieron. La extracción de prolina en hojas se llevó a cabo en ácido sulfosalicílico al 3% y su estimación se realizó siguiendo la metodología propuesta por Bates *et al.* (1973) utilizándose 200 mg de material vegetal liofilizado y tolueno como blanco. Esta variable se cuantificó a los 24 y 37 días después del inicio de tratamientos, en cada evaluación (ddt) se obtuvo una curva de calibración, que se presentan en la Figura 5-5.

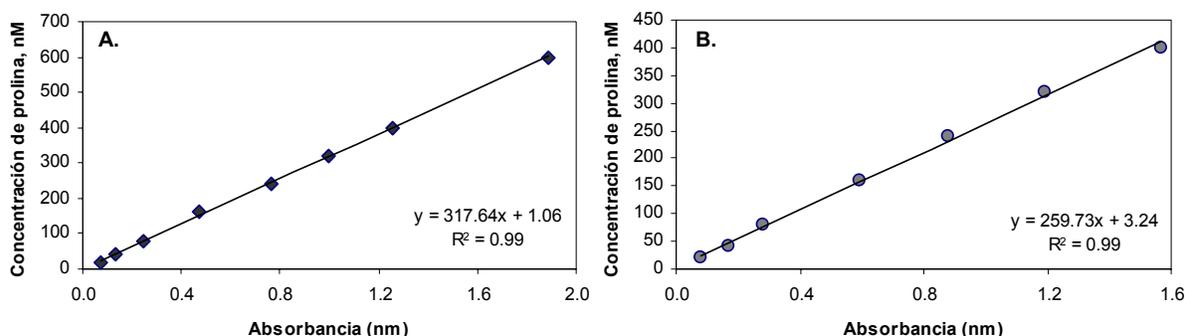


Figura 5-5. Curvas de calibración para determinar el contenido de prolina en hojas de dos variedades de pepino, a los 24 (A) y 37 (B) días después de inicio de tratamientos.

5.7. Análisis estadístico

Los datos obtenidos se procesaron empleando un análisis con PROC ANOVA (SAS, 1990). La diferencia mínima significativa para la separación de medias fue evaluada cuando la F fue significativa ($p \leq 0.05$); empleando la prueba de Tukey.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Variables agronómicas

6.1.1. Altura de planta

El estrés por salinidad es uno de los factores más importantes que limitan la producción y el crecimiento de las plantas (Lutts *et al.*, 1996). Los efectos de éste son clasificados como de corto y largo plazo. El primero implica la disminución del crecimiento, como consecuencia de la respuesta de la raíz al déficit hídrico; y el segundo, resulta en una gran acumulación de sales en las hojas totalmente expandidas y reducción de la actividad fotosintética (Allen *et al.*, 1995).

La altura de planta es una variable que es afectada negativamente por la presencia de sales en el medio de cultivo en un plazo corto (Clavero y Razz, 2002). Los resultados de esta variable obtenidos en la presente investigación se muestran en la Figura 6-1., donde se puede observar que durante los primeros 14 días después de tratamientos (ddt) hay diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$), los tratamientos son separados en dos grupos por variedad, siendo la variedad AF-1661 (AF) la que presenta mayor altura de planta. Es a partir de los 42 días después del inicio de tratamientos, en que se observa una influencia negativa de la concentración de sales sobre la altura de planta; es decir, a medida que se incrementa la concentración de NaCl, la altura de la planta disminuye significativamente.

Al final de experimento (70 ddt) se observa una altura de planta menor en 33.8 % en el tratamiento con mayor concentración de NaCl (205 mM) en la variedad AF, y menor en 35.8 % en la variedad Slice Max (SM), ambas con respecto al testigo (0 mM de NaCl). La disminución en el crecimiento de las plantas, desarrolladas en condiciones de salinidad, se debe al aumento en el gasto de energía realizado por la planta, para adquirir el agua del sustrato y hacer el aporte bioquímico para sobrevivir, desviándose energía que debería ocuparse para los procesos asociados al crecimiento y rendimiento, incluyendo elongación celular, síntesis de metabolitos y componentes estructurales (Ibrahim *et al.*, 1991).

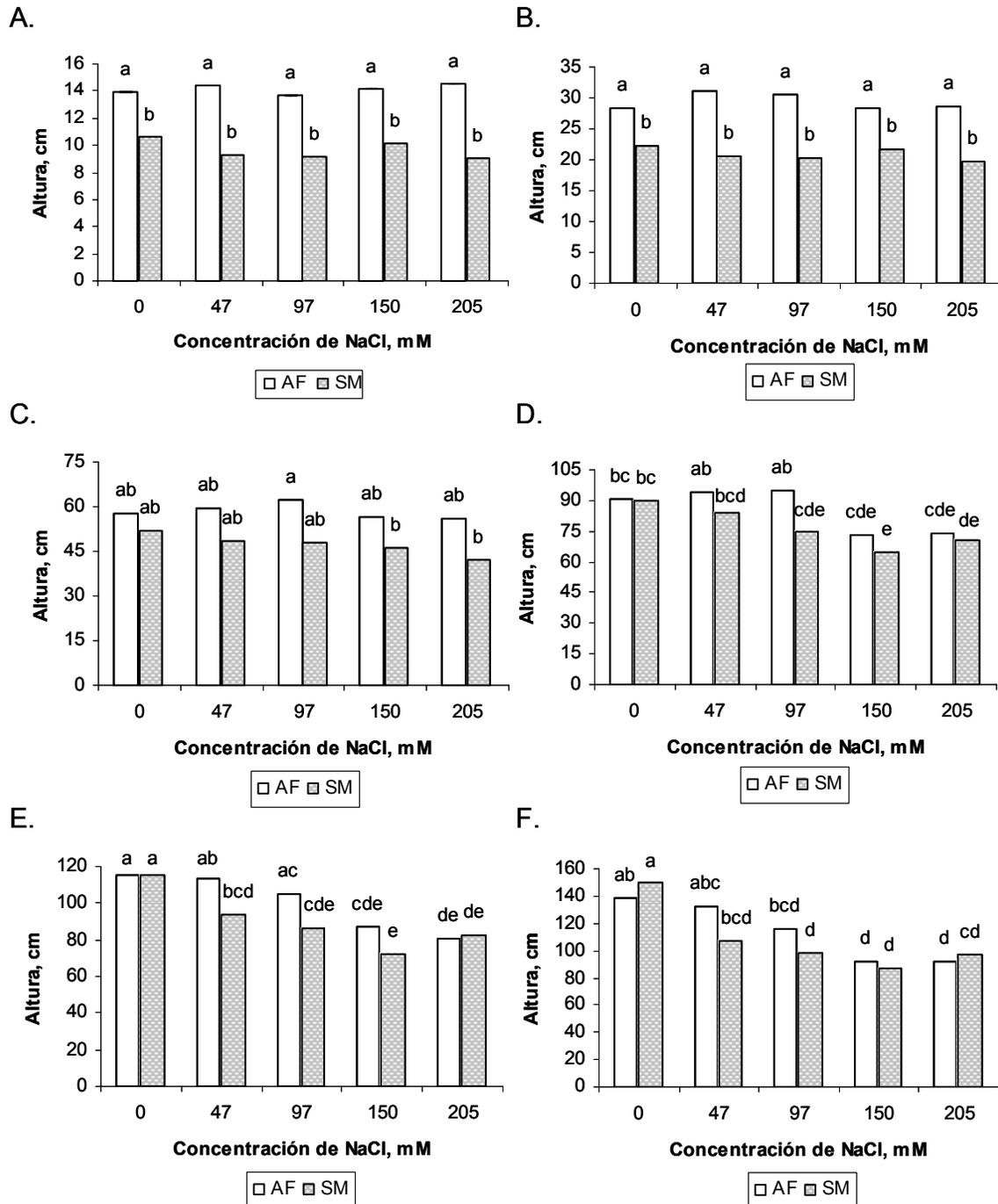


Figura 6-1. Altura de planta de las variedades AF-1661 (AF) y Slice Max (SM) de pepino, tratadas con distintas concentraciones de cloruro de sodio. A: Inicio de tratamientos; B: 14 ddt; C: 28 ddt; D: 42 ddt; E: 56 ddt; F: 70 ddt.

Barras con letra distinta en cada evaluación (días de tratamiento) indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

En la Figura 6-2. se muestra la altura final de la planta 70 ddt, observándose una reducción significativa en la altura como consecuencia de altas concentraciones de NaCl en la solución nutritiva. Estos resultados son similares a los obtenidos por Clavero y Razz (2002) en el crecimiento de *Gliricidia sepium* por efecto de la salinidad, donde la altura de la planta decrece a medida que incrementa la CE del agua de riego, debido a la presencia de sales.

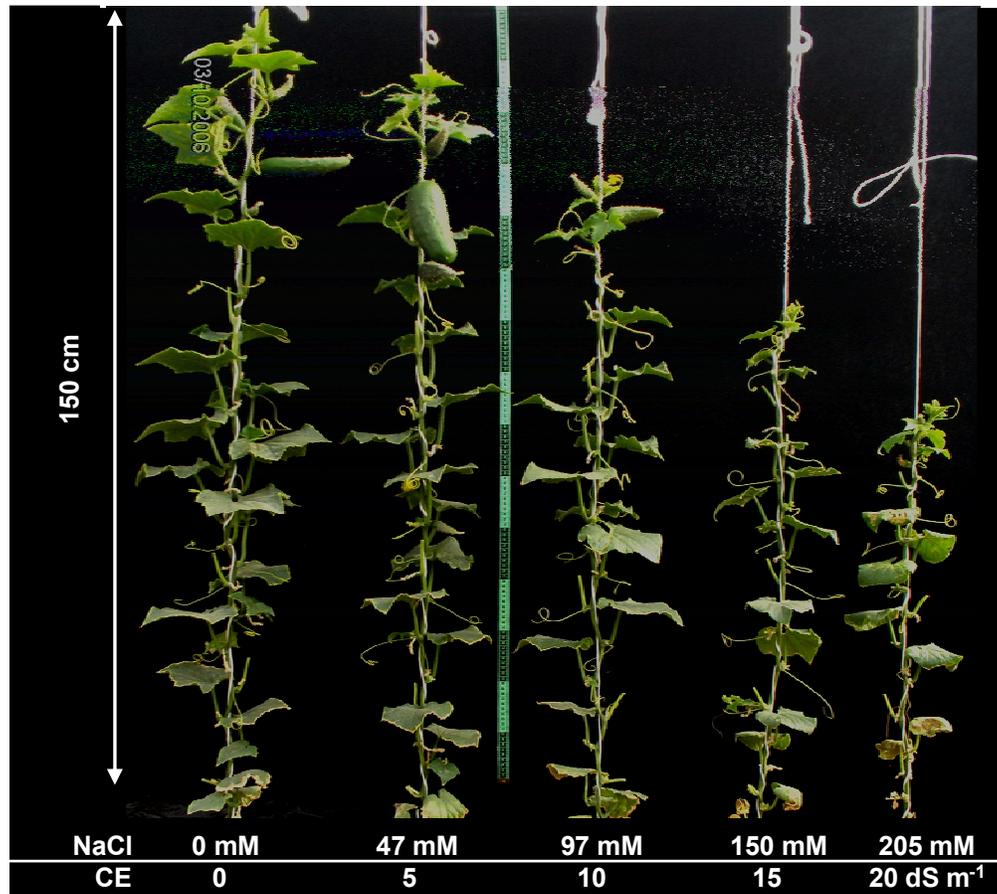


Figura 6-2. Altura de plantas de pepino desarrolladas bajo distintas concentraciones de cloruro de sodio.

6.1.2. Diámetro de tallo

En un estudio realizado por Suwa *et al.* (2006), se muestra que el diámetro del tallo está constituido por dos componentes, un “componente reversible” y un “componente irreversible” (Sevanto *et al.*, 2002). El “componente reversible” es

una capa de tejido extensible que rodea el xilema que comprende células maduras con paredes celulares rígidas (Genard *et al.*, 2001). El “componente irreversible” del tallo puede estar relacionado con el crecimiento del mismo, al observarse un incremento en el diámetro del tallo. El aumento en el “componente irreversible” es suprimido por estrés salino.

La salinidad promueve la reducción del tallo durante el día, probablemente por una disminución en el abastecimiento de agua (Fujita *et al.*, 2003). Los resultados de esta variable obtenidos en plantas, de dos variedades de pepino desarrolladas bajo diferentes concentraciones de NaCl se presentan en la Figura 6-3. En ésta se puede ver que al inicio de la aplicación de tratamientos no se presentan diferencias significativas debidas a los tratamientos, sino que la diferencia es debida a las variedades, siendo la AF la que presenta tallos más gruesos.

A los 28 ddt se presentan diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$), en el caso de la variedad AF se obtuvieron reducciones constantes en el diámetro del tallo al incrementar la concentración externa de NaCl. Sin embargo, en la variedad SM aún no son perceptibles las reducciones en el diámetro de tallo debidas a la presencia de NaCl en el medio. A partir de los 42 días del inicio de los tratamientos, se obtuvo una tendencia a disminuir el diámetro del tallo conforme aumentan los niveles de salinidad (NaCl), en ambas variedades evaluadas.

En la última evaluación realizada (70 ddt), se observa mayor susceptibilidad a la presencia de sales en la variedad AF que en la SM, la primera presentó diámetro de tallo menor en 6 % y la segunda en casi 11 %, con respecto al tratamiento sin NaCl correspondiente a cada una de ellas. Los resultados obtenidos en la presente investigación son consistentes a los obtenidos por Suwa *et al.* (2006), quienes señalaron que las sales conducen a una reducción en el diámetro de tallo de plantas de tabaco. También reportan que la supresión en el diámetro de tallo se presenta a pocas horas después de aplicar tratamientos con NaCl a concentraciones de 50 y 100 mM L⁻¹.

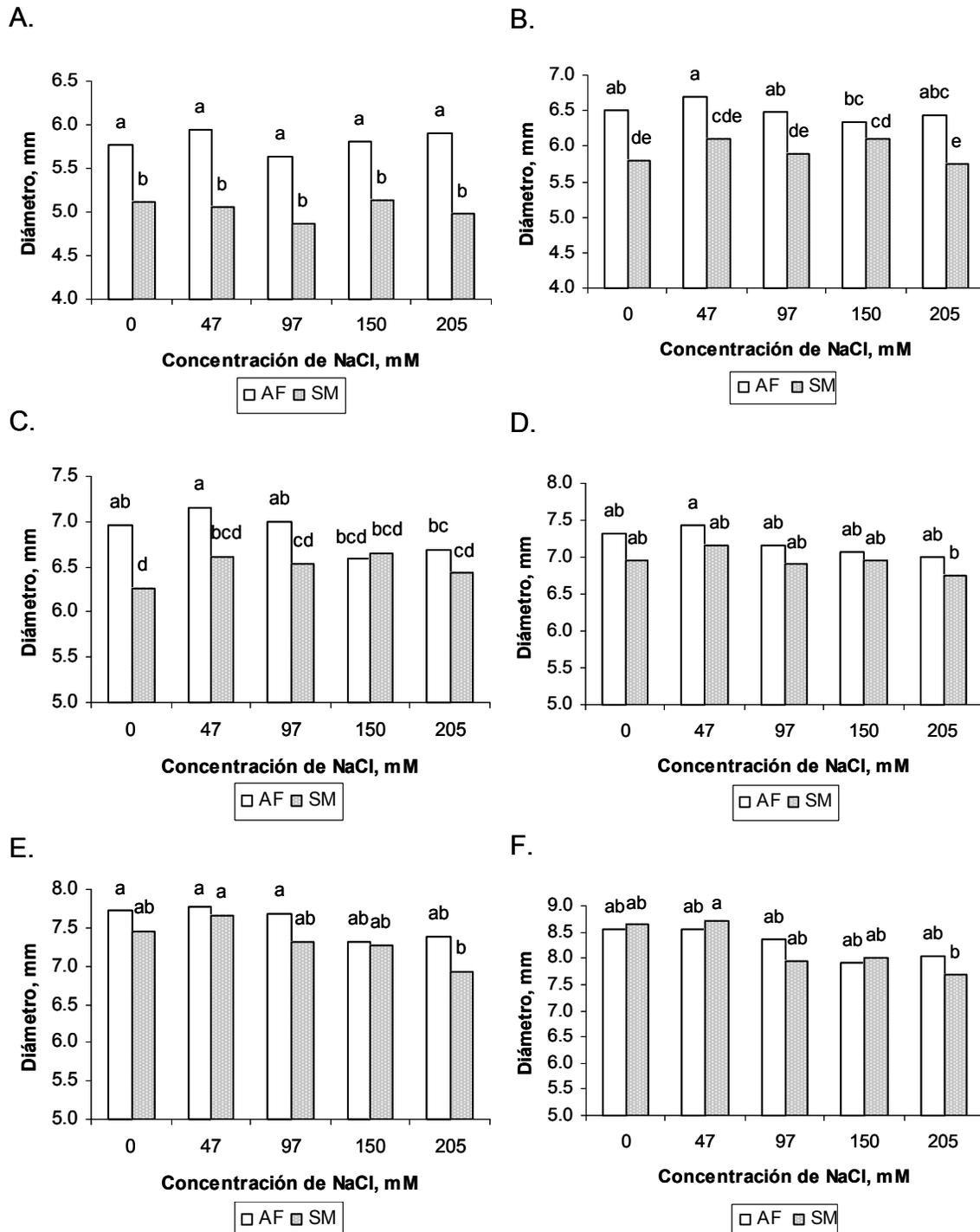


Figura 6-3. Diámetro de tallo de dos variedades de pepino (AF-1661, AF y Slice Max, SM) tratadas con distintas concentraciones de cloruro de sodio. A: Inicio de tratamientos; B: 14 ddt; C: 28 ddt; D: 42 ddt; E: 56 ddt; F: 70 ddt.

Barras con letra distinta en cada evaluación (días de tratamiento) indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

6.1.3. Número de hojas y flores por planta

El crecimiento de las plantas se ve fuertemente afectado por las condiciones de salinidad en el medio de crecimiento. Altos niveles de NaCl provocan un pobre desarrollo en la expansión de la hoja y aumenta la senescencia foliar, producto del estrés hídrico, formándose hojas más pequeñas de lo normal y en menor número, lo cual, reduce la intercepción de la radiación, así como fotosíntesis, transpiración, conductancia estomática y flujo de CO₂, y en compensación se incrementa el cierre de estomas (Ludlow y Muchow, 1990).

El efecto de diferentes concentraciones de NaCl sobre el número de hojas de dos variedades de pepino se presenta en la Figura 6-4, donde se puede ver que existe una disminución constante en el número de hojas conforme se incrementa el NaCl. A los 30 ddt (Figura 6-4A) no existieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos de la variedad AF, con un promedio entre 10-13.25 hojas por planta; sin embargo, la variedad SM tratada con 205 mM de NaCl presenta una reducción significativa con un promedio de 8.25 hojas por planta, dicha disminución es del 28.3 % con respecto al testigo. La misma tendencia se presenta a los 60 ddt. En ambos casos (30 y 60 ddt), la variedad AF presentó el mayor número de hojas por planta en todos los tratamientos, en comparación con la variedad SM.

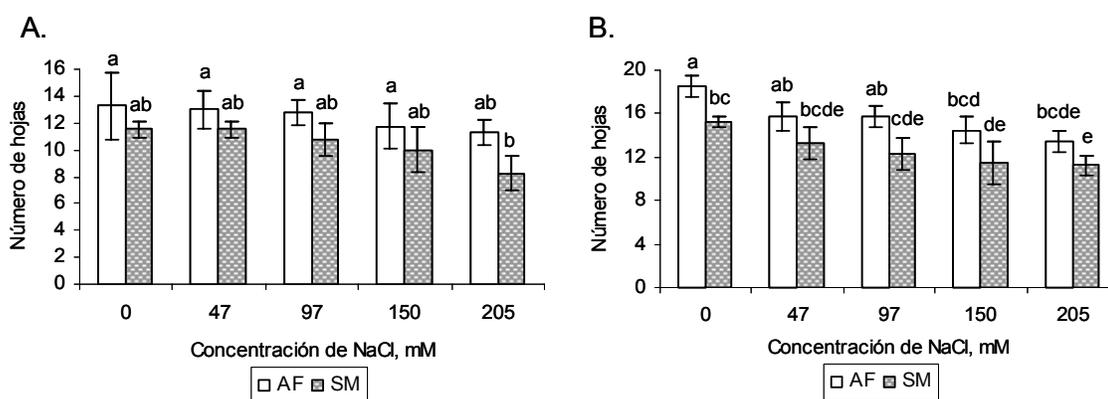


Figura 6-4. Número de hojas por planta de dos variedades de pepino (AF-1661, AF y Slice Max, SM) irrigadas con diferentes niveles de cloruro de sodio. A: 30 ddt; B: 60 ddt.

Barras con letra distinta en cada evaluación (días de tratamiento) indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

A los 60 ddt (Figura 6-4B) si se presentan diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos, en ambas variedades. A una concentración de 205 mM de NaCl, la variedad AF muestra una reducción del 39.2 % y el 26.2 % para el caso de la variedad SM, en los dos casos con respecto al testigo. El comportamiento del pepino con respecto al número de hojas por planta sometidas a diferentes niveles de NaCl, concuerda con lo observado por Wahid (2004) en caña de azúcar, en el cual se presenta una relación negativa entre el número de hojas y el nivel de NaCl, es decir, que a mayor concentración de NaCl, menor número de hojas por planta.

El número promedio de flores por planta, en dos variedades de pepino tratadas con diferentes concentraciones de NaCl de presentan en la Figura 6-5. En ésta se puede notar que a los 30 ddt no se presentan diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p > 0.05$), mientras que a los 60 ddt sí se muestran diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Además, se puede observar, en todos los tratamientos que la variedad más afectada es SM, ya que presenta menor número flores que la variedad AF.

Tanto en el primer muestreo (Figura 6-5A), como en el segundo (Figura 6-5B), el mayor número de flores no se presenta en el testigo (0 mM de NaCl). En el primer caso y para la variedad AF, el número mayor de flores se presenta en los tratamientos con 47 y 97 mM de NaCl, con un promedio de 21.25 flores por planta, comparado con un promedio de 18 flores por planta del testigo. En el caso de la variedad SM el mayor número de flores se registró en el tratamiento con 47 mM, con un promedio de 13 flores, mientras que el testigo tiene un promedio de 9.5 flores por planta, siendo el valor más bajo de la totalidad de tratamientos evaluados. Para el segundo caso, la variedad AF presenta un promedio de 29 flores por planta, en el tratamiento de 150 mM y el testigo tuvo un promedio de 23.5 flores; en lo que respecta a la variedad SM número mayor de flores se obtuvo en el tratamiento con 47 mM de NaCl, el comportamiento del testigo es similar al del primer caso (30 ddt).

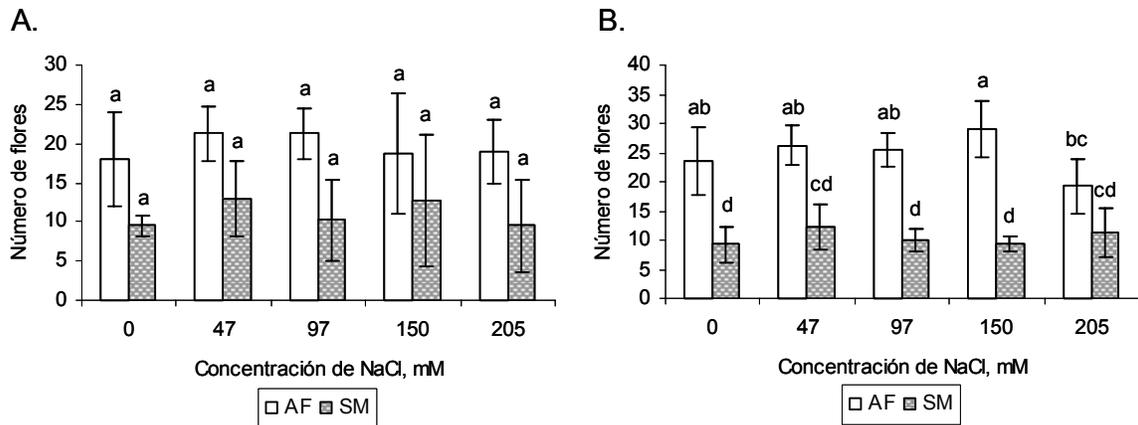


Figura 6-5. Número de flores por planta de dos variedades de pepino (AF-1661, AF y Slice Max, SM) irrigadas con diferentes niveles de cloruro de sodio. A. 30 ddt; B. 60 ddt. Barras con letra distinta en cada evaluación (días de tratamiento) indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

6.1.4. Rendimiento

Altas concentraciones de sales en el medio de crecimiento originan una disminución significativa en el rendimiento de una amplia diversidad de cultivos en el mundo (Munns *et al.*, 1999). Particularmente cuando el NaCl representa la sal predominante, ya que es una de las causas más importantes en la disminución del rendimiento de los cultivos, especialmente en regiones áridas y semiáridas (Montero *et al.*, 1998).

Algunas plantas toleran alta salinidad en el suelo mejor que otras. Desde un punto de vista agronómico, el rendimiento no se reduce en gran proporción a causa de la salinidad para algunas plantas. Esta variabilidad ocurre entre especies estrechamente relacionadas, y entre diferentes variedades o incluso dentro de individuos de una línea de variedades. Diferencias entre plantas estrechamente relacionadas son particularmente interesantes por que se sugiere que pueden ser útiles para identificar un pequeño número de factores que influyen en la tolerancia a sales (Tester y Davenport, 2003).

Diferencias en el rendimiento bajo condiciones de salinidad simplemente reflejan diferencias en el vigor de la planta. De hecho, el desarrollo de plantas más vigorosas tiene que ser sostenido para obtener un mayor incremento en el

rendimiento efectivo en medios salinos (Richards, 1992). Sin embargo, un incremento en el rendimiento puede ser resultado de un aumento en el vigor, y una estrategia por la cual las plantas son seleccionadas por tener la habilidad de mantener rendimientos en condiciones de salinidad (Tester y Davenport, 2003).

El rendimiento total por planta, de las variedades de pepino AF y SM tratadas con diferentes concentraciones de NaCl se presenta en la Figura 6-6. En ambas variedades el rendimiento es afectado gradualmente con el incremento en la concentración de NaCl. En relación a la mayor concentración de NaCl (205 mM), la variedad AF presenta una reducción en el rendimiento del 68.7 %, mientras que la variedad SM tuvo disminución del 83.1 % en el rendimiento total; ambas con respecto al tratamiento sin suministro de sales (0 mM), siendo la variedad SM más susceptible a altas concentraciones de NaCl. No obstante, sin la presencia de sales la variedad SM tuvo un rendimiento 28.6 % mayor a la variedad AF.

La respuesta del rendimiento de pepino a diferentes concentraciones de NaCl, presentado en esta investigación, es similar a lo reportado por Chartzoulakis (1995); Trajkova *et al.* (2006) y Savvas *et al.* (2005); quienes observaron que el rendimiento de pepino es reducido por el progresivo incremento en la salinidad (principalmente por efecto de NaCl).

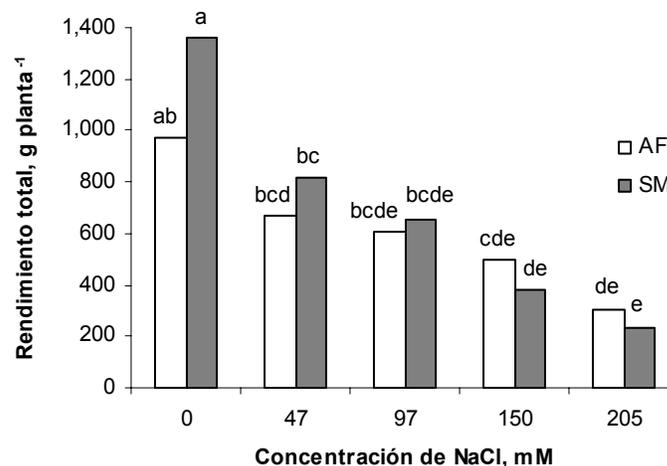


Figura 6-6. Efecto de cinco concentraciones de cloruro de sodio sobre el rendimiento total por planta de las variedades AF-1661 (AF) y Slice Max (SM) de pepino.

Barras con letra distinta indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

El comportamiento de las variedades de pepino evaluadas en relación al número de frutos por planta, desarrolladas bajo diferentes concentraciones de NaCl, se presenta en la Figura 6-7. En ésta se puede observar que la variedad SM es la que mostró mayor sensibilidad al exponerse a niveles elevados de NaCl, ya que tuvo una reducción del 64.8 % en el número de frutos al tratarse con 205 mM de NaCl, en comparación con el testigo (0 mM). La variedad AF presentó una reducción del 46.2 % cuando se trató con la mayor concentración de NaCl, respecto al testigo. Estos resultados son consistentes con los reportados por Al-Harbi y Burrage (1992), y Chartzoulakis (1995) para el cultivo de pepino, quienes reportan que hubo una reducción significativa en el número de frutos (67 %) al aplicar 50 mM de NaCl. Por otro lado, Eltez *et al.* (2002) en jitomate, reporta que no hay diferencias significativas en el número de frutos al incrementar la CE (2, 3, 4 y 5 dS m⁻¹), por efecto de adicionar NaCl a la solución nutritiva.

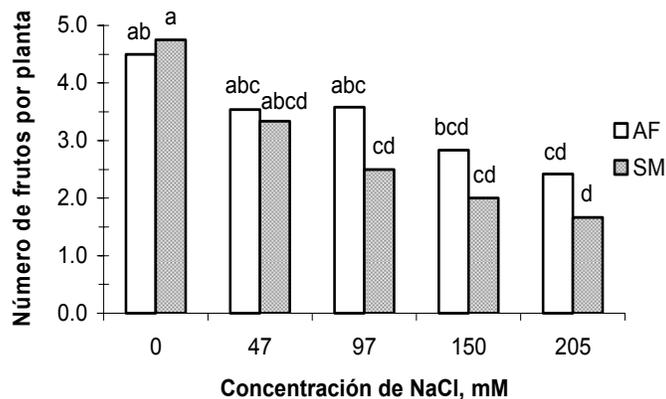


Figura 6-7. Influencia de cinco concentraciones de cloruro de sodio en el número de frutos por planta en las variedades AF-1661 (AF) y Slice Max (SM) de pepino. Barras con letra distinta indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

6.1.5. Diámetro y longitud individual de fruto

La calidad del pepino de mesa o para rebanar se basa principalmente en la uniformidad de forma, en la firmeza y en el color verde oscuro de la cáscara. Otros indicadores de calidad son el tamaño y la ausencia de defectos de crecimiento o manejo, pudriciones y amarillamiento.

Las especificaciones y los grados de calidad utilizados por la industria hortícola se apegan a la nomenclatura convencional usada para empacar: Super Select (Súper Selecto), Select (Selecto), Small Super (Pequeño Súper), Small (Pequeño), Large (Grande), y Plain (Regular). Sin embargo, ésta clasificación no tiene valor legal en los contratos comerciales (Pelayo, 2004).

Los grados de calidad de pepino en Estados Unidos se pueden ver en el cuadro 6-1, en el cual se puede observar que se clasifican en seis estándares de calidad postcosecha, que va del Fino, Extra, No. 1, No. 1 pequeño y grande, y finalmente No. 2.; dicha clasificación se basa en el diámetro y la longitud de los frutos, además otros indicadores de calidad.

Cuadro 6-1. Estándares de calidad postcosecha en frutos de pepino fresco en Estados Unidos.

Grado	Diámetro máximo, cm	Longitud mínima, cm	Características y observaciones
Fino	6.03	15.24	Consiste en pepinos bien coloreados ^a , no sobre-maduros, bien formados, frescos, firmes, libres de lesiones causadas por cicatrices y daños por amarillamiento, quemaduras, otro material extraño; Libre de mosaico u otras enfermedades, de insectos, cortes u otro daño mecánico.
Extra No. 1	6.03	15.24	Es la combinación del grado Fino y el No. 1. Con al menos el 50 % de los pepinos con requisitos de lujo y el resto cumplirá con los requisitos del grado NO. 1.
No. 1.	6.03	15.24	Pepinos suficientemente bien coloreados ^b , bastante bien formados, no sobre-maduros, que estén frescos, firmes, libres de desechos y daños causados poscicatrices, amarillamiento, quemaduras, u otros materiales ajenos, congelamiento, mosaico u otros medios de enfermedad, de insectos, cortes, lesiones o daño mecánico.
No. 1 pequeño.	2.54-5.08	no hay requisito	Consiste en pepinos que cumplan todos los requerimientos para el grado No.1 a excepción del tamaño.
No. 1 grande.	5.71 mínimo	15.24	Radica en pepinos que cumplen con las restricciones para el grado No. 1 a excepción del tamaño. No hay requisitos máximos del diámetro y de la longitud
No. 2.	6.03	12.7	Pepinos con color moderado ^c , con deformaciones no graves, frescos, firmes, libres de daño causado por congelación, cortes y de daños serios causados por cicatrices, amarillamiento, quemadura u otro material extraño; libres de mosaico u otras enfermedades, de insectos, golpes u otro daño mecánico.

United States Department of Agriculture, U. S. 1997

^a al menos tres cuartas partes de la superficie del pepino debe ser de color verde medio a más oscuro.

^b no menos de dos tercios de la superficie del pepino con color verde a oscuro medio.

^c por lo menos la mitad de la superficie del fruto debe estar de color verde u oscuro ligero.

El incremento en la CE de la solución nutritiva puede reducir substancialmente la tasa de crecimiento y el tamaño final de frutos por un efecto osmótico. Altos niveles de salinidad reducen el potencial hídrico en la planta, lo cual puede reducir el flujo del agua dentro del fruto y por lo tanto el índice de expansión de éste (Johnson *et al.*, 1992).

El efecto de la salinidad por NaCl, en el diámetro de frutos de pepino, se presenta en el Cuadro 6-2. La variedad AF, es la que presenta los valores de diámetro más altos (5.24 cm) en el testigo (0 mM). Sin embargo, también es la más afectada con la mayor concentración de sales evaluada (205 mM), con frutos más pequeños con diámetro promedio de 4.16 cm. Este tratamiento muestra diferencia estadística significativa con el testigo. Trajkova *et al.* (2006), en pepino y con conductividad eléctrica de 2, 3 y 5 dS m⁻¹; obtuvieron resultados similares a los obtenidos en la presente investigación, ya que reportan diferencia estadística significativa entre el tratamiento sin sales y el de mayor salinidad.

Cuadro 6-2. Diámetro (cm) de frutos de dos variedades de pepino desarrolladas bajo diferentes concentraciones de cloruro de sodio.

Variedad	Concentración de NaCl, mM				
	Testigo	47	97	150	205
	Diámetro de frutos, cm				
AF-1661	5.24±0.18a	5.18±0.16ab	4.29±0.35ab	4.52±0.44ab	4.16±0.41b
Slice Max	4.24±0.40ab	4.47±0.55ab	4.48±0.21ab	4.33±0.25ab	4.30±0.46ab

Cifras con letras iguales indican que no existieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$).
± Desviación estándar.

Al analizar los diámetros de fruto en función de la concentración de NaCl en la solución nutritiva, sin considerar la variedad, se observa que el mayor diámetro de frutos se obtuvo con la concentración de 47 mM (4.82 cm, promedio de ambas variedades), seguido del testigo (4.74 cm); el primero supera a este último en aproximadamente 1.7 %. Resultados semejantes se presentan en frutos de dos cultivares (Falcon y Likya) de tomate, ya que el diámetro del fruto incrementa al ser tratados con una CE de 5 dS m⁻¹, en 5.7 % en el cultivar Falcon y en 1.4 % en

Likya (Yurtseven *et al.*, 2002). Los tratamientos con 150, 97 y 205 mM presentaron diámetros de frutos de 4.42, 4.38 y 4.23 cm, respectivamente.

El efecto de diferentes concentraciones de NaCl sobre la longitud del fruto en las variedades de pepino AF y SM se presenta en la Figura 6-8. En ésta se puede observar que la variedad SM tuvo los frutos más grandes, en la mayoría de los tratamientos. Sin embargo, en ambas variedades se obtuvieron tendencias semejantes; es decir, que a mayor concentración de NaCl, disminuye significativamente la longitud del fruto. La variedad AF muestra una reducción en la longitud del fruto del 36.5 % y la variedad SM 31.3 %, comparadas con el testigo (0 mM de NaCl), siendo la longitud del fruto en la variedad AF la más afectada por el incremento de sales en el medio de crecimiento.

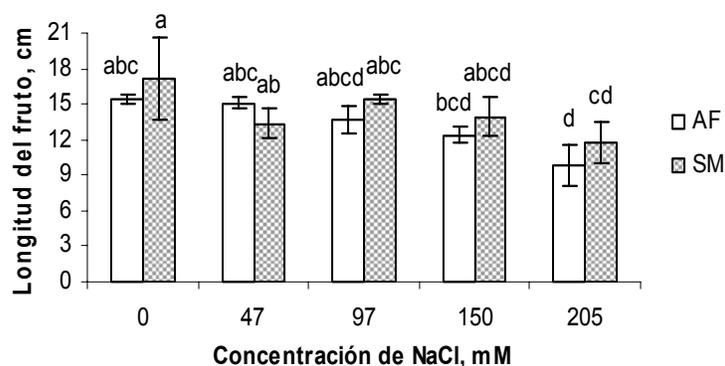


Figura 6-8. Longitud del fruto de dos variedades de pepino (AF-1661, AF y Slice Max, SM) irrigadas con cinco concentraciones de cloruro de sodio.

Barras con letra distinta indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

De acuerdo a los estándares de calidad presentados en el Cuadro 6-1, los frutos obtenidos en la presente investigación se clasifican en el grado No. 1 pequeño, ya que el diámetro de los frutos fluctúa entre 4.16-5.24 cm, además de que en este grado no hay restricción en cuanto a la longitud del fruto, puesto que los valores de diámetro oscilan en un intervalo amplio de 9.80 a 17.13 cm.

6.1.6. Coloración del fruto

Quizá el criterio más importante de calidad para el consumidor es el color, ya que de acuerdo a este indicador, se puede definir la madurez de algunos frutos. El color constituye uno de los factores organolépticos más atractivos de los frutos, y los causantes de este carácter son la clorofila, los flavonoides (antocianinas y flavonoles) y carotenoides (Herrero y Guardia, 1992).

Algunos procesos fisiológicos que se caracterizan durante la maduración son la degradación de clorofila, la ausencia progresiva del color verde y la aparición de colores rojos, naranja o amarillo. Los principales agentes responsables de la degradación de clorofila son cambios en el pH (escape de ácidos orgánicos de la vacuola), en el sistema oxidativo y en las clorofilasas (Wills *et al.*, 1998).

El ojo humano distingue tres características bien diferenciadas, llamadas propiedades del color: luminosidad, tono (hue en inglés) y saturación (chroma), que se muestran en la Figura 6-9.

La luminosidad es la cantidad de luz reflejada o transmitida dentro de un mismo tono situado entre el blanco y el negro. Es decir, sí es claro, brillante, luminoso u oscuro y se expresa en porcentaje, 0 % para negro y 100 % para el blanco, como se observa en la Figura 6-9 (Díaz-Pérez *et al.*, 2000).

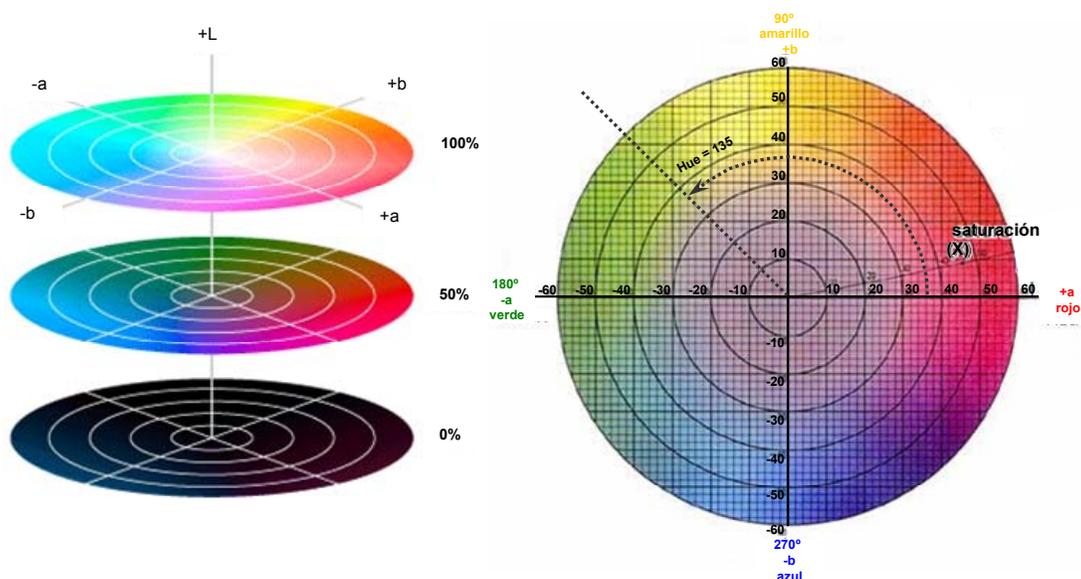


Figura 6-9. Diagrama de los parámetros del color: luminosidad (L), ángulo hue e índice de saturación, usados en el color poscosecha de frutos (Díaz-Pérez *et al.*, 2000).

El efecto de diferentes concentraciones de NaCl, sobre la luminosidad en frutos de las variedades de pepino AF y SM se presenta en la Figura 6-10. La variedad AF muestra el valor más bajo de luminosidad (21.43) en el tratamiento sin aplicación de sales (0 mM de NaCl), y el valor más alto (25.30) en el tratamiento con 150 mM de NaCl. Los resultados obtenidos en esta variedad no presentan una tendencia definida en función de las distintas concentraciones de sales evaluadas. Por el contrario, la variedad SM muestra una ligera tendencia a incrementar los valores de luminosidad conforme aumentan los niveles de NaCl en la solución nutritiva.

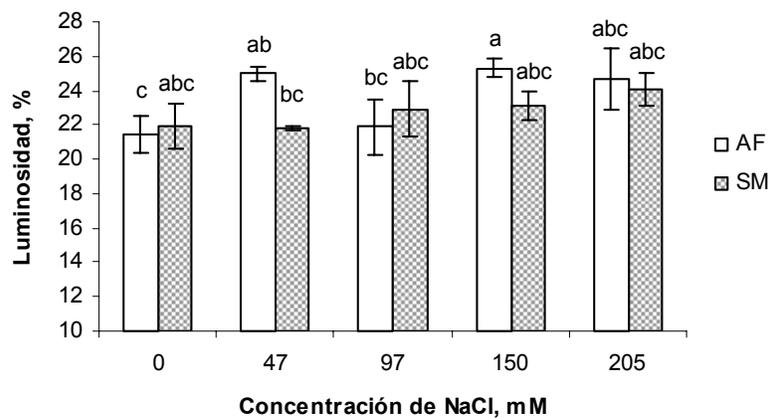


Figura 6-10. Luminosidad en frutos de dos variedades de pepino (AF-1661, AF y Slice Max, SM) tratadas con diferentes niveles de cloruro de sodio.

Barras con letra distinta indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

El ángulo hue (θ), nos indica el color del objeto, es el tipo de color o el nombre que comúnmente le damos a los colores rojo, amarillo, verde, azul o violeta, también es usado para medir los cambios de color.

El color externo del fruto (ángulo hue), por efecto de diversos niveles de salinidad por suministro de NaCl; se presentan en el Cuadro 6-3. En cuanto a la variedad AF ésta variable no presenta diferencias significativas entre tratamientos, no así, la variedad SM la cual si presenta diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre el testigo y el nivel más alto de salinidad (205 mM de NaCl), presentándose los valores más altos en el testigo, en ambas variedades, y con una tendencia a disminuir conforme se incrementan las concentraciones de NaCl, lo que coincide con lo reportado por Tadesse *et al.* (1999) en pimiento morrón.

Cuadro 6-3. Ángulo hue en frutos de dos variedades de pepino tratadas con diferentes niveles de cloruro de sodio.

Variedad	Concentración de NaCl, Mm				
	Testigo	47	97	150	205
AF-1661	138.72±4.97ab	135.87±1.40ab	135.73±0.74ab	135.22±1.52ab	136.18±1.16ab
Slice Max	139.63±1.68a	134.50±1.12ab	136.54±1.05ab	134.04±2.31ab	133.07±0.98ba

Cifras con letras iguales indican que no existieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$).
± Desviación estándar.

El índice de saturación (chroma) nos indica la pureza del color, se refiere a la proporción del tono puro predominante; por ejemplo: muy rojo o menos rojo, según la proporción de gris presente en el color, es decir, el cambio en la intensidad de color.

El índice de saturación en frutos de pepino, de plantas tratadas con diferentes concentraciones de NaCl, se muestra en el Cuadro 6-4. La variedad AF no presenta diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos, tampoco hay una respuesta clara al incrementar los niveles de NaCl. Por el contrario, para la variedad SM, que presenta diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre el testigo y el tratamiento con mayor concentración de NaCl (205 mM), en esta variedad se muestra en forma clara una relación positiva entre la salinidad y los valores del índice de saturación. Lo que concuerda con los resultados reportados por Tadesse y colaboradores (1999) en pimiento morrón, ya que presentan un incremento en los valores chroma (índice de saturación) al aumentar la CE.

Cuadro 6-4. Índice de saturación (chroma) en frutos de dos variedades de pepino.

Variedad	Concentración de NaCl, mM				
	Testigo	47	97	150	205
AF-1661	7.41±0.63ab	9.38±0.68ab	7.64±0.66ab	8.87±0.46ab	9.29±1.08ab
Slice Max	7.09±1.29b	8.08±0.41ab	8.34±0.61ab	8.55±0.83ab	9.44±1.11a

Cifras con letras iguales indican que no existieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$).
± Desviación estándar.

Al incrementar los valores del índice de saturación (chroma) y reducirse el ángulo hue se presenta una reducción gradual en el nivel de clorofila (Figura 6-9) y un incremento en la síntesis de carotenoides como resultado de la conversión de cloroplastos a cromoplastos (Leshem *et al.*, 1986). Lo anterior es observado tanto en la variedad AF como en la variedad SM.

Tourjee *et al.* (1993), sugieren que al disminuir el valor del ángulo hue (Cuadro 6-3) e incrementar gradualmente los valores chroma, se incrementa la intensidad del color. Los cambios en el índice de color se presentan más rápido cuando las plantas se desarrollan bajo tratamientos con alta CE, por adición de sales como NaCl. Cambios rápidos de color en frutos con alta CE pueden indicar que éstos están más maduros y que el proceso de maduración ocurre temprano comparado con los frutos con tratamientos con baja CE (Tadesse *et al.*, 1999).

6.1.7. Uniformidad del fruto

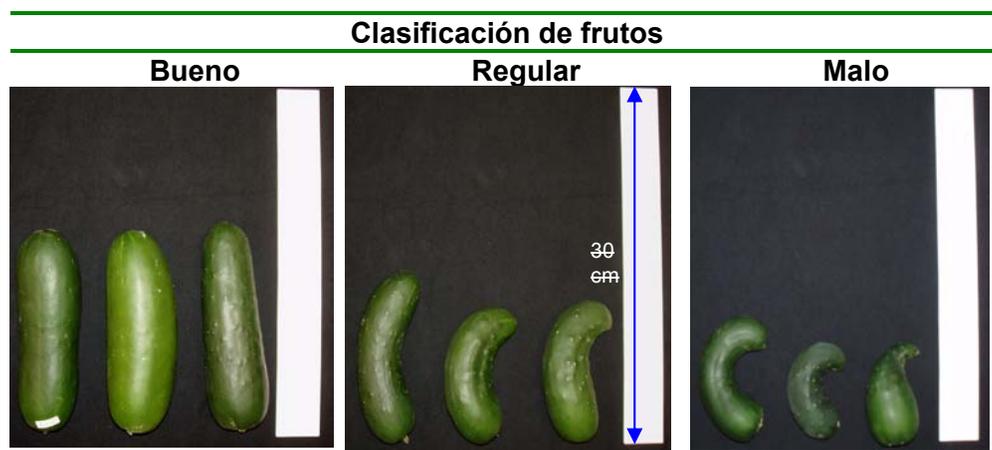
Cantidades excesivas de sal en el medio de crecimiento tienen efectos adversos sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas (Zhu, 2001b). Procesos tales como la germinación, crecimiento y vigor de plántulas, crecimiento vegetativo, floración y fructificación son afectados adversamente por altas concentraciones de sales, que finalmente provoca disminución en el rendimiento económico y también mermas en la calidad del producto (Sairam y Tyagi, 2004).

La uniformidad de los frutos de pepino se determinó en base a su clasificación, agrupándose en tres categorías: bueno regular y malo (Cuadro 6-5A). Los frutos clasificados como buenos se caracterizan por estar bien formados, lisos, firmes y rectos; los regulares se identificaron como frutos con pocas deformaciones, lisos, firmes y aptos para ser comercializables. Mientras que los frutos catalogados como malos, corresponden a los que definitivamente no pueden comercializarse, por presentar graves deformaciones y menor tamaño.

La uniformidad de frutos de las variedades de pepino AF y SM tratadas con diferentes niveles de salinidad por efecto de NaCl, se muestran en el Cuadro 6-5B, presentado como número de frutos de planta. En estos resultados se puede observar que en la clasificación de bueno se obtuvieron diferencias significativas

entre tratamientos, presentándose una relación negativa entre el número de frutos buenos y la concentración de NaCl; es decir, que a mayor concentración de sal, menor número de frutos buenos por planta. En lo que respecta a frutos regulares no hay diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.05$). El número frutos malos se incrementa conforme aumenta el nivel de NaCl, y se presentan diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$).

Cuadro 6-5A. Clasificación de frutos de dos variedades de pepino, desarrollados bajo diferentes concentraciones de NaCl.



Cuadro 6-5B. Clasificación de frutos de dos variedades de pepino, desarrollados bajo diferentes concentraciones de NaCl.

NaCl (mM)	Clasificación de frutos, frutos planta ⁻¹		
	Bueno	Regular	Malo
AF-1661			
Testigo	3.42 a	1.00 a	0.08 b
47	2.31 abc	1.15 a	0.08 b
97	2.00 abcd	1.00 a	0.58 ab
150	1.00 cde	1.42 a	0.42 ab
205	0.67 de	1.17 a	0.58 ab
Slice Max			
Testigo	3.33 a	1.25 a	0.17 b
47	2.58 ab	0.67 a	0.08 b
97	2.00 abcd	0.42 a	0.08 b
150	1.36 bcde	0.45 a	0.18 b
205	0.17 e	0.75 a	0.75 a

Cifras con letras iguales en cada columna indican que no existieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$).

6.1.8. Firmeza del fruto

La firmeza es un atributo determinante en postcosecha de frutos. Los cambios en la firmeza son el resultado de la pérdida de agua y el rompimiento enzimático de la pared celular (Gross *et al.*, 2002; Hertog *et al.*, 2004).

La cutícula del fruto es gruesa y más resistente con niveles de salinidad altos aún cuando la presión de turgencia y la firmeza del fruto son reducidos (Sonneveld y van der Burg, 1991).

El efecto de diferentes concentraciones de cloruro de sodio en la firmeza de frutos de las variedades AF y SM de pepino, no presentan diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$), como se muestra en el Cuadro 6-6. Resultados similares fueron obtenidos por Cornish (1992) en jitomate, donde obtuvo que al incrementar la CE en la solución nutritiva, no hubo efecto en la firmeza del fruto. No obstante, Trajkova *et al.* (2006), reportan diferencias significativas en la firmeza de frutos. Al incrementar los niveles de NaCl disminuyó la firmeza en frutos de pepino; la misma respuesta se presenta en frutos de pimiento, ya que al incrementar la conductividad eléctrica disminuye la firmeza de éstos (Tadesse *et al.*, 1999).

Cuadro 6-6. Firmeza de frutos de dos variedades de pepino.

Variedad	Concentración de NaCl, mM				
	Testigo	47	97	150	205
	Firmeza del fruto, kg cm ⁻²				
AF-1661	1.39±0.17a	1.48±0.17a	1.77±0.16 ^a	1.74±0.13a	1.50±0.20a
Slice Max	1.42±0.13a	1.58±0.20a	1.43±0.11 ^a	1.62±0.15a	1.48±0.13a

Cifras con letras iguales en cada columna indican que no existieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$). ± Desviación estándar.

6.1.9. pH del jugo de fruto

El grado de acidez en una solución se mide por medio del pH, que es una medida de la concentración de iones H⁺ en la solución. Lu y colaboradores (2002), muestran que el valor de pH del jugo de frutos de pepino depende del tamaño de éstos. Los frutos con diámetro menor de 2.7 cm presentaron pH de 6.20, mientras que los que tuvieron un diámetro de 2.7-3.8 cm el pH del jugo fue de 5.97,

finalmente en frutos con diámetro entre 3.9-5.1 cm se obtuvieron pH de 5.86, mostrando que a medida que incrementa el diámetro del fruto, disminuye el pH. El valor de pH en el jugo de frutos de las variedades AF y SM de pepino, creciendo bajo diferentes niveles de NaCl se presentan en el Cuadro 6-7, donde se puede ver que existe un ligero incremento en el pH del jugo del fruto al incrementarse los niveles de salinidad, sin que éstos sean estadísticamente significativos ($p > 0.05$). Esto coincide con lo obtenido por Trajkova *et al.* (2006), al reportar que los valores de pH se incrementan ligeramente al aumentar los niveles de sales, en frutos de pepino. Sin embargo, resultados presentados por Flores *et al.* (2003) y Eltez *et al.* (2002) en frutos de jitomate muestran una relación inversa entre la CE y el valor de pH, es decir, que al aumentar la CE por adición de diferentes concentración de NaCl disminuye el pH del jugo.

Cuadro 6-7. Valor de pH del jugo de frutos de dos variedades de pepino.

Variedad	Testigo	Concentración de NaCl, mM			
		47	97	150	205
AF-1661	5.61±0.61a	5.84±0.05a	6.11±0.08 ^a	6.08±0.12a	6.20±0.04a
Slice Max	5.98±0.05a	5.96±0.23a	5.95±0.07 ^a	6.00±0.21a	6.11±0.14a

Cifras con letras iguales indican que no existieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$).
± Desviación estándar.

De acuerdo a los datos reportado por Lu *et al.* (2002), y a los presentados en el Cuadro 6-2 en el que se muestra el diámetro de los frutos, dichos valores fluctúan entre 4.16-5.24 cm, por lo que le correspondería un valor de pH igual o similar a 5.86. Sin embargo, los valores presentados en el Cuadro 6-7, son superiores al reportado, por lo que en este caso no existe una relación entre el diámetro de los frutos y su pH.

6.1.10. Conductividad eléctrica del jugo del fruto

La concentración de sales en solución se puede evaluar a través de medidas indirectas como la conductividad eléctrica (CE). La CE se relaciona con la presión osmótica, donde a mayor cantidad de sales, mayor CE (Rhoades, 1993).

El efecto de diferentes concentraciones de cloruro de sodio en la CE del jugo de frutos de las variedades AF y SM de pepino se muestra en la Figura 6-11, en la que se puede observar que existe un incremento estadísticamente significativo ($p \leq 0.05$) en el valor de la CE al aumentar la concentración de NaCl.

De manera general, la variedad SM es la que presenta los valores más altos de CE. El incremento en la CE, entre el testigo (0 mM de NaCl) y el tratamiento con 205 mM de NaCl, es de 27.7 % para la variedad AF y de 34.9 % para el caso de la variedad SM. Al ascender la concentración de cloruro de sodio en el medio de desarrollo de las plantas, el contenido de sales en el jugo del fruto se incrementa. Los resultados encontrados en la presente investigación son semejantes a los obtenidos por Eltez *et al.* (2002) en frutos de jitomate, donde se muestra que existe una relación positiva entre la CE eléctrica de los tratamientos aplicados y la CE del jugo de los frutos, con una correlación superior al 0.95.

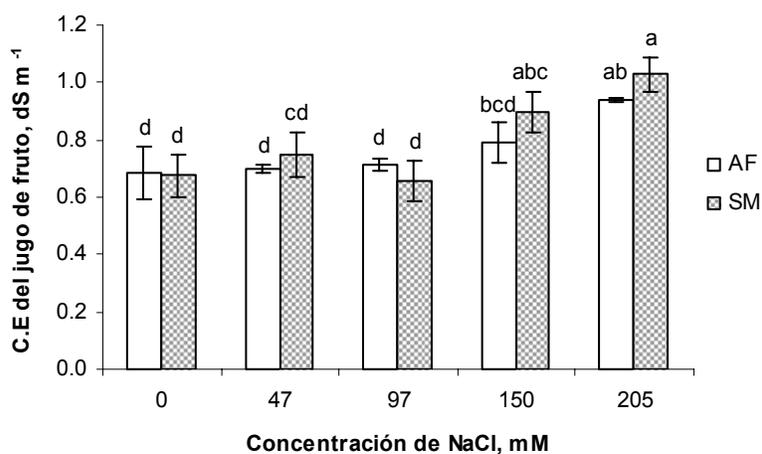


Figura 6-11. Conductividad eléctrica del jugo de frutos de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM) desarrolladas bajo diferentes concentraciones de NaCl.

Barras con letra distinta indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

6.1.11. Acidez titulable del jugo del fruto

La presencia de los ácidos orgánicos en los frutos es importante para su sabor característico. En general, uno o dos ácidos orgánicos son los que predominan según la especie. Antes de la maduración, los ácidos orgánicos están en altas concentraciones y su contenido se reduce a medida que se desarrolla este

proceso y en particular cuando se inicia el aumento de azúcares libres (Guadarrama, 2001).

La acidez titulable está en relación al ácido que se encuentra en mayor proporción (ácido málico, cítrico, tartárico, etc.). Los niveles de acidez en frutos y vegetales afecta el sabor y la aceptabilidad. Durante la maduración los ácidos orgánicos disminuyen, ya que son convertidos en azúcares. Los ácidos pueden ser considerados como reserva de energía de los frutos. La acidez expresada en acidez titulable, constituye un indicador importante en la cosecha y en algunos casos ese valor se relaciona con el contenido de azúcares (Wills *et al.*, 1998).

En el caso de frutos de pepino el ácido cítrico es el ácido orgánico más abundante, ya sea que se encuentre libre o en forma de nutrimentos. El porcentaje de ácido cítrico en el jugo de frutos de las variedades de pepino AF y SM, regadas con diferentes concentraciones de NaCl se presenta en el Cuadro 6-8. En este puede observar que los resultados obtenidos no presentan diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p > 0.05$). Los valores de acidez titulable oscilan entre 0.12 y 0.15 % de ácido cítrico. Estos resultados difieren de los reportados por Flores *et al.* (2003) en frutos de jitomate, en el que se muestra un incremento significativo en el porcentaje de ácido cítrico al aumentar el nivel de salinidad (incremento en la concentración de NaCl).

Cuadro 6-8. Acidez titulable en el jugo de frutos de dos variedades de pepino.

Variedad	Concentración de NaCl, mM				
	Testigo	47	97	150	205
Acidez titulable, porcentaje de ácido cítrico					
AF-1661	0.15±0.05a	0.15±0.05a	0.13±0.03 ^a	0.14±0.01a	0.12±0.01a
Slice Max	0.14±0.03a	0.13±0.04a	0.14±0.01 ^a	0.15±0.01a	0.14±0.02a

Cifras con letras iguales indican que no existieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$).
± Desviación estándar.

6.1.12. Concentración de sólidos solubles totales (°Brix)

La presencia de azúcares durante la maduración de los frutos define aspectos de calidad, además de ser uno de los índices de cosecha más utilizados. El tipo de azúcares presentes durante los cambios de maduración puede variar según los

frutos. El contenido de azúcares en los frutos a la madurez puede presentar cambios durante el día. La condición hídrica de la planta, la incidencia de radiación fotosintéticamente activa (PAR, por sus siglas en inglés, photosynthetically active radiation), así como la competencia entre frutos representan factores que intervienen en el contenido de azúcares (Montenegro, 2002).

En el Cuadro 6-9 se presenta la concentración de sólidos solubles totales, expresada en °Brix, en el jugo de frutos de las variedades de pepino AF y SM abastecidas con diferentes niveles de NaCl. Los pepinos no se caracterizan por mostrar valores altos de °Brix (Musmade y Desai, 1998), por ello en los resultados aquí obtenidos al desarrollarse bajo distintas concentraciones de NaCl no muestran diferencias estadísticas significativas en el valor de °Brix ($p > 0.05$). Contrario a las investigaciones reportadas por Chartzoulakis (1995) y Trajkova *et al.* (2006), en frutos de pepino, quienes muestran que existe un incremento en °Brix al aumentar el nivel de salinidad. Sin embargo, tanto en esta investigación como en las ya mencionadas, el intervalo de valores de °Brix es de 3 a 4.

Cuadro 6-9. Grados Brix en jugo de frutos de dos variedades de pepino.

Variedad	Testigo	Concentración de NaCl, mM			
		47	97	150	205
AF-1661	3.40±0.46a	3.33±0.21a	3.77±0.15a	3.73±0.45 ^a	4.13±0.06a
Slice Max	3.50±0.61a	3.73±0.21a	3.73±0.25a	3.60±0.10 ^a	3.67±0.25a

Cifras con letras iguales indican que no existieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$).
± Desviación estándar.

6.1.13. Biomasa fresca y seca de vástago y raíz

El rendimiento de un cultivo viene dado por la capacidad de acumular biomasa (fresca y seca) en los órganos que se destinan a la cosecha y un incremento proporcional de biomasa destinada a estos órganos garantiza un incremento del rendimiento. Así, la distribución de la biomasa seca entre los diferentes órganos de la planta tiene un papel fundamental en la producción de un cultivo (Peil y Galvez, 2005). Datos reportados por Wimmer *et al.* (2003), muestran que la salinidad reduce hasta en un 50 % el peso de la biomasa fresca del vástago, en plantas de trigo. Reportes de Trajkova *et al.* (2006), en plantas de pepino tratadas

con NaCl, con valores de conductividad eléctrica de 2.1 y 5 dS m⁻¹, en éste último se presentan reducciones significativas (40 %) en el peso de la biomasa fresca de tallo y hojas. En el peso del vástago seco hubo reducciones del 44.9 %, mientras que en el peso de la raíz seca no hubo diferencias significativas. Al-Harbi y Burrage (1992) en plantas de pepino desarrolladas a CE de 8.5 dS m⁻¹ (por efecto de NaCl), obtuvieron reducciones del 55.7 % y 51.8 % en el peso del vástago fresco y seco, respectivamente.

El efecto de cinco niveles de NaCl sobre la biomasa fresca de la parte joven, parte vieja y la raíz de plantas de las variedades AF y SM de pepino, y en dos periodos de muestreo (30 ddt y 60 ddt) se presenta en el Cuadro 6-10. En éste se puede observar, que en la mayoría de los casos, existe una relación inversa entre el peso de la biomasa fresca y los diferentes niveles de salinidad, ya que al incrementar la concentración de NaCl en el medio de crecimiento, disminuye la biomasa fresca de las diferentes partes de la planta.

Cuadro 6-10. Efecto de cinco concentraciones de cloruro de sodio en la producción de biomasa fresca de plantas de las variedades AF-1661 (AF) y Slice Max (SM) de pepino.

Parte de la planta	NaCl (mM)	Biomasa fresca (g planta ⁻¹)			
		30 ddt		60 ddt	
		AF	SM	AF	SM
Joven	0	14.67±2.08a	14.01±2.37a	14.95±3.08ab	17.56±1.25 ^a
	47	12.08±2.08a	12.21±2.61a	11.35±0.47bcd	15.03 ± 1.30 ab
	97	13.86±2.50a	14.30±2.21a	12.31±2.95bcd	14.45±2.22ab
	150	10.59±1.91ab	11.32±2.07ab	10.85±1.56bcd	13.72±2.12abc
	205	10.57±0.59ab	6.38±0.85b	8.60±1.73d	9.70±0.85cd
Vieja	0	42.63±4.63a	39.57±2.45a	117.46±30.7ab	133.93±26.51a
	47	45.81±4.66a	44.56±6.06a	88.48±25.79abcd	97.85±11.67abc
	97	41.82±4.61a	36.59±10.06ab	82.64±25.21bcd	99.89±21.21abc
	150	38.37±7.85a	35.42±8.93ab	75.67±13.49bcd	62.48±9.17cd
	205	32.50±5.55ab	22.93±5.13b	43.83±4.43d	42.14±13.06d
Raíz	0	32.70±6.93a	32.47±7.72a	21.72±10.01ab	28.36±12.16a
	47	29.02±2.54a	31.82±4.65a	16.78±8.83ab	15.67±2.65ab
	97	25.84±3.76a	23.41±5.42ab	14.71±3.04ab	23.50±6.44ab
	150	20.79±7.75abc	22.09±8.07abc	13.03±1.55ab	14.74±3.84ab
	205	11.11±4.98bc	9.00±3.61c	8.93±2.80b	9.27±3.84b

Cifras con letras iguales, entre partes de la planta y ddt, indican que no existieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$). ± Desviación estándar. ddt: días después de tratamientos.

La biomasa fresca acumulada (PJ+PV+raíz) de las variedades de pepino AF y SM desarrolladas bajo diferentes concentraciones de NaCl, se presenta en la Figura 6-9. Durante los primeros 30 días de tratamiento (Figura 6-12A y B), el peso de la biomasa fresca del vástago (PJ+PV) y de la raíz tiende a disminuir conforme se incrementa la concentración de NaCl.

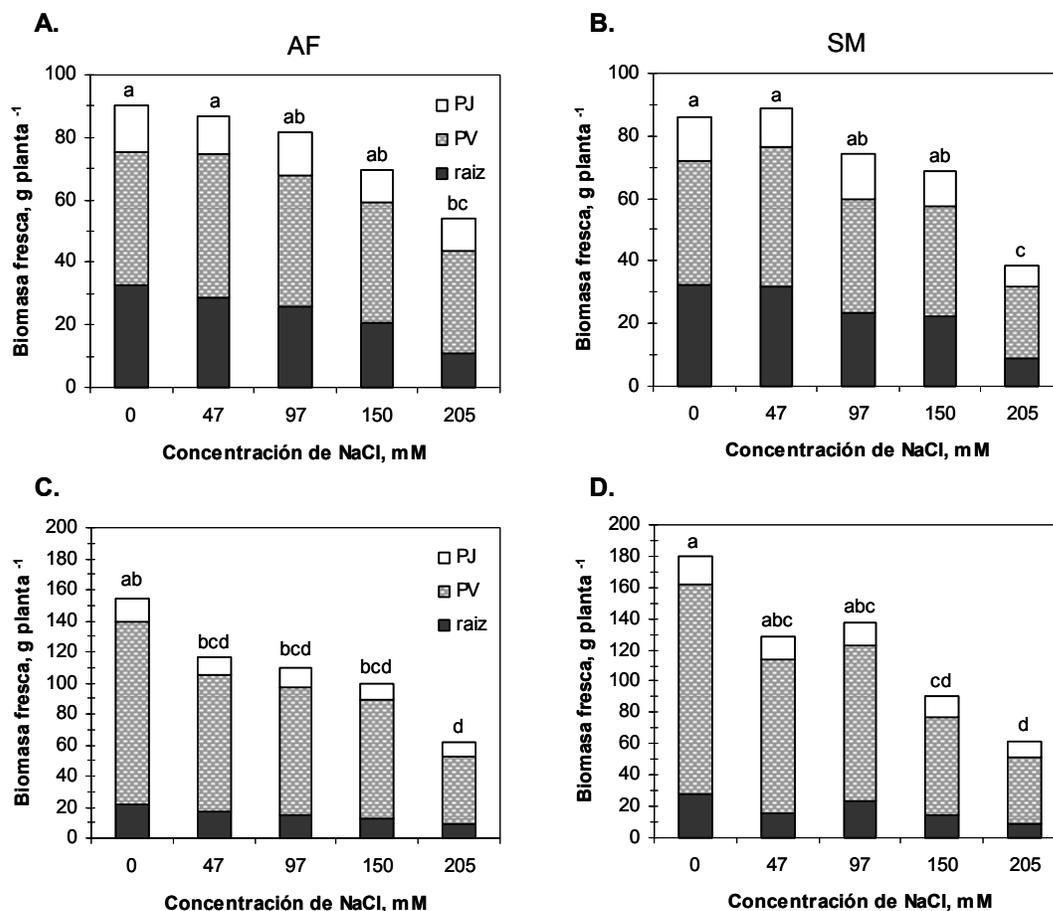


Figura 6-12. Efecto de diferentes concentraciones de cloruro de sodio en la biomasa fresca de pepino, variedades AF-1661, AF (A y C, 30 y 60 ddt, respectivamente) y Slice Max, SM (B y D, 30 y 60 ddt, respectivamente). PJ: parte joven. PV: parte vieja.

Barras con letra distinta en cada evaluación (días de tratamiento, A-B y C-D) indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

La variedad SM (Figura 6-12B) es la más afectada al aplicarle 205 mM de NaCl, ya que presenta una reducción del 45.3 % en el peso de biomasa fresca del vástago, mientras que la variedad AF (Figura 6-12A) tiene reducción del 17.6 %, ambos con respecto al testigo. El mismo comportamiento se presenta en el peso de raíz fresca, ya que la variedad SM presenta una reducción del 72.2 %, y la variedad AF de un 66.0 %, con respecto a sus testigos. Sin embargo, en la variedad SM, al ser tratada con 57 mM de NaCl, se incrementa ligeramente (aproximadamente en 5 %) el peso del vástago fresco, lo que coincide con lo obtenido por Tani y Sasakawa (2006) en *Casuarina equisetifolia*.

A los 60 ddt (Figura 6-12C y D), se obtuvo una tendencia similar al muestreo anterior y a lo presentado por Jungklang *et al.* (2004) en especies como *Sesbania rostrata* y *Phaseolus vulgaris*, ambas especies presentan una reducción en el peso de la biomasa fresca del vástago al incrementar la concentración de NaCl.

Comparado con el testigo, la variedad SM resultó ser más susceptible a una concentración de 205 mM de NaCl, ya que presenta una reducción en el peso de la biomasa fresca de 65.8 % y 67.3 % para vástago y raíz, respectivamente. En el caso de la variedad AF, la reducción en el peso de la biomasa fresca obtenida es del 60.4 % en el vástago y del 58.9 % en la raíz, también a una concentración de 205 mM de NaCl, respecto al testigo.

La distribución de biomasa seca entre los diferentes órganos de una planta es el resultado final de un conjunto ordenado de procesos metabólicos y de transporte que rigen el flujo de asimilados a través de un sistema fuente-demanda. Las actividades involucradas en este proceso no son estáticas, pueden cambiar diariamente y a lo largo de período de desarrollo de la planta (Patrick, 1988).

Los valores promedio de la biomasa seca de diferentes partes de plantas de dos variedades de pepino, a los 30 y 60 ddt se muestran en el Cuadro 6-11. Se puede ver, que el comportamiento del peso de la biomasa seca de las tres partes de la planta (parte joven, la parte vieja y la raíz) es semejante al de la biomasa fresca (Cuadro 6-10), es decir, que a concentraciones crecientes de NaCl, el peso de la biomasa seca se reduce significativamente ($p \leq 0.05$).

Cuadro 6-11. Biomasa seca de diferentes partes de la planta de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM) por efecto de cinco niveles de NaCl.

Parte de la planta	NaCl (mM)	Biomasa seca (g planta ⁻¹)			
		30 ddt		60 ddt	
		AF	SM	AF	SM
Joven (PJ)	0	1.65±0.29a	1.71±0.38a	1.68±0.33ab	2.16±0.13a
	47	1.29±0.30a	1.31±0.31 a	1.31±0.05bc	1.59±0.26ab
	97	1.43±0.28a	1.53±0.24a	1.44±0.43bc	1.63±0.41ab
	150	1.16±0.18ab	1.19±0.22ab	1.26±0.22bc	1.43±0.41bc
	205	1.10±0.04ab	0.65±0.19b	0.85±0.17c	1.06±0.08bc
Vieja (PV)	0	5.02±0.67a	5.22±0.42a	14.76±2.71ab	17.82±3.18 ^a
	47	5.14±0.43a	5.19±0.85a	11.02±4.02bc	11.49±0.88bc
	97	4.57±0.53a	4.18±1.48ab	9.91±3.86bcd	11.87±3.17abc
	150	4.18±1.12ab	3.80±1.17ab	8.59±2.06bcd	6.55±0.87cd
	205	3.27±0.72ab	2.18±0.49b	4.56±0.67d	5.95±1.79cd
Raíz (R)	0	1.30±0.33a	1.25±0.28a	1.18±0.50ab	1.45±0.50 ^a
	47	1.13±0.26a	1.29±0.12a	0.74±0.31bc	0.83±0.21abc
	97	1.06±0.29ab	1.00±0.34abc	0.74±0.21bc	1.24±0.31ab
	150	0.88±0.43abc	0.74±0.21abc	0.60±0.10bc	0.69±0.16bc
	205	0.42±0.16bc	0.35±0.13c	0.38±0.07c	0.46±0.14c

Cifras con letras iguales, entre partes de la planta y ddt, indican que no existieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$). \pm Desviación estándar. ddt: días después de tratamientos.

Suwa y colaboradores (2006), mostraron que tratamientos con concentraciones crecientes de NaCl disminuyen el crecimiento de la planta y con ello la acumulación de biomasa seca.

El cloruro de sodio inhibe el desarrollo de las variedades de pepino AF y SM reduciendo el peso de la biomasa seca del vástago (tanto de la parte joven, PJ; como de la parte vieja, PV) y la raíz; lo que se puede observar en la Figura 6-10. A los primeros 30 ddt (Figura 6-13A y B), la variedad SM es la más afectada por los tratamientos con diferentes niveles de NaCl, ya que presenta una reducción del 59.2 % en el peso de vástago seco, con respecto al testigo (0 mM de NaCl), mientras que la variedad AF muestra una disminución del 34.5 % en la biomasa seca del vástago, también respecto al testigo. En lo que al peso de la raíz seca se refiere, el comportamiento de ambas variedades de pepino es similar al mostrado en el vástago, aunque se presenta una reducción mayor, la variedad SM muestra una reducción del 72.0 %, mientras que del 67.7 % la variedad AF, ambos en relación al testigo. Estos resultados coinciden con lo reportado por Jungklang *et al.*

(2003), en *Sesbania rostrata* y *Phaseolus vulgaris* L., y por Suwa *et al.* (2006) en plantas de tabaco (*Nicotiana tabacum*).

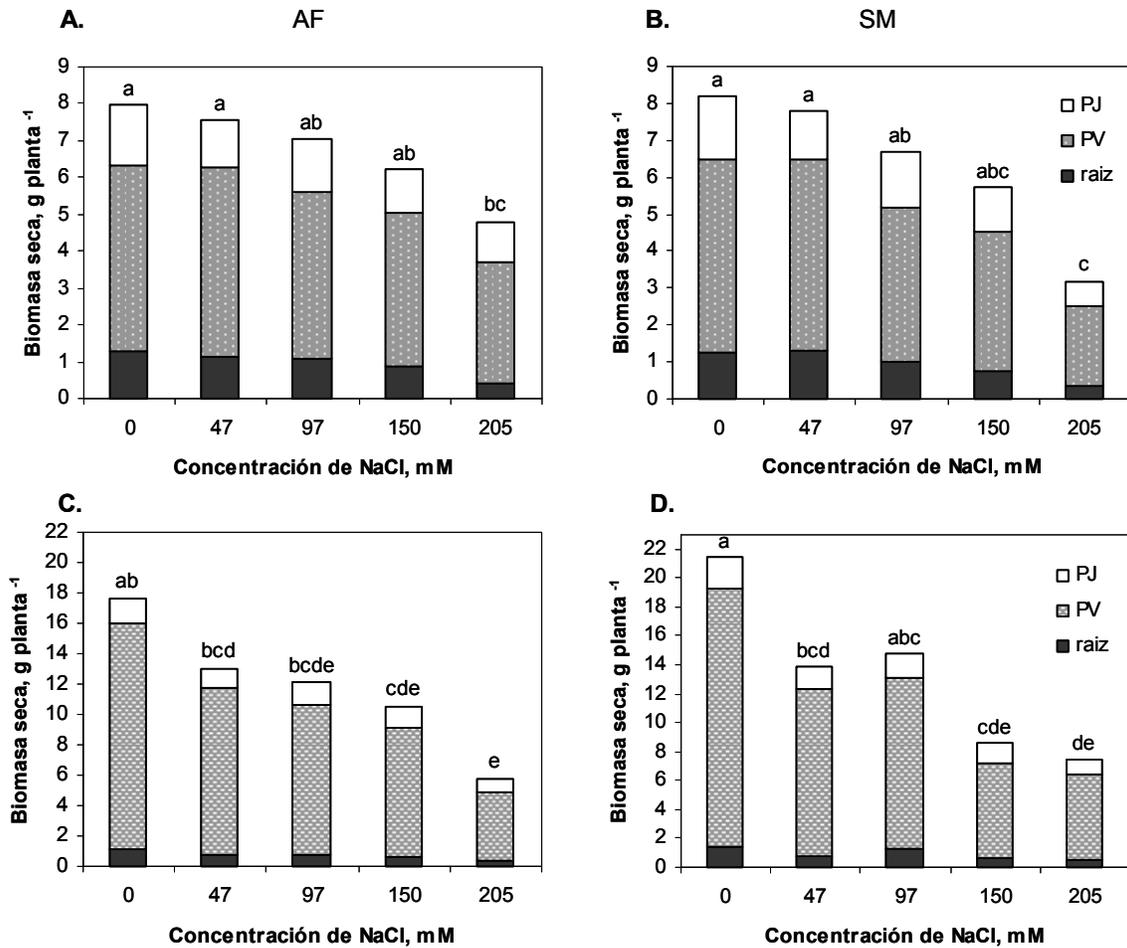


Figura 6-13. Cambios en el peso de la biomasa seca de la parte joven (PJ), parte vieja (PV) y raíz, de dos variedades de pepino, tratadas con diferentes niveles de cloruro de sodio. Variedad AF-1661, AF (A y C, 30 y 60 ddt respectivamente) y Slice Max, SM (B y D, 30 y 60 ddt, respectivamente).

Barras con letra distinta en cada evaluación (días de tratamiento, A-B y C-D) indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

A los 60 ddt (Figura 6-13C y D), la variedad SM registró 18 % más en el peso de la biomasa seca del vástago que la variedad AF, en el tratamiento con 0 mM de NaCl; no obstante, la tendencia es similar a la obtenida a los 30 ddt, es decir, que a mayor concentración de cloruro de sodio disminuye el peso de la biomasa seca

de todos los órganos en cuestión. Resultados semejantes han sido reportados por Chartzoulakis (1994) y Dabuxilatu e Ikeda (2005). Se presenta una reducción significativa entre el peso de la planta seca del testigo (0 mM) y el nivel más alto de NaCl, por lo que las plantas tratadas con 205 mM de NaCl presentaron 60 % menos acumulación de biomasa seca total (vástago + raíz). La reducción en la biomasa seca entre variedades es semejante, tanto en el vástago (67.1 % en AF y 64.9 % para SM), como en la raíz (AF con 67.8 % y 68.3 % en SM).

En la variedad SM a los 60 ddt se observa un ligero incremento en el peso de biomasa seca de la planta completa, de 3 %, del tratamiento con 47 mM al tratamiento con 97 mM de NaCl (Figura 6-13.D), este comportamiento es similar al que se presenta en plantas halófitas, como *Suaeda salsa* L., en donde la acumulación de biomasa seca se incrementa por la presencia de NaCl en concentraciones de 2-100 mM L⁻¹ (2-100 mol m⁻³) (Mori *et al.*, 2006).

6.2. Variables fisiológicas

6.2.1. Transpiración y conductancia estomática

La presencia de sales en el medio de crecimiento como el suelo y el agua inhiben el crecimiento de las plantas por dos razones. La primera de ellas es la reducción de la capacidad de la planta para absorber agua, lo cual conduce a un lento desarrollo, causado por el efecto osmótico (o déficit hídrico) de las sales presentes en el exterior de las raíces. La segunda, es la reducción subsiguiente del crecimiento provocada por la incapacidad de la planta para impedir la entrada de niveles tóxicos de sales en el flujo de transpiración y eventualmente daños en las células de las hojas con tasa transpirativa (Munns, 2005a).

Las plantas transpiran aproximadamente 50 veces más agua que aquella que retiene en sus hojas (Munns, 2005b). La mayoría de las plantas excluyen alrededor del 98 % de la sal presente en la solución del medio de crecimiento (agua, suelo o sustrato), y solo el 2 % de sales puede ser transportado vía xilema al vástago. Algunos ejemplos al respecto son el trigo que excluye más del 98 % del Na^+ de la solución del suelo, y no puede acumular en sus hojas una concentración mayor a 50 mM de NaCl (Husain *et al.*, 2004); y la cebada, que excluye menos del 98 % del Na^+ en la solución del suelo, y la concentración en sus hojas puede alcanzar niveles muy altos, arriba de 500 mM (Rawson *et al.*, 1988). La exclusión de Na^+ en las hojas ocurre por acumulación de los iones en la raíz y la retranslocación de los iones de las hojas a la raíz, donde el Na^+ es excretado al medio del suelo (Marschner, 1995).

El transporte de iones de Cl^- ocurre principalmente en el flujo de transpiración. Esto explica las altas concentraciones de iones en las hojas y la incidencia de daño por sales en el extremo y borde de la hoja. Este daño es manifestado por necrosis foliar, el cual inicia en los bordes de las hojas (Wahome, 2003). La tolerancia a sales de muchas especies leñosas parece estar asociado con la exclusión de Cl^- y/o Na^+ de raíces y hojas. La exclusión de sales es uno de los factores más importantes que está determinado por la habilidad de las glicófitas para resistir condiciones de salinidad (Tattini, 1994).

La transpiración es la fuerza conductora dominante para la absorción de iones y translocación de agua y solutos de la raíz al vástago durante períodos de luz. La reducción en la transpiración es limitada por el transporte de sales en el vástago y puede ser benéfico en fases cortas, para la adaptación al estrés. En una etapa prolongada, la reducción de la transpiración puede limitar el suministro de nutrimentos y el crecimiento del vástago (Valkov *et al.*, 2003).

A causa de alta salinidad, la fotosíntesis puede ser reducida por una disminución en la conductancia estomática como un resultado del desequilibrio hídrico o por factores no estomáticos que puede ser causada por toxicidad iónica (Brugnoli y Lauteri, 1991). Muchos estudios recientes refuerzan la percepción de que el NaCl causa inhibición en el crecimiento por cambios en la tasa fotosintética neta, conductancia estomática, tasa de transpiración y otras variables térmicos (Gupta *et al.*, 2002).

Los cambios en la transpiración y conductancia estomática en hojas de las variedades de pepino AF y SM crecidas bajo diferentes niveles de NaCl, se presentan en la Figura 6-14. La variedad SM es más susceptible al suministro de NaCl en esta investigación, ya que se observa que con el tratamiento con mayor concentración de sal (205 mM de NaCl), una reducción del 63.2 % y 62.1 % en la tasa de transpiración y conductancia estomática, respectivamente, en comparación con el testigo. Para el caso de la variedad AF, y aunque la reducción en estas variables fueron menor que en la variedad SM, ésta es considerable, con valores de 39.5 % para la conductancia estomática y de 36.5 % para la transpiración con respecto al testigo.

La variedad SM, es la que muestra mayor correlación (valores de R^2 iguales o superiores a 0.9) entre la transpiración, la conductancia estomática y niveles crecientes de NaCl. Cuando el valor de R^2 es más cercano a 1 significa que la correlación es alta, lo que implica que las variaciones en una de las variables repercute fuertemente en la otra, por lo que estos resultados indican que al variar las concentraciones de cloruro de sodio en el medio de crecimiento, parámetros fisiológicos como transpiración y conductancia estomática se ven seriamente afectados. Por otro lado, la variedad AF presenta una R^2 de 0.91 en la

conductancia estomática con relación a diferentes niveles de NaCl; mientras que, para la transpiración y los distintos niveles de sal, el valor de la correlación es de 0.78, lo que indica una menor relación entre esta variable y las concentraciones de salinidad empleadas. Es pertinente indicar que sí el valor de R^2 está próximo a 0, la correlación es muy baja y las variables están muy poco relacionadas.

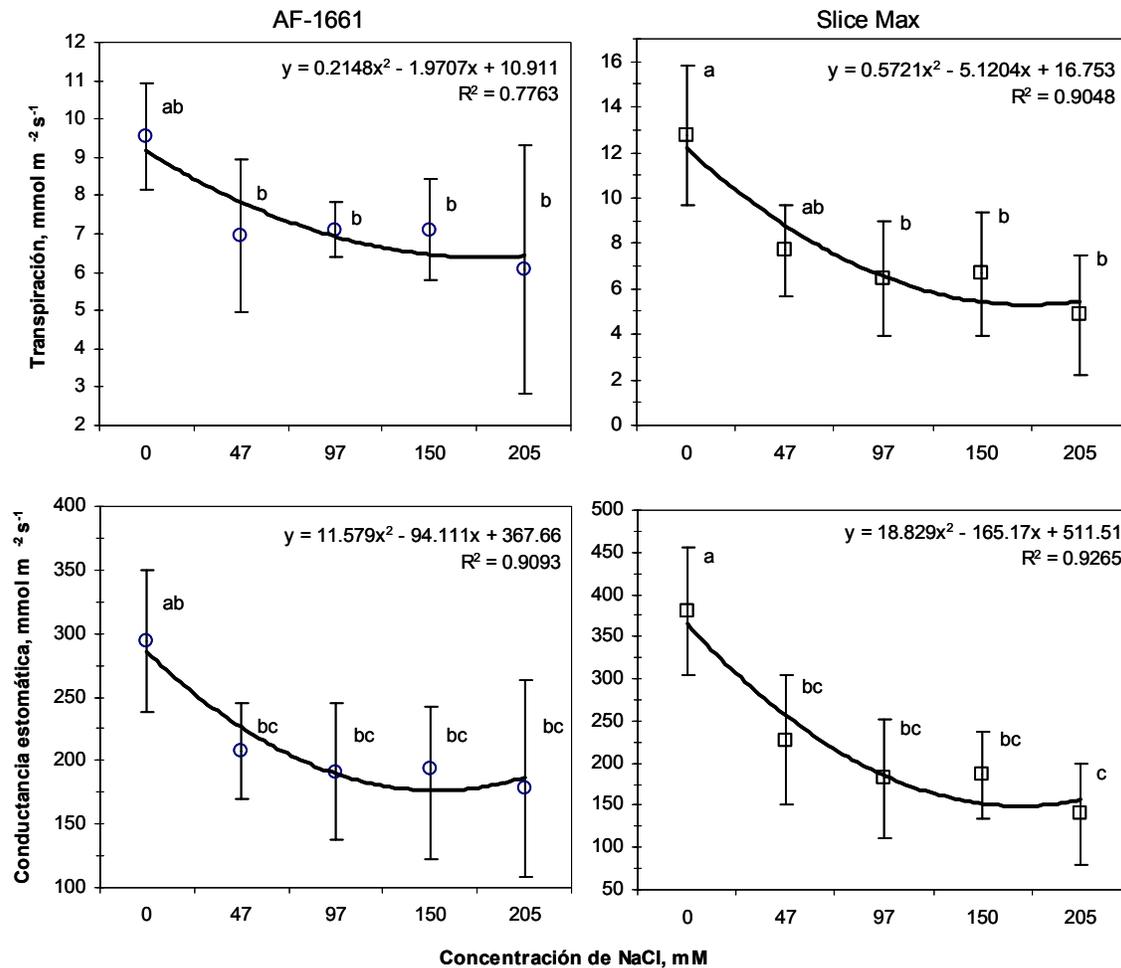


Figura 6-14. Transpiración y conductancia estomática en hojas de las variedades de pepino AF-1661 y Slice Max sometidas a diferentes concentraciones externas de cloruro de sodio. Cada punto corresponde al promedio de 4 repeticiones, \pm desviación estándar. Letras distintas en cada evaluación indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

Stepien y Klobus (2006), reportan que el estrés por salinidad en pepino promueve diferencias significativas en variables de intercambio de gases, disminuyendo

progresivamente la tasa fotosintética, conductancia estomática y transpiración al incrementar los niveles de salinidad. Resultados semejantes se han reportado para trigo (El-Hendaway *et al.*, 2005; Sharma *et al.*, 2005), sorgo (Netondo *et al.*, 2004a), olivo (Tattini *et al.*, 1997), soja (Yang *et al.*, 2006), y arroz (Morales *et al.*, 2004).

6.2.2. Concentración de clorofila a, b y total

La salinidad tiene una influencia significativa sobre el contenido de clorofila total. El grado de afectación en el contenido de clorofila depende de la tolerancia de las especies vegetales, así como del tipo y la concentración de sal. En especies tolerantes a sales, el contenido de clorofila se incrementa, mientras que en especies sensibles el contenido de clorofila decrece (Ashraf y McNeilly, 1988). De acuerdo a Velegaleti *et al.* (1990), esta reducción está correlacionada con la acumulación de Cl⁻. La acumulación de iones en hojas afecta adversamente el contenido de clorofila (Meloni *et al.*, 2003). Se ha observado que disminuciones en el contenido de clorofila en plantas de pepino desarrolladas bajo condiciones de salinidad puede ser atribuido a incrementos en la degradación e inhibición en la síntesis de pigmentos (Sultana *et al.*, 1999; García-Sánchez *et al.*, 2002). Las variaciones ocasionadas por la salinidad en los contenidos de clorofilas impactan en la eficiencia fotosintética.

Datos publicados por Stepien y Klobus (2006), en hojas de pepino, muestran que la clorofila *a* es menos susceptible al estrés salino que la clorofila *b*, lo que no concuerda con los resultados obtenidos en esta investigación que son mostrados en la Figura 6-15, donde se observa que tanto el contenido de clorofila *a* como el de clorofila *b* en hojas de las variedades de pepino AF y SM evaluadas, presentan una reducción análoga, alrededor del 20 %, en las plantas crecidas bajo una concentración de 205 mM de NaCl, con respecto al testigo. La cuantificación de clorofila se realizó a los 46 días después del inicio de tratamientos, la cual se determinó en la cuarta hoja (recientemente madura) del ápice de crecimiento a la base de la planta.

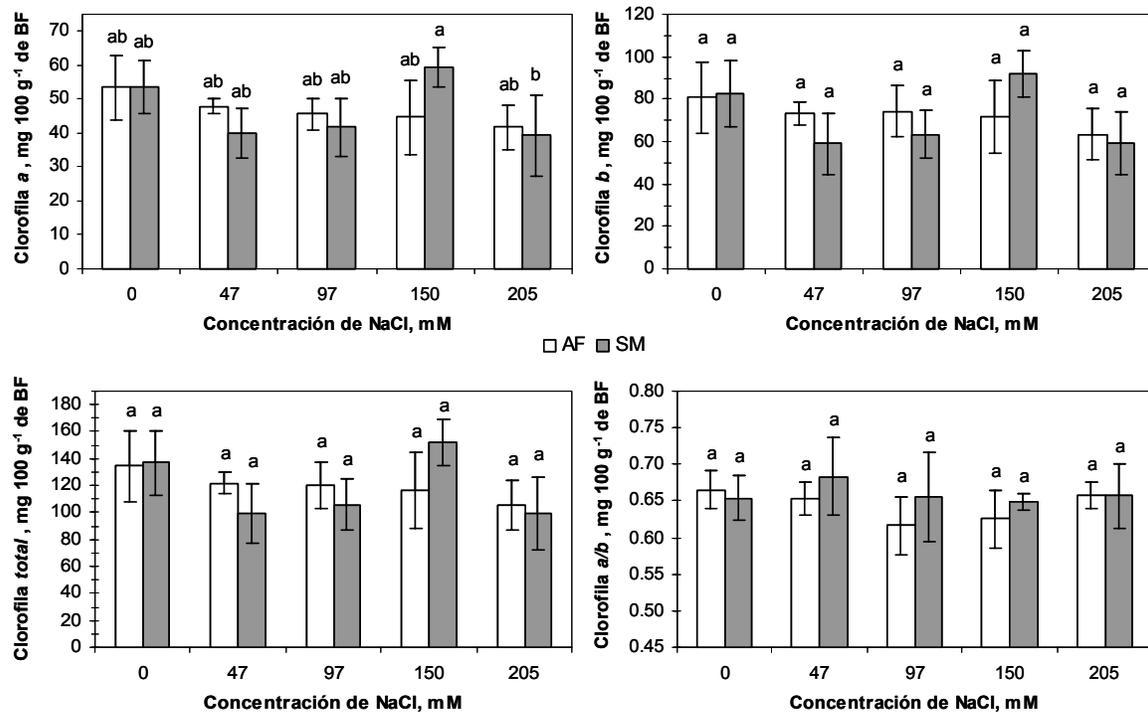


Figura 6-15. Efecto del estrés salino por cloruro de sodio en el contenido de clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila *total* y la relación *a/b*, en hojas de pepino, variedades: AF-1661 (AF) y Slice Max (SM). Medias de 3 repeticiones, \pm desviación estándar. BF: biomasa fresca. Letras distintas en cada evaluación indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

Netondo *et al.* (2004a) reporta que en plantas de dos variedades de sorgo, el contenido de clorofila *a* y *b* decrece significativamente al incrementar los niveles de NaCl. En los resultados obtenidos en esta investigación no se presentan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p > 0.05$) para la variedad AF; sin embargo, en las plantas tratadas con una concentración de 205 mM de NaCl se observa una disminución del 21.9 % en el contenido de clorofila *a*, del 21.3 % en clorofila *b* y del 21.6 % en el contenido de clorofila *total*, con respecto al testigo; esta disminución es gradual al incrementarse los niveles de salinidad. Los resultados obtenidos en esta investigación son semejantes a los obtenidos en frijol por Jungklang *et al.* (2003), en plantas tolerantes y no tolerantes a cloruro de sodio (*Sesbania rostrata* y *Phaseolus vulgaris* L., respectivamente) ya

que al aumentar la concentración de NaCl se reduce el contenido de clorofila *a*, clorofila *b* y clorofila *total*.

La variedad SM, muestra diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$) solo en la concentración de clorofila *a*. La reducción en el contenido de clorofila *a* en los tratamientos con 47 y 205 mM de NaCl con respecto al testigo fue similar (del 25.7 % y 26.8 %, respectivamente); mientras que, en el tratamiento conteniendo 150 mM de NaCl se registró un aumento del 10.8 % en clorofila *a*, sin que éste sea diferente estadísticamente al testigo. El mismo comportamiento se presenta para la clorofila *b*, con una reducción del 28 % en los tratamientos con 47 y 205 mM de NaCl, y un incremento del 11.1 % a 150 mM, en comparación con el testigo. En el contenido de clorofila total el descenso es del 27 % a los niveles ya mencionados (47 y 205 mM), y un incremento 10.9 % a 150 mM de NaCl; ambos valores con respecto al testigo.

La relación de clorofila *a/b* es un indicador de la relación entre los complejos del fotosistema II/ fotosistema I. La exposición de las hojas a altas intensidades luminosas afectan el fotosistema II como consecuencia de la absorción de un exceso de energía, disminuyendo la actividad del complejo y aumentando la tasa de degradación de la proteína D_1 (subunidades proteicas del PS II, su degradación interrumpe el transporte de electrones y disminuye la eficiencia del PS II) (Bertamini y Nedunchezian, 2004). Otros factores abióticos, como la salinidad, inhiben el transporte de electrones y la actividad de fotofosforilación (Ortiz-López *et al.*, 1991). Otro aspecto negativo de la salinidad en la actividad fotosintética es el hecho de que el estrés osmótico modifica la permeabilidad de las membranas del cloroplasto (Kaiser y Heber, 1981), al ser afectado estos sistemas, se afecta la captación de luz por las clorofilas *a* y *b* modificando tanto su contenido como su actividad.

En la relación de clorofila *a/b* (Figura 6-15) no hay diferencias significativas entre tratamientos, como entre variedades, los valores en la relación de clorofila *a/b* fluctúan entre 0.62-0.66 para la variedad AF, y de 0.65-0.68 en la variedad SM.

6.2.3. Lecturas SPAD

La ventaja de evaluar la tolerancia a sales con base en parámetros fisiológicos es una propuesta relativamente reciente, debido a la disponibilidad de nuevos dispositivos como el medidor SPAD (por sus siglas en inglés, Soil Plant Analysis Development) que permite la evaluación indirecta cualitativa de clorofila, la cual no requiere la destrucción de la planta, además de ser un medidor específico de características de determinación rápida y sencillo de usar en mediciones de campo. El medidor SPAD puede ser utilizado en investigaciones para definir características fisiológicas que puedan reducir el tiempo requerido para evaluar el crecimiento de las plantas bajo condiciones de salinidad y se pueda eliminar la necesidad de crecimiento de las plantas bajo condiciones testigoadas (Munns *et al.*, 1995; Munns y James, 2003). De esta manera, ésta puede ser una técnica, rápida, fácil y económica; además, las lecturas con el medidor SPAD, pueden ser tomadas frecuentemente y puede ser repetidas las veces que sean necesarias si existieran dudas respecto a los valores obtenidos.

Una de las características que se pueden manejar en un gran número de especies es la medición del daño en hojas por la pérdida prematura de clorofila, usando el medidor SPAD. La efectividad de las medidas SPAD como un método de investigación tiene que ser examinado en varios estudios como un índice de respuesta al estrés relacionado con el contenido de clorofila. Por ejemplo, la estrecha relación entre el contenido de clorofila y el daño de hojas debido a la salinidad (Munns y James, 2003) sugiere que una medida simple y no destructiva del contenido de clorofila a través de los valores SPAD puede ser un indicador útil para proteger a muchos genotipos en la tolerancia a la salinidad.

La influencia de cinco concentraciones de NaCl sobre lecturas SPAD en hojas de las variedades de pepino AF y SM, a los 14, 28, 42, 56 y 70 días después de tratamientos (ddt), se presentan en el Cuadro 6-12. Entre los valores de las lecturas SPAD de la variedad AF, no se presentan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p > 0.05$), a excepción del muestreo a 28 ddt. Sin embargo, los valores de las lecturas SPAD en todas las evaluaciones realizadas fluctúan entre 39.2 (14 ddt, 47 mM NaCl) y 48.5 (70 ddt, 0 mM NaCl), sin que se

presente una tendencia definida por efecto de las diferentes concentraciones de NaCl; no obstante, se puede observar que los valores de las lecturas SPAD son mayores conforme transcurren los días de tratamiento.

En los cuatro tratamientos con NaCl, la variedad AF muestra un incremento en las unidades SPAD en los muestreos 14, 28 y 42 ddt, y a partir del muestreo 56 ddt empiezan a disminuir estos valores. Este efecto es una respuesta al estrés, en las fases tempranas se incrementa el contenido de clorofila y posteriormente ésta disminuye. Por el contrario y de manera general, las lecturas SPAD en el testigo ascienden, con excepción del muestreo 56 ddt.

En los muestreos 14, 42 y 56 ddt, los valores de las unidades SPAD del testigo son muy similares a los valores de los tratamientos con concentraciones de 150 y 205 mM. A los 56 y 70 ddt existe una reducción del 2.41 % y 7.8 %, respectivamente, en las unidades SPAD del tratamiento con 205 mM NaCl, respecto al testigo.

Cuadro 6-12. Efecto de diferentes niveles de NaCl en las lecturas SPAD en hojas, al inicio y durante el ciclo de desarrollo de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM).

NaCl (mM)	SPAD				
	14 ddt	28 ddt	42 ddt	56 ddt	70 ddt
AF					
Testigo	40.7±2.4 abc	44.5±1.8 abc	47.2±1.6 ab	45.6± 2.9 ab	48.5±1.9 a
47	39.2±2.3 abcd	42.2±1.9 c	45.1±1.9 b	41.3± 2.7 ab	44.2±3.4 ab
97	41.7±2.9 a	44.8±2.8 abc	46.5±2.6 ab	43.9± 2.6 ab	44.8±2.5 ab
150	41.4±1.9 ab	45.9±2.7 a	48.2±0.9 ab	45.3± 3.4 ab	44.4±1.4 ab
205	40.8±2.6 abc	45.4±1.7 ab	47.0±2.1 ab	44.5± 3.8 ab	44.7±4.6 ab
SM					
Testigo	38.5±3.0 bcd	45.0±3.5 abc	47.5±1.1 ab	45.8±3.5 a	46.6±2.6 a
47	38.3±3.4 bcd	42.8±2.8 bc	45.3±2.5 b	41.4±3.6 ab	45.3±2.9 a
97	38.9±3.4 abcd	43.4±1.7 abc	48.7±3.3 a	42.3±2.9 ab	45.9±1.4 a
150	37.6±3.7 cd	43.3±3.1 abc	45.4±2.5 ab	40.6±1.7 b	45.5±3.0 a
205	37.4±2.1 d	42.4±2.6 c	38.9±4.6 c	34.7±8.4 c	40.1± 3.4 b

Cada cifra corresponde al promedio de 4 repeticiones, ± desviación estándar. ddt: días después de la aplicación de tratamientos.

Letras distintas en cada evaluación (ddt) indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

Las lecturas SPAD en hojas de la variedad SM, presentan diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) tanto entre tratamientos, como en días de muestreo, lo que hace a esta variedad más susceptible que la AF, a diferentes niveles de cloruro de sodio. El intervalo de valores en las lecturas SPAD va de 34.7 (a los 56 ddt, 205 mM) a 48.7 (42 ddt, 97 mM); a diferencia de la variedad AF y partir de 14 ddt, el tratamiento con mayor concentración de sal (205 mM) presentó los valores SPAD más pequeños y en la mayoría de los casos el testigo (sin suministro de NaCl) presenta las lecturas más altas. Los decrementos en las lecturas SPAD son del 2.85, 5.77, 18.1, 24.24 y 13.95 % en los muestreos a los 14, 28, 42, 56 y 70 ddt, respectivamente, en el tratamiento con 205 mM de NaCl con respecto al testigo. Resultados similares se han encontrado en trigo (El-Hendawy *et al.*, 2005) y pasto elefante, *Pennisetum purpureum* Schum (Wang *et al.*, 2002).

6.2.4. Potencial osmótico en extracto celular de hojas

El exceso de sales solubles en el medio de desarrollo de la raíz causa estrés osmótico, el cual puede resultar en alteraciones en las relaciones hídricas de la planta, en la absorción y utilización de nutrimentos esenciales, y también en la acumulación de iones tóxicos. Como resultado de estos cambios, la actividad de varias enzimas y del metabolismo de la planta es afectada (Munns, 2002; Lacerda *et al.*, 2003).

La presencia de sales en la solución del suelo disminuye el potencial osmótico del mismo, creando estrés hídrico y causando dificultad en la planta para la absorción de agua necesaria para su crecimiento, y en el interior de la hoja disminuye el potencial hídrico (Munns, 1993). La disminución en el potencial hídrico de la hoja es acompañada por una reducción en el potencial osmótico de la hoja para que la presión de turgencia en la planta sea mantenida (Tattini *et al.*, 1995).

Algunas plantas son capaces de tolerar estrés por sequía y salinidad reduciendo el potencial osmótico celular como una consecuencia de un incremento en la acumulación neta de solutos, en un proceso que involucra un ajuste osmótico (Hasegawa *et al.*, 2000; Serraj y Sinclair, 2002).

Durante el ajuste osmótico, las células tienden a compartimentalizar la mayoría de los iones absorbidos en la vacuola al mismo tiempo que sintetizan y acumulan solutos orgánicos compatibles en el citoplasma para mantener el equilibrio osmótico entre los dos compartimentos (Hare *et al.*, 1998; Hasegawa *et al.*, 2000). La regulación osmótica, que ocurre en hojas y raíces, contribuye a mantener la absorción de agua y la turgencia de las células, la cual es esencial para mantener los procesos fisiológicos como expansión celular, apertura estomática, fotosíntesis y muchos otros procesos de la planta (Zhang *et al.*, 1999).

El potencial osmótico en extracto celular de hojas de las variedades pepino AF y SM, a los 53 días después de iniciar tratamientos, se presentan en la Figura 6-16. En ésta se puede ver que no hay diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.05$). Sin embargo, se observa que en la variedad AF con el tratamiento con mayor concentración de NaCl (205 mM), el valor del potencial osmótico es más negativo. Serraj y Sinclair, (2002), señalan que el potencial hídrico y osmótico en hojas siempre es menos negativo (cercano a cero) en genotipos de sorgo tolerantes a sal que aquellos susceptibles a salinidad, en este sentido, se tiene que la variedad SM es más tolerante a diferentes niveles de NaCl que la variedad AF. Sin embargo, la respuesta de la variedad SM, en esta variable, difiere de los resultados obtenidos en otras variables como altura de la planta, acumulación de biomasa fresca y seca, rendimiento, tasa de transpiración y conductancia estomática donde esta variedad presentó mayor susceptibilidad que la variedad AF. Otros resultados, en pepino, reportados por Chartzoulakis (1994) muestran que el potencial osmótico es afectado significativamente por concentraciones crecientes de NaCl; que a mayor concentración de sal, los valores del potencial osmótico se alejan más de cero (más negativos). Resultados similares se han encontrado en trigo (El-Hendawy *et al.*, 2005), arroz (Morales *et al.*, 2004), sorgo (Netondo *et al.*, 2004b), caña de azúcar (Wahid, 2004) y *Limonium sp.* (Morales *et al.*, 2001).

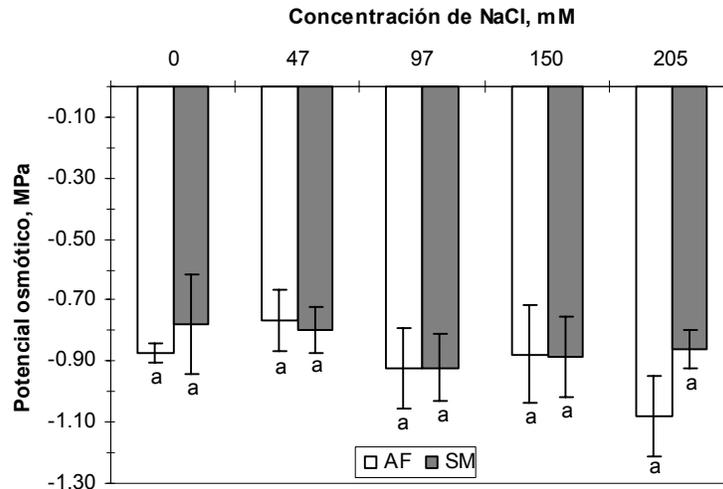


Figura 6-16. Efecto de diferentes niveles de NaCl en el potencial osmótico del extracto celular de hojas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), 53 ddt.

Letras iguales indican que no existieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$).

6.2.5. Concentración nutrimental en tejido foliar y radical

La exposición a salinidad por NaCl afecta los procesos de transporte de en la planta, lo que puede resultar en alteraciones en el estado nutrimental y el balance iónico en los tejidos. El estrés por sales inhibe la absorción y transporte de potasio y calcio, nutrimentos que influyen en el crecimiento de la planta (Flores *et al.*, 2001).

El daño por efecto de la salinidad después de la germinación es generalmente reflejado en menor acumulación de biomasa seca en los órganos de la planta como resultado de una reducción en el contenido de cationes en el tejido, particularmente K^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+} que han sido reportados para ser reemplazados por el Na^+ (Jeschke *et al.*, 1992). Componentes aniónicos tales como NO_3^- y $H_2PO_3^-$ pueden ser reemplazados por Cl^- . A altos niveles de Na^+ y Cl^- en la planta conducen a una reducción en el área foliar debido a la inhibición de la división celular y a la abscisión foliar. Ya que usualmente en las hojas maduras se acumulan altas concentraciones de Na^+ , estas hojas pueden caer para reducir la cantidad de Na^+ en la planta (Grattan y Grieve, 1999).

Nitrógeno total (N)

El nitrógeno representa alrededor del 80 % del total de los nutrimentos minerales absorbidos por las plantas (Marschner, 1995). Además, el suministro de una cantidad insuficiente de nitrógeno limita el desarrollo vegetativo. En consecuencia, la adición de N mejora el desarrollo vegetal y el rendimiento, ya sea en condiciones de salinidad o no.

A pesar de la falta de evidencias que indiquen que la aplicación de N en suelos salinos, o condiciones superiores a la media de los niveles considerados óptimos bajo condiciones no salinas, mejoran el crecimiento de la planta o el rendimiento, estudios de laboratorio e invernadero han mostrado que la salinidad puede reducir la concentración de N en las plantas (Grattan y Grieve, 1999).

La concentración de N en la parte joven, parte vieja y raíz de plantas de las variedades de pepino AF y SM, tratadas con concentraciones distintas de NaCl se presenta en el Cuadro 6-13. La determinación de esta variable se llevó a cabo a los 30 y 60 días después del inicio de tratamiento.

Cuadro 6-13. Concentración de nitrógeno total (N) en diferentes órganos de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), desarrolladas bajo diferentes concentraciones de NaCl.

NaCl (mM)	30 Días después de tratamientos			60 Días después de tratamientos		
	PJ	PV	RAÍZ	PJ	PV	RAÍZ
Concentración de N, porcentaje de BS						
AF						
Testigo	3.96 a	2.74 a	1.81 ab	3.20 ab	3.06 a	2.21 a
47	3.76 ab	2.63 a	1.62 ab	3.18 ab	2.49 a	2.00 a
97	4.00 a	2.61 a	1.59 ab	3.24 ab	2.71 a	2.09 a
150	2.97 b	2.49 a	1.84 ab	2.92 b	2.79 a	2.02 a
205	3.8 ab	2.68 a	1.85 ab	3.26 ab	2.57 a	1.76 a
SM						
Testigo	4.02 a	2.77 a	1.67 ab	3.46 ab	2.74 a	2.20 a
47	4.08 a	2.50 a	1.51 b	3.15 ab	2.59 a	2.23 a
97	3.90 a	2.52 a	1.80 ab	2.89 b	2.40 a	2.02 a
150	3.84 ab	2.52 a	2.10 a	3.56 a	2.81 a	1.90 a
205	4.22 a	2.91 a	1.74 ab	3.07 ab	2.59 a	1.66 a

Cifras con letras iguales en cada columna, indican que no existieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$). PJ: parte joven. PV: parte vieja. BS: biomasa seca.

A los 30 ddt, la concentración de N en la parte joven de la planta muestra diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos de la variedad AF, contrario a lo obtenido en la variedad SM que no muestra diferencias estadísticas significativas entre sus tratamientos. A los 60 ddt, el comportamiento de ambas variedades es similar, sin diferencias significativas y tampoco una tendencia definida en respuesta a diferentes niveles de salinidad.

La concentración de N en la parte joven de ambas variedades presenta diferencias significativas entre tratamientos en ambos períodos de muestreo ($p \leq 0.05$). En ambos muestreos se obtiene la menor concentración de N en el tratamiento con 150 mM de NaCl de la variedad AF; en la variedad SM en el tratamiento mencionado, durante la evaluación a los 30 ddt, se presenta el mismo comportamiento; mientras que a los 60 ddt la menor concentración de N se obtuvo en el tratamiento con 97 mM de NaCl.

En lo que a la parte vieja respecta, no se observan diferencias estadísticas entre variedades ni entre concentraciones de NaCl evaluadas en ambas fechas de evaluación ($p > 0.05$). En la concentración de N de las raíces, no se presentan tendencias atribuibles a los tratamientos en ambas variedades en las dos fechas de evaluación.

Los resultados de N obtenidos, difieren de los resultados reportados en tomate por El-Fouly *et al.* (2002), quienes encontraron que la concentración de N, en diferentes órganos de planta, decrece al incrementar los niveles NaCl. Además en la revisión realizada por Grattan y Grieve (1999) se reportan una gran cantidad de estudios que indican que la absorción o acumulación de N en el vástago puede ser reducida bajo condiciones de salinidad; aunque estudios realizados por Feigin (1985) muestran lo contrario, también obtuvo que la concentración de N no es afectada por la presencia de sales en el medio de crecimiento.

Fósforo (P)

La interacción entre la salinidad y el fósforo en la nutrición de las plantas es altamente dependiente de la especie (o cultivar), de la etapa de desarrollo de la

planta, el tipo y el nivel de salinidad, así como de la concentración de P en el substrato (Grattan y Grieve, 1999).

El efecto de cinco niveles de NaCl en la concentración de P de la parte joven, parte vieja y raíz de las variedades de pepino AF y SM se presentan en el Cuadro 6-14. Dicha evaluación se llevó acabo a los 30 y 60 ddt. Los resultados obtenidos en esta investigación no presentan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p > 0.05$), tampoco entre variedades y el mismo comportamiento se obtuvo en las diferentes partes de la planta. Esto difiere con lo reportado por (1990) Jungklang *et al.* (2003) en vástago y raíz de *Sesbania rostrata* y vástago *Phaseolus vulgaris* L, quienes encontraron que al aumentar el nivel de NaCl, incrementa la concentración P. Sin embargo, revisiones realizadas por Grattan y Grieve (1999) muestran, que en el cultivo de tomate, la salinidad o su incremento no afectan la absorción de P.

Cuadro 6-14. Concentración de fósforo (P) en diferentes órganos de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), desarrolladas en diferentes concentraciones de NaCl.

NaCl (mM)	30 Días después de tratamientos			60 Días después de tratamientos		
	PJ	PV	RAÍZ	PJ	PV	RAÍZ
	Concentración de P, g kg⁻¹ BS					
AF						
Testigo	3.86 a	2.63 a	1.37 a	2.83 a	2.18 a	2.10 a
47	4.38 a	2.28 a	1.72 a	3.32 a	2.44 a	1.88 a
97	2.97 a	2.01 a	1.30 a	3.80 a	3.20 a	2.32 a
150	4.18 a	1.68 a	1.22 a	3.55 a	2.62 a	2.32 a
205	3.67 a	2.07 a	2.46 a	5.02 a	3.96 a	1.73 a
SM						
Testigo	4.30 a	1.78 a	2.18 a	4.10 a	3.38 a	2.34 a
47	5.06 a	2.73 a	1.64 a	3.27 a	3.56 a	1.65 a
97	4.59 a	2.10 a	2.78 a	3.37 a	2.93 a	1.77 a
150	4.76 a	2.02 a	1.98 a	4.10 a	3.69 a	2.30 a
205	5.18 a	2.39 a	1.73 a	4.81 a	2.68 a	1.08 a

Cifras con letras iguales en cada columna, indican que no existieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$). PJ: parte joven. PV: parte vieja. BS: biomasa seca.

A los 30 y 60 ddt, la parte joven es la que presenta la mayor concentración de fósforo, en todos los tratamientos, y en la mayoría de los casos en la raíz se

obtuvo la menor concentración de P. Esto coincide con los reportado por Dabuxilatu e Ikeda (2005) en plantas de pepino, y Jungklang *et al* (2003) en plantas de *Sesbania rostrata* y *Phaseolus vulgaris* L., quienes registraron mayor concentración de P en vástago que en raíz.

Potasio (K⁺)

Este nutrimento es requerido para aumentar la turgencia en plantas y mantiene el potencial osmótico de las células, lo que regula en las células guarda la apertura de estomas. Afecta la extensión de células y la estabilidad y grosor de la pared celular. Juega un papel en la activación de enzimas, síntesis de proteínas y fotosíntesis (Marschner, 1995).

El mantenimiento de adecuados niveles de K⁺ es esencial para la supervivencia de las plantas en ambientes salinos. Bajo condiciones salino-sódicas o sódicas, altos niveles de Na⁺ externo no solamente interfiere con la adquisición de K⁺ por las raíces, sino también puede deteriorar la integridad de la membrana de la raíz y alterar su selectividad. La selectividad del sistema de raíces por K⁺ sobre Na⁺ puede ser suficiente para mantener los niveles de K⁺ requerido par los procesos metabólicos, para la regulación de transportes de iones y para el ajuste osmótico (Grattan y Grieve, 1999).

El efecto de diferentes niveles de salinidad sobre la concentración de K⁺ en plantas de las variedades de pepino AF y SM, a los 30 ddt, se presenta en la Figura 6-17, donde se puede observar que en la parte joven (Figura 6-17A) de la planta no hay diferencias estadísticas entre tratamientos ($p > 0.05$), en ambas variedades.

En la parte vieja (Figura 6-17B), se muestra una clara tendencia en la disminución de la concentración de K al incrementar los niveles de NaCl. La variedad AF presenta una reducción del 53.72 % en la concentración de K de la parte vieja, mientras que en la variedad SM se obtuvo una disminución del 68.54 %, ambas variedades con respecto al testigo. Los resultado obtenidos en esta investigación son similares a los reportados por Sharma *et al.* (2005), en hojas de trigo, los

cuales obtuvieron que al incrementar el nivel de salinidad disminuye la concentración de K.

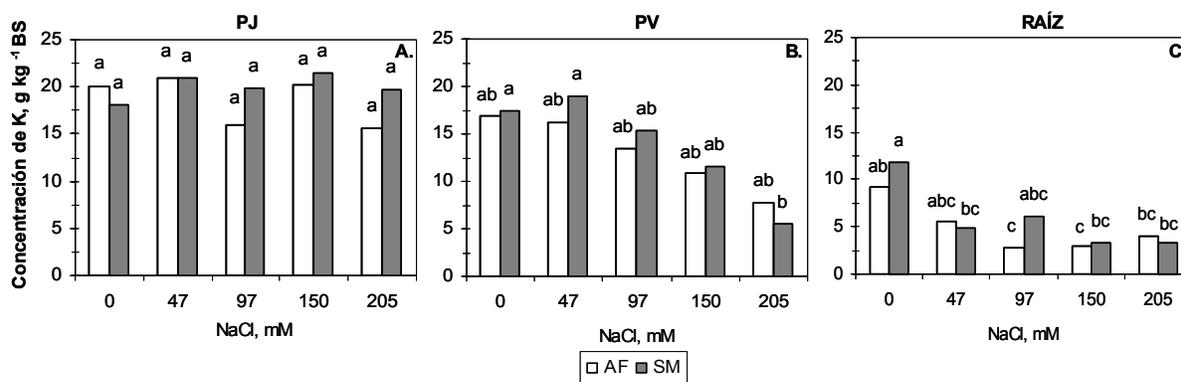


Figura 6-17. Concentración de K⁺ en la parte joven (PJ), parte vieja (PV) y raíz de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM) crecidas bajo diferentes niveles de NaCl a 30 días del inicio de tratamientos.

Barras con letra distinta en cada evaluación (parte de la planta, A, B y C) indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$). Medias de 4 repeticiones, BS: biomasa seca.

En el caso de la concentración de K en la raíz (Figura 6-17C), se presenta una tendencia similar a la de la parte vieja de la planta. Sin embargo, la concentración de K es significativamente superior en la parte joven y parte vieja comparado con la raíz. El mismo comportamiento se presenta en plantas de sorgo tratadas con 0, 50, 100, 150, 200 y 250 mM de NaCl (Netondo *et al.*, 2004b). Con un nivel de 205 mM de NaCl, la reducción en la concentración K en la raíz es del 56.8 % en la variedad AF y del 71.28 % para la variedad SM, con respecto al testigo. No obstante en la variedad AF, la menor concentración de K se presenta a 97 mM de NaCl, obteniéndose una disminución del 70.62 % en la concentración de K con referencia al testigo.

La concentración de potasio en la parte joven, parte vieja y raíz en plantas de dos variedades de pepino, a los 60 días después del inicio de tratamientos, se muestra en la Figura 6-18, donde se puede ver que el comportamiento de la parte joven (Figura 6-18A) es similar al presentado durante los primeros 30 ddt, es decir que no se obtuvieron diferencias significativas. En la variedad AF la menor

concentración de K se obtuvo a 205 mM de NaCl. De igual manera, la variedad SM presentó la menor concentración de K a 150 y 205 mM; por lo que en plantas tratadas con sales, el intercambio de K por Na ocurre a concentraciones superiores a 150 mM de NaCl (Leigh y Storey, 1993).

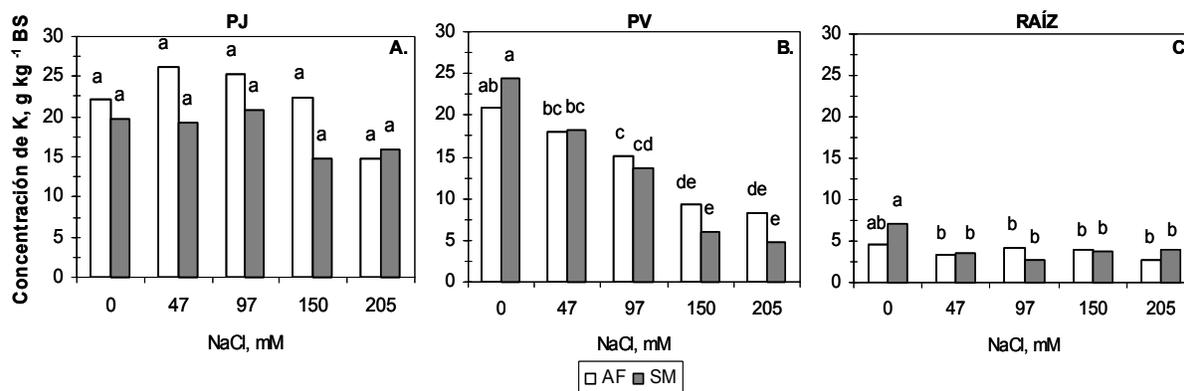


Figura 6-18. Concentración de K⁺ en la parte joven (PJ), parte vieja (PV) y raíz de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM) crecidas bajo diferentes niveles de NaCl a los 60 ddt.

Barras con letra distinta en cada evaluación (parte de la planta, A, B y C) indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$). Medias de 4 repeticiones, BS: biomasa seca.

Por otro lado, la concentración de K en la parte vieja (Figura 6-18B) de las variedades de pepino AF y SM presenta diferencias significativas ($p \leq 0.05$) tanto entre tratamientos, como entre variedades. La concentración de K en la parte vieja decrece con el incremento de niveles externo de NaCl. Concentraciones de 205 mM de NaCl reducen la concentración de K en un 60.76 % y 80.53 % para la variedad AF y SM, respectivamente (con respecto al testigo). Resultados similares han sido reportados por Stepien y Klobus (2006) en la misma especie. El mismo comportamiento se presenta en trigo (El-Hendaway *et al.*, 2005), sorgo (Netondo *et al.*, 2004b), tomate (Cuartero *et al.*, 2002). Alian *et al.* (2000), sugiere que plantas tolerantes deberían ser capaces de mantener concentraciones de K adecuadas para mantener procesos como la actividad enzimática. De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación, la variedad AF es más tolerante a

niveles crecientes de NaCl (mayores a 97 mM), ya que presenta concentraciones de K superiores a las obtenidas en la variedad SM.

En lo que respecta a la concentración de K en la raíz (Figura 6-18C), en la variedad SM hay diferencias significativas entre el testigo y los demás tratamientos. Sin embargo, en la variedad AF no se presentan diferencias significativas entre tratamientos. En ambas variedades las mayores concentraciones de K se presentan en el testigo (0 mM de NaCl), lo que coincide con los resultados obtenidos por Sharma *et al.* (2005), quienes indican que al incrementar la salinidad, aumenta el contenido de K en la raíz. La variedad AF no presenta tendencias definidas.

Calcio (Ca^{2+})

El calcio es un nutrimento involucrado en la elongación y división celular, en la estabilidad estructural y permeabilidad de las membranas celulares. Juega un papel esencial en la regulación y selectividad en el balance catión-anión. Actúa como un activador sólo para algunas enzimas (Marschner, 1995). La salinidad provoca debilitamiento de las membranas al desplazar al Ca^{2+} por Na^+ , porque al parecer el calcio es desplazado rápidamente de su sitio de unión en la membrana por otros cationes, esta función puede volverse seriamente dañina por que reduce la disponibilidad del calcio. Incrementos en la concentración externa del calcio contrarresta ampliamente su desplazamiento (Lynch y Läuchli, 1988).

La concentración de Ca^{2+} en diferentes partes de plantas (PJ, PV y raíz) de las variedades de pepino AF y SM creciendo en diferentes niveles de salinidad se presenta en el Cuadro 6-15. Dicha variable se evaluó a los 30 y 60 ddt.

La concentración de Ca^{2+} en la parte joven de plantas de pepino, a 30 días después del inicio de tratamientos, no presenta diferencias significativas entre tratamientos de la variedad SM. En la variedad AF se obtuvieron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre el tratamiento con 47 mM de NaCl, con la mayor concentración de Ca^{2+} y el tratamiento con 97 mM con la concentración menor, presentándose una reducción del 45.3 % en el contenido de Ca^{2+} . A los 60 ddt, tanto la variedad AF como la variedad SM no presentaron diferencias estadísticas

significativas ($p > 0.05$). Sin embargo, la variedad AF muestra una relación positiva entre la concentración de Ca^{2+} y el nivel de NaCl, por lo que al incrementar la salinidad aumentan el contenido de Ca^{2+} en la PJ, comportamiento similar se ha encontrado en vástago de frijol, catalogado como no tolerante (Jungklang *et al.*, 2003).

A los 30 ddt, la concentración de Ca^{2+} en la parte vieja, de ambas variedades, no presenta diferencias significativas. Sin embargo, la variedad AF muestra tendencia a disminuir la concentración de Ca^{2+} de 3.65 %, 13.14 %, 36.02 %, para concentraciones de 47, 97 y 150 mM, respectivamente (comparado con el testigo). Por lo que altos niveles de Na^+ en el medio externo puede reducir considerablemente la actividad del Ca^{2+} en la solución y puede resultar en una disminución en la cantidad de Ca^{2+} disponible para ser absorbido por las plantas (Hu y Schmidhalter, 1997). Resultados semejantes se han obtenido en pepino (Al-Harbi y Burrage, 1992), trigo (El-Hendaway *et al.*, 2005; Hu y Schmidhalter, 1997), sorgo (Netondo *et al.*, 2004b), tomate (Cuartero *et al.*, 2002). La misma respuesta se obtuvo en la variedad SM a los 60 ddt, con decrementos en la concentración de Ca^{2+} de 3.57 %, 12.0 %, 10.91 %, 67.70 % para niveles de 47, 97, 150 y 205 mM de NaCl, con respecto al testigo.

La concentración de Ca^{2+} en las hojas viejas es superior que en hojas jóvenes (Cuadro 6-15). Esto indica que, el Ca^{2+} puede ser preferencialmente acumulado por hojas viejas que en hojas jóvenes, esto puede reflejar una mayor proporción de Ca^{2+} en la pared celular y una mayor concentración relacionada con hojas maduras o mayor deposición vía transpiración (Al-Harbi y Burrage, 1992; Netondo *et al.*, 2004b).

En lo que respecta a la concentración de Ca^{2+} en la raíz, a los 30 ddt no se obtuvieron diferencias significativas entre tratamiento ($p > 0.05$), ni entre variedades. Para el caso de la variedad AF, la mayor concentración de Ca^{2+} (16.74 g kg^{-1}) se presenta a un nivel de NaCl de 205 mM y a 150 mM se obtuvo el menor contenido de Ca^{2+} (7.44 g kg^{-1}); a la misma concentración la variedad SM presenta el mismo comportamiento, obteniéndose el menor contenido de Ca^{2+} . A los 60 ddt, la variedad AF muestra una disminución del 38.10 % en la

concentración de Ca^{2+} a 205 mM de NaCl, con respecto al testigo. Caso contrario se obtuvo en la variedad SM, ya que presenta un incremento del 25.77 % en la concentración de Ca^{2+} al incrementar los niveles de NaCl (a partir del tratamiento con 47 mM de NaCl). Resultados que coinciden con los obtenidos por El-Fouly *et al.* (2002) en plántulas de tomate, ya que la concentración de Ca^{2+} en raíz es incrementada al aumentar los niveles de NaCl.

Cuadro 6-15. Concentración de calcio (Ca^{2+}) en diferentes órganos de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), desarrolladas en diferentes concentraciones de NaCl.

NaCl (mM)	30 Días después de tratamientos			60 Días después de tratamientos		
	PJ	PV	RAÍZ	PJ	PV	RAÍZ
	Concentración de Ca^{2+}, g kg⁻¹ BS					
AF						
Testigo	12.99 ab	27.93 a	8.95 ab	12.90 a	47.24 ab	12.31 a
47	15.87 a	26.91 a	14.37 ab	18.26 a	44.31 ab	9.64 ab
97	8.68 b	24.26 a	10.70 ab	19.08 a	53.64 a	11.14 ab
150	11.73 ab	17.87 a	7.44 b	22.02 a	46.46 ab	10.21 ab
205	8.92 ab	24.25 a	16.74 ab	22.17 a	29.12 bc	7.62 b
SM						
Testigo	12.56 ab	23.89 a	17.67 ab	15.90 a	57.92 a	10.05 ab
47	12.92 ab	37.14 a	14.96 ab	20.10 a	55.85 a	7.49 b
97	14.87 ab	25.62 a	23.09 a	22.54 a	50.97 a	9.37 ab
150	12.14 ab	22.33 a	11.33 ab	20.50 a	51.60 a	9.53 ab
205	9.18 ab	22.90 a	12.58 ab	13.98 a	18.71 c	10.09 ab

Cifras con letras iguales en cada columna, indican que no existieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$). PJ: parte joven. PV: parte vieja. BS: biomasa seca.

Magnesio (Mg^{2+}).

El magnesio es móvil en el floema y puede ser transportado de las hojas viejas a las hojas jóvenes o al ápice del vástago. El magnesio se encuentra en el centro del anillo tetrapirrólico de la molécula de clorofila que constituye el 15-20 % del Mg^{2+} total en las plantas. El otro 70 % del Mg^{2+} total se encuentra asociado con aniones y aniones orgánicos, como malato y citrato (Marschner, 1995).

El Mg^{2+} es cofactor de enzimas cinasas tales como hexocinasas y fosfofructocinasa que requieren cationes divalentes como Mg^{2+} o Mn^{2+} para su

activación. Además es esencial para la actividad de dos enzimas principales en la fijación de CO_2 , la ribulosa 1,5-bisfosfato carboxilasa/oxigenasa y la fosfoenolpiruvato carboxilasa. El Mg^{2+} también estabiliza los ribosomas en una configuración adecuada para síntesis de proteínas (Marschner, 1995; Mills y Jones, 1996).

El efecto de diferentes niveles de salinidad sobre la concentración de Mg^{2+} en diferentes partes de plantas de las variedades de pepino AF y SM, cultivadas en hidroponía, se presenta en el Cuadro 6-16. Se puede notar que no se obtuvieron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos, entre variedades, entre todas las partes de la planta y entre períodos de muestreo. La excepción es el resultado obtenido en la variedad SM en la parte vieja; donde se observa disminución en la concentración de Mg^{2+} con el aumento en el nivel de NaCl en el medio de crecimiento. De manera general, los resultados obtenidos a los 30 ddt no muestran significancia estadística lo que sugiere que el Na^+ no excluye al Mg^{2+} del sistema de absorción y transporte, ya que la concentración de Mg^{2+} en la planta no se ve afectada por los diferentes niveles de NaCl.

En la parte joven (PJ) la concentración de Mg^{2+} , a los 30 ddt, no muestra una reducción bien definida con el incremento de la salinidad, contrario a algunos reportes en pepino (Trajkova *et al.*, 2006), sorgo (Netondo *et al.*, 2004b), y trigo (Hu y Schmidhalter, 1997). En la variedad AF, la mayor concentración de Mg^{2+} se presentan a 47 mM de NaCl, para luego disminuir un 37.47 % a 205 mM. La variedad SM muestra un tendencia a incrementar la concentración de Mg^{2+} (del 2.1 %) del testigo a 97 mM, para luego disminuir un 21.45 % a una nivel de 205 mM de NaCl. A los 60 ddt, la variedad AF presenta un incremento en la concentración de Mg^{2+} de 21.51 %, del testigo a 97 mM de NaCl, para luego mantener la concentración de Mg^{2+} constante. La variedad SM presenta un incremento en la concentración de Mg^{2+} del 13.22 % a 97 mM de NaCl, y posteriormente disminuye hasta 30.8 % a un nivel de 205 mM de NaCl.

A los 30 ddt, la concentración de Mg^{2+} en la parte vieja de la variedad AF presenta disminución del 38.24 %, en la concentración de 150 mM de NaCl con respecto al testigo, sin que este decremento sea estadísticamente significativo. A los 60 ddt, la

concentración de Mg^{2+} en la parte vieja de la variedad AF en el tratamiento con 97 mM de NaCl supera en 13.95 % del testigo, para posteriormente disminuir 16.62 % en el tratamiento con 205 mM de NaCl. Mientras que la variedad SM, muestra una tendencia clara a disminuir significativamente la concentración Mg^{2+} al incrementar el nivel de NaCl, dicha reducción es del 42.63 % en el tratamiento con mayor concentración de NaCl con respecto al testigo. La disminución en la concentración de Mg^{2+} al parecer es debido principalmente a la competencia iónica entre Na^+ y Mg^{2+} .

Cuadro 6-16. Concentración de Magnesio (Mg^{2+}) en diferentes órganos de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), desarrolladas bajo cinco concentraciones de NaCl.

NaCl (mM)	30 Días después de tratamientos			60 Días después de tratamientos		
	PJ	PV	RAÍZ	PJ	PV	RAÍZ
	Concentración de Mg^{2+}, g kg⁻¹ BS					
AF						
Testigo	7.55 a	13.10 a	9.09 a	8.21 a	19.31 ab	8.03 a
47	8.06 a	11.41 a	10.43 a	9.49 a	21.41 ab	7.74 a
97	5.22 a	8.51 a	8.63 a	10.46 a	22.44 ab	8.95 a
150	6.68 a	8.09 a	8.85 a	10.06 a	17.91 ab	8.79 a
205	5.04 a	10.95 a	11.56 a	10.06 a	18.71 ab	6.877 a
SM						
Testigo	7.58 a	11.02 a	16.61 a	10.31 a	26.06 a	8.84 a
47	7.61 a	14.41 a	11.35 a	10.98 a	26.13 a	6.76 a
97	7.74 a	11.82 a	17.74 a	11.88 a	22.54 ab	9.71 a
150	6.90 a	10.20 a	7.87 a	9.58 a	18.07 ab	8.83 a
205	6.08 a	10.83 a	10.45 a	8.22 a	14.95 b	9.44 a

Cifras con letras iguales en cada columna, indican que no existieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$). PJ: parte joven. PV: parte vieja. BS: biomasa seca.

Como ya se ha mencionado, la concentración de Mg^{2+} en la raíz no es afectada significativamente a niveles crecientes de NaCl, los que coincide con resultados registrados en sorgo (Netondo *et al.*, 2004b), *Sesbania rostrata* y *Phaseolus vulgaris* L (Jungklang *et al.*, 2003). Los resultados obtenidos en este experimento demuestran que la incorporación de Mg^{2+} dentro de la raíz en presencia de sales es afectada por la edad de la raíz, ya que en el segundo muestreo (60 ddt), el contenido de Mg^{2+} es inferior en la mayoría de los casos.

Hierro (Fe^{2+})

El hierro en su forma ferrosa (Fe^{2+}) es fisiológicamente activo. El hierro tiene que ser oxidado antes de su asimilación. La absorción y la nutrición de hierro son testiguadas genéticamente y sus procesos no han sido comprendidos totalmente (Bauer y Bereczky, 2003). El hierro es transportado principalmente en el xilema al cloroplasto, donde su nivel es testiguado por unión reversible con fosfoproteínas férricas y fitoferritinas (Wintz *et al.*, 2002).

El papel esencial del hierro está relacionado a cambios en los estados de oxidación-reducción y reacciones en la transferencia de electrones (Bauer y Bereczky, 2003). Además es componente en sistemas de enzimas como citocromo oxidasa y pigmentos conteniendo grupos heme. El hierro también es parte de las ferredoxinas, las cuales son requeridas para la reducción del nitrato y sulfato, la asimilación de N_2 y para la producción de energía (NADP) (Bauer y Bereczky, 2003). Indirectamente se atribuye el papel del Fe en la biosíntesis de la clorofila y proteínas, y en el crecimiento del meristemo de la raíz y testigo en la síntesis de alanina (Marschner, 1995).

La concentración de Fe en diferentes partes de plantas de las variedades pepino AF y SM, se presenta en el Cuadro 6-17. En la parte joven de ambas variedades no se tuvieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$), en los dos períodos de muestreo. A los 30 ddt, la variedad AF no muestra una clara tendencia de la concentración de Fe por los diferentes niveles de salinidad. La variedad SM presenta incrementos en la concentración de Fe, al incrementar el nivel de salinidad. Resultados similares se han encontrado fresa, variedad Tioga (Turhan y Eris, 2005), tomate (El-Fouly *et al.*, 2002) y trigo (Hu y Schmidhalter, 2001). A los 60 ddt, el comportamiento de la concentración de Fe en la parte vieja es similar que la obtenida durante los primeros 30 ddt, sin diferencias estadísticas significativas. Datos obtenidos por Lazof y Bernstein (1999), en hojas de lechuga, mostraron que la salinidad no afecta su contenido de Fe.

A los 30 ddt, en la parte vieja de la variedad AF, la concentración de Fe disminuye gradualmente al incrementar la concentración de NaCl, dicha reducción es de 73.42 % en el tratamiento con 205 mM de NaCl con respecto al testigo. La

concentración de Fe en la variedad SM tiende a disminuir, del testigo a 97 mM de NaCl en un 80.99 %, y posteriormente incrementa la concentración de Fe en aproximadamente 7 veces a un nivel de 205 mM. De manera general, a los 60 ddt, ambas variedades presentan disminuciones significativas ($p \leq 0.05$) al incrementar los niveles de salinidad; a 205 mM de NaCl la reducción es de 55.75 % y 72.48 para la variedad AF y SM, respectivamente, en comparación con el testigo respectivo. Resultados semejantes se encontraron en la variedad Camarosa de fresa (Turhan y Eris, 2005), girasol (Sánchez-Raya y Delgado, 1996) y cítricos (Tozlu *et al.*, 2002).

Cuadro 6-17. Efecto de la salinidad en la concentración de hierro (Fe^{2+}) en la parte vieja, parte joven y raíz de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), durante dos muestreos.

NaCl (mM)	30 Días después de tratamientos			60 Días después de tratamientos		
	PJ	PV	RAÍZ	PJ	PV	RAÍZ
	Concentración de Fe^{2+}, mg kg⁻¹ BS					
AF						
Testigo	272.79 a	738.63 ab	3,642.63 ab	126.98 a	542.11 ab	2,508.41 a
47	891.68 a	436.55 ab	6,052.25 ab	182.07 a	409.07 bc	1,735.05 a
97	130.95 a	215.92 b	7,170.55ab	135.49 a	334.15 cd	2,173.86 a
150	396.76 a	173.95 b	1,912.72 b	126.70 a	241.82 cd	1,630.75 a
205	271.50 a	196.35 b	5,904.4 ab	143.91 a	239.89 cd	1,476.42 a
SM						
Testigo	253.98 a	817.09 ab	8,260.3 ab	156.88 a	623.48 a	2,964.32 a
47	618.25 a	522.25 ab	7,972.85ab	131.04 a	219.28 d	2,113.92 a
97	515.53 a	155.32 b	11,689.76 a	139.08 a	214.66 d	3,047.72 a
150	582.26 a	517.94 ab	5,090.97 ab	156.53 a	340.37 cd	2,186.50 a
205	1,383.03 a	1,133.78 a	8,036.55ab	163.22 a	171.59 d	3,767.69 a

Cifras con letras iguales en cada columna, indican que no existieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$). PJ: parte joven. PV: parte vieja. BS: biomasa seca.

En lo que respecta a la concentración de Fe en raíz, a los 30 ddt, tanto la variedad AF como la variedad SM, no presentan diferencias significativas ($p > 0.05$), tampoco se muestra alguna tendencia definida por los tratamientos de salinidad evaluados. A los 60 ddt se presenta la misma respuesta, sin diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, ni entre variedades. Datos similares han sido reportados en fresa (Turhan y Eris, 2005).

Cobre (Cu²⁺)

El movimiento del cobre en el xilema es a través de complejos con compuestos nitrogenados tales como aminoácidos. Este metal de transición no es móvil en la planta. Aproximadamente la mitad del cobre activo en la planta se encuentra en el cloroplasto (Wintz *et al.*, 2002). La concentración de cobre en el vástago es superior cuando las plantas son jóvenes y decrece constantemente conforme madura la planta (Mills y Jones, 1996).

Es un componente integral de ciertas proteínas involucradas en el transporte de electrones en fotosíntesis (como plastocianina), respiración (por ejemplo citocromo oxidasa c) y está involucrado en la lignificación (Hall y Williams, 2003).

El efecto de cinco de niveles de NaCl en la concentración de Cu en plantas de las variedades de pepinos AF y SM se presenta en el Cuadro 6-18. Durante el primer muestreo realizado a los 30 ddt, no hay diferencias estadísticas significativas entre tratamientos de la parte joven y tampoco se muestra una tendencia definida del comportamiento de la concentración de Cu con respecto a las diferentes concentraciones de NaCl. A los 60 ddt, la concentración de Cu en la parte joven de ambas variedades tiende a incrementar, al aumentar la concentración de NaCl en la solución nutritiva. La variedad AF, presenta incrementos significativos ($p \leq 0.05$) entre el testigo y 205 mM de NaCl (del 59.46 %). La variedad SM no presenta diferencias estadísticas significativas, pero si aumenta el contenido de Cu al elevarse los niveles de salinidad. Comportamiento similar al obtenido en tomate (Grattan y Grieve, 1999) desarrollado en hidroponía, ya que la concentración de Cu en hojas incrementa substancialmente al incrementar los niveles de salinidad.

En la parte vieja, la concentración de Cu no presenta diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) tanto entre tratamientos, como ente períodos de muestreo. Los mismos resultados se han obtenido en tomate (El-Fouly *et al.*, 2002) y fresa (Turhan y Eris, 2005).

A los 30 ddt, la concentración de Cu en la raíz se ve afectada significativamente entre el tratamiento con 150 mM y 205 mM de NaCl, presentándose un incremento del 67.24 % entre ambos tratamiento, mientras que en los tratamientos con 0, 47,

97 y 150 mM de NaCl, no presentan diferencias estadísticas significativas. La variedad SM tampoco muestra tendencia definidas atribuibles a tratamientos. A los 60 ddt, la concentración de Cu presenta incrementos significativos al aumentar los niveles de salinidad. En la variedad AF el incremento en el contenido de Cu es de 26.37 % a una concentración de 150 mM, y para la variedad SM es de 42.33 % a 205 mM de NaCl, en ambas variedades con respecto al testigo. Resultados similares se han presentad en fresa (Turhan y Eris, 2005) y calabacín (Villora *et al.*, 2000). Sin embargo, en raíces de tomate la concentración Cu disminuye mientras incrementa el nivel de NaCl (El-Fouly *et al.*, 2002).

Cuadro 6-18. Efecto de la salinidad en la concentración de Cu^{2+} en la parte vieja, joven y raíz de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), durante dos muestreos.

NaCl (mM)	30 Días después de tratamientos			60 Días después de tratamientos		
	PJ	PV	RAÍZ	PJ	PV	RAÍZ
	Concentración de Cu^{2+}, mg kg^{-1} BS					
AF						
Testigo	12.85 ab	12.03 a	21.89 ab	13.97 b	13.84 a	36.74 abc
47	22.63 ab	12.64 a	31.12 ab	16.22 b	14.17 a	40.79 abc
97	11.96 b	11.01 a	27.11 ab	17.88 b	16.54 a	47.74 ab
150	21.07 ab	9.61 a	18.25 b	13.71 b	14.25 a	49.90 a
205	26.11 ab	10.96 a	55.70 a	34.46 a	17.35 a	45.06 ab
SM						
Testigo	13.30 ab	11.33 a	39.62 ab	17.39 b	14.84 a	26.77 c
47	28.74 a	12.84 a	28.70 ab	11.34 b	14.44 a	40.69 abc
97	17.08 ab	11.85 a	55.54 a	17.76 b	14.95 a	35.01 bc
150	18.58 ab	11.66 a	34.69 ab	22.88 ab	15.06 a	44.69 ab
205	27.2 ab	15.48 a	36.93 ab	19.72 b	13.58 a	46.42 ab

Cifras con letras iguales en cada columna, indican que no existieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$). PJ: parte joven. PV: parte vieja. BS: biomasa seca.

Zinc (Zn^{2+})

El zinc es un componente catalítico esencial de más de 300 enzimas, incluyendo RNA polimerasa, fosfatasa alcalina, alcohol deshidrogenasa, superóxido dismutasa Cu-Zn, y anhidrasa carbónica. El zinc también juega un papel estructural crítico en muchas proteínas. Dentro de la célula, el papel esencial del Zn está basado principalmente en su comportamiento como un catión divalente

que tiene una fuerte tendencia a formar complejos tetraédricos estables (Grotz *et al.*, 1998).

Generalmente, la absorción de Zn es activada y testigoada metabólicamente, vía canales iónicos o a través de proteínas transportadoras de cationes divalente. El Zn está presente en la savia del xilema como un ión y no forma complejos (Guerinot, 2000).

La influencia del cloruro de sodio en la concentración de Zn de la parte vieja, parte joven y raíz de plantas de pepino, crecidas a diferentes niveles de NaCl, pueden ver en el Cuadro 6-19. Los datos presentados pertenecen a dos periodos de muestreo, 30 y 60 ddt.

A 30 días de tratamiento, la concentración de Zn en la parte joven de plantas de ambas variedades no muestran diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$); sin embargo la variedad AF presenta un incremento en la concentración de Zn del 19.85 % en el tratamiento con 47 mM de NaCl con respecto al testigo, para luego disminuir en 35.73 % a una concentración de 97 mM y finalmente incrementar en 27.81 %, de 97 mM a 205 mM de NaCl. La variedad SM no muestra tendencia definida a las diferentes concentraciones de sal. A 60 ddt, se presenta el mismo comportamiento que en el muestreo anterior, sin diferencias estadísticas significativas. La fluctuación en la concentración de Zn obtenida en esta investigación es semejante a la obtenida en hojas y tallo de plantas de trigo (Hu y Schmidhalter, 2001). Lo que significa que la salinidad no afecta el transporte de Zn a las hojas jóvenes.

La concentración de Zn en la parte vieja de la planta, no presenta diferencias estadísticas significativas tanto en la variedad AF como en la variedad SM, a los 30 ddt. Sin embargo, en la variedad AF se muestra una tendencia clara a disminuir la concentración de Zn conforme incrementa la salinidad, dicha disminución es del 40 % a 150 mM, con respecto al testigo. La variedad SM no presenta una tendencia definida por los tratamientos, pero la menor concentración de Zn se obtuvo con el tratamiento con 150 mM de NaCl y la mayor con 47 mM de NaCl. A los 60 ddt, en ambas variedades, el contenido de Zn se ve afectado negativamente con el aumento en los niveles de NaCl. En la concentración 205

mM de NaCl, la variedad SM presenta un decremento del 51.7 % en la concentración de Zn, mientras que en la variedad AF dicha disminución es del 29.3 %, en ambos casos con respecto al testigo. Resultados similares se han encontrado en cítricos (Tozlu *et al.*, 2002) con reducción superiores a 60 % en la concentración de Zn, tratadas con 80 mM de NaCl; y en lechuga (Lazof y Bernstein, 1999), a 80 mM de NaCl se obtuvo una reducción del 70 % en la concentración de Zn en las hojas más viejas. Sin embargo en hojas de calabacín (Villora *et al.*, 2000), tomate (El-Fouly *et al.*, 2002) y pimiento (Cornillon y Palloix, 1997) la concentración de Zn es incrementada significativamente al aumentar el nivel de NaCl.

Cuadro 6-19. Concentración de Zn²⁺ en plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM) irrigadas con diferentes niveles de NaCl, a los 30 y 60 ddt.

NaCl (mM)	30 Días después de tratamientos			60 Días después de tratamientos		
	PJ	PV	RAÍZ	PJ	PV	RAÍZ
	Concentración de Zn²⁺, mg kg⁻¹ BS					
AF						
Testigo	64.05 a	86.20 a	106.87 ab	53.14 a	106.34 abc	124.16 a
47	79.91 a	84.85 a	127.63 ab	66.63 a	114.12 ab	117.49 a
97	51.36 a	68.72 a	138.17 ab	62.38 a	104.92 abc	96.16 a
150	69.74 a	51.73 a	61.32 b	61.12 a	93.18 abc	113.76 a
205	71.15 a	67.61 a	178.41 ab	78.33 a	75.19 bc	94.44 a
SM						
Testigo	66.06 a	83.47 a	179.96 ab	66.61 a	131.96 a	102.63 a
47	80.67 a	105.19 a	127.91 ab	58.08 a	131.75 a	95.38 a
97	74.40 a	69.72 a	230.19 a	71.13 a	113.97 ab	94.38 a
150	89.57 a	64.37 a	105.08 ab	70.44 a	92.33 abc	92.93 a
205	75.12 a	78.04 a	114.54 ab	55.87 a	63.68 c	91.24 a

Cifras con letras iguales en cada columna, indican que no existieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$). PJ: parte joven. PV: parte vieja. BS: biomasa seca.

En lo que se refiere a la concentración de Zn en la raíz, no se obtuvieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$). En raíz de pimiento se reporta la misma respuesta, al no presentan diferencias estadísticas significativas (Cornillon y Palloix, 1997). A los 60 ddt, tanto la variedad AF como la variedad SM, muestran una relación negativa entre la concentración de Zn y los diferentes niveles de salinidad, puesto que al incrementa la salinidad en la solución nutritiva, hasta un nivel de 205 mM de NaCl, se obtuvieron reducciones del 23.9 % y 11.1 % en la

concentración de Zn en la variedad AF y SM, respectivamente, comparado con el testigo. No obstante, el contenido de Zn en tomate (El-Fouly *et al.*, 2002) y cítricos (Tozlu *et al.*, 2002) incrementa gradualmente al aumentar la concentración de NaCl en el medio de crecimiento.

Manganeso (Mn²⁺)

Los niveles de manganeso en la raíz son generalmente bajos. El Mn es translocado principalmente en el xilema como catión divalente o débilmente combinado con ácidos orgánicos, principalmente a los tejidos del meristemo. Este catión es relativamente inmóvil en la planta (Marschner, 1995).

El manganeso es un cofactor activo-redox en enzimas como la superóxido dismutasa-Mn. Además juega un papel importante en la desintoxicación de radicales libres de oxígeno. También es requerido para la evolución del oxígeno inducido por luz durante la fotosíntesis, esencial en la oxidación del agua (Guerinot, 2000).

En el Cuadro 6-20 se presenta la concentración de Mn en diferentes partes de plantas (parte joven, parte vieja y raíz) de las variedades de pepino AF y SM desarrolladas en hidroponía con diferentes niveles de NaCl en la solución nutritiva, durante dos etapas de desarrollo, 30 y 60 días después del inicio de tratamientos. La concentración de Mn en la parte joven presenta diferencias estadísticas significativas entre tratamientos solo en la variedad AF a los 30 ddt, pero éstas no son atribuibles a los tratamientos de NaCl evaluados. A los 60 ddt, no existen diferencias estadísticas significativas, y tampoco se muestra una tendencia definida, resultados similares se han obtenido en tomate (El-Fouly *et al.*, 2002) y cítricos (Tozlu *et al.*, 2002).

En la parte vieja de la planta la concentración de Mn, muestra una relación negativa entre con los contenidos de NaCl, puesto que al incrementar la concentración de NaCl, se reduce la concentración de Mn, sin que estas reducciones sean estadísticamente significativas ($p > 0.05$). Este comportamiento es similar en ambas variedades, a 30 ddt. A un nivel de NaCl de 150 mM, en la variedad AF se obtuvo una reducción del 65.75 % en la concentración de Mn. En

la variedad SM dicha reducción es del 55.29, en ambos casos con respecto al testigo. En el segundo muestreo (60 ddt), se presenta una tendencia semejante a la del muestreo anterior (30 ddt). La salinidad induce reducciones en la concentración de Mn del 34.69 % en la parte vieja de la variedad AF, y del 54.08 % en la variedad SM, en el tratamiento con 205 mM de NaCl, comprado con el testigo. Los resultados obtenidos difieren de los reportados por Turhan y Eris (2005) en fresa, Hu y Schmidhalter (2001) en trigo, Villora *et al.* (2000) en calabacín, los cuales han obtenido que la concentración de Mn incrementa significativamente al incrementar los niveles de salinidad.

Cuadro 6-20. Concentración de Mn^{2+} en plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM) irrigadas con diferentes niveles de salinidad, a los 30 y 60 ddt.

NaCl (mM)	30 Días después de tratamientos			60 Días después de tratamientos		
	PJ	PV	RAÍZ	PJ	PV	RAÍZ
Concentración de Mn^{2+}, mg kg⁻¹ BS						
AF						
Testigo	57.33 ab	225.75 a	219.09 ab	59.45 a	234.01 ab	249.53 abc
47	74.94 a	129.23 a	333.39 ab	85.62 a	268.00 a	285.11 abc
97	42.07 b	114.94 a	291.40 ab	82.10 a	258.67 a	347.77 a
150	54.36 ab	77.33 a	124.27 b	70.12 a	182.57 ab	303.51 abc
205	51.96 ab	128.67 a	409.67 ab	81.60 a	152.83 ab	299.80 abc
SM						
Testigo	63.40 ab	235.25 a	317.70 ab	71.34 a	226.56 ab	175.71 c
47	61.64 ab	185.28 a	283.45 ab	67.95 a	210.06 ab	183.58 bc
97	66.41 ab	106.66 a	542.66 a	84.62 a	190.69 ab	242.87 abc
150	60.19 ab	105.19 a	345.37 ab	88.61 a	212.01 ab	377.23 a
205	54.93 ab	164.72 a	324.05 ab	57.55 a	104.03 b	324.88 ab

Cifras con letras iguales en cada columna, indican que no existieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$). PJ: parte joven. PV: parte vieja. BS: biomasa seca.

A 30 ddt, la concentración de Mn en la raíz no es afectada por la salinidad, ya que no se presentan diferencias estadísticas significativas entre tratamientos de ambas variedades. Respuesta equivalentes se han reportado en raíces de las variedades de fresa Camarosa y Tioga (Turhan y Eris, 2005). Sin embargo, a 60 ddt, la variedad SM muestra incrementos estadísticamente significativos ($p \leq 0.05$) en la concentración de Mn al elevarse la concentración de sales en el medio de crecimiento. Dicho incremento en la concentración de Mn es dos veces mayor en el tratamiento con 150 mM de NaCl que en el testigo (0 mM de NaCl), lo que

coincide con lo encontrado en raíces de cítricos (Tozlu *et al.*, 2002). No obstante, en la variedad AF no se obtuvieron diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.05$).

Boro (B)

Evidencias experimentales indican que las plantas absorben el B pasivamente como H_3BO_3 . Sin embargo, resultados experimentales y observaciones en campo sugieren que otros factores, aún desconocidos, pueden afectar la absorción de este micronutriente (Hu y Brown, 1997). El B se mueve primeramente en el xilema como un complejo azúcar-borato. El movimiento del B en el floema es limitado; el B es relativamente inmóvil dentro de la planta (Grattan y Grieve, 1999). Las funciones de B en la planta están relacionadas con el crecimiento meristemático y éste se encuentra directamente involucrada en la diferenciación celular, maduración división y elongación. Además, el B afecta el crecimiento del tubo polínico, posiblemente por incremento en el metabolismo y absorción de azúcar, e incremento en la respiración (Mills y Jones, 1996).

La concentración de boro en la parte joven de plantas, de las variedades de pepino AF y SM, es influenciada en forma significativa ($p \leq 0.05$) por diferentes concentraciones de NaCl (Cuadro 6-21). A los 30 ddt, en la variedad AF se muestra tendencia positiva en la concentración B, con el aumento de la salinidad, dicho incremento es de más del doble de la concentración de B encontrada en el testigo. La variedad SM presenta una relación positiva entre la concentración de B y niveles creciente de NaCl; a un nivel de 205 mM, el incremento en el contenido de B es de 189.0 %, con respecto al testigo. Durante el segundo muestreo (60 ddt), el incremento en la concentración de B es del 225.38 % en la variedad AF a 250 mM de NaCl, en comparación con el testigo, presentándose un fuerte efecto de dilución, puesto que las plantas desarrolladas a altas concentraciones de NaCl presentaron disminuciones significativas en su altura; y por lo tanto en la acumulación de biomasa seca. En la variedad SM a los 60 ddt, la concentración de B en la parte joven del tratamiento con 205 mM de NaCl es mayor en más de tres veces a la encontrada en el testigo.

Contrario a obtenido en la parte joven, la parte vieja no muestra diferencias estadísticas significativas entre tratamiento ($p > 0.05$), en los dos períodos de muestreo. Sin embargo, a los 30 días de tratamiento, la variedad AF muestra disminución en el contenido de B al incrementar la salinidad, puesto que en el tratamiento con 150 mM de NaCl, la reducción en la concentración de B es del 28.58 %, con respecto al testigo. Resultados similares se han obtenido en trigo (Hu y Schmidhalter, 2001). La variedad SM no muestra tendencia definida por las diferentes concentraciones de NaCl. A los 60 ddt, con un nivel de 97 mM tanto la variedad AF como la variedad SM presentan incrementos en la concentración de B, del 19.26 % y 14.52 % respectivamente, en comparación con el testigo.

Cuadro 6-21. Efecto de la salinidad en la concentración de Boro en la parte vieja, joven y raíz de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), a los 30 y 60 ddt.

NaCl (mM)	30 Días después de tratamientos			60 Días después de tratamientos		
	PJ	PV	RAÍZ	PJ	PV	RAÍZ
Concentración de B, mg kg⁻¹ BS						
AF-1661						
Testigo	139.78 bc	191.84 a	174.28 b	153.91 b	178.09 a	279.82 ab
47	272.00 abc	179.54 a	204.05 b	215.35 b	208.37 a	341.31 ab
97	114.67 c	146.34 a	169.00 b	206.81 b	212.39 a	375.42 ab
150	203.61 abc	137.01 a	143.69 b	178.23 b	192.16 a	506.60 a
205	319.46 ab	177.04 a	467.05 a	500.79 a	216.16 a	287.09 ab
Slice Max						
Testigo	135.13 bc	141.39 a	190.24 b	224.64 b	209.59 a	199.40 b
47	208.89 abc	223.48 a	139.66 b	139.55 b	212.59 a	306.74 ab
97	239.04 abc	174.45 a	312.40 ab	222.21 b	240.03 a	151.35 b
150	263.84 abc	158.62 a	233.09 ab	284.67 ab	177.59 a	313.64 ab
205	389.13 a	188.21 a	249.55 ab	235.01 b	161.67 a	250.99 b

Cifras con letras iguales en cada columna, indican que no existieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$). PJ: parte joven. PV: parte vieja. BS: biomasa seca.

En raíz, a los 30 ddt la concentración de B en la variedad AF, presenta un incremento significativo (168.0 %) en el tratamiento con 205 mM, comparado con el testigo. El contenido de B en la variedad SM no presenta tendencia definida por efecto de los diferentes niveles de NaCl. A los 60 ddt, la variedad AF muestra incrementos graduales en la concentración de B al aumentar el nivel de sales, hasta 150 mM. Contrario a lo obtenido en la variedad SM, pues sin haber

diferencias significativas, la concentración de B es muy fluctuante y no presenta tendencia definida a las diferentes concentraciones de salinidad.

Sodio (Na^+)

El sodio es esencial solamente para cierto número de especies C_4 , donde su principal función es para la translocación de piruvato a través de la membrana del cloroplasto, fungiendo como micronutriente en estas especies (Maathuis y Amtmann, 1999). En la mayoría de otras especies el Na^+ no actúa como un nutriente esencial puesto que estrictamente no es requerido para el crecimiento, pero su adición en el medio de desarrollo puede promover el crecimiento de muchas especies cuando el suministro de K^+ es limitado y en particular el crecimiento de plantas tolerantes a sales o halófitas por contribuir al mantenimiento de la turgencia (Maathuis y Amtmann, 1999).

Aunque la eficacia del Na^+ como un componente osmótico es generalmente favorable, el exceso de iones Na^+ sobre iones K^+ no lo es, por varias razones. Primero, debido a la similitud en la estructura físico-química del Na^+ y K^+ significa que el Na^+ compite con el K^+ por los sitios de transporte para entrar al simplasto celular lo que puede resultar en deficiencias de K^+ . Segundo la competencia citoplásmica entre el Na^+ y el K^+ en los sitios de unión, inhiben procesos metabólicos que dependen esencialmente de K^+ (Maathuis y Amtmann, 1999).

La concentración de Na^+ en diferentes partes de plantas de las variedades de pepino AF y SM desarrolladas en hidroponía bajo diferentes niveles de salinidad, por adición de NaCl, se presenta en la Figura 6-19. Dicha evaluación se realizó a los 30 días de iniciado los tratamientos. Tanto en la parte joven como en la parte vieja, la concentración de Na^+ incrementa significativamente ($p \leq 0.05$) al aumentar el nivel de NaCl en el medio externo. El incremento en la concentración de Na^+ , en la parte joven, es 12 veces superior en el tratamiento con 205 mM que en el testigo en el caso de la variedad AF; y en la variedad SM, el incremento es de aproximadamente de 25 veces en el tratamiento 205 mM de NaCl, con respecto al testigo.

La concentración de Na^+ en la parte vieja (Figura 6-19.B) de plantas de pepino, en ambas variedades, incrementa significativamente al aumentar la concentración de NaCl en la solución nutritiva, resultados semejantes se han reportado por Stepien y Klobus (2006) y Trajkova *et al.* (2006) en hojas de pepino, en sorgo (Netondo *et al.*, 2004b), trigo (El-Hendaway *et al.*, 2005; Sharma *et al.* 2005), *Sesbania rostrata* y *Phaseolus vulgaris* L (Jungklang *et al.* 2003) y pimiento (Chartzoulakis y Klapaki, 2000). Al igual que en la parte joven, la variedad SM obtuvo concentraciones de Na^+ superiores a la variedad AF, en todos los tratamientos, lo que implica que la variedad AF limita la absorción y el transporte de Na^+ de las raíz a la parte aérea, ya que en ésta se obtuvo menor concentración de Na^+ en la raíz que la variedad SM.

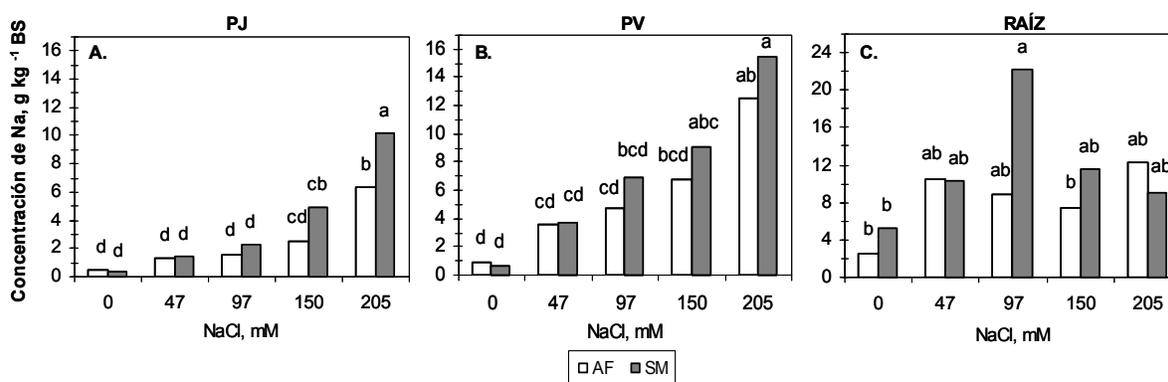


Figura 6-19. Efecto de diferentes niveles de NaCl en la concentración de Na^+ en la parte joven (PJ), parte vieja (PV) y raíz de plantas de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), durante 30 días de la aplicación de tratamientos.

Barras con letra distinta en cada evaluación (parte de la planta, A, B y C) indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$). Medias de 4 repeticiones, BS: biomasa seca.

En la raíz (Figura 6-19C), la concentración de Na^+ presenta una tendencia que no es correlacionable con los niveles de NaCl evaluados. La variedad AF incrementa su concentración de Na^+ en más del triple a 97 mM de NaCl con respecto al testigo, para luego disminuir en 29.76 % en la concentración de 47 mM; y posteriormente a 150 mM de NaCl, incrementar en 66.89 %. En lo que respecta a la variedad SM, la concentración de Na^+ incrementa significativamente ($p \leq 0.05$)

más del 300 %, del testigo a 97 mM de NaCl; para luego disminuir 59.56 % de 97 mM a 205 mM de NaCl.

A los 60 ddt, se obtuvo un incremento gradual en la concentración de Na^+ de la parte joven (Figura 6-20A) y parte vieja (Figura 6-20B) de plantas de las variedades de pepino AF y SM. La concentración de Na^+ , tanto de la parte joven como de la parte vieja, incrementa progresivamente con su edad, puesto a 30 ddt (Figura 6-19) el contenido de Na^+ en la parte aérea es menor que la presentada en la Figura 6-20 (60 ddt), lo que sugiere que la habilidad de la planta para testigoar la tasa de transporte de Na^+ a la parte joven se reduce con el tiempo (Rivelli *et al.*, 2002).

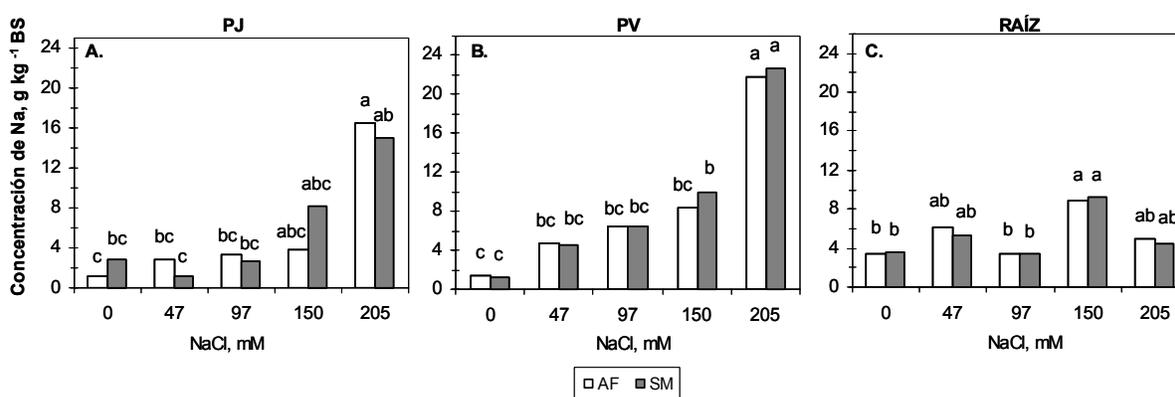


Figura 6-20. Efecto de diferentes niveles de NaCl en la concentración de Na en la parte joven (PJ), parte vieja (PV) y raíz de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), a los 60 ddt.

Barras con letra distinta en cada evaluación indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$). Medias de 4 repeticiones, BS: biomasa seca.

En el caso de la raíz (Figura 6-20C), la mayor concentración de Na^+ en raíces se registró en el tratamiento con el contenido más alto de sales en ambas variedades. Los resultados muestran que la absorción de Na^+ es limitada con el tiempo (Chartzoulakis y Klapaki, 2000), ya que las concentraciones son menores a las determinadas en raíz a los 30 ddt, o que mejoran su habilidad para excluir el Na^+ de la solución externa (Rivelli *et al.*, 2002).

6.2.6. Extracción nutrimental en vástago y raíz

Cuando las concentraciones de Na^+ y/o Cl^- están en exceso en el tejido foliar, se presenta un desbalance (desequilibrio) de nutrimentos iónicos, lo que conduce a una disminución en la absorción y acumulación de K^+ , Ca^{2+} , NO_3^- o P, o disminuyen la distribución interna de estos iones, resultando en síntomas de deficiencia (Stepien y Klobus, 2006).

El desbalance iónico puede resultar del efecto de la salinidad en la disponibilidad de los nutrimentos, absorción competitiva, transporte y partición dentro de la planta o puede ser causado por la inactivación fisiológica de un nutrimento dado, resultando en un incremento en el requerimiento de la planta de ese elemento esencial (Grattan y Grieve, 1994). Es razonable pensar que dos o más de estos procesos puedan ocurrir al mismo tiempo, pero finalmente la afectación en el rendimiento y calidad del cultivo depende del nivel de salinidad, la composición de sales, la especie vegetal, el nutrimento en cuestión y número de factores del ambiente (Grattan y Grieve, 1999).

Nitrógeno (N)

El incremento en la absorción y acumulación de Cl^- es acompañado frecuentemente por una disminución en la concentración de NO_3^- en el vástago; lo cual es atribuido al antagonismo entre la absorción del Cl^- y el NO_3^- , y a la reducción en la absorción de agua por efecto de la salinidad (Lea-Cox y Syvertsen, 1993). La forma en la cual se suministra el N a plantas estresadas por salinidad puede influenciar la relación N-salinidad así como su relación con otros nutrimentos. La relación N-salinidad en cultivos hortícolas es compleja. Gran cantidad de estudios indican que la absorción o acumulación de N en el vástago puede ser reducida bajo condiciones de salinidad, aunque también se ha reportado lo contrario, y en otras ocasiones que no hay efecto (Grattan y Grieve, 1999).

El efecto de diferentes niveles de salinidad sobre la acumulación de N en el vástago y raíces de plantas de las variedades de pepino AF y SM, se presentan en la Figura 6-21. Donde se observa que al incrementar la concentración de NaCl,

disminuye gradualmente la acumulación de N, que como ya se mencionó anteriormente, puede ser debido a la relación antagonica entre el Cl^- y el NO_3^- , dado que en la presente investigación se utilizó NO_3^- como fuente de N. La determinación de esta variable se llevó a cabo a los 30 y 60 días de la aplicación de tratamientos.

A los 30 ddt (Figura 6-21A y B), la variedad AF presenta reducciones significativas en la acumulación de N, en el tratamiento con 205 mM de NaCl. Dichas reducciones son del orden del 36.78 % en vástago y del 66.05 % en raíces; en comparación con el testigo. Respecto a los mismos tratamientos, la reducción en la variedad SM es de 56.99 % y del 70.41 % en vástago y raíz, respectivamente; en comparación al testigo.

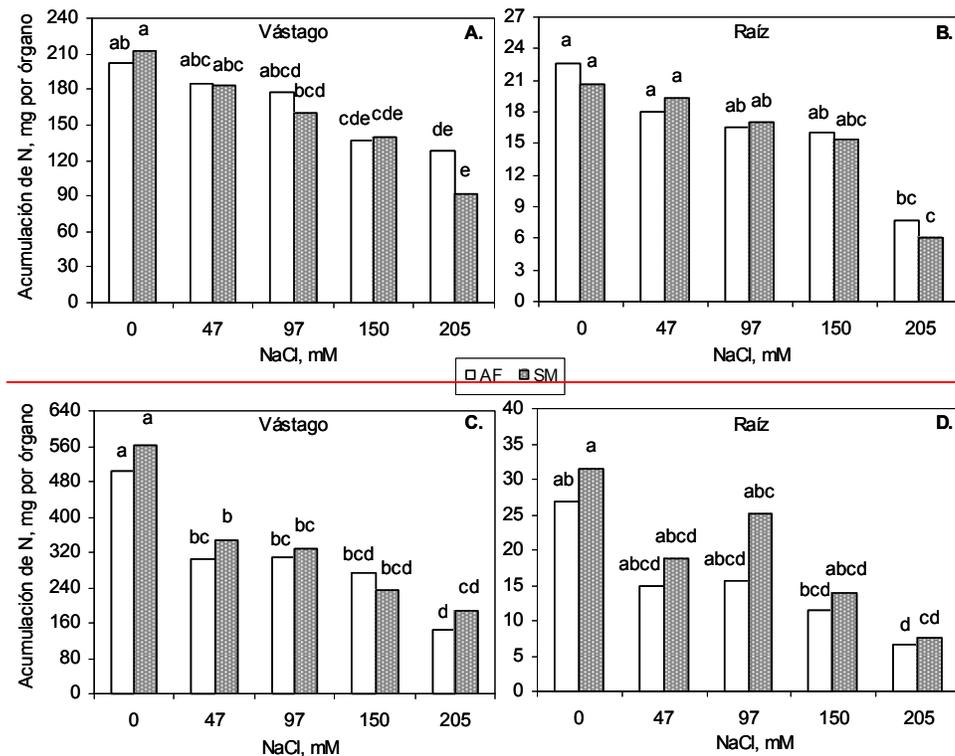


Figura 6-21. Efecto de diferentes niveles de NaCl en la acumulación de N en el vástago y raíz de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), a 30 ddt (A y B) y 60 ddt (C y D).

Barras con letra distinta en cada evaluación indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$). Medias de 4 repeticiones.

A los 60 días de la aplicación de tratamientos (Figura 6-21C y D), a partir del tratamiento con 47 mM de NaCl se presentan diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) en la acumulación de N del vástago de ambas variedades. Con la aplicación de 205 mM de NaCl en la solución nutritiva, la variedad AF presenta acumulaciones de N menores en 71.48 % en el vástago y del 75.25 % en raíces, con respecto al testigo. Las reducciones obtenidas en la variedad SM fueron de 66.63 % en vástago y de 76.2 % en raíces, con respecto a 205 mM de NaCl y el testigo. Resultados similares se han obtenido en girasol (Sánchez-Raya y Delgado, 1996), donde se obtuvo que a concentraciones de 100 mM de NaCl, la acumulación de N decrece significativamente; y en tomate (El-Fouly *et al.*, 2002) se encontró que la absorción de N es afectada negativamente con el incremento de NaCl en el medio de desarrollo de las raíces.

Fósforo (P)

Los mecanismos por los que la salinidad causa que la planta pierda el testigo en la absorción y transporte de fosfato al vástago, son desconocidos. La acumulación de P en el vástago presumiblemente es testigoado a nivel de raíz y es independiente de la composición de la sal (Grattan y Grieve, 1999).

La adición de NaCl en el medio de crecimiento afecta negativamente la acumulación de P, tanto en la parte aérea como en la raíz (Figura 6-22). A 30 ddt (Figura 6-22A y B), con el tratamiento con 205 mM de NaCl, la variedad AF presenta una reducción del 42.44 % y de 38.55 % en la acumulación de P en el vástago y raíz, respectivamente, en ambos casos comparado con el testigo. A la misma concentración (205 mM) la reducción en la variedad SM es de 49.15 % en el vástago y del 76.63 % en la raíz, también con respecto al testigo.

A los 60 ddt (Figura 6-22C y D), la respuesta de ambas variedades es similar que la obtenida en el muestreo anterior (30 ddt). La variedad AF muestra reducciones en la extracción de P del 38.73 % en el vástago, y en la raíz la reducción es de 74.18 %, dichas reducciones son a 205 mM de NaCl con respecto al testigo. Mientras que en la variedad SM se obtuvieron decrementos del 68.85 % y 71.43 % para vástago y raíz. Los resultado aquí obtenidos, son congruentes con los

reportados en girasol (Sánchez-Raya y Delgado, 1996) en el que la acumulación de P se ve afectada a dosis superiores a 100 mM de NaCl y en tomate (El-Fouly *et al.*, 2002). La acumulación de P es superior en la parte aérea de la planta que en la raíz, y en la variedad SM, la salinidad reduce la acumulación de P más en la raíz (mayor del 70 %) que en el vástago.

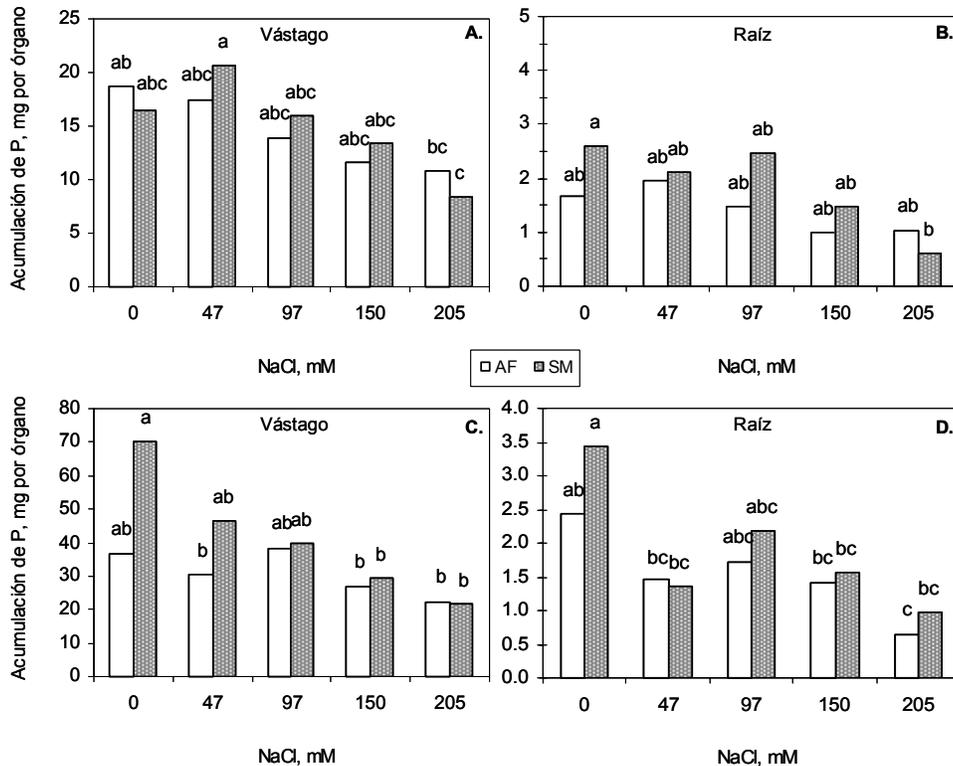


Figura 6-22. Influencia de diferentes concentraciones de NaCl en la acumulación de P en el vástago y raíz de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), a 30 ddt (A y B) y 60 ddt (C y D).

Barras con letra distinta en cada evaluación indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$). Medias de 4 repeticiones.

Potasio (K^+)

Tratamientos con sal decrecen la distribución de K^+ al incrementar los niveles de NaCl. La reducción en la absorción de K^+ causada por Na^+ probablemente es resultado de la competencia en el influjo intracelular de ambos iones (Stepien y

Klobus, 2006). Es bien sabido que muchos sistemas de transporte de K^+ tienen alta afinidad por Na^+ (Munns *et al.*, 1995).

En la Figura 6-23 se presenta la acumulación de K^+ , a los 30 y 60 ddt, en vástago y raíz de plantas de las variedades AF y SM de pepino, desarrolladas en condiciones hidropónicas y sometidas a 5 niveles de NaCl. Se puede observar que de manera general, hay una relación negativa entre la extracción de K^+ y el incremento en los niveles de salinidad.

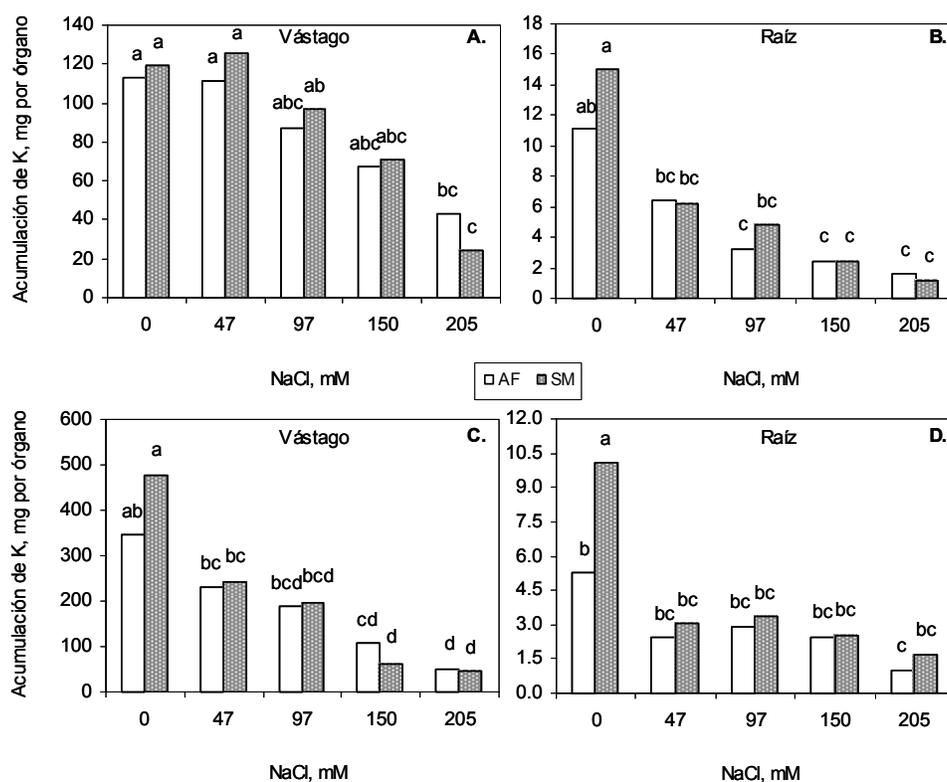


Figura 6-23. Efecto de la salinidad en la acumulación de K^+ en diferentes tejidos vegetales de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), a 30 ddt (A y B) y 60 ddt (C y D).

Barras con letra distinta en cada evaluación indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$). Medias de 4 repeticiones.

A los 30 ddt (Figura 6-23A y B), y a una concentración de 205 mM de NaCl, la variedad AF muestra reducción en la acumulación de K^+ de 61.82 % en el vástago y de 85.19 % en la raíz. Al parecer, la variedad SM se ve más afectada por el

incremento de la salinidad, ya que comparado con el testigo se obtuvieron reducciones en la acumulación de K^+ de 79.44 % y del 92.18 % en el vástago y raíz al ser tratada con 205 mM. En ambas variedades, la acumulación de K^+ es más afectada en la raíz que en vástago, lo que soporta la idea de Sánchez-Raya y Delgado (1996), de que la competencia entre K^+ y Na^+ tiene lugar principalmente durante la absorción por la raíz en lugar de ser al momento del transporte en la parte aérea de la planta.

A los 60 ddt (Figura 6-23C y D), la acumulación de K^+ es reducida en forma significativa ($p \leq 0.05$) al incrementar la concentración de NaCl en el medio externo. Al aplicar una concentración de 205 mM de NaCl, la disminución en la acumulación de K^+ es de 85.8 % y 81.37 % para vástago y raíz de la variedad AF; mientras que en la variedad SM se obtuvieron reducciones de 90.32 % en vástago y en raíz de 83.35 %, en todos los casos con respecto al testigo. Resultado similares se han obtenido en hojas y raíz de tomate (El-Fouly *et al.*, 2002), y también en hojas de girasol (Sánchez-Raya y Delgado, 1996).

Calcio (Ca^{2+})

El Na^+ puede desplazar al Ca^{2+} de la membrana celular, e incrementar la permeabilidad, y por lo tanto incrementa la concentración intracelular de Na^+ (Sánchez-Raya y Delgado, 1996).

Altos niveles de salinidad por NaCl, reducen significativamente la absorción y transporte del Ca^{2+} , y como consecuencia influye negativamente en la acumulación de Ca^{2+} en todos los órganos de la planta, tal como se puede ver en la Figura 6-24, donde se presenta el efecto de diferentes niveles de NaCl en la extracción de Ca^{2+} , tanto del vástago como de la raíz, durante dos períodos de crecimiento a los 30 y 60 días después de la aplicación de tratamientos.

La acumulación de Ca^{2+} en el vástago, a los 30 ddt (Figura 6-24A y B), presenta reducciones del 43.1 % y del 62.18 % correspondiente a la variedad AF y SM, con respecto al testigo. Resultados obtenidos en girasol (Sánchez-Raya y Delgado, 1996), también muestran reducciones significativas en la acumulación de Ca^{2+} de la parte aérea, al ser tratadas con niveles mayores a 100 mM de NaCl. En raíces

de plantas de la variedad AF, la acumulación de Ca^{2+} incrementa en 45 % del testigo a 47 mM de NaCl, posteriormente decrece la extracción de Ca^{2+} en 64.32 % de 47 mM a 150 mM. En el caso de la variedad SM, la acumulación de Ca^{2+} se mantiene constante en el testigo así como a 47 y 97 mM de NaCl, para luego reducirse significativamente (en 79.92 %) a 205 mM de NaCl.

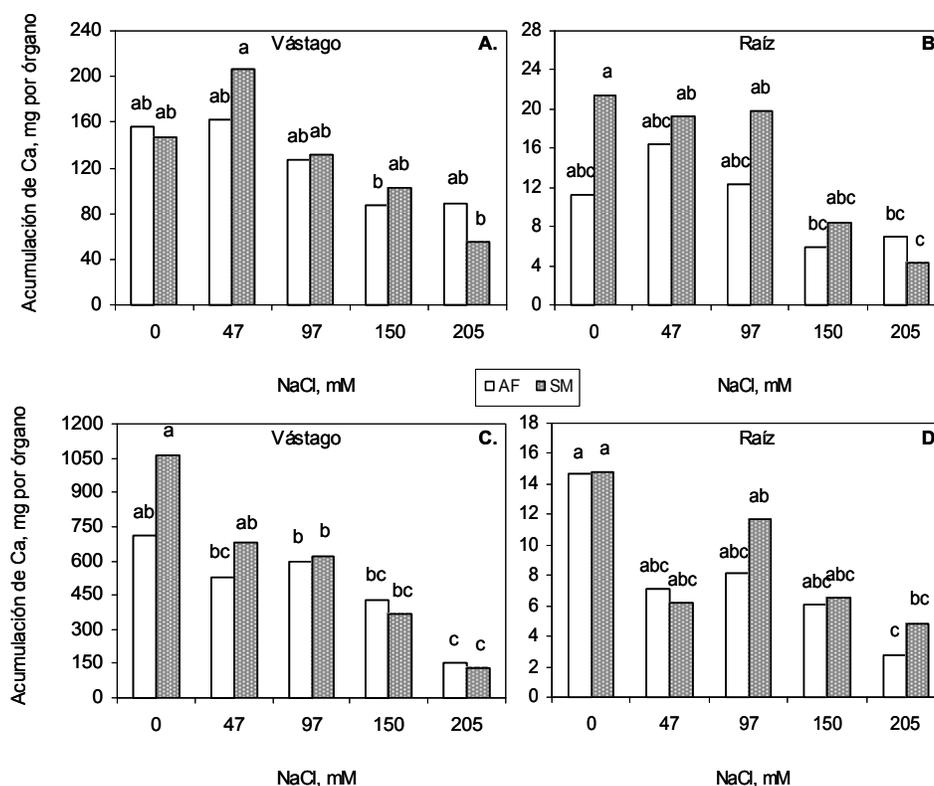


Figura 6-24. Efecto de la salinidad en la acumulación de Ca^{2+} en diferentes tejidos vegetales de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), a 30 ddt (A y B) y 60 ddt (C y D).

Barras con letra distinta en cada evaluación indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$). Medias de 4 repeticiones.

A los 60 ddt (Figura 6-24C y D), con el tratamiento de 250 mM de NaCl en la solución nutritiva, se obtuvieron reducciones de 78.62 % y 87.55 % en la acumulación de Ca^{2+} de la parte aérea de la variedad AF y SM. Estas reducciones en la absorción de Ca^{2+} pueden ser debido al antagonismo entre Na^+ y Ca^{2+} , y también puede ser provocado por la despolarización de la membrana celular por

iones Na^+ (El-Fouly *et al.*, 2002). La acumulación de Ca^{2+} en la raíz, se ve más afectada a 47, 150 y 205 mM NaCl, con las siguientes reducciones: para la variedad AF 51.61 %, 58.1 % y 80.86 %; y en la variedad SM, de 58.36 %, 56.13 % y 67.57 %, respectivamente, en todos los casos con respecto al testigo (0 mM).

Magnesio (Mg^{2+})

El efecto negativo del NaCl en la distribución del Mg^{2+} en los tejidos foliares puede contribuir a su deficiencia, acompañado de perturbaciones metabólicas. Además la salinidad puede de alguna manera testigoar el movimiento del Mg^{2+} , inhibiendo su flujo en el floema a las hojas jóvenes, posiblemente resultando en reducciones en las reacciones fotosintéticas (Netondo *et al.*, 2004b).

La acumulación de Mg^{2+} en el vástago y raíz de las variedades de pepino AF y SM, crecidas bajo diferentes niveles de NaCl, se muestra en la Figura 6-25, donde claramente se puede observar que en el vástago, la extracción de Mg^{2+} se reduce significativamente ($p \leq 0.05$) al incrementar los tratamientos con NaCl.

Durante el muestreo realizado a los 30 ddt (Figura 6-25A y B), la reducción en la extracción de Mg^{2+} de la variedad AF es de 45.26 % en el vástago y de 58.43 % en la raíz; asimismo la variedad SM presentó reducciones del orden de 61.4 % y 82.34 % en vástago y raíz. En todos los casos en comparación con el testigo, lo cual es contrario a lo reportado en sorgo (Netondo *et al.*, 2004b), donde sugieren que el Na^+ no excluye al Mg^{2+} del sistema de absorción, y por consiguiente la acumulación de Mg^{2+} en la raíz es afectada en forma mínima.

La acumulación de Mg^{2+} en la parte aérea de plantas, de dos variedades de pepino, decrece de manera lineal al incrementar el nivel de salinidad en el medio de crecimiento, por un período de 60 días de la aplicación de tratamiento (Figura 6-25C y D). Estas reducciones estadísticamente significativas, en el vástago, son de 68.71 % en la variedad AF y del 79.83 % en la variedad SM. La extracción de Mg^{2+} por raíces de plantas de la variedad AF, muestran decremento gradual al aumentar la concentración de sales, presentándose una disminución del 74.52 % entre el testigo y una concentración de 205 mM. En el caso de la variedad SM, la mayor extracción de Mg^{2+} se obtuvo en el tratamiento con 0 y 97 mM de NaCl,

también hay reducción del 58.05 % entre el testigo y 47 mM; en los tratamientos con 47, 150 y 205 mM NaCl la acumulación de Mg^{2+} es constante entre dichas concentraciones, sólo muestran una ligera tendencia a disminuir.

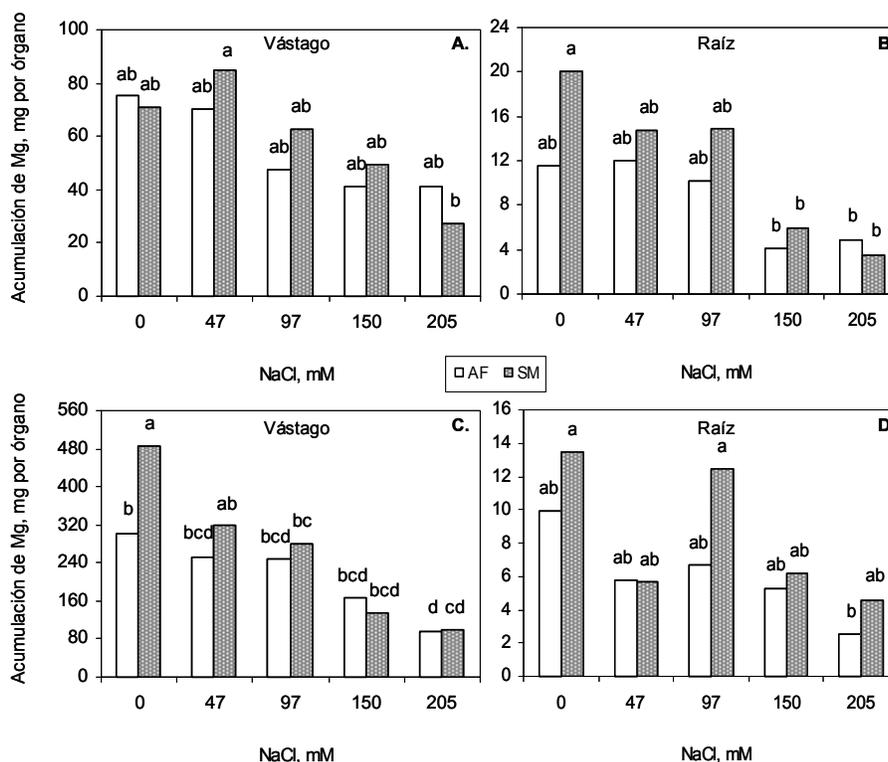


Figura 6-25. Efecto de la salinidad en la acumulación de Mg^{2+} en vástago y raíz de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), a 30 ddt (A y B) y 60 ddt (C y D).

Barras con letra distinta en cada evaluación indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$). Medias de 4 repeticiones.

Hierro (Fe^{2+})

El efecto de diferentes niveles de NaCl en la acumulación de Fe en la parte aérea y raíz de plantas de las variedades de pepino AF y SM, puede verse en la Figura 6-26. A los 30 ddt (Figura 6-26A y B), en el vástago como en la raíz no se obtuvieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos. Sin embargo, la acumulación de Fe en vástago de la variedad AF muestra reducción

del 77.34 % en el tratamiento con 205 mM de NaCl, con respecto al testigo. Asimismo, en la variedad SM la disminución es del 69.38 % entre el testigo y una concentración de 97 mM de NaCl; sin embargo, la extracción de Fe incrementa un 139.86 % de 97 mM a 205 mM. En las raíces de la variedad AF se presenta una relación positiva entre la acumulación de Fe y concentraciones crecientes de NaCl, de 0 mM a 97 mM de NaCl, dicho incremento es del 74.80 %. Posteriormente la acumulación de Fe decrece el 71.51 % de 97 mM a 205 mM de NaCl. En la variedad SM la acumulación de Fe permanece constante a concentraciones de 0, 47 y 97 mM de NaCl, para luego disminuir el 73.35 % de un nivel de 97 mM a 205 mM.

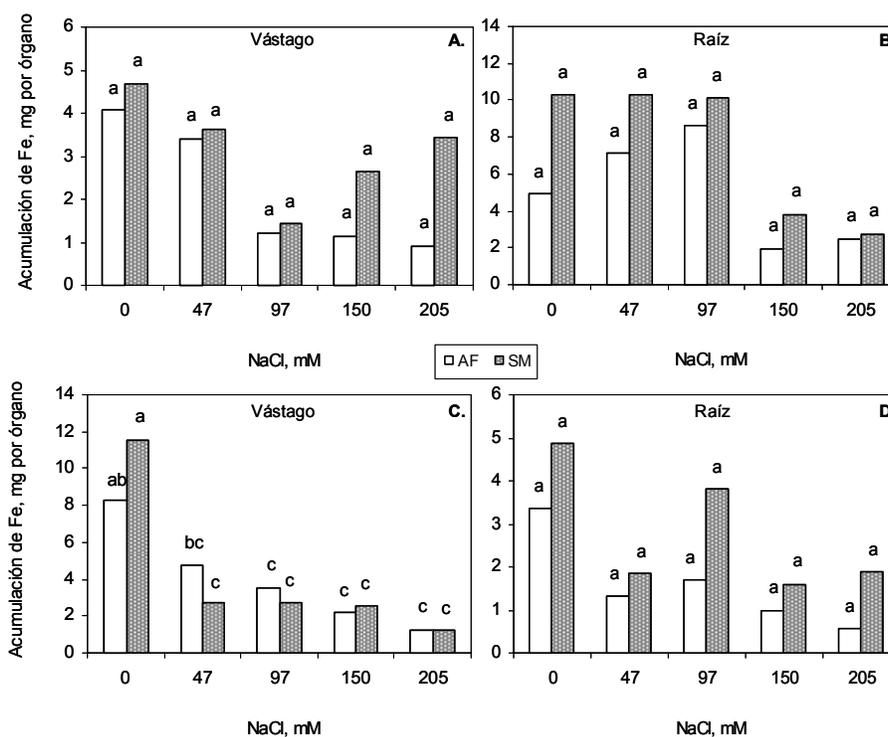


Figura 6-26. Acumulación de Fe en vástago y raíz de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM) desarrolladas bajo diferentes niveles de NaCl, a 30 ddt (A y B) y 60 ddt (C y D).

Barras con letra distinta en cada evaluación indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$). Medias de 4 repeticiones.

En el segundo muestreo, a los 60 ddt, (Figura 6-26C y D) la acumulación de Fe en el vástago se ve seriamente afectada al incrementar la concentración de NaCl en el medio externo. El decremento en la acumulación de Fe por plantas de la variedad AF es del 85.21 % y del 89.25 % en plantas de la variedad SM. Resultados semejantes se han obtenido en girasol (Sánchez-Raya y Delgado, 1996), donde se obtuvo que concentraciones superiores a 100 mM de NaCl disminuyen notablemente la acumulación de Fe. Los resultados obtenidos sugieren que hay un efecto de sinergismo entre la acumulación de Fe y Na en la parte aérea. Otra posible razón es el incremento en el nivel de HCO_3^- en el medio de crecimiento de la raíz debido a salinidad por NaCl, que a su vez se encontró que disminuye la concentración de Fe en la planta así como su absorción total (Romheld y Marschner, 1986). La extracción de Fe por raíces, de ambas variedades, no está influenciada por los diferentes niveles de salinidad, ya que no se presentan diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos. No obstante, en la Figura 6-26D, puede notarse que al incrementar la concentración de NaCl disminuye la acumulación de Fe en la raíz.

Cobre (Cu^{2+})

La acumulación de Cu en vástago y raíz, de las variedades de pepino AF y SM, se presenta en la Figura 6-27. Se llevaron a cabo dos muestreos, a 30 y 60 días de la aplicación de tratamientos. En el primero (Figura 6-27A y B), la acumulación de Cu se ve afectada por adición de sales en el medio de crecimiento. A 47 mM de NaCl la acumulación de Cu en el vástago de ambas variedades incrementa. Para luego, disminuir conforme aumenta el nivel de salinidad. A 205 mM de NaCl, la reducción en la variedad AF es de 20.99 %, mientras que en la variedad SM es de 38.27 %, en los dos casos comparado con el testigo. La influencia de la salinidad en la acumulación de Cu en la raíz es variable, sobre todo en la variedad AF, puesto que no presenta una tendencia definida con respecto al incremento en el nivel de salinidad. En raíces de la variedad AF, la acumulación de Cu incrementa 29.63 % con el tratamiento con 47 mM de NaCl (comparado con el testigo), posteriormente disminuye en 51.43 % a 150 mM (con respecto a 47 mM) y finalmente vuelve a

incrementar 35.29 % a una concentración de 205 mM de NaCl (de acuerdo al tratamiento con 150 mM). La variedad SM presenta una tendencia más clara, ya que a excepción del tratamiento con 97 mM, la acumulación de Cu en raíces se correlaciona negativamente con el incremento de sales, esta disminución es del 72.92 % en el tratamiento con 205 mM de NaCl, en relación al testigo.

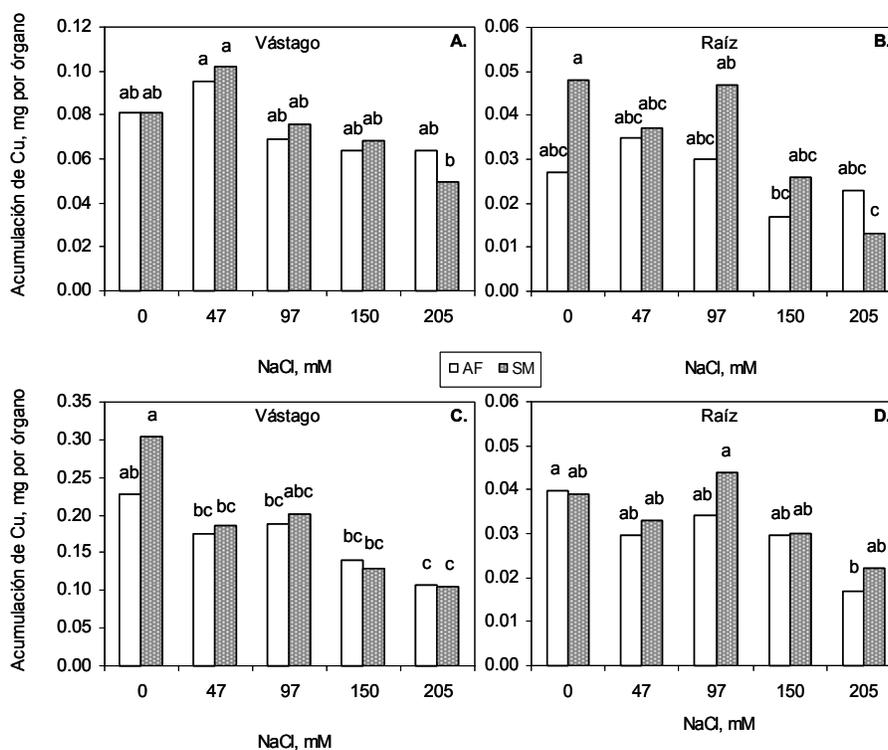


Figura 6-27. Acumulación de Cu en vástago y raíz de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM) desarrolladas bajo diferentes niveles de NaCl, a 30 ddt (A y B) y 60 ddt (C y D).

Barras con letra distinta en cada evaluación indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$). Medias de 4 repeticiones.

En el segundo muestreo (60 ddt), Figura 6-27C y D, la acumulación de Cu en el vástago se reduce de manera significativa ($p \leq 0.05$) con el incremento en la concentración de NaCl. En la variedad AF esta reducción es de 52.63 % y en la variedad SM de 65.35 %, dicha reducción corresponde al tratamiento con 205 mM de NaCl comparado con el testigo. En lo que respecta a la acumulación de Cu en la raíz, al igual que en el muestreo anterior (30 ddt), presenta fluctuaciones y sin

una tendencia bien definida. Aun así, en la variedad AF se obtuvieron diferencias estadísticas significativas del 57.5 %, entre el testigo y el tratamiento con 205 mM de NaCl. Con los mismos tratamientos la variedad SM redujo su extracción de Cu en raíces en 43.59 %.

Zinc (Zn^{2+})

A 30 días de la aplicación de tratamientos (Figura 6-28A y B), la acumulación de Zn en el vástago de las variedades de pepino AF y SM es severamente afectada al incrementar la concentración de NaCl en la solución nutritiva. Aunque en el tratamiento con 47 mM se presenta un ligero incremento en la concentración de Zn, de manera general, ésta es reducida en 42.31 % en plantas de la variedad AF, y del 60.0 % en la variedad SM, comparando el testigo con el tratamiento de 205 mM de NaCl. La acumulación de Zn en la raíz de plantas de pepino irrigadas con diferentes niveles de salinidad, muestra fluctuaciones como respuesta a la aplicación de NaCl. En la variedad AF, la acumulación Zn en la raíz incrementa el 23.08 %, del testigo a un nivel de 97 mM de NaCl; para luego decaer significativamente el 56.25 % en el tratamiento con 205 mM de NaCl.

A los 60 ddt (Figura 6-28C y D), concentraciones crecientes de NaCl aplicados en la solución nutritiva, afectan significativamente ($p \leq 0.05$) la acumulación de Zn en el vástago de las variedades de pepino AF y SM. La relación entre los diferentes niveles de salinidad y la acumulación de Zn, en el vástago, es negativa y de forma lineal. Ya que al incrementar la salinidad se reduce la absorción y acumulación de Zn en la parte aérea de la planta. En el vástago de la variedad AF, dicha reducción es del 75.30 % y del 82.47 % en la variedad SM, en ambos casos, la disminución es en el tratamiento con 205 mM comparado con el testigo. En la raíz, la acumulación de Zn, también, es reducida al aumentar la concentración de sales. A 205 mM de NaCl, la variedad AF reduce su extracción de Zn en 78.57 % y del 73.33 % en la variedad SM. Otros resultados encontrados en tomate (El-Fouly *et al.*, 2002), difieren de lo obtenido en la presente investigación, puesto que la absorción de Zn por la raíz incrementa al elevarse la salinidad en el medio de crecimiento.

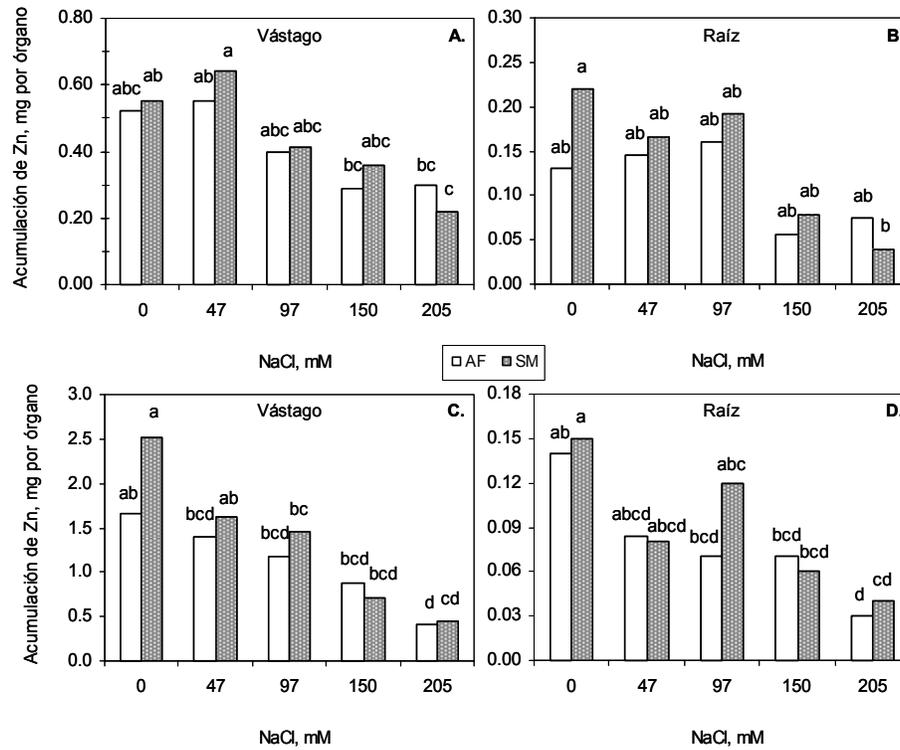


Figura 6-28. Acumulación de Zn en vástago y raíz de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM) desarrolladas bajo diferentes niveles de NaCl, a 30 ddt (A y B) y 60 ddt (C y D).

Barras con letra distinta en cada evaluación indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$). Medias de 4 repeticiones.

Manganeso (Mn^{2+})

En condiciones de salinidad, la solubilidad de micronutrientes como Cu, Fe, Mn, Mo y Zn es particularmente baja, y el crecimiento de las plantas en estas condiciones puede presentar deficiencia de estos elementos, pero no en todos los casos. Las diferencias pueden ser atribuidas al tipo de planta, tejido vegetal, nivel de salinidad y composición, concentración de micronutrientes, condiciones de crecimiento y la duración del estudio. Por lo que la salinidad puede incrementar, reducir o no tener efecto en la acumulación de estos micronutrientes en el vástago de la planta (Grattan y Grieve, 1999).

En este caso, el incremento en los niveles de salinidad reduce significativamente la acumulación de Mn en el vástago de plantas de pepino (Figura 6-29), durante

los períodos de muestreo. A los 30 ddt (Figura 6-29A y B), la acumulación de Mn en la parte aérea de plantas de pepino, se ve seriamente afectada al aumentar las concentraciones de NaCl. A 205 mM de NaCl, la reducción en la acumulación de Mn es del 59.48 % en la variedad AF y del 70.90 % para el caso de la variedad SM, en ambos casos con respecto al testigo. Caso contrario se presenta en la raíz, puesto que la acumulación de Mn en este órgano de la planta, no presenta una tendencia definida como respuesta a los diferentes niveles de salinidad, como tampoco se obtuvieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$). No obstante, en los tratamientos con 150 y 205 mM de NaCl la reducción en a acumulación de Mn es considerable.

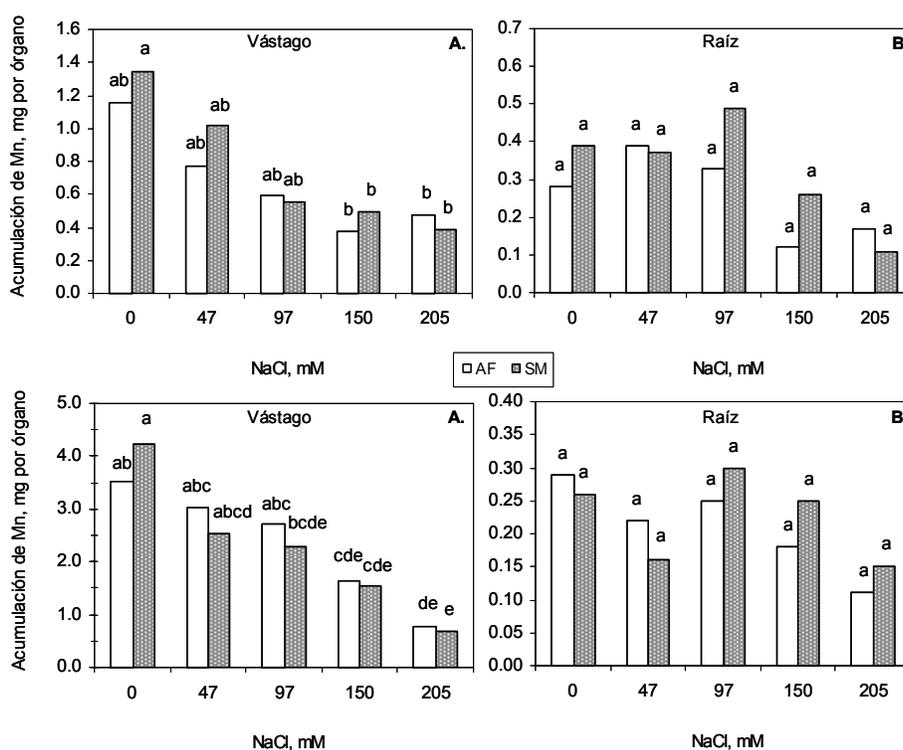


Figura 6-29. Efecto de diferentes niveles de NaCl en la acumulación de Mn en la parte aérea y raíz de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), a los 30 ddt (A y B) y 60 ddt (C y D).

Barras con letra distinta en cada evaluación indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$). Medias de 4 repeticiones.

Durante el segundo muestreo (Figura 6-29C y D), la acumulación de Mn en el vástago se relaciona negativamente con las diferentes concentraciones de NaCl, es decir, a medida que incrementa el nivel de salinidad disminuye significativamente la acumulación de Mn en la parte aérea. Dichas disminución es de 78.06 % para la variedad AF y del 83.89 % para la variedad SM, en los dos casos al comparar el tratamiento con mayor concentración de NaCl evaluada (205 mM de NaCl) y el testigo. La absorción de Mn por las raíces de ambas variedades no es afectada significativamente por la salinidad, y no muestra tendencias definidas al aumentar la presencia de sales en el medio de crecimiento. Resultados semejantes se han encontrado en tomate (El-Fouly *et al.*, 2002) y girasol (Sánchez-Raya y Delgado, 1996) puesto que al aumentar la concentración de NaCl en el medio externo, disminuye la acumulación de Mn en el vástago, pero no en la raíz.

Boro (B)

A los 30 días de la aplicación de tratamientos (Figura 6-30A y B), la acumulación de B en el vástago y en la raíz no presenta diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos. Como tampoco muestra tendencias definidas a la aplicación de diferentes concentraciones de NaCl en el medio de crecimiento.

A los 60 ddt (Figura 6-30. C y D), la acumulación de B en la parte aérea, de plantas de pepino de ambas variedades, es influenciada negativamente por la aplicación de niveles crecientes de NaCl. Por lo que, con la aplicación de 205 mM de NaCl en la solución nutritiva, la acumulación de B en el vástago de plantas de la variedad AF se reduce en 51.23 % y en la variedad SM dicha reducción es del 70.52 %, en ambos casos con respecto al testigo. Lo que concuerda con lo revisado por Grattan y Grieve (1999), puesto que la salinidad reduce la absorción de B y su transporte al vástago, así como la acumulación en el tallo. De igual manera, en la acumulación de B de la raíz, se obtuvieron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$). El NaCl afecta la acumulación de B, tanto en el vástago como en la raíz de ambas variedades, al aumentar el tiempo de exposición de la planta a los diferentes niveles de salinidad.

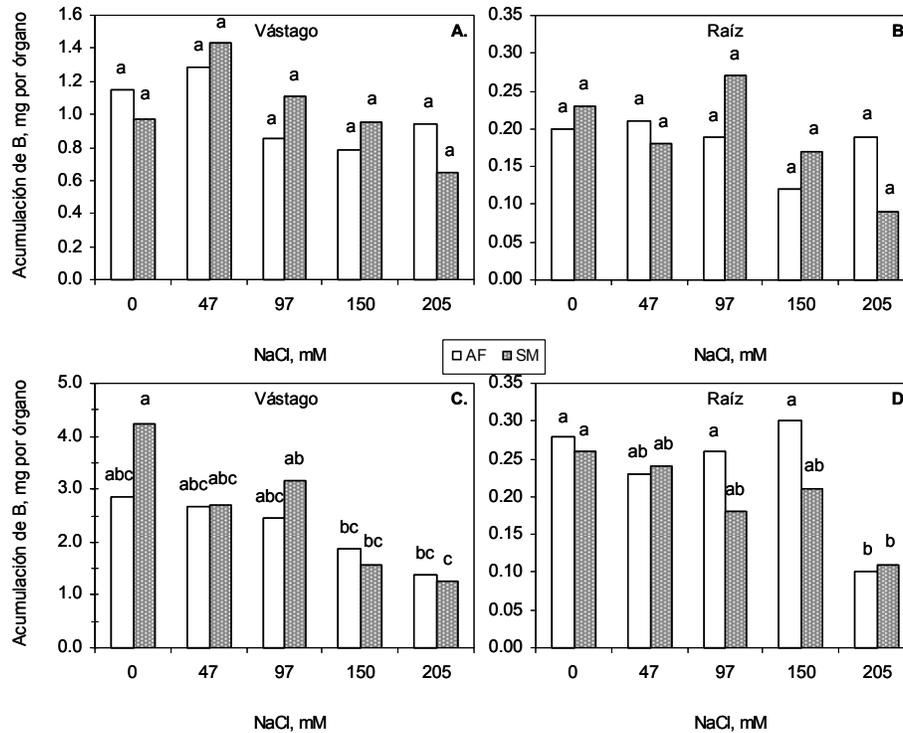


Figura 6-30. Efecto de diferentes niveles de NaCl en la acumulación de B en la parte aérea y raíz de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), a los 30 ddt (A y B) y 60 ddt (C y D).

Barras con letra distinta en cada evaluación indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$). Medias de 4 repeticiones.

Sodio (Na^+)

El sodio es el principal catión que se acumula en raíces y tallo al incrementar la salinidad. La acumulación preferencial en raíces sobre el vástago puede ser interpretado como un mecanismo de tolerancia en por lo menos dos formas. Primera, el mantenimiento substancial de un potencial osmótico para la absorción de agua por las raíces y segunda, restringir el movimiento del Na^+ al vástago (Renault *et al.*, 2001).

En la Figura 6-31 se presenta la acumulación de Na^+ en la parte aérea y raíz de plantas de las variedades de pepino AF y SM desarrolladas bajo diferentes niveles de salinidad, durante dos períodos de muestreo. A los 30 ddt, la acumulación de Na^+ en el vástago de ambas variedades, incrementa al incrementar la

concentración de NaCl. El-Hendaway *et al.* (2005) reporta que, la exclusión de iones perjudiciales, como el Na^+ , del vástago ha sido encontrado para ser asociado con la variación entre variedades en la tolerancia a sales. Para estas variedades que no pueden excluir iones tóxicos del vástago, acumulación de sales en niveles tóxicos en las hojas, convirtiéndose en la principal causa de reducción del crecimiento (Munns, 1993).

Los resultados obtenidos en la presente investigación muestran, que en los tratamientos con 97 y 150 mM de NaCl, la variedad AF tiene mayor habilidad para excluir el Na^+ , puesto que esta variedad presenta menor acumulación de Na^+ en la parte aérea que la variedad SM. No así, a concentraciones de 205 mM de NaCl, donde al parecer la variedad AF, es más susceptible que la variedad SM, ya que esta última reduce su acumulación de Na^+ en la parte aérea. A partir del tratamiento con 47 mM de NaCl, la acumulación de Na^+ en raíces de la variedad AF, muestra una tendencia clara a disminuir con el incremento en el nivel de salinidad. En el caso de la variedad SM, se presenta un incremento en la acumulación de Na^+ , del testigo a 97 mM de NaCl, para posteriormente disminuir hasta el tratamiento con 205 mM. La tolerancia a la salinidad en glicófitas está asociada con la habilidad de limitar la absorción y/o el transporte de Na^+ de la zona de la raíz a la parte aérea (Chartzoulakis y Klapaki, 2000). En este caso, la variedad AF presenta menor absorción de Na^+ que la variedad SM, a excepción del tratamiento con 205 mM de NaCl donde se obtuvo lo contrario.

A los 60 ddt (Figura 6-31 C y D), la respuesta del pepino a las diferentes concentraciones de NaCl es similar a lo obtenido durante el primer muestreo (30 ddt, Figura 6-31A y B), principalmente en la parte aérea en ambas variedades, en la que el transporte y acumulación de Na^+ en el vástago incrementa al aumentar la concentración de NaCl. Resultados semejantes se han obtenido en tomate (El-Fouly *et al.*, 2002). Mientras que en la raíz no se presentan diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) y tampoco se muestran tendencias definidas, lo que concuerda con lo obtenido en *Sesbania rostrata* y *Phaseolus vulgaris* L (Jungklang *et al.*, 2003). Sin embargo, la acumulación de Na^+ en la raíz se reduce progresivamente con el tiempo. En los dos muestreos, la mayor acumulación de

Na^+ se obtuvo en la parte aérea. Caso contrario se ha reportado en plantas de pimiento (Chartzoulakis y Klapaki, 2000), donde la acumulación de Na^+ en raíces es superior comparada con el contenido Na^+ en el vástago. Lo que sugieren que la acumulación de Na^+ en la raíz proporciona un mecanismo de protección, del pimiento, a la salinidad presente en el medio y/o puede indicar que existe un mecanismo para inhibir el transporte del Na^+ a las hojas.

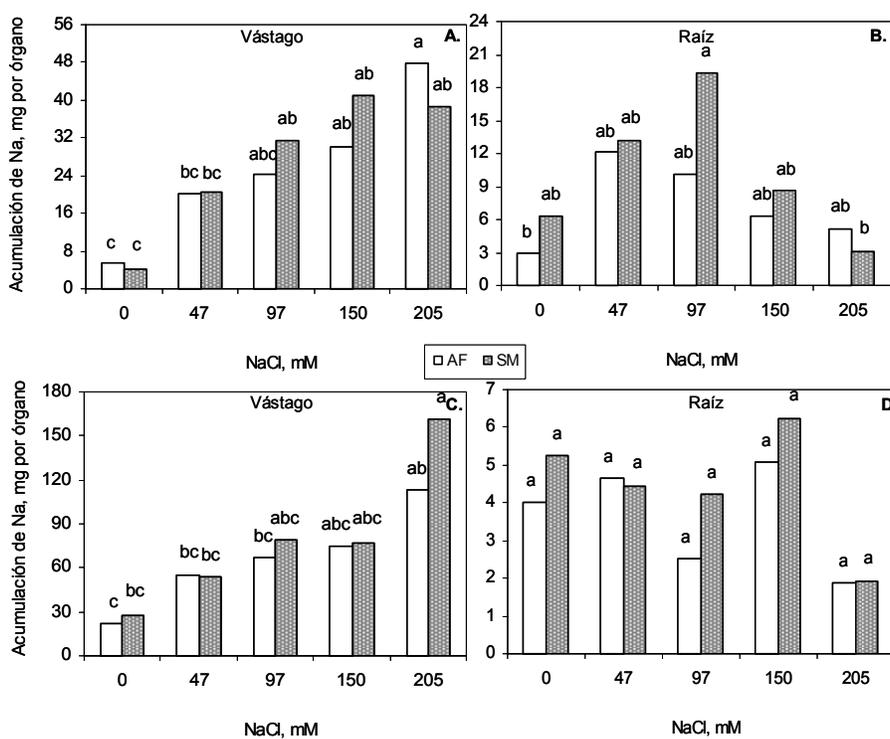


Figura 6-31. Efecto de diferentes niveles de NaCl en la acumulación de Na en la parte aérea y raíz de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), a los 30 ddt (A y B) y 60 ddt (C y D).

Barras con letra distinta en cada evaluación indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$). Medias de 4 repeticiones.

6.2.7. Relaciones nutrimentales en vástago y raíz

Bajo condiciones de salinidad, valores altos en las relaciones Na^+/K^+ , $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$, $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ y $\text{Cl}^-/\text{NO}_3^-$, inhiben el crecimiento debido a que la salinidad puede ser causada primeramente por el estrés osmótico, y desbalance iónico, efecto en los

componentes biofísicos y/o metabólicos del crecimiento (Hu y Schmidhalter, 2005).

Relación K^+/Na^+

En condiciones de salinidad, la relación K^+/Na^+ es la que indica la capacidad para discriminar K^+ en contra de altas concentraciones de Na^+ en la solución del suelo. Así, una alta proporción de K^+/Na^+ en la hoja se considera un indicador importante de la tolerancia a la salinidad (Cerdá *et al.*, 1995)

La regulación en la absorción K^+ y/o prevención de la entrada de Na^+ , el eflujo (salida) de la célula, y la utilización del Na^+ en el ajuste osmótico son estrategias comúnmente usadas por la planta para mantener la relación K^+/Na^+ deseada en el citosol. Una relación K^+/Na^+ alta en el citosol es esencial para funciones celulares normales de la planta (Zhu, 2002; Zhu, 2003).

El efecto de la salinidad (por adición de NaCl) en la relación K^+/Na^+ de la parte aérea y raíz de plantas de pepino, variedades: AF y SM, se presenta en la Figura 6-32. Dicha evaluación se realizó a los 30 y 60 días después de la aplicación de tratamientos. A los 30 ddt (Figura 6-32.A y B), la relación K^+/Na^+ en vástago y raíz presenta reducciones significativas entre el testigo y los demás tratamientos; y por lo tanto diferencias estadísticas significativas entre el testigo y el resto de los tratamientos ($p \leq 0.05$). Entre los tratamientos conteniendo 47, 97, 150 y 205 mM de NaCl no se obtuvieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) en la relación K^+/Na^+ , aunque si se muestra una disminución paulatina con el incremento de la salinidad en el medio de crecimiento. Esta tendencia se presenta tanto en vástago como en raíz.

Durante el segundo período de evaluación (60 ddt, Figura 6-32 C y D), la aplicación de niveles crecientes de NaCl en la solución nutritiva de plantas de pepino, desarrolladas bajo condiciones hidropónicas, reducen significativamente la relación K^+/Na^+ en el vástago y en la raíz. En la parte aérea esta reducción es constante, mientras que en la raíz se obtuvieron fluctuaciones al incrementar la concentración de NaCl.

Una alta relación K^+/Na^+ es mantenida en el vástago, como resultado de la habilidad del mismo para testigoar la acumulación y translocación de Na^+ , el cual esta correlacionado positivamente con la tolerancia a la salinidad (Wu y Lin, 1994). Considerando lo anterior, en esta investigación no se obtuvieron diferencias significativas entre variedades a la aplicación del mismo tratamiento, sugiriendo que ambas variedades tienen habilidades semejantes para responder a las diferentes concentraciones de NaCl. Sin embargo, en el tratamiento con 47 mM de NaCl la variedad SM presenta un ligero incremento en la relación K^+/Na^+ comparado con la variedad AF. No obstante, al incrementar el nivel de salinidad la variedad AF supera ligeramente a la variedad SM, confiriéndole una mayor tolerancia a concentraciones crecientes de NaCl.

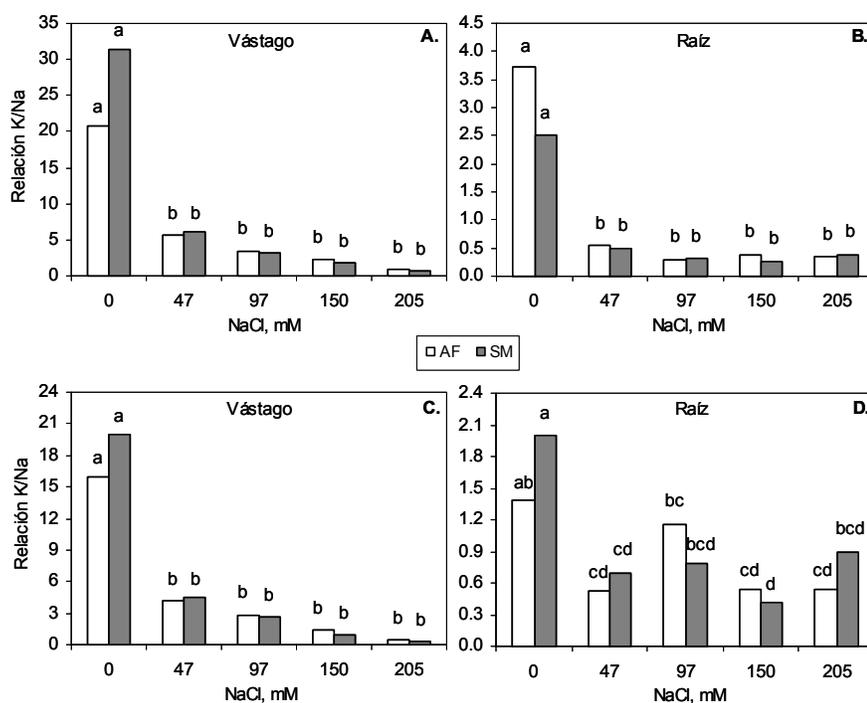


Figura 6-32. Relación K^+/Na^+ en vástago y raíz de plantas de las variedades de pepino (AF-1661, AF y Slice Max, SM) desarrollas bajo diferentes concentraciones de NaCl, a los 30 ddt (A y B) y 60 ddt (C y D).

Barras con letra distinta en cada evaluación indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$). Medias de 4 repeticiones.

Relación $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$

La adquisición y utilización de nutrientes iónicos necesarios para la planta particularmente K^+ y Ca^{2+} puede ser disminuida bajo condiciones salinas, causando cambios en las relaciones Na^+/K^+ y $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$, por lo que la selección entre especies puede ser causado por el contenido de K^+ y Ca^{2+} en el vástago y por su selectividad en lugar del Na^+ (Asch *et al.*, 2000).

El crecimiento de la raíz y sus funciones pueden ser inhibidos por altas relaciones $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$, y el proceso por el cual el Ca^{2+} es transportado de la raíz al vástago puede ser disminuido. Los trastornos por deficiencia del Ca^{2+} , bajo condiciones de salinidad, son eliminados cuando la relación $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ se reduce (Grieve y Fujiyama, 1987).

La relación $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ en los tejidos vegetales de plantas, de las variedades de pepino AF y SM es afectada por diferentes niveles de salinidad. Como se muestra en la Figura 6-33, el incremento en las concentraciones de NaCl induce incrementos en las relaciones $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ en parte aérea y raíz, esto puede ser atribuido a que incrementos en la concentración de Na^+ y Cl^- disminuyen la acumulación de Ca^{2+} dando lugar al aumento en los valores de la relación $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$. A los 30 ddt (Figura 6-33A y B) la relación $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ en el vástago incrementa en forma constante en todos los tratamientos, con el aumento en la salinidad; en la raíz, se presenta un comportamiento similar, a excepción del tratamiento con 205 mM de NaCl en el cual la relación $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ disminuye. Este comportamiento en la relación $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ está directamente relacionado con el crecimiento de la planta y con la producción de biomasa fresca y seca; puesto que al incrementar las relaciones $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ disminuye el crecimiento de la planta. Resultados similares se han obtenido en trigo (Hu y Schmidhalter, 1997).

El efecto de diferentes niveles de cloruro de sodio en la relación $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ de la parte aérea y raíz de plantas de pepino, a los 60 ddt se presenta en la Figura 6-33C y D. La relación $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ en el vástago no presenta diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos conteniendo 0, 47, 97 y 150 mM de NaCl. Pero si se obtuvo un incremento significativo, en la relación $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$, con la aplicación del tratamiento de 205 mM. Al-Harbi y Burrage (1992) encontraron que

bajas relaciones $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$, en plantas de pepino, están correlacionados con efectos positivos en el crecimiento de las plantas y la absorción de nutrientes bajo condiciones de elevada salinidad. En concentraciones superiores de 97 mM de NaCl, la variedad AF presenta menores relaciones $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ en el vástago que la variedad SM, lo que sugiere que esta última es más susceptible al NaCl. De manera general, la relación $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ en la raíz incrementa con el aumento en el nivel de salinidad. Lo que concuerda con lo reportado en raíces de tomate (El-Fouly *et al.*, 2002).

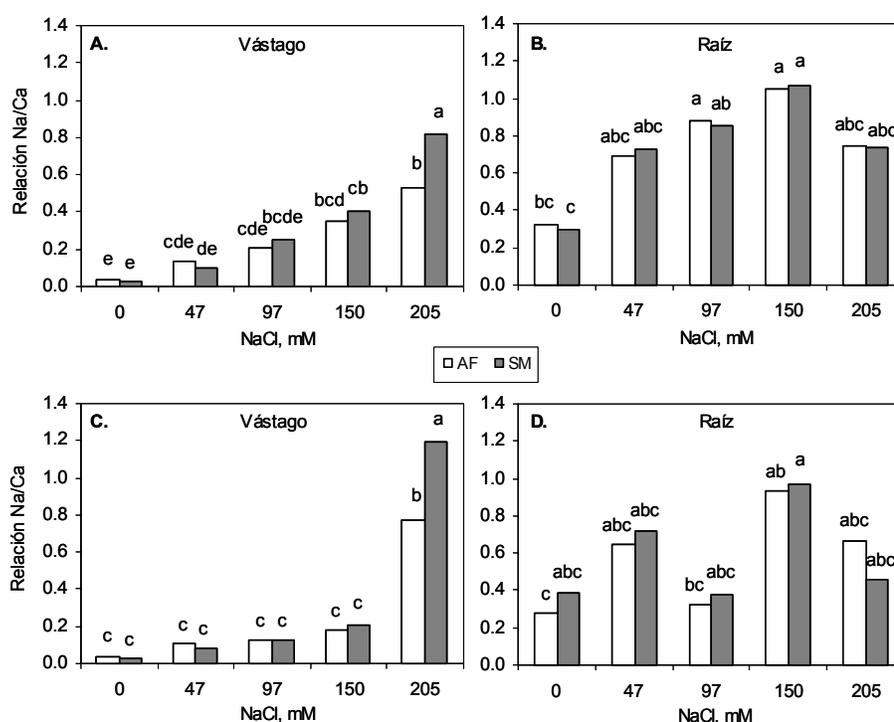


Figura 6-33. Relación $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ en vástago y raíz de plantas de las variedades de pepino (AF-1661, AF y Slice Max, SM) desarrolladas bajo diferentes concentraciones de NaCl, a los 30 ddt (A y B) y 60 ddt (C y D).

Barras con letra distinta en cada evaluación indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$). Medias de 4 repeticiones.

Relación $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$

El calcio es fuertemente competitivo con el magnesio, la absorción de Mg^{2+} es afectada por la presencia de K^+ , Na^+ y Ca^{2+} . En los sitios de unión de la membrana plasmática de la raíz, al parecer, tienen menor afinidad por el Mg^{2+} altamente hidratado que por el Ca^{2+} (Hu y Schmidhalter, 1997).

La relación $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ en la parte aérea y raíz de plantas de las variedades de pepino AF y SM, se puede ver en la Figura 6-34. Durante los primeros 30 días de la aplicación de tratamientos (Figura 6-34.A y B), no se obtuvieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos, resultados semejantes se han obtenido en trigo (Hu y Schmidhalter, 1997), donde no se presentan cambios en la relación $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$, al incrementar los niveles de NaCl de 0 a 150 mM. En la variedad AF, los valores de la relación $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ en el vástago fluctuaron entre 2.09 y 2.59 en el testigo y el tratamiento con 97 mM de NaCl, respectivamente. En el caso del vástago de la variedad SM, dichos valores oscilaron entre 1.96 y 2.49 en los tratamientos con 205 mM y 47 mM de NaCl. La relación $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ en la raíz, tampoco presenta diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$); sin embargo, si se observan incrementos progresivos con el aumento en la concentración de NaCl, lo que sugiere que al incrementar la salinidad, el Ca^{2+} puede inhibir la acumulación de Mg^{2+} en la raíz en ambas variedades.

A los 60 ddt (Figura 6-34. C y D), la relación $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ presenta diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos. En el vástago de ambas variedades, la relación $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ incrementa al aumentar el nivel de salinidad, hasta una concentración de 150 mM de NaCl; y posteriormente disminuye drásticamente con el tratamiento de 205 mM de NaCl. Según Mills y Jones (1996), una relación foliar $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ de 2 es considerada óptima para el crecimiento de las plantas, de acuerdo a lo anterior, en el primer muestreo la salinidad no afecta dicha relación entre cationes. Mientras que en el segundo muestreo concentraciones de 205 mM de NaCl, afectan severamente la relación $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ en vástago. En la raíz, la variedad SM no muestra diferencias significativas entre tratamientos, no así la variedad AF que presenta reducciones significativas en la relación $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$; a medida que los contenidos de NaCl incrementan.

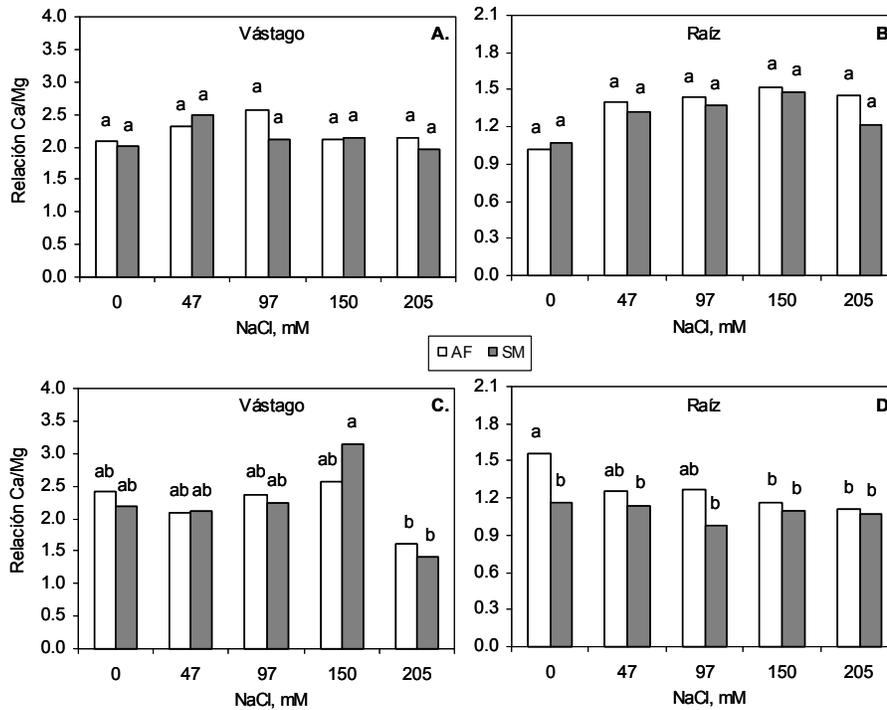


Figura 6-34. Relación $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ en vástago y raíz de plantas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM) desarrolladas bajo diferentes niveles de NaCl, a los 30 (A y B) y 60 (C y D) ddt.

Barras con letra distinta en cada evaluación indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$). Medias de 4 repeticiones.

6.2.8. Contenido catiónico de frutos

Se evaluó el efecto de la salinidad sobre la concentración, acumulación y relación entre cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+) en frutos de dos variedades de pepino.

Concentración de cationes en frutos

La concentración de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ en frutos de las variedades de pepino AF y SM, desarrollados bajo condiciones de salinidad, se presenta en el Cuadro 6-22. La variedad AF no muestra diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) en la concentración de Ca^{2+} ; no obstante, se observa la menor concentración de este elemento en el tratamiento testigo. La variedad SM muestra diferencias

estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) entre el tratamiento con 47 mM de NaCl y el resto, el cual obtuvo la mayor concentración de Ca^{2+} .

En la variedad AF, el comportamiento de la concentración de Mg^{2+} es similar a la del Ca^{2+} , puesto que al incrementar el nivel de salinidad incrementa la concentración de Mg^{2+} en el fruto, esta tendencia se presenta hasta el tratamiento conteniendo 150 mM de NaCl. En la concentración de Mg^{2+} en frutos de la variedad SM, se obtuvo también una tendencia similar a la presentada en el Ca^{2+} , ya que la mayor concentración de Mg^{2+} se obtuvo con 47 mM de NaCl, y posteriormente ésta disminuye en los tratamientos con 97 y 150 mM de NaCl.

La concentración de K^+ en frutos de la variedad AF presenta diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$); de manera general, se muestra una tendencia a incrementar la concentración de K^+ conforme aumenta el suministro de NaCl en el medio de crecimiento, con excepción del tratamiento con 205 mM de NaCl. En la variedad SM, la concentración de K^+ es inversa a los niveles de salinidad, ya que al incrementar el nivel de NaCl disminuye la concentración de K^+ ; evidencia de lo anterior, es que el tratamiento con 150 mM presenta una concentración de K^+ menor en 71.62 % al tratamiento con 47 mM de NaCl.

Cuadro 6-22. Efecto de la salinidad en la concentración de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ en frutos de las variedades de pepino AF-1661 (AF) Slice Max (SM).

NaCl (mM)	Concentración de cationes, g kg^{-1} BS			
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+
AF				
Testigo	1.63 b	1.76 b	9.93 b	0.48 f
47	2.24 b	2.68 b	16.34 b	1.67 def
97	2.54 b	2.64 b	15.93 b	5.46 abc
150	3.44 b	4.13 b	21.59 ab	6.62 ab
205	2.41 b	2.83 b	15.78 b	4.69 abcd
SM				
Testigo	3.37 b	3.55 b	21.27 ab	0.53 ef
47	8.76 a	7.75 a	32.81 a	2.80 cdef
97	4.29 b	3.74 b	22.68 ab	2.98 bcdef
150	1.85 b	1.80 b	9.31 b	4.16 abcde
205	2.67 b	2.56 b	12.28 b	7.54 a

Cifras con letras iguales en cada columna, indican que no existieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$). BS: biomasa seca.

La concentración de Na^+ , en fruto de ambas variedades, incrementa significativamente ($p \leq 0.05$) al aumentarse el nivel de salinidad. En el caso de la variedad AF, el incremento obtenido en la concentración de Na^+ en fruto, fue 13 veces mayor en el tratamiento con 150 mM de NaCl, comparado con el testigo; y posteriormente disminuye con el tratamiento de 205 mM de NaCl. En la variedad SM el aumento obtenido fue de más de 14 veces, entre el testigo y 205 mM de NaCl.

Acumulación de cationes en frutos

El efecto de cinco concentraciones de NaCl, aplicados en el medio de crecimiento, sobre la extracción de cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+) en frutos de las variedades de pepino AF y SM se muestra en el Cuadro 6-23.

La acumulación de Ca^{2+} en la variedad AF no presenta diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.05$), y en todos los tratamientos la acumulación de Ca^{2+} es superior que en el testigo; la mayor acumulación de Ca^{2+} se registró en el tratamiento con 97 mM de NaCl, que supera a la acumulación del testigo en 77.24 %. En la variedad SM se obtuvieron diferencias significativas en la acumulación de Ca^{2+} entre el tratamiento con 47 mM de NaCl y el resto de los tratamientos.

La acumulación de Mg^{2+} en la variedad AF muestra disminuciones graduales del tratamiento con 47 mM al de 205 mM de NaCl, esta reducción es del 37.61 %. En la variedad SM, la acumulación de Mg^{2+} presenta el mismo comportamiento que en la variedad AF, es decir que a partir de la aplicación de 47 mM de NaCl se obtuvo una disminución estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) del 73.84 % con el tratamiento de 205 mM de NaCl.

Tanto en la variedad AF como en la variedad SM, la extracción de K^+ y la aplicación de concentraciones crecientes de NaCl presentan una relación inversa; ya que al incrementar el nivel de salinidad disminuye la acumulación de K^+ en el fruto. En ambos casos, la reducción en la acumulación de K^+ se obtiene a partir del tratamiento con 47 mM de NaCl. Las disminuciones en la acumulación de K^+ son del 43.06 % y del 70.35 % para las variedades AF y SM, en ambos casos entre las concentraciones de 47 mM y de 205 mM de NaCl.

Cuadro 6-23. Acumulación de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ en frutos de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), desarrollados bajo diferentes concentraciones de NaCl.

NaCl (mM)	Acumulación de cationes, mg fruto ⁻¹			
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
AF				
Testigo	30.49 b	32.86 c	185.82 c	8.95 d
47	49.86 b	59.53 bc	363.35 bc	37.21 cd
97	54.04 b	56.36 bc	339.75 bc	116.43 ab
150	46.92 b	56.42 bc	294.68 bc	90.36 abc
205	31.64 b	37.14 bc	206.90 c	61.53 bcd
SM				
Testigo	76.65 b	80.58 b	483.34 ab	11.97 d
47	181.00 a	160.55 a	679.59 a	57.95 bcd
97	90.19 b	78.70 bc	476.78 ab	62.73 abcd
150	42.98 b	42.04 bc	216.71 c	96.93 abc
205	43.82 b	42.00 bc	201.52 c	123.66 a

Cifras con letras iguales en cada columna, indican que no existieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$).

En lo que respecta a la acumulación Na^+ , en la variedad AF presenta incrementos significativos entre el testigo y el tratamiento con 97 mM de NaCl, este incremento es superior a 13 veces. Posteriormente la acumulación de Na^+ disminuye en 47.15 % del tratamiento con 97 mM al de 205 mM de NaCl. En la variedad SM, la acumulación de Na^+ aumenta significativamente ($p \leq 0.05$) con el incremento de las concentraciones externas de NaCl.

Relación entre cationes acumulados en frutos

Al incrementar la concentración de NaCl en la solución nutritiva, se obtuvieron disminuciones estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) en la relación de acumulación K^+/Na^+ de frutos (Cuadro 6-24) en ambas variedades. En la variedad AF como en la variedad SM, el valor mayor de la relación K^+/Na^+ se obtuvo en el testigo y ésta disminuye en forma gradual con el aumento del nivel de NaCl en el medio de crecimiento. Lo anterior sugiere que al incrementar la concentración de NaCl disminuye la capacidad de mantener altas relaciones K^+/Na^+ en el citosol, y por consiguiente se reduce la capacidad de tolerancia a niveles crecientes de NaCl (El-Hendawy *et al.*, 2005).

Cuadro 6-24. Relaciones K^+/Na^+ , Na^+/Ca^{2+} y Ca^{2+}/Mg^{2+} en frutos de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM), desarrollados bajo diferentes niveles de salinidad.

NaCl (mM)	Relaciones nutrimentales		
	K^+/Na^+	Na^+/Ca^{2+}	Ca^{2+}/Mg^{2+}
AF			
Testigo	21.18 b	0.30 c	0.91 a
47	9.54 cd	0.74 bc	0.86 a
97	2.93 cd	2.31 a	0.93 a
150	3.27 cd	2.08 a	0.81 a
205	3.39 cd	1.94 ab	0.87 a
SM			
Testigo	40.59 a	0.16 c	0.96 a
47	11.75 bc	0.36 c	1.10 a
97	7.60 cd	0.70 bc	1.15 a
150	2.237 d	2.34 a	1.01 a
205	1.63 d	3.06 a	1.02 a

Cifras con letras iguales en cada columna, indican que no existieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$).

En la variedad AF, la relación Na^+/Ca^{2+} muestra un aumento gradual a partir del tratamiento testigo y hasta el tratamiento con 97 mM de NaCl, concentraciones mayores de NaCl ocasionan la disminución de dicha relación. En la variedad SM, la relación Na^+/Ca^{2+} está relacionada en forma positiva con la concentración de NaCl aplicado en el medio de crecimiento, ya que al incrementar la concentración de NaCl también aumenta de forma significativa ($p \leq 0.05$) la relación Na^+/Ca^{2+} . Contrario a lo obtenido en las relaciones K^+/Na^+ y Na^+/Ca^{2+} , en la relación Ca^{2+}/Mg^{2+} no se presentan diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos de ambas variedades. Así como tampoco se obtuvieron tendencias definidas en respuesta a la aplicación de diferentes concentraciones de NaCl.

6.2.9. Concentración de prolina

Cuando las plantas son sometidas a condiciones de hiperosmolaridad, la acumulación de iones tales como Na^+ en la vacuola puede servir como un medio para bajar el potencial osmótico en las células. Una estrategia usada para bajar el potencial osmótico del citosol de la célula es la acumulación de osmolitos compatibles. Para glicófitas, la capacidad para compartimentalizar Na^+ y acumular osmolitos es limitada. Varios osmolitos compatibles tales como prolina, glicina

betaína, y polioles pueden reducir grandemente el daño por estrés en células vegetales. Un incremento en la producción de osmolitos es en general un fenómeno encontrado en todas las plantas en respuesta a estrés salino (Xiong y Zhu, 2002). Por otro lado la reducción del potencial osmótico en el citosol facilita la absorción de agua, muchos osmolitos compatibles adicionalmente tienen funciones tales como la protección de proteínas y mitigan los efectos tóxicos de especies reactivas de oxígeno generadas por estrés salino (Nuccio *et al.*, 1999; Hong *et al.*, 2000).

Durante el ajuste osmótico, las plantas gastan una significativa cantidad de energía metabólica para la absorción y compartimentalización de iones y para la biosíntesis de solutos orgánicos compatibles. Aunque esto parece ser esencial para la supervivencia de las plantas bajo condiciones de estrés hídrico y salino, algunos autores opinan que la acumulación de solutos orgánicos es una consecuencia de la baja utilización de fotoasimilados y/o el bajo crecimiento relativo en lugar una de respuesta adaptativa de la planta para cubrir el estrés osmótico (Serraj y Sinclair, 2002).

A pesar de esta controversia, el ajuste osmótico es reconocido como uno de los principales mecanismos de aclimatación de la planta a estrés hídrico y salino (Zhang *et al.*, 1999). Varios iones, aminoácidos, aminos cuaternarios, ácidos orgánicos, azúcares y polioles han sido encontrados entre los solutos que se acumulan durante el ajuste osmótico en células y tejidos estresados por sales (Rodríguez *et al.*, 1997; Zhang *et al.*, 1999).

En las células de las plantas los osmoprotectores están típicamente confinados principalmente en el citosol, cloroplastos y otros compartimentos citoplásmicos que en total pueden ser parte del 20 % del volumen total de las células maduras (el otro 80 % se localiza en la vacuola). Las concentraciones naturales de los osmoprotectores en los compartimentos del citoplasma pueden llegar a exceder una concentración de 200 mM. Tales concentraciones son osmóticamente significativas y su papel fundamental es mantener la turgencia de las células y el gradiente para la captación de agua durante las condiciones de estrés (González-Hernández y Peña, 2002).

El efecto de cinco concentraciones de cloruro de sodio sobre la concentración de prolina en hojas de las variedades de pepino AF y SM se presenta en la Figura 6.2-4. La determinación del contenido de prolina se llevó a cabo a los 24 y a los 37 días después de tratamientos, ddt (Figura 6.2-4. A. y Figura 6.2-4. B, respectivamente); para lo cual se muestreó la hoja recientemente madura (tercera y cuarta hoja, del ápice de crecimiento hacia la base de la planta).

Durante la primera determinación (24 ddt, Figura 6.2-4 A.), se pueden observar diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$) de la variedad AF, lo cual no ocurre entre tratamientos de la variedad SM. Sin embargo, hay una tendencia clara de incremento en la concentración de prolina entre el testigo (0 mM de NaCl) y concentraciones crecientes de NaCl (47 y 97 mM). La variedad AF muestra un incremento del 87.5 % en la concentración de prolina en el tratamiento con 205 mM de NaCl, con respecto al testigo, mientras que la variedad SM presenta un incremento del 62.5 % en el contenido de prolina correspondiente a una concentración de 97 mM de NaCl en relación a 0 mM. En todos los tratamientos la variedad AF presenta valores de prolina mayores que la variedad SM. Según García y Medina (2003), la acumulación de prolina se incrementa cuando las plantas están afectadas por condiciones de sequía o salinidad y se ha considerado que este incremento confiere resistencia contra los dos tipos de estrés mencionados. Por lo que a los 24 ddt la variedad AF es más resistente al estrés por salinidad, al presentar mayor concentración de prolina que la variedad SM, este comportamiento es similar en otras variables evaluadas como altura de la planta, acumulación de biomasa, rendimiento, transpiración y conductancia estomática, donde la variedad SM resultó ser más sensible a NaCl.

A los 37 ddt (Figura 6.2-4 B.), no se presentan diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) tanto entre tratamiento como entre variedades. No obstante y de manera general, se muestra una relación positiva entre el contenido de prolina y los niveles de salinidad, es decir, que al incrementar los niveles de salinidad aumentan la concentración de prolina. Resultados que coinciden con los reportados por Jungklang *et al* (2003) en plantas de *Sesbania rostrata* y *Phaseolus vulgaris* L., Tani y Sasakawa (2006) en *Casuarina equisetifolia*, Lacerda *et al*

(2003) en hojas y raíces de sorgo. A una concentración de 205 mM de NaCl la variedad AF presenta un incremento del 64.3 %, y a 150 mM de NaCl la variedad SM muestra un aumento del 74.4 % en el contenido de prolina, en ambos casos con respecto al testigo.

Como se puede ver en la Figura 6.2-4 B, en los primeros cuatro tratamiento (0, 47, 97 y 150 mM de NaCl) los valores de prolina en plantas de la variedad SM superaron a la variedad AF, a excepción del tratamiento con 205 mM donde la variedad AF muestra una concentración de prolina mayor que la variedad SM. Por lo que de acuerdo a García y Medina (2003), a los 37 ddt la variedad SM es más resistente al estrés por salinidad comparado con la variedad AF; ya que muchas plantas acumulan osmolitos orgánicos (prolina, betaína, polioles y carbohidratos solubles) para tolerar factores de estrés osmóticos, como la salinidad (Chinnusamy *et al.*, 2005); este resultado es similar al obtenido en el potencial osmótico de extracto celular de hojas, en la que la variedad SM fue más tolerante. Finalmente, la variedad SM incrementa la síntesis de prolina cuando el tiempo de aplicación de los tratamientos con NaCl es prolongado, puesto que conforme se incrementan los días de tratamiento ésta incrementa la concentración del aminoácido. Por otro lado, la variedad AF aumenta el contenido de prolina en respuesta a incrementos en la concentración de NaCl de la solución nutritiva.

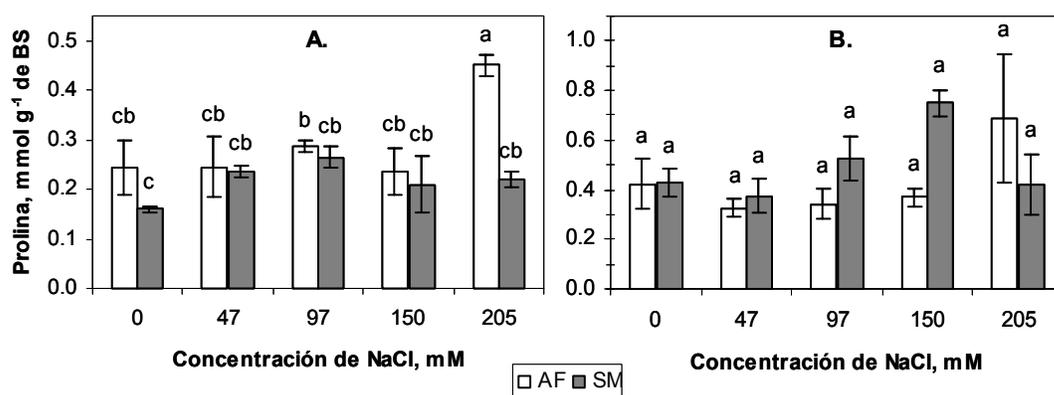


Figura 6.35. Contenido de prolina en hojas de las variedades de pepino AF-1661 (AF) y Slice Max (SM) desarrolladas bajo diferentes niveles de cloruro de sodio. A. 24 ddt, B. 37 ddt. Medias de 3 repeticiones, ± desviación estándar. BS: biomasa seca.

Letras iguales indican que no existieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$).

VII. CONCLUSIONES

En conclusión, el incremento de la concentración de NaCl en la solución nutritiva afecta variables agronómicas y fisiológicas en pepino de la siguiente manera:

- Concentraciones de 205 mM de NaCl reducen en más del 30% la altura de la planta de las variedades de pepino evaluadas; la reducción en el número de hojas es de 39.2% y de 26.2% para la variedad AF-1661 y Slice Max, respectivamente; se obtuvieron rendimientos menores en 68.7% en la variedad AF-1661 y en 83.1% en la variedad Slice Max; y en el número de frutos dichas reducciones son superiores al 45%; todo lo anterior comparado con el testigo. Por el contrario, esta concentración (205 mM de NaCl) no afecta significativamente el diámetro del tallo, ni el número de flores.
- El diámetro y firmeza de frutos son afectados ligeramente por la mayor concentración de NaCl evaluada en esta investigación. La longitud de los pepinos es menor en 36.5% y en 31.3% en las variedades AF-1661 y Slice Max, respectivamente; en la concentración de 205 mM de NaCl comparado con el testigo.
- Los parámetros coloración de frutos y valor de luminosidad son mayores al testigo en 15.1% y 9.7%, para la variedad AF-1661 y Slice Max, respectivamente, en la concentración de NaCl 205 mM. Mientras que la pureza del color (chroma) y el ángulo de tono (hue) no mostraron cambios significativos con el incremento del NaCl.
- Niveles crecientes de NaCl no afectan significativamente el porcentaje de ácido cítrico, °Brix, y pH del jugo de fruto. La CE del jugo incrementa en 27.7% en frutos de la variedad AF-1661 y del 34.9% para la variedad Slice Max, con la aplicación del tratamiento de 205 mM de NaCl con referencia al testigo.
- Concentraciones crecientes de NaCl disminuyen el crecimiento de la planta y con ello la acumulación de biomasa fresca y seca. Por lo que a concentraciones de 205 mM de NaCl se obtuvo 60% menos de la peso de

biomasa seca y fresca que en el testigo en ambas variedades; siendo, la biomasa de la raíz la más afectada por el incremento de la salinidad.

- La transpiración y la conductancia estomática se correlacionan en forma negativa con el incremento en la concentración de NaCl ($R^2 > 0.90$). Concentraciones de 205 mM de NaCl reducen la transpiración en 36.5% de la variedad AF-1661 y del 63.2% en la variedad Slice Max. Asimismo, en esta concentración se obtuvieron reducciones en la conductancia estomática del 39.5% y 62.1% para las variedades AF-1661 y Slice Max, respectivamente, en todos los casos con respecto al testigo.
- En plantas de pepino, de la variedad AF-1661, tratadas con concentraciones de 205 mM de NaCl se obtuvieron reducciones del 21.0% en el contenido de clorofila *a*, clorofila *b* y clorofila total, con respecto al testigo; esta disminución es gradual al incrementar los niveles de salinidad. En la variedad Slice Max dichas reducciones fueron superiores al 25%, bajo las mismas condiciones.
- En la variedad AF-1661, los valores de las lecturas SPAD no se ven influenciadas en forma significativa por los diferentes niveles de NaCl; y se observa que éstas incrementan con el transcurso del tiempo. Por el contrario, en la variedad Slice Max los valores de las lecturas SPAD disminuyen con la aplicación de concentraciones crecientes de NaCl.
- El aumento en la concentración externa de NaCl afecta gradualmente el potencial osmótico en extracto celular de hojas en ambas variedades; sin que, este efecto sea significativo, y es la variedad AF-1661 la que muestra mayor sensibilidad, ya que muestra valores de potencial osmótico más negativos.
- El contenido de prolina muestra una relación positiva con el incremento en los niveles de salinidad, de tal manera que al ampliarse el tiempo de exposición al estrés salino, la variedad Slice Max sintetiza mayor cantidad de prolina que la variedad AF-1661. Sin embargo, al incrementarse la concentración externa de NaCl, el contenido de prolina en la variedad AF-1661 es mayor que en la variedad Slice Max.
- La sal afecta en forma negativa la concentración de cationes como: K^+ , Ca^{2+} , Fe^{2+} y Zn^{2+} , principalmente en parte vieja del vástago y en raíz.

- La presencia de NaCl en el medio de cultivo incrementa la concentración de Cu^{2+} y Mn^{2+} en la raíz y la concentración de B de la parte joven. Las concentraciones de N y Mg^{2+} no muestran cambios por efecto de la concentración de NaCl.
- La concentración de sodio en tejido se relaciona en forma positiva con la concentración de NaCl suministrada al medio de crecimiento. Este elemento se acumula principalmente en parte vieja del vástago y raíz.
- De manera general, la acumulación de N, P, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} y Mn^{2+} en parte aérea y raíz (de ambas variedades) se ve seriamente reducida por el incremento en la concentración externa de NaCl. La acumulación de Fe y B disminuye en el vástago y es un efecto a largo plazo, ya que es en el segundo muestreo (60 ddt) cuando se obtuvieron estos resultados. La acumulación de Na^+ , en vástago, incrementa con el aumento en el nivel de salinidad, mientras que en la raíz la respuesta es menos significativa.
- La relación Na^+/K^+ , en vástago y raíz, incrementa al aumentar la aplicación de NaCl; asimismo, la relación $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ también muestra incrementos significativos con el aumento de la concentración de NaCl en el medio de crecimiento. A diferencia de la relación $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$, la cual no muestra correlación con el incremento en la concentración de sal.
- La concentración de cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+) en el fruto no muestran tendencias definidas por el incremento en el nivel de sales, a excepción de la concentración de Na^+ . La acumulación de dichos cationes, en fruto, se reduce al aumentar la concentración de NaCl en el medio de crecimiento. La relación K^+/Na^+ disminuye y $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ incrementa al aumentar el nivel de salinidad.
- La variedad Slice Max resultó ser más susceptible a concentraciones crecientes de NaCl, ya que presentó menor número hojas y flores por planta, menor rendimiento, mayor reducción en el contenido de clorofila, y en la mayoría de los casos disminuciones severas en la concentración, acumulación y relaciones nutrimentales, que la variedad AF-1661.

VIII. LITERATURA CITADA

- Alcántar, G. G. y Sandoval V., M.** 1999. Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación. Publicación Especial No. 10 de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C., Chapingo, Méx., 156 p.
- Al-Harbi, A. R. and Burrage, S. W.** 1992. Effect of NaCl salinity on growth of cucumber *Cucumis sativus* L. grown in NFT. *Acta Hort.* 323: 39-50.
- Alian, A., Altman, A., and Heuer, B.** 2000. Genotypic difference in salinity and water stress tolerance of fresh market tomato cultivars. *Plant Sci.* 152: 59-65.
- Allen, J. A., Chambers, J. L., and Stine, M.** 1994. Prospects for increasing the salt tolerance of forest trees: a review. *Tree Physiol.* 14: 843-853.
- Allen, G. J., Wyn Jones, R. G., and Leigh, R. A.** 1995. Sodium transport in plasma membrane vesicles isolated from wheat genotypes with differing K/Na discrimination traits. *Plant Cell Environ.* 18: 105-115.
- Amtmann, A. and Sanders, D.** 1999. Mechanisms of Na⁺ uptake by plant cells. *Adv. Bot. Res.* 29: 75-112.
- Apse, M. P., Aharon, G. S., Snedden, W. A., and Blumwald, E.** 1999. Salt tolerance conferred by overexpression of a vacuolar Na⁺/H⁺ antiport in *Arabidopsis*. *Science* 285: 1256-1258.
- Asch, D. M., Dörffling, K., and Miezan, K.** 2000. Leaf K⁺/Na⁺ ratio predicts salinity induced yield loss in irrigated rice. *Euphytica* 113: 109-118.
- Ashrafm M. and McNeilly, T.** 1988. Variability in SALT tolerance of nine spring wheat cultivars. *Crop Sci.* 160: 14-21.
- Baca C., G. A.** 1983. Efecto de la solución nutritiva, la frecuencia de los riegos, el sustrato y la densidad de siembra en cultivos hidropónicos al aire libre de pepino, melón y jitomate. Tesis de doctorado. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Bates, L. S., Waldren, R. P., and Teare, I. D.** 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil* 39(1): 205-207.
- Bauer, P. and Berczky, Z.** 2003. Gene networks involved in iron acquisition strategies in plants. *Agronomie.* 23: 447-454.
- Bertamini, M. and Nedunchezian, N.** 2004. Photoinhibition and recovery of photosynthesis in leaves of *Vitis berlandieri* and *Vitis rupestris*. *J. Plant Physiol.* 161(2): 203-210.
- Blaylock, A. D.** 1994. Soil salinity, salt tolerance, and growth potential of horticultural and landscape plants. Cooperative Extension Service. Department of Plant, Soil, and Insect Sciences.
- Blumwald, E., Aharaon, G. S., and Apse, M. P.** 2000. Sodium transport in plant cells. *Biochim. Biophys. Acta* 1465: 140-151.

- Boland, F. E.** 1990. Fruits and fruit products. *In*: Official methods of analysis of the association of analytical methods (AOAC). pp. 910-911. Helrich, K. (ed.). 15th edition. Virginia, U. S. A.
- Bohnert, H. J., Nelson, D. E. and Jensen, R. G.** 1995. Adaptations to environmental stresses. *Plant Cell* 7: 1099-1111.
- Bohnert, H. J. and Jensen, R. G.** 1996. Strategies for engineering waterstress tolerance in plants. *Trends Biotechnol.* 14: 89-97.
- Bremner, J. M.** 1965. Total nitrogen. *In*: C. A. Black (Ed.). Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy 9. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, U. S. A.
- Brugnoli, E. and Lauteri, M.** 1991. Effects of salinity on stomatal conductance, photosynthetic capacity, and carbon isotope discrimination of salt-tolerant (*Gossypium hirsutum* L.) and salt-sensitive (*Phaseolus vulgaris* L.) C₃ nonhalophytes. *Plant Physiol.* 95: 628-635.
- Cerdá, A. J., Pardines, Botella, M. A. and Martínez, V.** 1995. Effect of potassium on growth, water relations, and the inorganic and organic solute contents for two maize cultivars growth under saline conditions. *J. Plant Nutr.* 18: 839-851.
- Chartzoulakis, K. S.** 1994. Photosynthesis, water relations and leaf growth of cucumber exposed to salt stress. *Scientia Hort.* 59: 27-35.
- Chartzoulakis, K. S.** 1995. Salinity effects on fruit quality of cucumber and egg-plant. *Acta Hort.* 379: 187-192.
- Chartzoulakis, K. and Klapaki, G.** 2000. Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Sci. Hortic.* 86: 247-560.
- Chinnusamy, V., Jagendorf, A. and Zhu, J. K.** 2005. Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop. Sci.* 45: 437-448.
- Clavero, C. T., y Razz, G. R.** 2002. Efecto de la salinidad en el crecimiento de *Gliricidia sepium*. Centro de Transferencia de Tecnología en Pastos y Forrajes. *Revista Científica*: 12 (Suplemento 2): 517-518.
- Contreras, J. K. C.** 2006. Caracterización y patología de frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq) H. E. Moore & Stearn) en postcosecha. Tesis de Maestro de Ciencias. Colegio de Postgraduados. México
- Cornillon, P. and Palloix, A.** 1997. Influence of sodium chloride on the growth and mineral nutrition of pepper cultivars. *J. Plant Nutr.* 20(9): 1085-1094.
- Cornish, P. S.** 1992. Use of high electrical conductivity of nutrient solution to improve the quality of salad tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) grow in hydroponic culture. *Austr. J. f Exp. Agric.* 32(4): 513-520.
- Cuartero, J., Romero-Aranda, R., Yeo, A. R. and Flowers, T. J.** 2002. Variability for some physiological characters affecting salt tolerance in tomato. *Acta Hort.* 573: 435-441.
- Dabuxilatu and Ikeda, M.** 2005. Interactive effect of salinity and supplemental calcium application on growth and ionic concentration of soybean and cucumber plants. *Soil Sci. Plant Nutr.* 51(4): 549-555.

- Dale, G. and Henry, R.** 2003. Biotechnology for salt tolerance and/or enhanced water use in plants—interesting science or a pathway to the future?. 9th National Conferences, Salinity under the sun – investing in prevention and rehabilitation of salinity in Australia Yeppoon, Qld.
- Díaz-Pérez, J. C., Bautista, S. and Villanueva, R.** 2000. Quality changes in sapote mamey fruit during ripening and storage. *Postharvest Biol. Technol.* 18: 67-73.
- Dreyer, I., Horeu, C., Lemaillet, G., Zimmermann, S., Bush D., Rodríguez-Navarro, A., Schachtman, D., Spaldign, E., Sentenac, H, and Gaber, R.** 1999. Identification and characterization of plant transporters using heterologous expression systems. *J. Exp. Bot.* 50: 1073-1087.
- EI-Fouly, M. M., Moubarak, M. and Salama, Z. A.** 2002. Micronutrient foliar application increases salt tolerance of tomato seedlings. *Acta Hort.* 573: 467-474.
- EI-Hendawy, S., Hu, Y. y Schmidhalter, U.** 2005. Growth, ion content, gas Exchange, and water relations of wheat genotypes differing in salt tolerances. *Australian Journal of Agricultural Research.* 56:123-134.
- Eltez, R. Z., Tüzel, Y., Gül, A., Tüzel, I. H. and Duyar, H.** 2002. Effects of different EC levels of nutrient solution on greenhouse tomato growing. *Acta Hort.* 573: 443-448.
- FAO (Food and Agriculture Organizations).** 2000. FAO/UNESCO Soil Map of the World. [En línea]. <<http://www.Lib.berkeley.edu/EART/fao.html>>, <<http://apps.fao.org/faostat>> (Consulta: febrero 2006).
- Feigin, A.** 1985. Fertilization management of crops irrigated with saline water. *Plant Soil.* 89: 285-299.
- Flores, P., M. Carvajal, A. Cerda and V. Martinez.** 2001. Salinity and Ammonium/Nitrate Interactions on Tomato Plant Development, Nutrition and Metabolites. *J. Plant Nutr.* 24:561-1573.
- Flores, P., Navarro, J. M., Carvajal, M. Cerda, A. and Martinez, V.** 2003. Tomato yield and quality as affected by nitrogen source and salinity. *Agronomie.* 23: 249-256.
- Flowers, T. J and Yeo, A. R.** 1992. *Solute Transport in Plants.* Glasgow, Scotland: Blackie. 176 pp.
- Frommer, W. B., Ludewig, U., and Rentsch, D.** 1999. Taking transgenic plants with a pinch of salt. *Science* 285: 1222-1223.
- Fujita, K., Ito, J., Mohapatra, P. K., Saneoka, H., Lee, K., Kurban, H., Kawai, K. and Ohkura, K.** 2003. Circadian rhythm of stem and fruit diameter dynamics of Japanese persimmon (*Diospyrus kaki* Thumb.) is affected by deficiency of water in saline environment. *Funct. Plant Biol.* 30(7): 747-754.
- Gao, X. Ren, Z. Zhao, Y. and Zhang, H.** 2003. Overexpression of SOD2 increases salt tolerance of *Arabidopsis*. *Plant Physiol.* 133: 1837-1881.
- García-Sánchez, F., Jifon, J. L., Carvaial, M. and Syvertsen, J. P.** 2002. Gas exchange, chlorophyll and nutrient contents in relation to Na⁺ and Cl⁻ accumulation in 'Sunburst' mandarin grafted on different rootstocks. *Plant Sci.* 162: 705-712.

- García, M. y Medina, E.** 2003. Crecimiento y acumulación de prolina en dos genotipos de caña de azúcar sometidos a salinización con cloruro de sodio. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 20: 168-179.
- Geiger M., Walch-Liu, P., Engels, C., Harnecker, J., Schulze, E.-D., Ludewig, F., Sonnewald, U., Scheible, W.-R., and Stitt, M.** 1998. Enhanced carbon dioxide leads to a modified diurnal rhythm of nitrate reductase activity and higher levels of amino acids in young tobacco plants. *Plant Cell Environ.* 21: 253-268.
- Genard, M., Fishman, S., Vercambre, G., Huguet, J.-G., Bussi, C., Besset, J. and Habib, R.** 2001. A biophysical analysis of stem and root diameter variation in woody plants. *Plant Physiol.* 126: 188-202.
- González-Hernández, J. C. y Peña, A.** 2002. Estrategias de adaptación de microorganismos halófilos y *Debaryomyces hansenii* (Levadura halófila). *Rev. Latinoam Microbiol.* 44(3-4):137-156.
- Grattan, S. R. and Grieve, C. M.** 1994. Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments. *In: Pessaraki, M. (Ed.), Handbook of Plant and Crop Stress.* Marcel Dekker, New York, pp. 203-226.
- Grattan, S. R. and Grieve, C. M.** 1999. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Sci. Hortic.* 78: 127-157.
- Grieve, C. M. and Fujiyama, H.** 1987. The response of two rice cultivars to external Na/Ca ratio. *Plant Soil.* 103: 245-250.
- Gross, K. C., Wang, C. Y. and Saltveit, M.** 2002. The commercial storage of fruits, vegetables and florist and nursery crops. Agricultural research service, Beltsville area. <http://www.ba.ars.usda.gov/hab66> (Consultado el 15 de noviembre del 2006).
- Grotz, N., Fox, T., Connolly, E., Park, W., Guerinot, M. L. and Eide, D.** 1998. Identification of a family of zinc transporter genes from *Arabidopsis* that respond to zinc deficiency. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 95: 7220-7224.
- Guadarrama, A.** 2001. Fisiología Postcosecha de frutos. *Revista Alcance* No. 61. Agronomía. Maracay, Venezuela. 139 p.
- Guerinot, M. L.** 2000. The ZIP family of metal transporters. *Biochimica et Biophysica Acta.* 1465: 190-198.
- Guern, J., Mathieu, Y., and Kurkdjian, A.** 1989. Regulation of vacuolar pH in plant cells. *Plant Physiol.* 89:27-36.
- Guo, Y., Halfter, U., Ishitani, M., and Zhu, J.-K.** 2001. Molecular characterization of functional domains in the protein kinase SOS2 that is required for plant salt tolerance. *Plant Cell* 13, 1383-400.
- Gupta, N. K., Meena, S. K., Gupta, S. and Khandelwal, S. K.** 2002. Gas exchange, membrane permeability and ion uptake in two species of Indian jujube differing in salt tolerance. *Photosynthetica.* 40: 535-539.
- Hall, J. L. and Williams, L. E.** 2003. Transition metal transporters in plants. *J. Exp. Bot.* 54(393): 2601-2613.

- Hare, P. D., Cress, W. A. and Van Staden, J.** 1998. Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. *Plant Cell Environ.* 21: 535-553.
- Hasegawa, P. M., Bressan, R. A., Zhu, J.-K., and Bohnert, H. J.** 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 51: 463-499.
- Hedrich, R.** 1994. Voltage-dependent chloride channels in plant cells: identification, characterization, and regulation of guard cell anion channel. *Curr. Topics Membr.* 42: 1-33.
- Herrero, A. and Guardia, J.** 1992. Conservación de frutos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 217 p.
- Hertog, M. L. A. T. M., Ben-Arie, R., Roth, E., and Nicolai, B. M.** 2004. Humidity and temperature effects on invasive and non-invasive firmness measures. *Postharvest Biol. Technol.* 33: 79-91.
- Hong, Z., Lakkineni, K., Zhang, Z., y Verma, D.P.S.** 2000. Removal of feedback inhibition of D1-pyrroline-5-carboxylate synthetase results in increased proline accumulation and protection of plants from osmotic stress. *Plant Physiol.* 122:1129-1136.
- Horie, T., Yoshida, K., Nakayama, H., Yamada, K., Oiki, S., and Shinmyo, A.** 2001. Two types of HKT transporters with different properties of Na⁺ and K⁺ transport in *Oryza sativa*. *Plant J.* 27: 129-138.
- Horie, T. and Schroeder, J.** 2004. Sodium Transporters in Plants. Diverse Genes and Physiological Functions. *Plant Physiol.* 136: 2457-2462.
- Hu, H. and Brown, P. H.** 1997. Absorption of boron by plant roots. *Plant Soil.* 193: 49-58.
- Hu, Y. and Schmidhalter, U.** 1997. Interactive effects of salinity and macronutrient level on wheat. II. Composition. *J. Plant Nutr.* 20(9): 1169-1182.
- Hu, Y. and Schmidhalter, U.** 2001. Effects of salinity and macronutrient level on micronutrients in wheat. *J. Plant Nutr.* 24(2): 273-281.
- Hu, Y. and Schmidhalter, U.** 2005. Limitation of salt stress to plant growth. Technische Universität München, Freising, Germany. *Plant toxicology*, Ed. 4. pp: 191-224.
- Husain, S., von Caemmerer, S. and Munns, R.** 2004. Control of salt transport from roots to shoots of wheat in saline soil. *Funct. Plant Biol.* 31: 1115–1126.
- Ibrahim, K. M., Collins, J. C. and Collin, H. A.** 1991. Effects of salinity on growth and composition on *Coleus blumei* and *alvia splendens*. *J. Hort. Sci.* 66 (2): 215-222.
- InfoAgro.** 2003. El cultivo del pepino. [En línea]. <<http://www.infoagro.com>> (Consulta: 3 Febrero 2006).
- Ishitani, M., Liu, J., Halfter, U., Kim, C. S., Shi, W., and Zhu, J. K.** 2000. SOS3 function in plant salt tolerance requires N-myristoylation and calcium binding. *Plant Cell* 12: 1667-1677.
- Jeschke, W. D., Wolf, O. and Hartung, W.** 1992. Effects of NaCl salinity on flows and partitioning of C, N, and mineral ions in whole plants of white lupin, *Lupinus albus L.* *J. Exp. Bot.* 43(251): 777-788.

- Johnson, R. W., Dixon, M. A. and Lee, D. R.** 1992. Water relations of the tomato during fruit growth. *Plant, Cell Environ.* 15(8): 947-953.
- Jungklang, J., Usui, K. and Matsumoto, H.** 2003. Differences in physiological responses to NaCl between salt-tolerant *Sesbania rostrata* Brem. & Oberm. and non-tolerant *Phaseolus vulgaris* L. *Weed Biol. and Manag.* 3: 21-27.
- Jungklang, J., Sunohara, Y. and Matsumoto, H.** 2004. Antioxidative enzymes response to NaCl stress in salt-tolerant *Sesbania rostrata*. *Weed Biol. and Manag.* 4: 81-85.
- Kaiser, W. M. and Heber, U.** 1981. Photosynthesis under osmotic stress. Effect of high solute concentration on the permeability of the chloroplast envelope and on the activity of stroma enzymes. *Planta* 153: 423-429.
- Knight, H., Trewavas, A. J., and Knight, M. R.** 1997. Calcium signalling in *Arabidopsis thaliana* responding to drought and salinity. *Plant J.* 12: 1067-1078.
- Lacerda, C. F., Cambraia, J., Cano, M. A. O., Ruiz, H. A. and Prisco, J. T.** 2003. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. *Environ. Exp. Bot.* 49: 107-120.
- Lazof, D. B. and Bernstein, N.** 1999. Effects of salinization on nutrient transport to lettuce leaves: Consideration of leaf developmental stage. *New Phytologist.* 144(1): 85-92.
- Lea-Cox, J. D. and Syvertsen, P. J.** 1993. Salinity reduces water use and nitrate-N-use efficiency of citrus. *Ann. Bot.* 72:47-54.
- Leigh, R. A. and Storey, R.** 1993. Intercellular compartmentation of ions in Barley leaves in relation to potassium nutrition and salinity. *J. Exp. Bot.* 44(261): 755-762.
- Leshem, Y. Y., Halvey, A. H. and Frenkel, C.** 1986: Fruit ripening. *In:* Leshem, Y. Y.; Halvey, A. H.; Frenkel, C., ed. *Process and control of plant senescence.* Amsterdam, Elsevier. Pp. 162-199.
- Lewis, R.** 2002. Using transgenesis to create salt-tolerant plants. *The Scientist.*
- Littell, R. C., Milliken, G. A., Stroup, W. W., and Wolfinger, R. D.** 1996. SAS system for mixed models. SAS Institute, Cary, NC. 633 p.
- Liska, A. J., Shevchenko, A., Pick, U., and Katz, A.** 2004. Enhanced Photosynthesis and Redox Energy Production Contribute to Salinity Tolerance in *Dunaliella* as Revealed by Homology-Based Proteomics. *Plant Physiol.* 136: 2806-2817.
- Ludlow, M. M. and Muchow, R. C.** 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water limited environments. *Adv. Agron.* 43: 107-153.
- Lutts, S., Kinet, J. M. and Bouharmont, J.** 1996. Effects of salt stress on growth, mineral nutrition and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Plant Growth Regulation.* 19: 207-218.
- Lu, Z., Fleming, H. P. and McFeeters, R. F.** 2002. Effects of fruit size on fresh cucumber composition and the chemical and physical consequences of fermentation. *J. Food Sci.* 67(8): 2934-2939.

- Lynch, J. and Läuchli, A.** 1988. Salinity affects intracellular calcium in corn root protoplasts. *Plant Physiol.* 87: 351-356.
- Maathuis, F. J. M., Ichida, A. M., Sanders, D., and Schroeder, J. I.** 1997. Roles of higher plant K⁺ channels. *Plant Physiol.* 114: 1141-1149.
- Maathuis, F. J. M. and Amtmann, A.** 1999. K⁺ nutrition and Na⁺ toxicity: The basis of cellular K⁺/Na⁺ ratios. *Ann. Bot.* 84: 123-133.
- Marschner, H.** 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants.* Academic Press, London, UK, pp: 889.
- Mäser, P., Hosoo, Y., Goshima, S., Horie, T., Eckelman, B., Yamada, K., Yoshida, K., Bakker, E. P., Shinmyo, A., Oiki, S., Schröder, J. I., and Uozumi, N.** 2002- Glycine residues in potassium channel-like selectivity filters determine potassium selectivity in four-loop-subunit HKT transporters from plants. *Proc Natl Acad Sci. USA* 99: 6428–6433.
- Mass, E. V. and Hoffman, G. J.** 1977. Crop salt tolerance – Current assessment. *J. Irrig. Drain. Div., ASCE.* 103: 115-134.
- Meloni, D. A., Oliva, M. A., Martinez, C. A., and Cambraia, J.** 2003. Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress. *Environ. Exp. Bot.* 49: 69-76.
- Mendoza, I., Rubio, F., Rodriguez-Navarro, A. and Pardo, J. M.** 1994. The protein phosphatase calcineurin is essential for NaCl tolerance of *Saccharomyces cerevisiae*. *J. Biol. Chem.* 269: 8792-8796.
- Mills, H. A and Jones, J. B. Jr.** 1996. *Plant analysis. Handbook III. A Practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide.* MicroMacro Publishing, Inc. USA. p. 422.
- Minolta.** 1994. *Precise color Communication.* Japan.
- Montero, E., Cabot, C., Poschenrieder, Ch. and Barcelo, J.** 1998. Relative importance of osmotic-stress and ion-specific effects on ABA-mediated inhibition of leaf expansion growth in *Phaseolus vulgaris*. *Plant Cell Environ.* 21: 54-62.
- Montenegro, D. H.** 2002. *Fisiología de árboles frutales.* AGT Editor, S. A. México. 390 p.
- Mori, S., Yoshiba, M. and Tadano, T.** 2006. Growth response of *Suaeda salsa* (L.) pall to graded NaCl concentrations and the role of chorine in growth stimulation. *Soil Sci. Plant Nutr.* 52: 610-617.
- Morales, M., Torrecillas, A., Rodríguez, P., Alarcón, J. and Sánchez-Blanco, M.** 2001. Effects of salinity on growth and leaf water relations of two genotypes of *Limonium* sp. *Acta Hort.* 559:419-423.
- Morales, D., Rodríguez, P., Sánchez-Blanco, M. y Torrecillas, A.** 2004. Efecto del estrés por NaCl en el crecimiento y las relaciones hídricas de diferentes variedades de arroz (*Oryza sativa* L.). *Cultivos Tropicales.* 25(4): 11-16.
- Moroto, B. J. V.** 2002. *Horticultura herbácea especial.* 5ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.

- Morsomme, P. and Boutry, M.** 2000. The plant plasma membrane H⁽⁺⁾-ATPase: structure, function and regulation. *Biochim. Biophys. Acta* 1465: 1-16.
- Munns, R.** 1993. Physiological processes limiting plant growth in saline soil: some dogmas and hypotheses. *Plant Cell Environ.* 16: 15-24.
- Munns, R.** 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 25: 239-250.
- Munns, R.** 2005a. Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytologist.* 167: 645-663.
- Munns, R.** 2005b. Salinity stress and its impact. *In: Blum A. (ed.). Plant Stress.* <http://www.plantstress.com/Articles/index.asp>
- Munns, R., Schachtman, D. P. and Condon, A. G.** 1995. The significance of a two-phase growth response to salinity in wheat and barley. *Aust. J. Plant Physiol.* 22: 561-569.
- Munns, R., Cramer, G. R. and Ball, M. C.** 1999. Interactions between rising CO₂, soil salinity and plant growth. *In: Luo, Y. Mooney, H. A, eds. Carbon dioxide and environmental stress.* London: Academic Press, 139-167.
- Munns, R. and James, R. A.** 2003. Screening methods for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat. *Plant Soil.* 59: 1-18.
- Musmade, A. M. and Desai, U. T.** 1998. Cucumber and melon. *In: B. K. Salunke, S S Kadam, eds. Handbook of Vegetables Science and Technology.* Marcel Dekker, Inc. New York. pp: 245-253.
- Nakayama, H., Yoshida, K., and Shinmyo, A.** 2004. Yeast plasma membrane *Ena1p* ATPase alters alkali-cation homeostasis and confers increased salt tolerance in tobacco cultured cells. *Biotechnol. Bioengineering.* 85(7): 776-789.
- Nakayama, H., Horie, T., Yonamine, I., Shinmyo, A., and Yoshida, K.** 2005. Improving salt tolerance in plant cells. *Plant Biotechnol.* 22: 447-487.
- Netondo, G. W, Onyango, J. C. y Beck, E.** 2004a. Sorghum and salinity: II. Gas exchange and chlorophyll fluorescence of sorghum under salt stress. *Crop Sci.* 44: 806-811.
- Netondo, G. W, Onyango, J. C. and Beck, E.** 2004b. Sorghum and salinity: I. Response of growth, water relations, and ion accumulation to NaCl salinity. *Crop Sci.* 44: 797-805.
- Niu, X., Bressan, R. A., Hasegawa, P. M., and Pardo, J. M.** 1995. Ion homeostasis in NaCl stress environments. *Plant Physiol.* 190: 735-742.
- Nuccio, M. L., Rhodes, D., McNeil, S.D. y Hanson, A. D.** 1999. Metabolic engineering of plants for osmotic stress resistance. *Curr. Opin. Plant Biol.* 2:128-134.
- Ortiz-Lopez, A., Ort, D. R. y Boyer, J. S.** 1991. Photophosphorylation in attached leaves of *Helianthus annuus* at low water potentials. *Plant Physiol.* 96: 118-1025.
- Patrick, J. W.** 1988. Assimilate partitioning in relation to crop productivity. *HortSci.* 23: 33-40.

- Peil, R. M. y Galvez, J. L.** 2005. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. R. bras. Agrociência. 11(1): 5-11.
- Pelayo, C.** 2004. Pepino: Recomendaciones para mantener la calidad postcosecha. <http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Espanol/Pepino.shtml> (Consultado el 26 de febrero del 2007).
- Quintero, F. J., Ohta, M., Shi, H., Zhu, J. K., and Pardo, J. M.** 2002. Reconstitution in yeast of the *Arabidopsis* SOS signaling pathway for Na⁺ homeostasis. Plant Biol. 99(13): 9061-9066.
- Rains, D. and Epstein, E.** 1967. Sodium absorption by barley roots. Its mediation by mechanisms 2 of alkali cation transport. Plant Physiol. 42: 319-323.
- Ramírez S., L. F., Alcántar G., G., Ortega E., M., Escalante E., A., Soto H., M., y Sánchez G., P.** 1998. Fertilización foliar orgánica e inorgánica y rendimiento de sorgo en condiciones de salinidad. Terra 16(3): 205-210.
- Rawson, H. M., Long, M.J. y Munns, R.** 1988. Growth and development in NaCl-treated plants. 1. Leaf Na⁺ and Cl⁻ concentrations do not determine gas exchange of leaf blades of barley. Austr. J. of Plant Physiol. 15: 519-527.
- Renault, S., Croser, C., Franklin, J. A. and Zwiazek, J. J.** 2001. Effect of NaCl and Na₂SO₄ on red-osier dogwood (*Cornus stolonifera* Michx). Plant Soil. 233: 621-268.
- Rhoades, J. D.** 1993. Electrical conductivity methods for measuring and mapping soil salinity. In: D. L Sparks (ed.) Adv. Agron. pp. 201-251.
- Rhodes, D. and Hanson, A. D.** 1993. Quaternary ammonium and tertiary sulfonium compounds in higher plants. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 44: 357-384.
- Richards, R. A.** 1992. Increasing salinity tolerance of grain crops: is it worthwhile?. Plant and Soil. 146:89-98.
- Rivelli, A. R., James, R. A., Munns, R. and Condon, A. G.** 2002. Effect of salinity on water relations and growth of wheat genotypes with contrasting sodium uptake. Funct. Plant Biol. 29: 1065-1074.
- Romheld, V. and Marschner, H.** 1986. Mobilization of iron in the rhizosphere of different plant species. Adv. Plant Nutrition. 2: 155-204.
- Rus, A., Yokoi, S., Sharkhuu, A., Reddy, M., Lee, B.-H., Matsumoto, T.K., Koiwa, H., Zhu, J.-K., Bressan, R.A., and Hasegawa, P. M.** 2001. AtHKT1 is a salt tolerance determinant that controls Na⁺ entry into plant roots. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 98: 14150-14155.
- Sairam, R. K. and Tyagi, A.** 2004. Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. Curr. Sci. 86(3): 407-421.
- Sakata.** 2000-2005. Sakata Seed de México, S. A. de C. V. [En línea] <http://www.sakata.com.mx/paginas/Hibridos_Pepino.htm> (Consulta: 01 de marzo del 2006).

- Sánchez-Raya, A. J. and Delgado, I. C.** 1996. Mineral nutrient transport by sunflower seedlings grown under saline condition (NaCl). *J. Plant Nutr.* 19(10-11): 1463-1475.
- Sánchez, G. P.** 2006. Apuntes de la clase de Nutrición Vegetal (EDA-651). Primavera.
- SAS.** 1990. SAS/STAT User's guide. Ver. 6. SAS Institute, Inc. Cary, NC.
- Satti, S. M. E. and Al-yahyai, R. A.** 1995. Salinity tolerance in tomato: implications of potassium, calcium, and phosphorus. *Commun. Soil. Sci. Plant Anal.* 26(17&18): 2749-2760.
- Savvas, D., Pappa, V. A., Gizas, G. and Maglaras, L.** 2005. Influence of NaCl concentration in the irrigation water on salt accumulation in the root zone and yield in a cucumber crop grown in a closed hydroponic system. *Acta Hort.* 697: 93-99.
- SEMARNAP/INEGI.** 1998. Estadísticas del Medio Ambiente, México 1997/Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, 1995-1996, INEGI, México.
- Serraj, R. and Sinclair, T. R.** 2002. Osmolyte accumulation: can it really help increase crop under drought conditions? *Plant Cell Environ.* 25:333-341.
- Sevanto, S., Vesala, T., Peramaki, M. and Nikinmaa, E.** 2002. Time lags for xylem and stem diameter variation in a scots pine tree. *Plant Cell Environ.* 25: 1071-1077.
- SIAP.** 2003. Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera. [En línea] <<http://www.siap.sagarpa.gob.mx>> (Consulta: 6 Febrero del 2006).
- Sharma, N., Gupta, N. K., Gupta, S. and Hasegawa.** 2005. Effect of NaCl salinity on photosynthetic rate, transpiration rate, and oxidative stress tolerance in contrasting wheat genotypes. *Photosynthetica.* 43(4) :609-613.
- Shi, H., Lee, B., Wu, S. J. and Zhu, J. K.** 2002. Overexpression of a plasma membrane Na⁺/H⁺ antiporter gene improves salt tolerance in *Arabidopsis thaliana*. *Nat. Biotechnol.* 21: 81-85.
- Sonneveld, C. and van der Burg, A. M. M.** 1991. Sodium chloride salinity in fruit vegetable crops in soilless culture. *Neth. J. Agric. Sci.* 39: 115-122.
- Steiner, A.** 1984. The universal nutrient solution. pp. 633-649. In: I. S. O. S. C. Proceedings 6th International Congress on Soilless Culture. The Netherlands.
- Steiner, A. and van Winden, H.** 1970. Recipe for ferric salts of ethylenediaminetetraacetic acid. *Plant Physiol.* 46: 862-863.
- Stepien, P. and Klobus, G.** 2006. Water relations and photosynthesis in *Cucumis sativus* L. leaves under salt stress. *Biologia Plantarum.* 50(4) :610-616.
- Sultana, N., Ikeda, T. and Itoh, R.** 1999. Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. *Environ. Exp. Bot.* 42: 211-220.
- Suwa, R., Nguyen, N. T., Saneoka, H., Moghaieb, R. and Fujita, K.** 2006. Effect of salinity stress on photosynthesis and vegetative sink in tobacco plants. *Soil Sci. Plant Nutr.* 52: 243-250.

- Sze, H., Liang, F., Hwang, I., Curran, A. C., and Harper, J. F.** 2000. Diversity and regulation of plant Ca^{2+} pumps: insights from expression in yeast. *Annu. Rev. Plant. Physiol. Plant Mol. Biol.* 51: 433-462.
- Tadesse, T., Nichols, M. A. and Fisher, K. J.** 1999. Nutrient conductivity effects on sweet pepper plants grown using a nutrient film technique 1. Yield and fruit quality. *New Zealand J. Crop Hort. Sci.* 27: 229-237.
- Tani, C. and Sasakawa, H.** 2006. Proline accumulates in *Casuarina equisetifolia* seedlings under salt stress. *Soil Sci. Plant Nutr.* 52: 21-25.
- Tanji, K. K.** (ed.). 1990. Agricultural salinity. Assessment and Management. Irrigation and Drainage Division, American Society of Civil Engineers. NY, U. S. A.
- Taiz, L. and Zeiger, E.** 1998. Plant Physiology. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, Inc.
- Tattini, M.** 1994. Ionic relations of aeroponically-grown olive genotypes, during salt stress. *Plant and Soil* 161: 251-256.
- Tattini, M., Gucci, R., Coradeschi, M. A., Ponzio, C. and Everard, J. D.** 1995. Growth gas exchange and ion content in *Olea europea* plants during salinity and subsequent relief. *Physiol. Plant.* 95:203-210.
- Tattini, M., Lombardini, L. and Gucci, R.** 1997. The effect of NaCl stress and relief on gas exchange properties of two olive cultivars differing in tolerance to salinity. *Plant and Soil.* 197: 87-93.
- Tester, M. and Davenport, R.** 2003. Na^+ Tolerance and Na^+ transport in higher plants. *Ann. Bot.* 91: 503-527.
- Tourjee, K. R., Harding, J. and Byrne, T.** 1993: Colorimetric analysis of Gerbera flowers. *HortSci.* 28: 735-737.
- Tozlu, I., Guy, C. L. and Moore, G. A.** 2002. Tolerance mechanisms to salinity stress in *Citrus* and *Poncirus*. *Acta Hort.* 573: 271-282.
- Trajkova, F., Papadantonakis, N. and Savvas, D.** 2006. Comparative effects of NaCl and CaCl_2 salinity on cucumber grown in a closed hydroponic system. *HortSci.* 41(2): 437-441.
- Turhan, E. and Eris, A.** 2005. Changes if micronutrient, dry weight, and chlorophyll contents in strawberry plants under salt stress conditions. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 36: 1021-1028.
- United States Department of Agriculture.** 1997. United States Standards for Grades of Cucumbers. <http://www.ams.usda.gov/standards/cucumber.pdf> (Consultado el 26 de febrero del 2007).
- Valkov, V., Wang, B., Dominy, P., Fricke, W. and Amtmann, A.** 2003. *Thellungiella halophila*, a salt-tolerant relative of *Arabidopsis thaliana*, possesses effective mechanisms to discriminate between potassium and sodium. *Plant, Cell Environ.* 27: 1-14.
- Velegaleti, R. R., Kumar, D., Marsh, S., Reichenbach, N. G. Fleischman.** 1990. Some approaches to rapid and presymptoms diagnosis of chemical stress in plants. *In:* Wang,

- W., Gorsuch, J. W. y Lower, W. R. (Eds.), Plants for toxicity assessment ASTMSTP 1091. American Society for Testing and Materials: Philadelphia. pp: 333-345
- Villora, G., Moreno, D. A., Pulgar, G. and Romero, L.** 2000. Yield improvement in zucchini under salt stress: Determining micronutrient balance. *Sci. Hortic.* 86: 175-183.
- Vitart, V., Baxter, I., Doerner, P., and Harper, J. F.** 2001. Evidence for a role in growth and salt resistance of a plasma membrane H⁺-ATPase in the root endodermis. *Plant J.* 27: 191-201.
- Wahid, A.** 2004. Analysis of toxic and osmotic effects of sodium chloride on leaf growth and economic yield of sugarcane. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 45: 133-141.
- Wahome, P. K.** 2003. Mechanisms of salt (NaCl) stress tolerance in horticultural crops – a mini review. *Acta Hort.* 609: 127-131.
- Wang, D., Poss, J. A., Donovan, T. J., Shannon, M. C. and Lesch, S. M.** 2002. Biophysical properties and biomass production of elephant grass under saline conditions. *J. Arid Environ.* 52: 447-456.
- White, P. J.** 1999. The molecular mechanism of sodium influx to root cells. *Trends Plant Sci.* 4: 245-246.
- Wills, R., McGlasson, B., Graham, D. and Joyce, D.** 1998. Postharvest an introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals. Fourth edition. UNSW PRESS. U. S. A. 262 p.
- Wimmer, M. A., Mühling, K. H., Läuchli, A., Brown, P. H. and Goldbach, H. E.** 2003. The interaction between salinity and boron toxicity affects the subcellular distribution of ions and proteins in wheat leaves. *Plant, Cell Environ.* 26: 1267-1274.
- Wintz, H., Fox, T. and Vulpe, C.** 2002. Responses of plants to iron, zinc and copper deficiencies. *Biochemical Society Transactions.* 30(4): 766-768.
- Wu, L. and Lin, H.** 1994. Salt tolerance and salt uptake in diploid and polyploid buffalo grasses (*Buchloë dactyoides*). *J. Plant Nutr.* 7(II): 1905-1928.
- Wu, L., Fan, Z., Guo, L., Li, Y., Chen, Z. L. and Qu, L. J.** 2005. Overexpression of the bacterial *nhaA* gene in rice enhances salt and drought tolerance. *Plant Sci.* 168(2): 297-302.
- Xiong, L. y Zhu, J. K.** 2002. Salt tolerance. *The Arabidopsis Book.* American Society of Plant Biologists. pp. 22
- Yamaguchi, T. and Blumwald, E.** 2005. Developing salt-tolerant crop plants: challenges and opportunities. *Trends Plant Sci.* 10(12): 615-620.
- Yang, Y., Jiang, D. A., Xu, H. X., Yan, C. Q. and Hao, S. R.** 2006. Cyclic electron flow around photosystem 1 is required for adaptation to SALT stress in wild soybean species *Glycine cyrtoloba* ACC547. . *Biologia Plantarum.* 50(4) :586-590.
- Yeo, A. R.** 1998. Molecular biology of salt tolerance in the context of whole-plant physiology. *J. Exp. Bot.* 49: 915-929.

- Yokoi, S., Bressan, R. A., and Hasegawa, P. M.** 2002. Genetic engineering of crop plants for abiotic stress. *In*: Proceedings of an APEC-JIRCAS joint symposium and workshop, Bangkok, Thailand, 3-7 September 2001. JIRCAS working Report 2002, No. 23:25-33.
- Yonamine, I., Yoshida, K., Kido, K., Nakagawa, A., Nakayama H., and Shinmyo, A.** 2004. Overexpression of *NtHAL3* genes confers increased levels of proline biosynthesis and the enhancement of salt tolerance in cultured tobacco cells. *J. Exp. Bot.* 55(396): 387-395.
- Yurtseven, E., Halloran, D. N., Kütük, C. and Demir, K.** 2002. The effect of different salts applied at different development stages on the yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Acta Hort.* 573: 415-421.
- Zekri, M.** 1991. Effects of NaCl on growth and physiology of sour orange and Cleopatra mandarin seedlings. *Sci. Hortic.* 47: 305-315.
- Zekri, M. and Parsons, L. R.** 1992. Salinity tolerance of citrus rootstocks. Effects of salt on root and leaf mineral concentrations. *Plant Soil.* 147: 171-181.
- Zhang, J., Nguyen, H. T. and Blum, A.** 1999. Genetic analysis of osmotic adjustment in crop plants. *J. Exp. Bot.* 50:291-302.
- Zhang, H. X. and Blumwald, E.** 2001. Transgenic salt-tolerant tomato plants accumulate salt in foliage but not in fruit. *Nature Biotechnol.* 19: 765-768.
- Zhu, J. K.** 2000. Genetic analysis of plant salt tolerance using *Arabidopsis*. *Plant Physiol.* 124: 941-948.
- Zhu, J. K.** 2001a. Plant salt tolerance. *Trends Plant Sci.* 6: 66-71.
- Zhu, J. K.** 2001b. Over expression of a delta-pyrroline-5-carboxylate synthetase gene and analysis of tolerance to water and salt stress in transgenic rice. *Trends Plant Sci.* 6: 66-72.
- Zhu, J. K.** 2002. Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annu. Rev. Plant Biol.* 53: 247-273.
- Zhu, J. K.** 2003. Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Curr. Opin. Plant Biol.* 6: 441-445.