



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN
EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
PRODUCCIÓN DE SEMILLAS

CALIDAD DE SEMILLA DE TOMATE
(*Lycopersicon esculentum* Mill.) POR EFECTO DE
POTENCIALES OSMÓTICOS, CALCIO Y PODAS
BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO

BLAS CRUZ LAGUNAS

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2007

La presente tesis titulada: “**CALIDAD DE SEMILLA DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.) POR EFECTO DE POTENCIALES OSMÓTICOS, CALCIO Y PODAS BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO**”, realizada por el alumno **Blas Cruz Lagunas**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS

RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD PRODUCCIÓN DE SEMILLAS

Consejero



Dr. Aquiles Carballo Carballo

Asesor



Dr. Manuel Sandoval Villa

Asesor



Dr. Prometeo Sánchez García

Asesor



Dr. Leobigildo Córdova Téllez

AGRADECIMIENTOS

Al pueblo de México, que a través de la Universidad Autónoma de Guerrero y del Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) apoyó económicamente mi superación académica.

Al Colegio de Postgraduados, y en especial a la Orientación Académica en Producción de Semillas, por permitirme alcanzar el máximo nivel académico de estudios.

Al Dr. Aquiles Carballo Carballo por sus valiosos consejos, pero sobre todo por su comprensión, paciencia y gran calidad humana, mostrados durante todas las etapas de la investigación y escrito de la tesis.

Al Dr. Manuel Sandoval Villa por la disponibilidad y apoyo mostrado durante el trabajo de invernadero y la minuciosa revisión del escrito.

Al Dr. Prometeo Sánchez García por sus orientaciones en la planeación y conducción del trabajo de investigación, y por sus aportaciones durante la revisión del escrito.

Al Dr. Leobigildo Córdova Téllez por las valiosas sugerencias en el análisis de semillas y las correcciones al documento.

Al Dr. Ramón Reyes Carreto por su amistad, apoyo y atención brindada, durante la captura, análisis estadístico e interpretación de los datos.

Al Dr. Gabino García de Los Santos por las facilidades brindadas en todos los trámites y el apoyo incondicional cada vez que fue necesario.

Al Dr. Apolinar Mejía Contreras por su aceptación para participar como sinodal en el examen de grado.

Al Dr. Juan Luís Tirado Torres por sus consejos cuando fungió como sinodal de la vigencia de la tesis.

Al Dr. Tarcicio Corona Torres por aceptar participar como sinodal en la evaluación de la vigencia de la tesis.

Al Dr. Crescenciano Saucedo Veloz por permitirme usar el Laboratorio de Fisiología Postcosecha y por las sugerencias en la realización de los análisis.

Al M.C. Adrián Hernández Libera por permitirme usar el Laboratorio de Análisis de Semillas.

Al Dr. Agustín Damián Nava por su amistad y constante preocupación de mi situación personal dentro y fuera de la Universidad.

A los profesores del Colegio de Postgraduados que contribuyeron en mi formación académica.

Al personal docente y administrativo de la Orientación Académica en Producción de Semillas, por las facilidades y apoyos brindados en todos los aspectos de mi formación académica.

A Delia Moreno Velázquez por compartir conmigo su tiempo, sus conocimientos en postcosecha y por todo el apoyo que me ha brindado siempre.

A la familia Moreno Velázquez por su hospitalidad, y porque siempre me apoyaron como a un miembro más de la familia durante todo el tiempo que permanecí como estudiante en el Colegio de Postgraduados. GRACIAS.

Al Sr. Constantino Ibarra Olvera, por su apoyo incondicional en el trabajo de invernadero, análisis de semilla y preparación de las muestras del material vegetal para su análisis.

Al Sr. Arturo López Veloz, jefe del Laboratorio de Fisiología Postcosecha por su valioso apoyo en la realización de los análisis.

Un agradecimiento especial a todas aquellas personas que me brindaron su amistad en los momentos difíciles y me motivaron a seguir en el camino de la superación.

DEDICATORIA

A la memoria de mi padre:

Quien siempre creyó en mí, pero no pudo ver y disfrutar este logro conmigo.

A mi madre:

Mi más profundo respeto y cariño

A mis hermanas:

Quienes con su ejemplo, dedicación y cariño, me estimulan para seguir adelante.

A mi hermano:

Por compartir conmigo sus inquietudes, por asumir la responsabilidad de mantener unida a la familia y porque se preocupa por mis problemas personales, sin esperar nada a cambio.

A mis hijas:

Quienes han sido el motivo de mi superación.

A mis sobrinos:

Esperando que mi esfuerzo les sirva de ejemplo para tratar de ser mejor cada día.

A mis compañeros:

Delia y Basilio con quienes compartí alegrías y tristezas en esta etapa de estudios. Que todas sus metas alcanzadas los motive a ser cada día mejores seres humanos.

A mis compañeros de cuarto:

Julio, Gregorio, Flaviano, Ramón y Juan

CONTENIDO

Página

ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE	<i>i</i>
ÍNDICE DE FIGURAS	<i>iv</i>
RESUMEN GENERAL	<i>viii</i>
GENERAL SUMMARY	<i>ix</i>
I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1. LITERATURA CITADA	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1. Generalidades sobre el cultivo de tomate	6
2.1.1. Origen	6
2.1.2. Domesticación	6
2.1.3. Hábito de crecimiento	6
2.1.4. Características botánicas	7
2.1.5. Requerimientos climáticos	8
2.1.6. Importancia del cultivo	9
2.2. La hidroponía como sistema de producción	10
2.3. Calidad del agua en el cultivo hidropónico	12
2.4. Solución nutritiva para cultivo hidropónico	12
2.4.1. Potencial osmótico (PO) de la solución nutritiva	14
2.4.2. El pH en la solución nutritiva	15
2.4.3. La conductividad eléctrica en la solución nutritiva	17
2.4.4. La conductividad eléctrica en la absorción de calcio	18
2.5. El calcio como nutrimento de los cultivos	20
2.5.1. Interacción del calcio con otros nutrimentos	20
2.5.2. El calcio en la planta	21
2.5.3. Absorción del calcio por la planta	23

2.5.4. Funciones del calcio en la fisiología de la planta	24
2.5.5. Relación del calcio con algunas hormonas vegetales	26
2.5.6. Factores que afectan la asimilación de calcio	27
2.5.7. Síntomas de deficiencia de calcio	28
2.5.8. Fisiopatías causadas por la deficiencia de calcio	29
2.5.8.1. Pudrición apical	30
2.5.8.2. Agrietado del fruto	30
2.5.8.3. Mancha dorada	31
2.5.9. Control	31
2.6. Establecimiento y manejo de un cultivo hidropónico	32
2.6.1. Contenedores	33
2.6.2. Sustrato	33
2.6.3. Transplante	34
2.6.4. Tutorado	34
2.6.5. Poda	35
2.6.6. Eliminación de hojas	36
2.6.7. Raleo de frutos	36
2.6.8. Manejo del riego en un cultivo hidropónico	36
2.7. Producción de semilla	38
2.7.1. Cosecha	40
2.8. Calidad de la semilla	40
2.9. Rendimiento de semilla	45
2.10. LITERATURA CITADA	47
III. EFECTO DE POTENCIAL OSMÓTICO Y PODA EN LA CALIDAD DE SEMILLA DE TOMATE (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.)	59
3.1. RESUMEN	59
3.2. SUMMARY	60
3.3. INTRODUCCIÓN	61
3.4. MATERIALES Y MÉTODOS	63
3.4.1. Material vegetal	64

3.4.2. Evaluación de la calidad de la semilla producida	65
3.4.2.1. Peso de mil semillas (PMS)	65
3.4.2.2. Peso volumétrico (PV)	65
3.4.2.3. Peso de materia seca de plántula	66
3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	66
3.5.1. Rendimiento de semilla	66
3.5.2. Calidad física de la semilla	73
3.5.3. Calidad fisiológica de la semilla	76
3.5.3.1. Prueba de germinación	76
3.5.3.2. Prueba de vigor	85
3.6. CONCLUSIONES	93
3.7. LITERATURA CITADA	94
IV. EFECTO DE NIVELES DE CALCIO Y PODAS EN LA CALIDAD DE SEMILLA DE TOMATE (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill)	99
4.1. RESUMEN	99
4.2. SUMMARY	100
4.3. INTRODUCCIÓN	101
4.4. MATERIALES Y MÉTODOS	104
4.4.1. Material vegetal	105
4.4.2. Evaluación de calidad en la semilla producida	106
4.4.2.1. Peso de mil semillas (PMS)	106
4.4.2.2. Peso volumétrico (PV)	106
4.4.2.3. Índice de vigor	107
4.4.2.4. Peso seco de plántula	107
4.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	108
4.5.1. Rendimiento de semilla	108
4.5.2. Calidad física de la semilla	114
4.5.3. Calidad fisiológica de la semilla	118
4.5.3.1. Prueba de germinación	118
4.5.3.2. Prueba de vigor	131

4.6. CONCLUSIONES	145
4.7. LITERATURA CITADA	146
V. DISCUSIÓN GENERAL	151
5.1. LITERATURA CITADA	161
VI. CONCLUSIONES GENERALES	165
VII. APÉNDICE	167

ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE

Cuadro	Página
1A. Cuadrados medios y su significancia estadística en los análisis de varianza para las variables de rendimiento de semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. de México. 2005	168
2A. Comparación de medias en los efectos principales de los factores estudiados, sobre el rendimiento de semillas de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. de México. 2005.	168
3A. Cuadrados medios y su significancia estadística en el análisis de varianza para el peso de 1000 semillas de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. de México. 2005.	169
4A. Comparación de medias en los efectos principales de los factores estudiados, sobre el peso de 1000 semillas de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. de México. 2005.	169
5A. Cuadrados medios y su significancia estadística en el análisis de varianza para el peso volumétrico de la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. de México. 2005.	170
6A. Comparación de medias en los efectos principales de los factores estudiados, sobre el peso volumétrico de la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. de México. 2005.	170
7A. Cuadrados medios y su significancia estadística en los análisis de varianza para las variables de calidad fisiológica (prueba de germinación) de la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. de México. 2005.	171
8A. Comparación de medias en los efectos principales de los factores estudiados, para las variables de calidad fisiológica (prueba de germinación) de la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. de México. 2005.	171

9A. Cuadrados medios y su significancia estadística en los análisis de varianza para las variables relacionadas con la prueba de vigor de la semilla de tomate producida en invernadero. Montecillo, Edo. de México. 2005.	172
10A. Comparación de medias en los efectos principales de los factores estudiados, para las variables de calidad fisiológica (prueba de vigor) de la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. de México. 2005.	172
11A. Cuadrados medios y su significancia estadística en los análisis de varianza para las variables relacionadas con el rendimiento de semilla de tomate producida en invernadero. Montecillo, Edo. de México. 2005.	173
12A. Comparación de medias de los efectos principales de los niveles de calcio para el rendimiento de semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. de México. 2005.	173
13A. Cuadrados medios y su significancia estadística en el análisis de varianza para el peso de 1000 semillas de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. de México. 2005.	174
14A. Comparación de medias de los efectos principales de los niveles de calcio en la calidad física de la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. de México. 2005.	174
15A. Cuadrados medios y su significancia estadística en el análisis de varianza para el peso volumétrico de la semilla de tomate producida en invernadero. Montecillo, Edo. de México. 2005.	175
16A. Comparación de medias de los efectos principales de los niveles de calcio en la calidad física de la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. de México. 2005.	175
17A. Cuadrados medios y su significancia estadística en los análisis de varianza para las variables de la prueba de germinación de la semilla de tomate producida en invernadero. Montecillo, Edo. de México. 2005.	176

- 18A. Comparación de medias de los efectos principales de los niveles de calcio para determinar la calidad fisiológica (en laboratorio) de la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. de México. 2005. 176
- 19A. Cuadrados medios y su significancia estadística en los análisis de varianza para las variables de la prueba de vigor de la semilla de tomate producida en invernadero. Montecillo, Edo. de México. 2005. 177
- 20A. Comparación de medias de los efectos principales de los niveles de calcio para las variables del vigor de la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. de México. 2005. 177

INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Efectos de la interacción solución nutritiva (MPa)*variedad sobre el rendimiento de semilla por planta (1A) y por fruto (1B); en seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.	68
2. Efectos de la interacción solución nutritiva (MPa)*manejo del cultivo, sobre el rendimiento de semilla por planta (2A) y por fruto (2B); en seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.	69
3. Efecto de la interacción variedad*manejo del cultivo, sobre el rendimiento de semilla por planta (3A) y por fruto (3B); en seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.	70
4. Efecto de la solución nutritiva (MPa) * variedad * manejo del cultivo, sobre el rendimiento de semilla por planta (4A), y por fruto (4B); en seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. de México. 2005.	71
5. Efecto de las interacciones: solución nutritiva (MPa)*variedad (5A), solución nutritiva (MPa)*manejo (5B) y variedad*manejo (5C) sobre el peso de mil semillas; en seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.	74
6. Efecto de las interacciones: solución nutritiva*variedad (6A), solución nutritiva*manejo (6B), variedad*manejo (6C) y solución nutritiva*variedad*manejo (6D), para plántulas normales a los siete días en la prueba de germinación; en semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.	78
7. Efecto de las interacciones: solución nutritiva*variedad (7A), solución nutritiva*manejo (7B), variedad*manejo (7C) y solución nutritiva*variedad*manejo (7D), sobre el número de plántulas normales totales en la prueba de germinación (PNT); en semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.	80

8. Efecto de las interacciones: solución nutritiva*variedad (8A), solución nutritiva*manejo (8B), variedad*manejo (8C) y solución nutritiva*variedad*manejo (8D), sobre el número de semillas no germinadas (SNG) en la prueba de germinación; en semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005. 82
9. Efecto de las interacciones: solución nutritiva*variedad (9A), solución nutritiva*manejo (9B), variedad*manejo (9C) y solución nutritiva*variedad*manejo (9D), en plántulas emergidas a los 13 días de iniciada la prueba de vigor; en semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005. 87
10. Efecto de las interacciones: solución nutritiva*variedad (10A), solución nutritiva*manejo (10B), variedad*manejo (10C) y solución nutritiva*variedad*manejo (10D), en el total de plántulas emergidas (TPE) en la prueba de vigor de semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005. 89
11. Efecto de las interacciones: solución nutritiva*variedad (11A), solución nutritiva*manejo (11B), variedad*manejo (11C) y solución nutritiva*variedad*manejo (11D), en el índice de vigor de la semilla en seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005. 91
12. Efecto de la interacción solución nutritiva ($\text{meq L}^{-1} \text{ Ca}$) * variedad, sobre el rendimiento de semilla por planta⁻¹ (12A) y por fruto⁻¹ (12B); en seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005. 109
13. Efecto de la interacción solución nutritiva ($\text{meq L}^{-1} \text{ Ca}$) * manejo del cultivo, sobre el rendimiento de semilla por planta⁻¹ (13A) y por fruto⁻¹ (13B); en seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005. 110
14. Efecto de la interacción variedad * manejo del cultivo, sobre el rendimiento de semilla por planta⁻¹ (14A) y por fruto⁻¹ (14B); en seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005. 111

15. Efecto de la interacción solución nutritiva ($\text{meq L}^{-1} \text{ Ca}$) * variedad * manejo del cultivo, sobre el rendimiento de semilla por planta⁻¹ (15A) y por fruto⁻¹ (15B); en seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005. 113
16. Efecto de las interacciones: solución nutritiva ($\text{meq L}^{-1} \text{ Ca}$)*variedad (16A), solución nutritiva ($\text{meq L}^{-1} \text{ Ca}$)*manejo (16B), variedad*manejo (16C) y solución nutritiva ($\text{meq L}^{-1} \text{ Ca}$)*variedad*manejo (16D), sobre el peso de mil semillas; en seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005. 116
17. Efecto de las interacciones: solución nutritiva*variedad (17A), solución nutritiva*manejo (17B), variedad*manejo (17C) y solución nutritiva*variedad*manejo (17D), sobre el número de plántulas normales a los siete días en la prueba de germinación; de la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005. 121
18. Efecto de las interacciones: solución nutritiva*variedad (18A), solución nutritiva*manejo (18B), variedad*manejo (18C) y solución nutritiva*variedad*manejo (18D), sobre el número de plántulas normales totales al concluir la prueba de germinación (PNT); de la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005. 123
19. Efecto de las interacciones: solución nutritiva*variedad (19A), solución nutritiva*manejo (19B), variedad*manejo (19C) y solución nutritiva*variedad*manejo (19D), sobre el número de plántulas anormales totales al concluir la prueba de germinación; de la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005. 125
20. Efecto de las interacciones: solución nutritiva*variedad (20A), solución nutritiva*manejo (20B), variedad*manejo (20C) y solución nutritiva*variedad*manejo (20D), sobre el número de semillas no germinadas (SNG) al concluir la prueba de germinación; de la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005. 127

21. Efecto de las interacciones: solución nutritiva*variedad (21A), solución nutritiva*manejo (21B), variedad*manejo (21C) y solución nutritiva*variedad*manejo (21D), sobre el número de semillas muertas al concluir la prueba de germinación; de la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005. 129
22. Efecto de las interacciones: solución nutritiva*variedad (22A), solución nutritiva*manejo (22B), variedad*manejo (22C) y solución nutritiva*variedad*manejo (22D), sobre las plántulas emergidas siete días después de iniciada la prueba de vigor; en la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005. 133
23. Efecto de las interacciones: solución nutritiva (meqL^{-1} Ca)*variedad (23A), solución nutritiva*manejo (23B), variedad*manejo (23C) y solución nutritiva*variedad*manejo (23D), en el total de plántulas emergidas (TPE) en la prueba de vigor de la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005. 135
24. Efecto de las interacciones: solución nutritiva (meqL^{-1} Ca)*variedad (24A), solución nutritiva*manejo (24B), variedad*manejo (24C) y solución nutritiva*variedad*manejo (24D), en el peso de materia seca de raíz; en la prueba de vigor de la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005. 137
25. Efecto de las interacciones: solución nutritiva (meqL^{-1} Ca)*variedad (25A), solución nutritiva*manejo (25B), variedad*manejo (25C) y solución nutritiva*variedad*manejo (25D), en la materia seca de parte aérea de plántulas; en la prueba de vigor de la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005. 139
26. Efecto de las interacciones: solución nutritiva (meq L^{-1} Ca)*variedad (26A), solución nutritiva*manejo (26B), variedad*manejo (26C) y solución nutritiva*variedad*manejo (26D), sobre el IV de la prueba de vigor en la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005. 141

RESUMEN GENERAL

Se realizaron dos experimentos en tomate bajo condiciones de hidroponía en invernadero, con el objetivo de evaluar la calidad física y fisiológica de la semilla de cuatro líneas y dos híbridos comerciales, con la aplicación de soluciones nutritivas con potenciales osmóticos de -0.054, -0.072 -0.090 MPa y concentraciones de 3, 6, 9 y 12 meq Ca L⁻¹, con y sin poda. La evaluación de la semilla se llevó a cabo en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, del 2 de noviembre de 2004 al 30 de abril de 2005. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo factorial 6x3x2 para el experimento de PO y 6x4x2 en el experimento de Ca, con cuatro repeticiones. Los factores y sus niveles fueron **Variedad** híbridos comerciales Gabriela y Atila, y las líneas I(RK)B-17-1 (Variedad 3), I(1.20)B-14B4S4 (Variedad 4), I(16.19)F₂S-20B11S4 (Variedad 5) e I(6.14)F₂S-12B19S4 (Variedad 6); **solución nutritiva** P.O. -0.054, -0.072, -0.090 MPa y concentraciones de 3, 6, 9 y 12 meq Ca L⁻¹; **manejo** con y sin poda, para un total de 36 tratamientos en PO y 48 en Ca. La unidad experimental fue una planta por bolsa de polietileno negra de 15 L de capacidad. La solución nutritiva que promovió una mayor producción y mejoró la calidad de semilla fue aquella que tenía un potencial osmótico de -0.072 MPa y 9 meq Ca L⁻¹. Los híbridos Gabriela y Atila produjeron la mayor cantidad de semilla por planta y por unidad de superficie en todos los tratamientos probados; y la variedad 5 en el sistema de manejo con poda registró el mayor rendimiento de semilla por fruto. La línea experimental I(RK) B-17-1 (Variedad 3) produjo la mejor calidad física de semilla en relación a peso y tamaño; sin embargo, fue la que registró la menor cantidad de plántulas normales en la prueba de germinación y de plántulas emergidas en la prueba de vigor. La mejor calidad fisiológica de semilla (plántulas normales, plántulas emergidas, índice de vigor), fue producida por la línea experimental I(1.20)B-14B4S4 (Variedad 4). La poda acortó el período de crecimiento, incrementó el porcentaje de frutos agrietados, aceleró la maduración de los frutos y disminuyó la calidad física y fisiológica de la semilla producida. De los factores estudiados el genotipo mostró efectos significativos para todas las características evaluadas. Para la calidad fisiológica de semilla el mejor efecto de interacción fue en la combinación del P.O. -0.072 MPa y 9 meq Ca L⁻¹ aplicado a la línea experimental I(1.20)B-14B4S4 (Variedad 4) y el cultivo sin poda.

Palabras clave: Poda, solución nutritiva, hidroponía, invernadero

GENERAL SUMMARY

Two experiments were carried in hydroponics using tomato under plastic greenhouse. The objective was to evaluate the physical and physiological quality of seed in four lines and two commercial hybrid, subjected to treatments of nutrient solutions with -0.054, -0.072 -0.090 MPa and 3, 6, 9 and 12 meq Ca L⁻¹ with and without pruning. The evaluation of the seed was carried out in Montecillo, Texcoco, State of Mexico in November 2th of 2004 to April 30th 2005. The experimental design was a completely randomized blocks with a factorial arrangement 6x3x2 (for the experiment of PO) and 6x4x2 (in the experiment of Ca) with four replications. Factors and levels were: variety Gabriela, Attila, I(RK)B-17-1 (Variety 3), I(1.20)B-14B4S4 (Variety 4), I(16.19)F₂S-20B11S4 (Variety 5), I(6.14)F₂S-12B19S4 (Variety 6); nutrient solution (O.P. - 0.054, -0.072, -0.090 MPa; 3, 6, 9, 12 meq Ca L⁻¹); and pruning (with and without), for a total of 36 treatments in PO and 48 in Ca. The experimental unit was one plant per plastic bag. The nutrient solution with -0.072 MPa and 9 meq Ca L⁻¹ increased yield and seed quality. Gabriela and Attila hybrids produced the highest yield of seed per plant and m² in all treatments; Variety 5 combined with pruning registered the highest yield of seed per fruit. The experimental line I(RK) B-17-1 (Variety 3) produced the best physical seed quality in relation to weight and size. However, it registered the lowest germination in the standard test and seedlings emerged in the vigor test. The experimental inbred line I(1.20)B-14B4S4 (Variety 4) produced seed with the best physiological quality (normal seedlings, emerged seedlings, vigor index). Pruned plants modified their growing habit from indeterminate to determinate; and show shorter growing period, higher percentage of cracked fruits, shorter maturation period and lower physical and physiologic quality of the seed than those without pruning. The best interaction effect to obtain high seed quality corresponded to -0.072 MPa and 9 meq Ca L⁻¹ applied Variety 4 without pruning.

Key Words: Pruning, nutrient solution, hydroponics, greenhouse

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

Después de la papa, el tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es la hortaliza que más se cultiva y consume en el mundo, con una superficie de siembra de 2.8 millones de ha (Valdés e Iglesias, 2004). México ocupa el décimo lugar a nivel mundial con 19 millones de t de fruto, pero es el tercer comercializador con aproximadamente 600 mil t anuales (SIAP, 2002); el 95% de las exportaciones es a Estados Unidos y el resto se vende a otros países (Guajardo y Elizondo, 2003). Para cubrir la superficie de siembra se estima que se requieren alrededor de 7.6 t de semilla de tomate de diferentes categorías. De este volumen, aproximadamente el 40% (3 t) corresponde a semilla de materiales híbridos, que se siembran en las regiones más tecnificadas del país. El nombre comercial, origen y costo de la semilla no son fáciles de identificar, ya que esta es una de las ventajas comparativas de los agricultores que siembran para exportación. El resto de la semilla requerida (4.6 t) es de variedades de libre polinización, las cuales se siembran básicamente para el consumo nacional; si bien no son tan costosas como los híbridos, también son producidas y distribuidas por las compañías transnacionales que tienen el control absoluto de la semilla de tomate y de las hortalizas en general (Tornero, 1998).

De toda la oferta existente de semilla de tomate, el 95% de la producción mundial esta monopolizada por tres países: Estados Unidos, Francia y Holanda (Rodríguez, *et al.*, 2001).

Como dato adicional, cabe señalar que la semilla de cultivares híbridos es muy costosa, llegando a sobrepasar los \$150,000.00 pesos por kg (aproximadamente 50 centavos cada semilla). Para sistemas de alta densidad, (sobre todo el de un racimo por planta en que se manejan 180,000 plantas por hectárea) el precio de la semilla impacta considerablemente los costos de operación del cultivo ya que el rendimiento por planta es relativamente bajo. Debido al alto costo de la semilla de tomate se requiere una excelente racionalización de ésta, procurando que siempre se utilice hasta la última unidad (Juárez *et al.*, 2000).

En un sistema moderno de producción de semillas de calidad, se requiere de conocimientos especiales, como la oportunidad de cosecha (estado de madurez en que la semilla alcanza su máxima calidad fisiológica), métodos de cosecha, procesamiento, almacenamiento y comercialización, para la toma acertada de decisiones en cada una de las etapas mencionadas.

Cabe mencionar, que en la producción de semilla de tomate se sigue la misma tecnología que para la producción de fruto; actualmente se esta cambiando la forma de producción de esta

hortaliza de un cultivo limitado a las condiciones de suelo a campo abierto a un sistema de cultivo protegido.

Las adversidades que han orillado a los agricultores a buscar nuevas alternativas para el desarrollo y sustentabilidad de la producción son: los extremos climáticos de frío y calor, la presencia de plagas y enfermedades de difícil control, escasez de agua, suelos degradados, salinidad, el exceso de humedad relativa, etc. Una alternativa que contribuye a contrarrestar la problemática descrita anteriormente es sin duda el uso de la hidroponía en invernaderos.

A nivel mundial operan alrededor de 280, 000 ha de frutas y hortalizas producidas bajo invernadero (Araiza, 2006). En México se calcula que hay cerca de 2, 550 ha bajo este esquema de producción, ubicadas principalmente en los estados de Baja California Sur, Chiapas, Coahuila, Colima, Estado de México, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Morelos, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Veracruz, Yucatán y Zacatecas; con una producción aproximada de 747, 150 t de tomate, pimiento y pepino al año. Los invernaderos y la hidroponía han demostrado ser la solución para tener una producción de tomate durante todo el año aumentando los rendimientos hasta en un 1000% más que en los sistemas convencionales en suelo (González, 2006).

El tomate es el principal cultivo producido con sistema hidropónico por su alta productividad y rentabilidad, alcanzando rendimientos de hasta 500 a 700 t ha⁻¹ bajo condiciones de invernadero. En países con alta tecnología como Holanda, Canadá y Estados Unidos, el sistema hidropónico mayormente usado para cultivar tomate es el de riego por goteo, utilizando principalmente lana de roca (“rock wool” en inglés) como sustrato. A través de este sistema, la solución nutritiva o el agua es suministrada a cada planta a través de goteros conectados en mangueras o cintas de goteo. El riego se hace aplicando pequeñas cantidades de solución nutritiva directamente en la zona radical; durante el día se hacen diferentes riegos de corta duración con la finalidad de mantener de forma continua la disponibilidad de agua y nutrimentos para las plantas (Rodríguez, 2004).

En México se recomienda un sistema de riego abierto, es decir sin recirculación de la solución nutritiva. De esta manera no es necesario estar haciendo periódicamente costosos análisis químicos y monitoreos diarios, para ajustar las soluciones nutritivas, además se evitan otras complicaciones técnicas relacionadas con la recirculación (alteraciones en el pH y CE mediante la acumulación de sales, o iones tóxicos, transmisión de enfermedades, etc.)

La cantidad de solución nutritiva a aplicar por día varía en función de factores como: especie, variedad, edad de la planta (etapas fenológicas) densidad de población y ambiente físico en el que se desarrolla la planta (tipo de sustrato, temperatura, H.R., velocidad del viento, etc.). La solución nutritiva constituye el único vector de la alimentación hidromineral de los vegetales, y debe satisfacer de forma no limitante las necesidades de los sistemas radicales de las plantas. La composición de la solución nutritiva debe proveer los elementos minerales indispensables en proporciones análogas a como se encuentran éstos dentro del vegetal. Debe ser una formulación equilibrada entre aniones y cationes; es decir, que la suma de aniones contenidos en la solución nutritiva sea igual a la suma de cationes.

La presencia deficitaria de un nutrimento es perjudicial para la planta, y el exceso de ellos además de los efectos antagónicos con otros elementos, contribuyen al aumento del potencial osmótico ocasionando un mayor consumo de energía. La salinidad derivada de una mayor concentración de solutos en la solución nutritiva, reduce el crecimiento y productividad de la planta. Sin embargo, se incrementa la calidad de los frutos (no se sabe si también de la semilla). La salinidad tiene profundo efecto sobre el movimiento del agua en la planta; si el movimiento del agua se restringe, también se reduce la absorción y transporte de nutrimentos poco móviles como el calcio (este nutrimento se transporta hacia las hojas por la transpiración en el dosel). El calcio, está involucrado en muchos procesos bioquímicos y morfológicos en las plantas, es esencial en el mantenimiento de la integridad de la pared y membrana celular, es un mensajero en la transducción de señales externas, está implicado en el funcionamiento del floema y en la formación de la membrana celular durante la mitosis, reduce la tasa de senescencia de las plantas, contribuye a la vida de anaquel en los frutos de tomate. A nivel de planta, le proporciona rigidez a la paja y a granos, e interviene en la formación de las semillas (Sánchez, 2004).

Siendo el calcio un elemento relativamente inmóvil, sigue el flujo de transpiración del agua, por lo tanto no se mueve rápidamente a los órganos con bajas tasas de transpiración tales como los frutos y los brotes. Los desórdenes fisiológicos más importantes provocados por una deficiencia de Ca son: pudrición apical (blossom-end-rot) en frutos de tomate y pimiento, quemadura de puntas (tip burn) en lechugas, hoyo agrio (bitter pit) en manzanas, hojas internas pardas en col, col china, y lechuga, hipocótilos necróticos durante la germinación en semillas de chicharo (Sánchez, 2004).

Por ser el tomate uno de los cultivos con mayor valor económico, se cuenta con cultivares altamente rendidores. Por otro lado, aprovechando su plasticidad, se han desarrollado prácticas

culturales tales como podas, despuntes, tutoro y manejo de densidades de población, encaminadas a producir frutos de la más alta calidad como la demandada por el mercado de exportación.

No obstante que se conocen los beneficios de la agricultura protegida para la producción de fruto, se ha publicado poco en relación con la producción de semilla de hortalizas, tal vez porque esta actividad se encuentra actualmente en poder de las compañías transnacionales. Es casi seguro que éstas si cuentan con los paquetes tecnológicos para cada especie y para cada variedad, además, tienen un estricto control de calidad, con campos de producción perfectamente identificados.

Los criterios que predominan en la producción de nuevas variedades son: productividad, resistencia a enfermedades, resistencia a la salinidad del agua, facilidad de cultivo, precocidad, forma, color y homogeneidad del fruto, resistencia a la manipulación y el transporte con buenas cualidades gustativas. Hoy día es fácil encontrar en el mercado variedades que se adapten a una amplia gama de ambientes de producción.

Es claro que una parte de los agricultores del país a pesar de conocer los beneficios de la agricultura protegida y del uso de semilla híbrida, todavía siguen produciendo a campo abierto con variedades de polinización libre, quizá porque el mercado nacional no exige la misma calidad del producto como el de exportación o no cuentan con los recursos suficientes para aspirar a una tecnología de punta.

Considerando lo anterior, uno de los propósitos en el Área de Mejoramiento y Control de la Calidad Genética del Programa de Semillas del Colegio de Postgraduados, es desarrollar el mercado de los medianos y pequeños productores de tomate que al no utilizar en su mayoría semillas híbridas caras, representan un potencial ilimitado para incrementar rendimientos, reducir enfermedades y mejorar la calidad de sus cosechas. Por tal motivo se establecieron dos trabajos experimentales en invernadero con hidroponía. En el primer experimento se aplicaron los potenciales osmóticos de -0.054, -0.072, -0.090 MPa y en el segundo las concentraciones de 3, 6, 9, y 12 meq L⁻¹ de calcio en la solución nutritiva; con el propósito de evaluar su efecto en la calidad de la semilla producida por líneas e híbridos de tomate manejados con y sin poda. Así mismo, se trató de determinar las consecuencias fisiológicas y morfológicas en el manejo de estos factores.

1.2. LITERATURA CITADA

- Araiza M. S. E. 2006. La industria y el mercado de fertilizantes en México. A 12 años de la privatización y globalización. *Rev. Tecnoagro* 7: 35-38.
- González I. J. F. 2006. Productores mayas exportan chile habanero, tomate y pepino a la Unión Europea. *Hortalizas, frutas y flores*. Editorial Agro Síntesis S.A. de C.V. México D.F. 8-11.
- Guajardo Q. R. G. y H. A. G. Elizondo. 2003. Impacto de la apertura comercial de México y de su integración a bloques comerciales en el mercado mundial del tomate. *Revista Entorno Económico*. Vol. XLI (246). Centro de Investigaciones Económicas. Facultad de Economía, UANL. México pp. 1-12.
- Juárez L.G., F. Sánchez del C. y E. Contreras M. 2000. Efectos del manejo de esquejes sobre el rendimiento de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponía. *Rev. Chapingo Serie Hort.* 6: 19-23.
- Rodríguez R. R., J. M. Tabares R. y J. A. Medina J. 2001. *Cultivo Moderno del Tomate*. Mundi Prensa. Madrid, España. 255 p.
- Rodríguez D. A. 2004. Notas del editor. Boletín informativo No 25. *En línea*: <http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/boletin25/boletin25.htm>. (Revisado el 17 de julio de 2006).
- Sánchez P.A. 2004. Análisis y diagnóstico nutricional en los cultivos sin suelo. *In: Tratado De Cultivo Sin Suelo*. Urrestarazu G.M. 3ª edición. Ediciones Mundi Prensa. México pp. 49-79.
- Servicio de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2002. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). *En línea*: <http://www.siea.sagarpa.gob.mx/InfOMer/analisis/antomate.html> (consultado el 17 de julio del 2006).
- Tornero C.M.A. 1998. Efecto de la nutrición en la producción de fruto y calidad de semilla de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en fertirrigación. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 128 p.
- Valdés H. P.A. y C. Iglesias C. 2004. Determinación de parámetros que influyen en el diseño de los órganos de trabajo de máquinas cosechadoras de *Lycopersicon esculentum* Mill. *Rev. Ciencia Técnicas Agropecuarias* 13: 15-19.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades sobre el cultivo de tomate

2.1.1. Origen

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) es una planta dicotiledónea perteneciente a la familia de las solanáceas. El centro de origen del género *Lycopersicon* es la región andina que hoy comparten Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Chile. En la actualidad todavía crecen silvestres las diversas especies del género en algunas de esas zonas (Esquinas y Nuez. 2001; Rodríguez *et al.*, 2001). Fue llevado por los distintos pobladores de un extremo a otro, extendiéndose por todo el continente (Rodríguez *et al.*, 2001).

2.1.2. Domesticación

El centro de domesticación del tomate ha sido controvertido; aunque hay motivos que inducen a creer que el origen de la domesticación esta en México, ya que existe mayor similitud entre los cultivares europeos y los silvestres de México que con los de la zona andina. A la llegada de los españoles a América el tomate estaba integrado a la cultura azteca. Además el nombre moderno tiene su origen en la lengua náhuatl de México donde se le llamaba “tomatl” (Esquinas y Nuez 2001, Rodríguez *et al.*, 2001). Actualmente en el centro del país sigue utilizándose mayoritariamente la palabra jitomate tal vez porque los aztecas lo nombraban “Xic-tomatl”, para aludir al fruto de *Lycopersicon esculentum* (Cruces, 1990). Además, no ocurre esto en otras partes del país y del mundo. Los españoles y portugueses difundieron al tomate por todo el mundo a través de sus colonias ultramarinas, posteriormente contribuyeron a ello otras potencias y países (Esquinas y Nuez 2001). La planta es potencialmente perenne y muy sensible a las heladas, lo que determina su ciclo anual, de distinta duración según la variedad (Rodríguez *et al.*, 2001). Se desarrolla bien en un amplio rango de latitudes, tipos de suelos, temperaturas, métodos de cultivo y es moderadamente tolerante a la salinidad (Chamarro, 2001).

2.1.3. Hábito de crecimiento

En el cultivo de tomate hay plantas con dos tipos de crecimiento, determinado e indeterminado. Las variedades de hábito determinado se cultivan ampliamente en todo el mundo y son utilizadas para el mercado en fresco o para proceso industrial, en la elaboración de conservas, concentrados, sopas, jugos y salsas. También se han desarrollado cultivares adecuados para la cosecha mecanizada los cuales tienen algunos caracteres importantes, como la producción de una gran cantidad de frutos que maduran en corto período de tiempo (50 a 60 días), con un contenido de materia seca relativamente alto; por lo general, se cultivan a cielo abierto y son muy convenientes para cultivarse en estaciones cálidas y cortas. De forma paralela, los modernos cultivares indeterminados han sido producidos para su empleo principalmente en invernaderos con el fin de obtener frutos frescos de alta calidad; una planta de este tipo puede producir frutos constantemente por un largo período de tiempo (hasta un año y alcanzar una altura de 10 a 11 m) si se mantienen adecuadamente algunos factores como luz, temperatura, nutrición, etc. (Chamarro, 2001; Jones, 1999).

2.1.4. Características botánicas

El sistema radical de la planta presenta una raíz principal pivotante que crece unos 3 cm al día hasta que alcanza los 60 cm de profundidad, simultáneamente se producen raíces adventicias y ramificaciones que pueden llegar a formar una masa densa y de cierto volumen. Sin embargo, este sistema radical, que es el que surge cuando la planta se origina de una semilla en siembra directa, puede ser modificado por las prácticas culturales; así cuando la planta procede de un transplante, la raíz pivotante desaparece siendo mucho más importante el desarrollo horizontal (Rodríguez *et al.*, 2001).

El tallo es erguido durante los primeros estadios de desarrollo, pero pronto se dobla a consecuencia del peso. Su superficie es angulosa, provista de pelos agudos y glándulas que desprenden un líquido de aroma muy característico. En sección transversal presenta una epidermis provista de estomas, una corteza formada por parénquima y tejido de sostén en forma de anillo continuo, un límite impreciso entre la corteza y el cilindro central, y los tejidos conductores dispuestos en un círculo de haces liberoleñosos (Rodríguez *et al.*, 2001).

Las hojas son pinnado compuestas. Una hoja típica de las plantas cultivadas tiene unos 0.5 m de largo (Chamarro, 2001), se insertan sobre los diversos nudos, en forma alterna. El limbo se

encuentra fraccionado en siete, nueve y hasta once foliolos. Al igual que el tallo están provistas de glándulas secretoras de tomatina (Rodríguez *et al.*, 2001).

Las flores se presentan formando inflorescencias que pueden ser de cuatro tipos: racimo simple, cima unípara, cima bípara y cima múltipara; pudiendo llegar a tener hasta 50 flores por inflorescencia (Rodríguez *et al.*, 2001); las variedades modernas muestran regularmente más de cinco pétalos amarillos y sépalos verdes; cuando las inflorescencias se producen alternando con cada hoja o dos hojas, se dice que la planta es de crecimiento determinado; si la alternancia es más espaciada, se dice que la planta es de crecimiento indeterminado. Normalmente, en las primeras predomina la precocidad y porte bajo, en tanto que las segundas son más tardías y de porte alto (Jones, 1999).

El fruto es una baya de color amarillo, rosado o rojo debido a la presencia de licopeno y caroteno, en distintas y variables proporciones (Rodríguez *et al.*, 2001). El color rosado se debe al gen singular (Y) que previene la formación de pigmentos amarillos en la epidermis del fruto (Jones, 1999). La forma del fruto puede ser redondeada, achatada o en forma de pera, y su superficie lisa o asurcada, siendo el tamaño muy variable según la variedad (Rodríguez *et al.*, 2001).

Las semillas son grisáceas, de forma lenticular con dimensiones aproximadas de 5x4x2 mm. El embrión está constituido por la yema apical, dos cotiledones, el hipocótilo y la radícula. El endospermo contiene los elementos nutritivos necesarios para el desarrollo inicial del embrión. La testa o cubierta seminal está constituida por un tejido duro e impermeable, cubierta de vellosidades, que envuelve y protege al embrión y endospermo (Chamarro, 2001).

2.1.5. Requerimientos climáticos

El tomate es un cultivo insensible a la duración del día; sin embargo, requiere de una buena iluminación, la cual se modifica por la densidad de siembra, sistema de poda, tutorado y prácticas culturales que optimizan la recepción de los rayos solares (Ortiz, 2004). La planta se adapta bien a una gran diversidad de climas, con la sola excepción de aquellos donde se presentan heladas (Rodríguez *et al.*, 2001).

La temperatura es uno de los factores climáticos que más influye en todas las funciones vitales de la planta desde la germinación hasta la cosecha. El crecimiento y la materia seca de la planta aumentan con la temperatura de 30 °C en la raíz; cuando la temperatura de la raíz es menor a los 15 °C el crecimiento del brote puede disminuir drásticamente. La temperatura óptima del

crecimiento vegetativo es de 25 °C, y para la elongación del tallo en plantas jóvenes es de 30 °C (por la noche) y de 13 a 18 °C en plantas más viejas. Las temperaturas elevadas favorecen la producción de hojas y primordios foliares, mientras que las temperaturas bajas (15 °C) influyen en la formación de flores en las plantas cultivadas. Las flores se desarrollan más rápidamente a una temperatura media de 20 °C que a una de 16 °C. Fuera del intervalo de 10 a 35 °C la producción y viabilidad del polen disminuyen. Para que se produzca la germinación de los granos de polen, es aconsejable que la temperatura esté en el intervalo de 17 a 24 °C; en el que queda comprendida la de 21 °C, que es la óptima. El porcentaje de granos de polen germinados se reduce considerablemente a temperaturas fuera del intervalo de 5 a 37 °C. La temperatura nocturna óptima para el fruto se sitúa entre los 15 y 20 °C (Chamarro, 2001).

La temperatura óptima para la germinación se encuentra entre los 20 y los 25 °C. Hay algunas variedades que tienen la capacidad de germinar a temperaturas muy bajas (8.5 a 12 °C) o muy altas (35 a 37 °C); y algunos cultivares que son capaces de germinar a temperaturas bajas, también lo hacen a temperaturas elevadas (Chamarro, 2001; Dojjode, 2001).

Durante la maduración del fruto la temperatura afecta la calidad del mismo tanto en la duración como en el color por la formación de pigmentos; por ello, es recomendable una temperatura por debajo de los 28 °C. Si la temperatura es muy alta, el fruto tendrá menos firmeza y puede padecer estrés hídrico, ya que el sistema radical no es capaz de suministrar a las hojas el agua necesaria para la transpiración, pues las hojas cierran sus estomas, detienen la evaporación y consecuentemente el crecimiento (Cervantes, 2004); estas condiciones también son propicias para que se presente la pudrición apical por deficiencia de calcio.

La humedad influye sobre el crecimiento de los tejidos, transpiración, fecundación de las flores y desarrollo de enfermedades; para un desarrollo favorable de la planta se requiere de una humedad relativa del 50%. Los vientos fuertes, secos y calientes, producen la abscisión de las flores, reduciendo considerablemente la producción de frutos (Rodríguez *et al.*, 2001).

Respecto a los suelos, la planta desarrolla bien en suelos fértiles, profundos y con buen drenaje (Rodríguez *et al.*, 2001).

2.1.6. Importancia del cultivo

El tomate es la hortaliza más difundida en todo el mundo y la de mayor valor económico. Su demanda aumenta continuamente y con ella su cultivo, producción y comercio (Infoagro, 2003).

En México, el tomate es el cultivo hortícola de mayor importancia económica y social, por la superficie sembrada, el volumen en el mercado nacional, y las divisas generadas. Además su cultivo tiene las siguientes ventajas: genera empleo, pues requiere bastante mano de obra desde la siembra hasta el empaque; estimula el empleo urbano proporcionando oportunidades de negocios en aspectos como manufactura, venta de agroquímicos, maquinaria y equipo; se necesita semilla de calidad; su exportación va en aumento, lo mismo que los precios pagados a los productores, generando importantes cantidades de divisas; mejora la nutrición de los consumidores; es muy versátil en su uso pues se puede consumir crudo o procesado. Su popularidad se debe al aceptable sabor y disponibilidad del fruto en una amplia gama de ambientes, así como a su relativa facilidad para ser cultivado. El fruto puede consumirse fresco (crudo), cocinado, frito, y procesado industrialmente en conservas, salsas, jugos y en polvo.

2.2. La hidroponía como sistema de producción

En combinación con los invernaderos, el cultivo sin suelo o cultivo hidropónico, posiblemente sea hoy día el método más intensivo de producción de hortalizas, surge como una alternativa a la agricultura tradicional, cuyo principal objetivo es eliminar o disminuir los factores limitantes del crecimiento vegetal asociados al ambiente de producción, sustituyéndolo por otros soportes de cultivo y aplicando técnicas de fertilización alternativas (Durán *et al.*, 2000; Jensen, 2001; Cánovas, 2001).

Etimológicamente el concepto hidroponía deriva del griego Hydro (agua) y Ponos (labor, trabajo), que significa literalmente trabajo o cultivo en agua (Mosse, 2004; Alarcón, 2005).

Se puede definir a la hidroponía como un sistema de producción en el que las raíces de las plantas se irrigan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales disueltos en agua, y en lugar de suelo se utiliza como sustrato un material inerte y estéril, o simplemente la misma solución nutritiva (Sánchez *et al.*, 1991; González, 2006b).

El uso de esta técnica ha ocurrido a raíz de los descubrimientos de las sustancias que permiten el desarrollo de las plantas, que al conjugarse con los invernaderos y plásticos permitió un gran impulso, especialmente en el cultivo de flores y hortalizas, particularmente en países como Estados Unidos, Canadá, Japón, Holanda, España y otros países de Europa, Asia y África (Resh, 2001).

Los sistemas de cultivo hidropónico se dividen en dos grandes grupos: Cerrados, son aquellos en los que la solución nutritiva se recircula aportando de forma más o menos continua los nutrimentos que la planta va consumiendo, y abiertos o a solución perdida, en los que los drenajes son desechados (Mosse, 2004; Alarcón, 2005).

Dentro de estos dos grupos hay tantos sistemas como diseños de las variables de cultivo empleadas: sistema de riego (goteo, subirrigación, circulación de la solución nutritiva, tuberías de exudación, contenedores de solución nutritiva, etc.); sustrato empleado (agua, materiales inertes, mezclas con materiales orgánicos, etc.); aplicación del fertilizante (disuelto en la solución nutritiva, empleo de fertilizantes de liberación lenta aplicados al sustrato, sustratos enriquecidos, etc.); disposición del cultivo (superficial, sacos verticales o inclinados, en bandejas situadas en diferentes planos, etc.); recipientes del sustrato (contenedores individuales o múltiples, sacos de plástico preparados, etc.). A nivel mundial los sistemas cerrados son los más extendidos, mientras que en nuestro país la mayoría de las explotaciones comerciales son con sistemas abiertos y adoptan el riego por goteo (Alarcón, 2005).

El interés por esta técnica a nivel mundial obedece a los altos rendimientos y a la calidad del producto que por unidad de superficie se pueden obtener (1000% más que el cultivo en suelo en el cual se obtienen de 20 a 30 t ha⁻¹ cosecha⁻¹) (González, 2006a), lo que significa mejor mercado y precio de venta. Ello es debido al logro de un balance entre el oxígeno para la respiración de la raíz, el agua y los nutrimentos; la ausencia de malas hierbas, al mayor control sobre las plagas y enfermedades, al mantenimiento del pH dentro de un rango óptimo y a que se permite una mayor densidad de población. Como ventajas adicionales se pueden mencionar mayor precocidad de la producción, eficiencia en el uso del agua y fertilizantes, posibilidad de usar aguas de menor calidad y, cuando el clima lo permite o con el uso de invernaderos se pueden obtener varias cosechas por año (Sánchez *et al.*, 1999).

Por la fuerte inversión que implica la instalación y operación de estos sistemas, la rentabilidad económica se restringe a cultivos de alto valor en el mercado, con un manejo eficiente del espacio y del tiempo para alcanzar la máxima productividad, entendida esta como el rendimiento por unidad de superficie y por unidad de tiempo; en ese contexto, el tomate cultivado en hidroponía en invernadero en países con alta tecnología rinde entre 500 y 700 t ha⁻¹ año⁻¹ (Rodríguez, 2004). Destacan por su producción en invernaderos con hidroponía los estados de Baja California Sur, Chiapas, Coahuila, Colima; Estado de México, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Morelos,

Quintana Roo, Querétaro, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Veracruz, Yucatán y Zacatecas con una producción de 747, 150 toneladas de tomate, pimientos y pepinos en una superficie de 2, 550 ha, de esta producción, prácticamente toda se destina al mercado de EU, Canadá y países de Europa (González, 2006a).

2.3. Calidad del agua en el cultivo hidropónico

El agua es un recurso relativamente escaso y caro en México por lo que es necesario encontrar mecanismos que aumenten su eficiencia. A excepción del agua de lluvia, todas las fuentes naturales de agua contienen cantidades variables de sales en solución, por lo que es recomendable someterlas a análisis químico para evaluar su calidad. Antes de elaborar cualquier solución nutritiva, se debe considerar la composición química del agua para evitar excedentes de los iones en solución. No debe superar las 250 ppm de sales totales (Velasco y Nieto, 2005).

Cuando se analiza un agua puede presentarse el caso poco común de que el pH tenga un valor inferior a 5.8; en tal situación, se deben añadir sales alcalinizantes (fosfato biamónico o bicarbonato de potasio) para realizar el ajuste del pH deseado. El caso más generalizado es que las aguas para riego tengan el pH superior a 5.8; normalmente la presencia de iones bicarbonato y, en menor proporción, los iones carbonato, son los responsables de ello. La forma de bajar el pH consiste en eliminar estos iones y ello se consigue con la adición de algún ácido como el nítrico, fosfórico o sulfúrico; estos tienen la ventaja de que, además de servir para hacer el ajuste del pH, aportan elementos nutritivos a la planta (Gómez y Montoya, 2001).

En hidroponía su aporte es de forma continua o en riegos de alta frecuencia, manteniendo un equilibrio aire/agua casi constante; por tanto la planta va a tener una condición de vida mucho más cómoda, lo que se traduce en una mayor eficiencia (kg producidos por litro de agua o mmol de fertilizante utilizado) (Gázquez y Bayo, 2006).

2.4. Solución nutritiva para cultivo hidropónico

La solución nutritiva es el componente fundamental de los cultivos en sustrato bajo invernadero; constituye el único vector de la alimentación hidromineral de los vegetales, y debe satisfacer de forma no limitante las necesidades de los sistemas radicales de las plantas (Burgueño, 2005).

Una solución nutritiva es una solución acuosa que contiene oxígeno disuelto y todos los nutrimentos totalmente disociados. Estos iones en disolución guardarán entre sí una relación que

esta marcada por factores de tipo químico y fisiológicos en función de las necesidades nutritivas de un determinado cultivo (Gómez y Montoya, 2001).

La solución nutritiva debe ser una formulación equilibrada entre aniones y cationes; esto quiere decir que la suma de aniones contenidos en la solución nutritiva deberá ser igual a la suma de cationes (Burgueño, 2005).

Cada especie vegetal requiere de una solución nutritiva con características específicas para su crecimiento, desarrollo y buena productividad (Pérez *et al.*, 1989).

La relación mutua entre los cationes K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , la relación mutua entre los aniones NO_3^- , $H_2PO_4^-$ y SO_4^{2-} , la concentración de iones (representada por el potencial osmótico), calidad del agua, especie vegetal, pH y la temperatura, son algunos de los factores que deben tomarse en cuenta para preparar la solución nutritiva verdadera (Steiner, 1961).

Es importante controlar las concentraciones de las diferentes especies iónicas, para evitar alteraciones en los potenciales osmóticos o que ocurra la precipitación de los iones menos solubles como Ca^{2+} , $H_2PO_4^-$ y SO_4^{2-} . En el caso del $CaHPO_4$ la precipitación puede ser afectada por el pH, debido a que el $H_2PO_4^-$ cambia a la forma HPO_4^{2-} al incrementarse el pH por arriba de 5.5, y si se combina con el Ca^{2+} , se forma un compuesto poco soluble. La solubilidad del $CaHPO_4$ y del $CaSO_4$ a 18 °C es total cuando el producto de ($[Ca^{2+}]$ por $[HPO_4^{2-}]$) y de $[Ca^{2+}]$ por $[SO_4^{2-}]$, expresados en $mol\ m^{-3}$, es menor de 2.2 y 60, respectivamente (Steiner, 1984).

Basándose en los resultados obtenidos en sus trabajos, Steiner (1984) propone una “solución nutritiva universal” que se puede aplicar a una amplia gama de cultivos, cuya característica principal es la relación mutua de cationes expresada en $meq\ L^{-1}$ ($K^+[7] + Ca^{2+}[9] + Mg^{2+}[4]$) y aniones ($NO_3^-[12] + H_2PO_4^-[1] + SO_4^{2-}[7]$), la concentración total de iones, el potencial osmótico (-0.072 MPa) y un pH fisiológico (6.5).

En general los aniones tienen baja absorción a bajas temperaturas, sobre todo el fósforo; por esta razón, con presencia de temperaturas bajas conviene reforzar el suministro de fosfatos, sulfatos, nitratos y magnesio, además de la utilización de soluciones nutritivas más concentradas en general, durante épocas frías con baja transpiración (Alarcón, 2005).

Los micronutrientes Fe, Mn, Zn, B, Cu y Mo son requeridos en pequeñas cantidades para el crecimiento; por tanto, se deben agregar por separado a la solución nutritiva. Cuando estos elementos están en proporciones superiores a las necesarias, pueden ser tóxicos a las plantas (Pérez *et al.*, 1989; Gómez y Montoya, 2001).

Una vez establecidas las concentraciones teóricas de cada elemento, y después de deducir las cantidades aportadas por el agua, la diferencia es lo que se tiene que aplicar en la solución nutritiva (Cánovas, 2001).

Para la incorporación de los nutrimentos a la solución nutritiva hay varios métodos. El más sencillo y práctico es mediante la formulación de soluciones concentradas o soluciones madre, las cuales se diluyen en el agua de riego por diversos sistemas para alcanzar las soluciones de campo deseadas cuidando los parámetros de pH y Conductividad Eléctrica (CE) (Cánovas, 2001). Estas se preparan en tres o cuatro tanques. En el tanque 1 se disuelven los nitratos, en el 2 los sulfatos, en el 3 los micronutrimentos (se incluye el Fe como quelato) y el tanque 4 es para el agua acidulada. Es importante mantener independencia en el uso del agua acidulada, para limpiar los goteros después de cada riego (Sandoval, 2005).

2.4.1. Potencial osmótico (PO) de la solución nutritiva

En un sistema hidropónico, las inconsistencias en la fertilización y las pérdidas de los fertilizantes en el suelo desaparecen, dado que los nutrimentos se proporcionan al cultivo junto con el agua, listos para ser asimilados en forma de solución balanceada y con la presión osmótica adecuada (Requejo *et al.*, 2003).

El potencial osmótico (PO) es una propiedad fisico-química inherente a las soluciones nutritivas, que depende de la cantidad de solutos disueltos (Aguilera y Martínez, 1996). Al incrementar el contenido de nutrimentos o de otros iones en la solución, la planta realiza un mayor esfuerzo para la absorción del agua y de algunos nutrimentos (Marschner, 2002), por lo que tiene que invertir mayor cantidad de energía para llevar a cabo este proceso fisiológico. Este desgaste de energía puede ser en detrimento de la energía metabólica (Ehret y Ho, 1986b). Uno de los procesos fisiológicos más sensibles al déficit hídrico es el crecimiento celular, se reduce la expansión celular y el área foliar. Esta disminución se debe en parte al aumento en el gasto de energía realizado por la planta, para adquirir el agua y realizar el aporte bioquímico para sobrevivir, se desvía energía que debería ser utilizada para los procesos asociados al crecimiento y rendimiento, incluyendo elongación celular, síntesis de metabolitos y componentes celulares. Cuando dicho déficit es severo, la fotosíntesis y la transpiración son afectadas debido a la disminución de la turgencia, lo que origina el cierre estomático y el bloqueo a la difusión de CO₂ hacia el mesófilo

(Kumar y Singh, 1994). El conjunto de estos fenómenos es reflejado en una disminución del crecimiento y/o desarrollo de la planta.

Al incrementar la concentración absoluta de los nutrientes en la solución nutritiva el PO disminuye, lo cual puede ocasionar una menor absorción de agua y nutrientes por la planta (Adams, 1994); por el contrario, si se aplica una menor cantidad de nutrientes en la solución nutritiva que los requeridos por la planta, pueden inducirse deficiencias nutricionales (Ehret y Ho, 1986b). En un potencial osmótico menor (-0.21 MPa), las plantas absorben más K, a expensas del calcio, y existe una fuerte preferencia por el H_2PO_4^- y, en menor medida, por el NO_3^- , ambos a expensas de la absorción de SO_4^{2-} (Steiner, 1973).

El Potencial Osmótico (PO) de una solución nutritiva, apropiado para un cultivo, está estrechamente relacionado con las condiciones ambientales en que se desarrolla (humedad relativa, temperatura, luz y fotoperíodo). Steiner (1973) observó que las plantas toleran un menor PO en invierno que en verano, sin que la planta disminuya su crecimiento y desarrollo.

Para el cultivo de tomate en primavera-verano Steiner (1961) recomienda un PO de la solución nutritiva de -0.073 MPa. Este mismo autor señala que no se reportan cambios en el crecimiento de las plantas de tomate cuando la diferencia en el PO es menor a -0.02 MPa.

2.4.2. El pH en la solución nutritiva

El pH de la solución que rodea a las raíces es un factor importante para el adecuado desarrollo de las plantas y a menudo no se controla de manera apropiada en hidroponía, situación que induce un debilitamiento general de las plantas y baja producción (Velasco y Nieto, 2005).

La mayoría de las especies crecen bien en el rango de pH entre 5 y 7. Cuando se utilizan aguas alcalinas se deben acidular antes de añadir los nutrientes. El pH influye en el equilibrio de oxidación-reducción y en la solubilidad y forma iónica de varios elementos. Con un pH de 8 en la solución nutritiva, el hierro precipita como $\text{Fe}(\text{OH})_2$, y no está disponible para la absorción por las plantas. La forma iónica del fosfato es también función del pH; entre 5.5 y 6.0 predomina el fosfato monobásico (H_2PO_4^-) sobre el fosfato dibásico (HPO_4^{2-}) con una mayor difusión y absorción por parte de las plantas con esta forma iónica del fosfato (Gómez y Montoya, 2001). Con pH alto (6.0-7.0) el Ca, los fosfatos y los micronutrientes B, Cu, Fe, Mn y Zn se hacen menos solubles, mientras que el Mo se hace menos disponible a pH de 5.5 (Alarcón, 2005).

Otro aspecto de la importancia del pH de la solución nutritiva, está relacionado con el efecto de los iones H^+ y OH^- sobre las raíces de las plantas, especialmente sobre el transporte de iones en las membranas de las células corticales de las raíces (Gómez y Montoya, 2001). Cuando un cultivo absorbe mayoritariamente aniones (nitratos principalmente), para el mantenimiento de la neutralidad eléctrica, la raíz libera al medio iones OH^- ; esta es una de las razones por la que en los cultivos sin suelo la solución drenada presenta valores superiores a la solución nutritiva. No obstante, en determinados momentos puede ser mayoritaria la absorción de cationes (K^+ suele ser el responsable), con lo que la raíz libera H^+ , para conservar el balance eléctrico y el pH de la solución del sustrato desciende respecto a la solución nutritiva; cuando esto sucede se debe suprimir todo aporte de iones NH_4^+ y también debe reducirse la adición de ácidos en la solución nutritiva. De manera general, pH ácidos disminuyen la absorción de cationes y estimulan la absorción de aniones, fundamentalmente porque el H^+ , compite con los cationes por los lugares de absorción. Esta situación se invierte a pH elevados, en los que OH^- y HCO_3^- compiten con los aniones como nitrato, cloruro o fosfato, por sus lugares específicos de absorción. En cualquier caso deben evitarse valores de pH en la solución nutritiva inferiores a 5 (a pH 4 se dañaría la raíz de la mayoría de los cultivos) y superiores a 6.5, con los que bajaría drásticamente la disponibilidad de algunos micronutrientes (Alarcón, 2005).

Si se quiere optimizar la nutrición, el pH debe ajustarse diariamente. Su control en la hidroponía puede ser efectuado mediante la aplicación directa al agua de riego o a la solución nutritiva de HNO_3 , H_3PO_4 o H_2SO_4 , en las cantidades adecuadas según la formulación recomendada para el cultivo, evitando la acumulación excesiva de estos nutrientes. Otro método de control del pH es mediante la aplicación de NH_4^+ o NO_3^- , el que también incrementa la absorción de aniones (Adams, 2004).

La cantidad de ácido por agregar para situar el valor de pH entre 5.5 y 6.0 puede averiguarse mediante dos métodos: Realizar curvas de neutralización, añadiendo cantidades conocidas de ácido o auxiliándose de un medidor de pH para los distintos valores (Gómez y Montoya, 2001).

En caso de no contar con un medidor de pH, éste se determina mediante la comparación del color que toma el papel indicador al introducirlo durante 2 minutos en la solución nutritiva, con un catálogo cromático testigo. Este método es sencillo y barato (Velasco y Nieto, 2005) y, por tanto está al alcance de cualquier productor.

La proporción de $\text{NH}_4\text{-N}$ generalmente fluctúa entre 5-10% del N total aplicado, para evitar una seria reducción de la absorción de Ca (Adams, 2004).

2.4.3. La conductividad eléctrica en la solución nutritiva

La conductividad eléctrica de la solución nutritiva es una medida de la concentración total de las sales disueltas y es a menudo referida como la salinidad (Adams, 2004). La salinidad tiene un profundo efecto sobre el movimiento del agua en la planta (un estrés osmótico reduce la toma de nutrientes y del agua) (Young y Beom, 2001).

Hay muchas formas de expresar la salinidad de una solución; una consiste en expresar la cantidad de sales disueltas en un volumen de solución, donde como unidad de medida se utiliza el gramo por litro (gL^{-1}); otra es indicar el número de miliequivalentes por litro (meqL^{-1}). La forma simple y suficiente para muchos efectos es expresar la salinidad de una solución por medio de su conductividad eléctrica (CE) (Gómez y Montoya, 2001).

La conductividad eléctrica ha sido el parámetro más extendido y el más ampliamente utilizado en la estimación de la salinidad. Se basa en la velocidad con que la corriente eléctrica atraviesa una solución salina, la cual es proporcional a la concentración de sales en solución (a mayor concentración de sales, mejor conduce la electricidad). Hasta hace unos años se expresaba en mmhos cm^{-1} , hoy día las medidas se expresan en dS m^{-1} (dS = deciSiemens por metro), siendo ambas medidas equivalentes ($1 \text{ mmhos cm}^{-1} = 1 \text{ dS m}^{-1}$); por tanto la CE refleja la concentración de sales solubles en la solución. La CE es una medida indirecta y empírica de la presión osmótica (PrOs); puede obtenerse al multiplicar $\text{CE} \times 0.36$ y expresarse en atmósferas (atm), o bien, $\text{CE} \times -0.036$ para expresarse como potencial osmótico (PO) en megapascales (MPa) (Aguilera y Martínez, 1996). La CE varía con la temperatura, por lo que para normalizar las medidas se ha convenido expresarla siempre a 25°C (Gómez y Montoya, 2001).

Aunque es fácil de medir, la CE no proporciona información acerca de las concentraciones de los nutrimentos presentes en forma individual; no obstante, se utiliza ampliamente para seguir el estado de los nutrimentos totales de los suelos, sustratos y soluciones nutritivas. Una baja CE se relaciona con un estado nutricional bajo, e indica que se debe aplicar más solución concentrada; por el contrario una CE alta podría deberse a altos niveles de nutrimentos, indicando que se requiere de una solución más diluida. En hidroponía, la salinidad alta puede deberse a la

acumulación de iones no utilizados provenientes del agua o sales fertilizantes empleadas, tales como sodio, cloruro y sulfato, requiriéndose un riguroso lavado del sistema (Adams, 2004).

De acuerdo con la especie y variedad, así como a la salinidad del agua, los rendimientos pueden disminuir entre 10 y 25% bajo condiciones salinas. El crecimiento de plantas moderadamente tolerantes a las sales, como el tomate, se mantiene, como rentable hasta con disminuciones de 20%. Tomates cultivados con soluciones de agua salina, son más dulces que los obtenidos con agua potable, pues la relación azúcares/ácido parece ser mayor bajo condiciones de salinidad (De Pascale *et al.*, 2003). Con cultivos creciendo en sistemas de sustrato, los iones abundan en el agua de riego, lo que puede causar daños al cultivo. En tomate una CE entre 1.5-2.0 dSm⁻¹ es suficiente para un suministro óptimo de nutrimentos; si se utiliza una CE mayor (4.0 dSm⁻¹) en el medio ambiente de la raíz, puede incrementarse la calidad del fruto sacrificando un poco la productividad (Voogt y Sonneveld, 2004).

En general la salinidad retrasa la germinación de las semillas de tomate y el crecimiento de la planta; en consecuencia, provoca una reducción del rendimiento (De Pascale *et al.*, 2003).

En condiciones salinas, también pueden surgir problemas con la disponibilidad de micronutrimentos, aunque la influencia de la salinidad sobre las concentraciones de los mismos en las plantas depende tanto de la propia planta como del micronutriente considerado.

2.4.4. La conductividad eléctrica en la absorción de calcio

Varios estudios sobre el efecto de la conductividad de la solución y la nutrición con calcio han revelado que niveles altos de CE reducen la absorción de calcio desde la solución nutritiva, a diferencia del nitrógeno y potasio que aumentan su concentración en la hoja con niveles altos de CE (Morgan, 2000). En un experimento se encontró que la absorción de agua al día por la planta de tomate, se redujo de 415 mL en una CE de 2 dSm⁻¹ a 98 mL cuando la CE fue de 17 dSm⁻¹, y el ⁴⁵Ca se redujo a más del 87% (Ehret y Ho, 1986a). También se ha encontrado que cultivares susceptibles a la pudrición apical cultivados en solución con alta CE desarrollan una baja densidad de tejido xilemático y son menos capaces de transportar calcio en la corriente transpiracional (Morgan, 2000).

En general, la salinidad es un factor que reduce el crecimiento y productividad de la planta. Se reporta que la velocidad de absorción de calcio decrece linealmente con el incremento de la salinidad (Topçuoğlu y kütük, 2002).

La translocación y acumulación de calcio en las hojas disminuye con una elevada conductividad eléctrica; así la diferencia en el contenido del ión calcio en las hojas con un incremento de la conductividad eléctrica indica que la translocación de este nutrimento es independiente de la presión del flujo en la raíz (Young y Beom, 2001).

La concentración de Ca en el fruto de tomate se reduce con un bajo suministro de este elemento (estrés de Ca), por un bajo suministro de agua (estrés de agua) o por alta salinidad (estrés osmótico) (Adams y El-Gizawy, 1988). El estrés osmótico en cultivos hidropónicos puede ocurrir debido a un riego irregular o al suministro adicional de nutrimentos para mejorar la calidad del fruto (Adams, 2004). El efecto de la conductividad eléctrica sobre la pudrición apical es más severo cuando ésta es causada por adición de nutrimentos en la solución nutritiva (Adams y Ho, 1993). El crecimiento del fruto y el incremento en la demanda de Ca son mayores cuando se tiene un alto contenido de N y K en la solución (Ho *et al.*, 1999). Las diferencias en la acumulación de Ca y de N, P y K sugieren que el Ca es transportado al fruto de manera diferente que los otros iones. La acumulación de N, P y K es constante en proporción a la materia seca total acumulada durante el desarrollo del fruto; es posible que estos nutrimentos se transporten al fruto vía floema, principalmente; asumiendo que la savia del floema es la fuente principal de savia del fruto en tomate. En ausencia de Na y con una alta CE, la absorción de Ca se reduce por el incremento de la relación K:Ca en la solución nutritiva; esta reducción puede deberse al bajo PO de la solución nutritiva y a la competencia entre el Ca y K durante la absorción en la superficie radical. Una alta CE en la solución nutritiva reduce no solamente la absorción de Ca sino también la distribución del mismo de la raíz al brote, resultando en una baja importación de Ca por el fruto (Ehret y Ho, 1986b). La tasa de crecimiento del fruto puede ser otro de los factores involucrados para la aparición de la pudrición apical (El-Gizawy *et al.*, 1986).

Con una CE de 8 mmhos cm^{-1} en el día y de 2 mmhos cm^{-1} en la noche se incrementó la incidencia de pudrición apical, se redujo el contenido de Ca en el fruto y el peso promedio del fruto; en consecuencia, disminuyó la producción total al igual que el peso de la planta y el área foliar (Nederhoff, 1999).

El transporte de Ca hacia el tejido distal dentro del fruto de tomate puede ser reducido por una alta CE en la solución nutritiva. El número de haces vasculares y el desarrollo del vaso del xilema en el tejido de la pulpa se reducen por alta CE, p.e. 10 dSm^{-1} (Belda y Ho, 1993; Belda *et al.*, 1996). Este efecto es mayor en cultivares susceptibles a pudrición apical en comparación con los

resistentes. Debido a la rápida expansión del fruto, la densidad del xilema en el tejido distal de la pulpa se reduce más en cultivares susceptibles. Este prolongado efecto de la CE sobre el transporte del xilema dentro del fruto es la principal causa de la pudrición apical inducida por estrés osmótico (Adams, 1994).

2.5. El calcio como nutrimento de los cultivos

El calcio es un macronutrimento secundario que es requerido por las plantas en menor cantidad que los nutrimentos primarios; sin embargo, su deficiencia puede afectar los rendimientos tanto como la deficiencia de estos (Christiansen y Foy, 1979; Bull, 2002).

El calcio libre no se encuentra en forma natural, sino formando compuestos que constituyen el 3,63% de las rocas ígneas y 3,22% de la corteza terrestre (Hernández, 2002). La cantidad total de Ca en el suelo fluctúa entre 0.1 hasta alrededor de 25%. En cuanto al tipo de suelo cabe mencionar que los suelos áridos y calcáreos contienen los niveles más altos de este elemento; los suelos viejos de los trópicos contienen poco Ca y tienen un pH ácido, los suelos arcillosos contienen más Ca que los suelos arenosos (Berrios, 2004).

Debido a que el Ca existe como catión, está gobernado por los fenómenos del intercambio catiónico al igual que los otros cationes, y se mantiene adherido como Ca^{2+} intercambiable en la superficie de los coloides cargados negativamente. Generalmente es el catión dominante en el suelo, aun a valores de pH bajos, y ocupa normalmente el 70% o más de los sitios en el complejo de intercambio. Forma parte de la estructura de varios minerales del suelo como la dolomita, calcita, apatita y feldspatos. En realidad estos minerales son las fuentes principales de este elemento en el suelo. El calcio que es más utilizable por la nutrición de la planta incluye las fracciones solubles en agua e intercambiables (Hernández, 2002). Al igual que otros cationes, también está presente en la solución del suelo y proveen un mejor balance nutricional en la planta que genera mayor calidad de frutos (Bull, 2002).

En cultivos hidropónicos, el calcio es proporcionado a través de la solución nutritiva, la cual usualmente mantiene niveles adecuados de este nutrimento.

2.5.1. Interacción del calcio con otros nutrimentos

Las relaciones entre nutrimentos pueden ser positivas o negativas y es posible que no haya interacción. Cuando la respuesta del cultivo a la combinación de nutrimentos es más grande que

la suma de sus efectos individuales, la interacción es positiva; cuando el efecto de la combinación es más pequeño, la interacción es negativa; en el primer caso los nutrientes presentan sinergismo y en el último antagonismo. Si no hay diferencia de la respuesta en la combinación con respecto a su aplicación separadamente, hay ausencia de interacción. La interacción entre nutrientes en las plantas cultivadas se lleva a cabo cuando al abastecimiento de uno de ellos afecta la absorción y utilización de otros; este tipo de interacción es muy común cuando un nutriente tiene un exceso de concentración en el medio de cultivo, y ocurre en la superficie de la raíz o dentro de la planta, y puede ser calificada en dos categorías principales; en la primera están los precipitados o complejos que ocurren entre iones por su capacidad de formar vínculos químicos; en la segunda es entre iones con propiedades tan similares que compiten por el sitio de adsorción, absorción, transporte y función en la raíz de las plantas o dentro de sus tejidos, estas interacciones son comunes entre nutrientes de similar tamaño, carga, geometría de coordinación electrónica y es común entre Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ (Fageria, 2001). El NaCl disminuye el paso del agua a través de la membrana y raíces por la reducción de la actividad de canales de agua. La función del Ca para disminuir el estrés por NaCl está relacionada con la función de estos canales (Carvajal *et al.*, 2000).

La influencia del Ca sobre la absorción de cationes esenciales como Mg^{++} y K^+ dependen de la relación Ca:Mg y Ca:K en el suelo y en la planta. El Ca^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} , Si y NH_4^+ aminoran el efecto sobre el Mn como una posible toxina a la planta (Rorison y Robinson, 1984).

La diferencia de calcio en el fruto puede ser causado por una absorción inadecuada de este nutriente debido a su baja concentración en la solución y al antagonismo con K^+ y/o NH_4^+ (Tal *et al.*, 2001). La acumulación de NH_4^+ en la savia del xilema en tomate, puede evidenciar un proceso de alteración en la síntesis de proteína la cual esta relacionada con la reducción del suministro de carbohidratos solubles (sacarosa, glucosa y fructosa) en el agua de la raíz por la escasa absorción de calcio (Morard *et al.*, 2000).

2.5.2. El calcio en la planta

El calcio en la planta se encuentra tanto en forma mineral soluble (sulfato cálcico) como mineral insoluble (formando fosfatos y carbonatos) y especialmente en forma orgánica (oxalatos y péctatos) (Alarcón, 2005).

Es un macronutriente constituyente de la lámina media y de la pared celular (Morgan, 2000), y es esencial para mantener la integridad estructural de las membranas y paredes celulares (Paliyath *et al.*, 1984).

El contenido de calcio en las plantas varía entre 0.1 y 7 % del peso seco, dependiendo de las condiciones de crecimiento, la especie de que se trate y el órgano de la planta (Hernández, 2002). En tomate debe estar arriba del 0.12% para evitar el riesgo de la aparición de la pudrición apical. El 70% del calcio total de la planta es retenido por las hojas, mientras que los frutos solo tienen un 5% y, una vez asimilado por las hojas, la traslocación del calcio al fruto es escasa (Chamarro, 2001).

Las especies vegetales difieren mucho en sus requerimientos de Ca^{2+} ; así los cereales y otras gramíneas absorben menos Ca^{2+} que las dicotiledóneas, particularmente herbáceas y leguminosas, las cuales presentan necesidades de Ca^{2+} cinco veces superiores a las monocotiledóneas. A modo de ejemplo, cabe comentar que el tomate absorbe de 10 a 15 veces más Ca^{2+} que el maíz (Sánchez, 2004). Esta característica se basa en la gran capacidad de intercambio catiónico (CIC) que tienen los tejidos debido al contenido mayor de poliuronidos en las paredes celulares. La CIC constituye sitios para la adsorción del Ca. Normalmente el mayor contenido de Ca en los tejidos es apoplástico, con grandes variaciones cuantitativas atribuibles a la diferente CIC de las especies. Debido a que las diferentes especies crecen igualmente bien en un amplio intervalo de concentración de Ca, sus requerimientos metabólicos están basados en actividades químicas; no en concentraciones (Hanson, 1984; Marschner, 2002).

En altas concentraciones el calcio es muy poco tóxico para la planta y es efectivo como detoxificante de otros elementos minerales. El exceso de este elemento puede retardar el crecimiento, pero su toxicidad aparece lentamente y, por lo general, puede ser atribuido a un efecto indirecto donde intervienen otros iones (Nonami *et al.*, 1995).

Cuando las plantas son sometidas a concentraciones altas de Ca, se detiene el crecimiento al impedir el relajamiento de la pared celular, provoca rigidez de la membrana celular, se incrementan los depósitos insolubles (cristales de oxalato de calcio) en paredes y vacuolas, disminuye la fotosíntesis e impide el flujo de K^+ (Marschner, 2002). El potasio es el mineral más abundante y el que tiene mayor influencia en la calidad del fruto y, junto con nitratos y fosfatos, constituye el 93% de las sustancias minerales del tomate (Chamarro, 2001).

2.5.3. Absorción del calcio por la planta

El calcio es absorbido en su forma catiónica (Ca^{2+}) por el ápice de la raíz no suberizada de las plantas (Benoit y Ceustermans, 2001). Esta absorción ocurre en forma pasiva, utilizando a la corriente transpiratoria normal de la planta (Alarcón, 2005). El movimiento del calcio es principalmente acropétalo hacia las hojas de la planta a una velocidad que puede estar correlacionada con la cantidad de agua moviéndose hacia el tejido (Young y Beom, 2001); su distribución final depende del flujo de masas asociado con la transpiración. El transporte del Ca a través del xilema es controlado por: la densidad de cargas negativas en la pared del vaso del xilema, la concentración de otros cationes en el xilema, y la habilidad de células adyacentes para remover el Ca del sitio de intercambio (Behling *et al.*, 1989). Por lo tanto, su absorción ocurre vía xilema y no se moviliza al interior de la planta vía floema, como ocurre con otros importantes iones (K^+ , NO_3^-) (Berrios, 2004). Una vez que los iones de calcio son tomados por las regiones jóvenes de las raíces, pasan de célula a célula en el apoplasto hasta que entran a los elementos traqueales del xilema, y se mueven pasivamente dentro del tallo en la savia del xilema. Desde que el calcio es transportado, cualquier factor que influya en la pérdida de agua y en la tasa del flujo del xilema, afectará la nutrición de calcio (Morgan, 2000). Su removilización cuando ocurre, frecuentemente coincide con condiciones de deficiencia de Ca, por largos períodos de tiempo (Ho, 1989). Se concentra en la forma de oxalato de calcio y puede ser precipitado en la célula de la planta, así el ácido oxálico limita la disponibilidad de calcio para continuar con el crecimiento del brote. La planta con bajo contenido de ácido oxálico presenta solo trazas de calcio libre en la savia. Altas concentraciones de ácido oxálico en el tallo provocan una precipitación de calcio antes de que este alcance a los órganos de demanda (Topçuoğlu y kütük, 2002). El calcio se acumula en mayor concentración en tejidos con alta transpiración (hojas) y en menor concentración en tejidos con baja transpiración (frutos) (Schon, 1993).

En el fruto el transporte de Ca es intrínsecamente bajo, debido a que la mayor parte se transporta hacia las hojas por transpiración en el dosel (Ho *et al.*, 1987). Por lo tanto, una combinación de baja absorción y bajo transporte de Ca hacia el fruto puede causar un bajo nivel de este nutrimento en el mismo. La demanda de Ca para la expansión celular en el crecimiento rápido del fruto (particularmente en el tejido distal de la pulpa) puede no ser satisfecha, si la importación de Ca es baja y la resistencia al transporte por el xilema dentro del fruto es alta (Ho *et al.*, 1999);

esto puede explicar porqué el fruto de tomate desarrollado durante la primavera es más susceptible a la incidencia de la pudrición apical (Soria *et al.*, 2002).

En contraste con los demás macronutrientes, una proporción alta de Ca total en los tejidos de la planta frecuentemente está localizado en las paredes celulares debido a la gran cantidad de sitios de unión encontradas en éstas, así como por el reducido transporte del mismo al citoplasma (Marschner, 2002).

En el citosol el Ca libre debe estar restringido a niveles de aproximadamente 10^{-7} M o menos (Ca citosólico, 100 a 500 nM; Ca vacuolar, micromolar a milimolar) debido a que concentraciones altas interfieren en diferentes procesos celulares cruciales (el Ca es citotóxico, en concentraciones altas podría reaccionar con el H_2PO_4^- y formar un precipitado insoluble) (Bowler y Fluhr, 2000). Las plantas acumulan más Ca que el requerido en el citosol; además, la mayoría de las plantas no tienen sistemas excretores bien desarrollados para disponer del exceso de Ca. En su lugar, las plantas superiores parecen modular las diferencias entre la abundancia natural de Ca en el medio y los niveles muy bajos requeridos para el Ca libre citosólico mediante el control de su distribución y compartimentación dentro de la célula. La pared celular y la vacuola proveen los depósitos mayores para el Ca en las plantas. La mayoría de las plantas acumulan cristales de oxalato de calcio en respuesta al exceso de este elemento. Con un producto de solubilidad de 1.3×10^{-9} en agua, el oxalato de calcio provee una sal relativamente insoluble y metabólicamente inactiva para el Ca secuestrado, de esta manera, constituye un depósito de gran capacidad para el Ca, y las plantas pueden acumular esta sal en cantidades sustanciales, por arriba del 80% de su peso seco o 90% del Ca total. Los cristales de oxalato de calcio pueden formarse en cualquier órgano y tejido de la planta: raíces, tallos, hojas, flores, frutos y semillas y en tejidos como epidermis, parénquima y tejido vascular (Hepler y Wayne, 1985; Webb, 1999).

2.5.4. Funciones del calcio en la fisiología de la planta

El Ca^{2+} , como ión divalente, tiene la habilidad de formar complejos coordinados inter o intramoleculares y es capaz de unirse y modificar la estructura. La organización del citoplasma y los procesos que ocurren en él son influenciados por el Ca (Clarkson, 1984). Las funciones de este nutriente dentro de la planta caen en tres categorías: activación y estabilización enzimática, forma y actividad de la membrana y estructura de la pared celular (Christiansen y Foy, 1979).

Una vez dentro de la planta, el Ca funciona en varias formas: actúa como un mensajero secundario en la regulación de una variedad de procesos fisiológicos y metabólicos (Anil y Rao, 2001; Del Amor *et al.*, 2003; Guilin *et al.*, 2003), forma sales con los ácidos orgánicos e inorgánicos del interior de las células regulando la presión osmótica de las mismas (Rodríguez, 1996), es esencial para la división y elongación celular y su acción está relacionada con las auxinas (estimula el desarrollo de las raíces y de las hojas), cumple una función esencial como integrante de las paredes y membranas celulares (fortalece la estructura de la planta) a las que el calcio en forma de pectato les otorga estabilidad y mantiene las células unidas actuando como agente cementante (Tzoutzoukou y Bouranis, 1997; Berrios, 2004; Alarcón, 2005), (el pectato de calcio es una sal de ácido péctico en forma de goma que pega paredes celulares adyacentes) si no se provee suficiente calcio durante la formación celular la estructura del tejido llega a ser menos estable y más propensa a la desintegración (Morgan, 2000); interviene en la formación de la lecitina, que es el fosfolípido importante en la membrana celular, siendo un factor determinante en la permeabilidad de las membranas (Rodríguez, 1996); sólo o en conjunción con otras sustancias como la calmodulina (proteína regulatoria de procesos bioquímicos, que se encuentra libre en el citoplasma y/o asociada a membranas y organelos, que sirve como receptora para el Ca^{2+}); el calcio tiene un efecto activador sobre algunas enzimas (Poovaiah, 1985), particularmente varias de las unidas a las membranas como las ATPasas, la NAD kinasa (citoplasma), y la NAD kinasa (membrana externa del cloroplasto) (Christiansen y Foy, 1979; Dieter, 1984). La calmodulina estimula la toma de Ca^{2+} en la vacuola, retículo endoplásmico y vesículas microsomales, pero no estimula la acumulación del Ca^{2+} en la mitocondria (Dieter, 1984). El Ca regula la señal en la proteína quinasa dependiente- Ca^{2+} durante los primeros procesos de desarrollo en la planta (Anil y Rao, 2001); un aumento en la concentración del calcio citoplasmático, activa la enzima 1,3 β -glucan sintetasa, situada en la membrana plasmática, dando lugar a la formación de callosa (Hernández 2002); una concentración alta de Ca^{2+} estimula la actividad de la enzima α -amilasa en la geminación de las semillas de cereales (Marschner, 2002); las enzimas superóxido dismutasa y peroxidasa juegan un papel significativo en la detoxificación de moléculas reactivas de O_2 en el sistema antioxidante de la planta (Eiberger y Noga, 2003); ayuda a neutralizar los ácidos orgánicos en la planta, es esencial para el desarrollo del grano en el cacahuete, influye indirectamente en el rendimiento al reducir la acidez del suelo (carbonato de calcio), ayuda como buffer cuando el exceso de otros elementos están presentes

(Morgan, 2000), reduce la solubilidad y toxicidad del manganeso (Mn), cobre (Cu) y aluminio (Al), influye indirectamente en el rendimiento al mejorar las condiciones de crecimiento de las raíces y estimula la actividad microbiana, mejora la disponibilidad del molibdeno (Mo) y la absorción de otros nutrimentos, es requerido en grandes cantidades por las bacterias fijadoras de N, actúa modulando la acción de todas las hormonas vegetales, regula la germinación de las semillas (Hernández, 2002), reduce la tasa de senescencia de las plantas, la abscisión de hojas y la maduración del fruto de tomate (Gerasopoulos y Chebli, 1999), este efecto se debe a una acción retardante del calcio sobre la tasa de respiración y a una baja en la actividad de la enzima poligalacturonasa responsable de la degradación celular (Singh y Kumar, 1989).

El Calcio actúa como ion regulador, en la traslocación de carbohidratos, por el efecto que ejerce sobre células y paredes vegetales, proporciona vigor a la planta, rigidez a la paja y a granos, e interviene en la formación de las semillas (Sánchez, 2004).

2.5.5. Relación del calcio con algunas hormonas vegetales

El equilibrio o modificación de la nutrición con calcio hace que la planta produzca determinada categoría de hormonas las cuales son fundamentales en su desarrollo, para crear mayor tolerancia o resistencia, promover un adelanto o retraso en la floración, incrementar el período de cosecha, tener más frutos por racimo, uniformizar tamaño y maduración del fruto para hacer más eficientes los cortes e incrementar la vida de anaquel (Villaseñor, 2005).

El calcio juega un papel importante en la interacción con las hormonas como las citocininas en la división y elongación celular, en la estimulación de la germinación en ciertas semillas; promueve el cuajado de los frutos y favorece el crecimiento de los mismos, interviene en la maduración del fruto y en la vida de anaquel a través de la regulación del etileno (Villaseñor, 2005).

El etileno es otra hormona común del estrés cuyo modo de acción requiere calcio. Esta hormona puede también promover la formación de ácido abscísico. Por lo tanto la respuesta a estrés abiótico es inducida por una variedad de señales primarias y secundarias que pueden temporalmente diferenciarse una de otra (Bowler y Fluhr, 2000).

Como regulador de crecimiento el efecto que tiene sobre los frutos es muy significativo, aumentando su peso y tamaño en kiwi, peras, manzanas, melones y bayas como el tomate. Además, se ha demostrado mayor firmeza y mejor apariencia de los frutos (Nickell, 1986).

2.5.6. Factores que afectan la asimilación de calcio

La proporción de savia del xilema importada por el fruto es afectada por la transpiración; así, bajo una alta demanda de agua evaporada, el flujo de agua en la planta es preferencialmente usada para reunir los requerimientos de transpiración de las hojas y después, del fruto; por lo tanto, la deficiencia de calcio en el fruto se puede incrementar (Soria *et al.*, 2002).

Entre las causas que pueden originar una deficiencia de calcio se encuentran todas aquellas que puedan afectar la transpiración de la planta y la distribución del calcio a los puntos de demanda: los factores climáticos como alta temperatura, alta humedad relativa y radiación excesiva (Tal *et al.*, 2001; Young y Beom, 2001; Sánchez, 2004), baja temperatura durante el invierno o muy baja humedad relativa durante la primavera-verano (Soria *et al.*, 2002), baja humedad relativa en la noche, la susceptibilidad genética (Adams y Ho, 1992; Blancard, 2005), manejo inadecuado del cultivo (exceso o falta de riego) (Berrios, 2004), una nutrición inadecuada (altas concentraciones de potasio, nitrógeno amoniacal y magnesio en la solución (Morgan, 2000), el crecimiento rápido de las hojas y frutos (Chamarro, 2001), elevada salinidad (alta CE) (Adams y Ho, 1992; Soria *et al.*, 2002), pobre aireación (Ho *et al.*, 1999), bajo pH y baja temperatura en la zona radical (Young y Beom, 2001); son mencionados como los más importantes. Si alguno de ellos se modifica, de inmediato se crean las condiciones favorables para el desarrollo de fisiopatías como la pudrición apical (blossom end rot) en tomate y pimiento, agrietado del fruto (fruit cracking) en tomate, quemaduras de puntas (tip burn) en lechuga, hoyo agrio (bitter pit) en manzana, la vitrescencia del melón, etc. (Berrios, 2004).

La pudrición apical en tomate, es el resultado de un desbalance entre el transporte de azúcares, nitrógeno, fósforo y potasio en el floema, y el transporte de calcio en el xilema dentro del fruto, provocando pérdida de la permeabilidad de las membranas celulares en la parte distal del fruto. Este desbalance puede ser resultado de una tasa incrementada del transporte floemático influenciada por un incremento de la fotosíntesis (causada por un repentino incremento en la radiación solar) o una tasa disminuida del transporte xilemático. Un descenso en la tasa del transporte xilemático puede ocurrir si: 1. Las condiciones ambientales favorecen un aumento de la transpiración desde las hojas (por ejemplo un atmósfera seca con bajos niveles de humedad). Bajo condiciones de poca humedad, el flujo de agua en el xilema es dirigida hacia las hojas maduras para mantener la tasa de transpiración y muy poco calcio alcanza las células en crecimiento en el fruto; 2. La presión radicular se reduce debido al aumento de la salinidad (alta

CE) en la zona radicular; 3. La resistencia del tejido del xilema en el fruto y en el tallo del fruto (pedicelo), también como el flujo de calcio es incrementado (Peterson y Willumsen, 1992).

2.5.7. Síntomas de deficiencia de calcio

Sin minimizar la importancia de los macronutrientes en el desarrollo y crecimiento de las plantas, el Ca^{2+} es de especial interés, ya que está involucrado en muchos procesos bioquímicos y morfológicos en las plantas y tiene relación con desórdenes fisiológicos en frutales y hortalizas (Millaway y Wiersholm, 1979). Los botones florales, frutos en crecimiento, ápices de crecimiento en planta y raíz, muestran los primeros síntomas de deficiencia, ya que los tejidos nuevos necesitan calcio para la formación de sus paredes celulares (Alarcón, 2005).

Las deficiencias de este nutriente se manifiestan en una capacidad menor de síntesis de proteínas y parecen tener dos efectos en la planta: causan una atrofia del sistema radical y le dan una apariencia característica a la hoja (Rodríguez, 1996).

Niveles inadecuados de calcio en la solución hidropónica provocan la formación de raíces oscuras, pobremente desarrolladas, carentes de fibras con apariencia gelatinosa, también puede presentarse la muerte prematura de regiones meristemáticas (puntos de crecimiento) del tallo y la raíz. En las hojas jóvenes se observa una malformación, causando el arqueamiento de las puntas hacia atrás (del haz hacia el envés). Las hojas pueden mostrar clorosis (amarillamiento) marginal y estas áreas progresivamente llegan a ser necróticas (muerte de tejido) (Morgan, 2000; Berrios, 2004). Los cambios cloróticos y necróticos son frecuentemente precedidos por un oscurecimiento de las nervaduras en el tejido verde oscuro del haz y envés de las hojas. Esto es causado por la autólisis de las células. La decoloración parda usualmente comienza en las puntas de las hojas y en los márgenes. Una característica típica de la deficiencia de calcio es que las nervaduras de las hojas completamente necrosadas son siempre más oscuras que las regiones internerviales (Sánchez, 2004).

En plantas de tomate, las raíces no desarrollan bien y frecuentemente aparecen de color marrón; en el follaje, los síntomas han sido descritos como hojas superiores verde oscuro, las cuales luego comienzan a amarillarse por los bordes. También se han descrito pigmentos naranjas y morados en el centro de folíolos terminales. Otro síntoma de la deficiencia de calcio es el amarillamiento intervenal, con hojas que son fuertemente dobladas hacia abajo y hacia adentro. Los racimos de

frutos no llegan a cuajar y pueden caer. La degeneración del ápice de frutos jóvenes (pudrición apical) es un síntoma común de la deficiencia de calcio en tomates (Morgan, 2000).

Las plántulas deficientes en calcio presentan bajo contenido de clorofila, necrosis y reducción del crecimiento (Guilin *et al.*, 2003). La carencia de calcio también inhibe la germinación del polen y el crecimiento del tubo polínico (Hernández, 2002). En semillas de chicharo, los hipocótilos llegan a ser necróticas durante la germinación (Sánchez, 2004).

A nivel celular, la deficiencia de Ca^{2+} incrementa la permeabilidad de las membranas celulares, lo que puede producir una inundación crónica de las vacuolas y permite el escape de iones (Kirkby y Pilbeam, 1984; Del Amor *et al.*, 2003). Igualmente se destruyen las estructuras dentro de los núcleos celulares, y por consiguiente la estabilidad de los cromosomas, perturbando la división del núcleo; asimismo se destruyen mitocondrias, por lo que el metabolismo respiratorio es dañado (Sánchez, 2004), también se afecta el enlace de calcio con la pectina en la lámina media, lo que se traduce en un fruto de menor firmeza y más susceptible al ataque de patógenos (Poovaiah y Leopold, 1973).

2.5.8. Fisiopatías causadas por la deficiencia de calcio

Las alteraciones fisiológicas o fisiopatías son causadas por diversos factores: nutricionales, climáticos y culturales, entre otros; y su evidencia no tiene que ver con algún patógeno, si con un problema de transporte de calcio dentro de la planta (Muñoz, 2005).

Algunos de los desórdenes asociados con deficiencias de Ca son: mancha amarga, peca corchosa, agrietado del fruto, oscurecimiento interno, pudrición café del corazón en manzano, mancha terminal en aguacate, oscurecimiento interno de la col de bruselas, punta quemada de col y de col china, mancha hundida y agrietado de zanahoria, corazón negro del apio, agrietado de cerezo, corazón negro y punta quemada de achicoria, corazón café y punta quemada de escarola, punta quemada de lechuga, punta blanda de mango, mancha hundida de chirivia, llenado deficiente de cacahuete, necrosis del hipocótilo de frijol, mancha corchosa de peral, necrosis apical de chile, brotación escasa y punta quemada de papa, agrietado de ciruela pasa, punta quemada de la hoja en fresa y pudrición apical de sandía (Shear, 1975), pudrición apical en tomate (Morgan, 2000), vitescencia del melón (Berrios, 2004), reventado de las vainas de frijol ejotero y chicharo, frutos arrugados y de mal sabor en pepino, endurecimiento de la piel en berenjena (Sánchez, 2004).

A continuación sólo se describen algunos de los efectos de las deficiencias de calcio, que están relacionados con la investigación.

2.5.8.1. Pudrición apical

La pudrición apical ha sido reportada desde todas las áreas de producción de tomate en el mundo (Morgan, 2000) y es ampliamente reconocida como un desorden fisiológico causado por una deficiencia puntual de Ca (He *et al.*, 1999; Muñoz, 2005). En invernaderos, a pesar de un adecuado suministro de Ca, la producción de tomate esporádicamente presenta esta fisiopatía (Ho *et al.*, 1999). Comienza con la aparición de lesiones de coloración tostado claro, húmedas, que al aumentar su tamaño se oscurecen y se vuelven coriáceas, llegan a hundirse a medida que los tejidos infectados pierden agua y a menudo pueden ser enmascaradas por una podredumbre negra secundaria (Scoot, 2001). Esta enfermedad se inicia normalmente en el extremo pistilar (polo opuesto al pedúnculo) del fruto joven durante el período de rápida expansión, puede también producirse en algunos de los lados del fruto. En ocasiones, se producen lesiones internas (semilla o pulpa negra) que no son visibles en el exterior sólo hasta que el fruto se parte (Ehret y Ho, 1986b), los síntomas externos de la pudrición apical pueden ser observados poco antes de las cuatro semanas después de la antesis (Tello y Moral, 2001). Cuando el fruto alcanza la máxima velocidad de expansión, alrededor de 3 semanas después de la antesis, se presenta la menor concentración de Ca en su parte distal (Ho *et al.*, 1987; Adams y Ho, 1992). La baja concentración de Ca puede ser causada por una importación intrínsecamente baja de Ca en el fruto y por una pobre distribución de éste hacia la pulpa distal (Ho *et al.*, 1999). El tejido muerto frecuentemente induce madurez prematura del fruto adyacente al área hundida. Bajo condiciones favorables al desarrollo de la pudrición apical, los primeros frutos que maduran en la planta tienden a ser aquellos afectados por este desorden, y como resultado, casi todos los frutos pequeños muestran color de maduración (Morgan, 2000).

2.5.8.2. Agrietado del fruto

Existen dos tipos de agrietado o rajado en el fruto de tomate: el concéntrico y el radial. El agrietado concéntrico consiste en la rotura de la epidermis formando patrones circulares alrededor de la cicatriz peduncular. El agrietado radial consiste en una rotura que irradia desde la cicatriz peduncular hacia la pistilar. Las grietas se producen en los tomates a medida que van

madurando, dependiendo del cultivar. Si las condiciones son favorables, los frutos de cultivares susceptibles se agrietan cuando se encuentran en estado verde-maduro. En cultivares menos susceptibles, el agrietado no ocurre hasta que comienza el cambio de color del fruto; en cultivares más tolerantes el agrietado ocurre en el estado rojo-maduro (si las grietas en el tomate maduro son poco profundas, son denominadas estallidos); en cultivares resistentes apenas se produce el agrietado. Si el agrietado ocurre en un estado temprano del desarrollo del fruto, las grietas serán más largas y profundas. La susceptibilidad al agrietado está relacionada con la fuerza y la capacidad de estiramiento de la epidermis del fruto. La alteración de la tasa de crecimiento favorece esta enfermedad; además los frutos de crecimiento rápido tienden a ser más susceptibles (Scoot, 2001). Este fenómeno puede incrementarse debido a la reducción de la rigidez de las paredes celulares por la concentración baja de Ca, las plantas suculentas (con una nutrición alta de nitrógeno y baja en potasio) tienden a ser más susceptibles. La lluvia y las grandes fluctuaciones de temperatura también inducen el agrietado; además, los frutos expuestos al ambiente se agrietan más fácilmente que los que se encuentran protegidos por el follaje (Scoot, 2001; Muñoz, 2005).

2.5.8.3. Mancha dorada

La mancha dorada en frutos maduros de tomate puede ser un problema de calidad particularmente en verano. Las manchas son causadas por la acumulación de cristales en el mesocarpio o de rafidios en la pulpa del fruto. Los cristales y rafidios son de oxalato de Ca. La mancha dorada puede favorecerse por incrementos de Ca o P, pero puede reducirse por incrementos de NO_3^- o disminuyendo el contenido de Cl^- , NH_4^+ , K^+ o la CE en la solución nutritiva. La incidencia de este desorden fisiológico es favorecida por una alta humedad relativa, al disminuir el transporte de Ca al fruto debido a la baja transpiración (Ho *et al.*, 1999).

2.5.9. Control

Es importante la prevención de la pudrición apical en el cultivo de tomate, principalmente durante la fase de fructificación, con el fin de minimizar las pérdidas e incrementar la calidad del producto.

Se recomienda la realización de análisis de suelo para detectar la carencia de calcio (Scoot, 2001). El encalado (Berrios, 2004), la aplicación correcta de fertilizantes y agua, principalmente

durante la fase de fructificación, la utilización de cultivares resistentes a la pudrición apical, así como el control de los factores que impiden el aprovechamiento del Ca, minimizan este problema (Ho *et al.*, 1999). Se ha reportado que la incidencia de esta enfermedad es menor en soluciones que tienen más de 300 mg de calcio por litro. La fertilización foliar puede ayudar a corregir problemas de deficiencia en el corto plazo. Se pueden hacer aplicaciones foliares de nitrato de calcio del 0.75 al 1 % (7.5 a 10 kg de nitrato de calcio por cada 1000 litros de agua) o de cloruro de calcio del 0.4 al 0.5 % (4 a 5 kg de cloruro de calcio por cada 1000 litros de agua); hay que enfatizar que se debe asperjar el fruto verde, ya que asperjar las hojas solas no tiene efecto benéfico (Morgan, 2000).

Las aspersiones de Ca (100 mL de una solución de CaCl_2 , 0.1 M, cada dos semanas) en plantas de tomate cv. Trust disminuyeron (de 1.32% a 0.45%) la incidencia de la pudrición apical en los frutos de la producción temprana hasta fines de abril. Las aspersiones de Ca sólo pueden ser usadas al inicio de la estación (enero) cuando la radiación solar no es alta (Hao *et al.*, 2000).

En frutales como uva de mesa, manzanas, aguacates, naranjas, etc., su momento de aplicación es cuando estos conductos aun están funcionales y el fruto se encuentra transpirando. Esto ocurre en el primer tercio de crecimiento del fruto, luego este cesa sus conexiones xilemáticas y por ende, deja de transpirar y deja de recibir calcio. Este calcio que debe entrar en los primeros estadios de crecimiento de los frutos es orientado hacia la construcción de la pared celular otorgándole resistencia al fruto el cual le permite una mejor vida de postcosecha y una mayor resistencia al transporte (Berrios, 2004).

El agrietado abiótico de los frutos se controla usando cultivares resistentes, un manejo adecuado del agua, un programa de nutrición correcto que prevenga la formación de plantas suculentas, una poda adecuada que limite la exposición de los frutos al sol, y prevenir la defoliación por enfermedades foliares (Scoot, 2001).

2.6. Establecimiento y manejo de un cultivo hidropónico

El adecuado manejo del cultivo en conjunto con una buena variedad, son la clave para efficientizar la productividad y obtener frutos de alta calidad, como la que demanda el mercado tanto nacional como de exportación. A continuación se describen someramente las actividades principales de un cultivo hidropónico común en el centro del país.

2.6.1. Contenedores

Para la producción de tomate en un sistema hidropónico se puede utilizar cualquier contenedor que proporcione el espacio suficiente para el desarrollo de las raíces y que garantice un buen drenaje. La plantación en bolsas de polietileno se ha vuelto una práctica común, por su bajo costo y fácil manejo (Velasco y Nieto, 2005). Éstas de preferencia deben ser de polietileno negro calibre 700 tratado contra rayos ultravioleta para garantizar que duren al menos cuatro ciclos de producción. Sus dimensiones pueden ser de 40 por 45 cm ó de 40 por 40 cm. En la base de las bolsas deben hacerse seis perforaciones de 0.5 cm de diámetro para que drene el exceso de agua o solución nutritiva del sustrato (Pérez y Castro, 1999).

2.6.2. Sustrato

El término “sustrato” se aplica a todo material sólido distinto del suelo in situ, natural, en el cual se desarrollan las raíces del cultivo (Abad *et al.*, 2004). Además del soporte que le brinda a la planta, los sustratos le proporcionan al cultivo agua, nutrientes, oxígeno, temperatura óptima y oscuridad absoluta para el desarrollo radical. Atendiendo a su origen, los sustratos pueden ser orgánicos e inorgánicos. Dentro del primer grupo se tiene a las turbas, sphangum, fibra de coco, subproductos agroindustriales (acículas de coníferas y corteza de pino) y subproductos orgánicos comportados. En el segundo grupo se considera a los de origen natural poco o nada transformados (grava, arena, etc.) o transformados (arilita, lana de roca, perlita, vermiculita). Un buen sustrato debe reunir las siguientes propiedades físico- químicas: buena capacidad de retención de agua fácilmente disponible, buena porosidad, aireación suficiente, granulometría equilibrada, baja densidad aparente, estructura estable, capacidad de intercambio catiónico compatible con la solución nutritiva aplicada al cultivo, baja salinidad, lenta velocidad de descomposición, libre de semillas y reservorios de plagas y enfermedades, etc. (Durán *et al.*, 2000).

La elección de un material u otro depende de la disponibilidad del mismo, la finalidad de la producción, su costo, las propiedades físico-químicas y las experiencias previas en su utilización. Se omite la descripción de cada uno de ellos y sólo se menciona someramente al tezontle por ser el más utilizado en la región donde se estableció el trabajo.

El tezontle es un material de origen volcánico de coloración rojiza, fácil de conseguir, con buena capacidad de retención de humedad, buena aireación, inerte, estéril, económico y fácil de

manejar. El tamaño adecuado de las partículas para emplearse en la parte superior de la cama o bolsa debe ser, en promedio, de 0.5 cm de diámetro, y el empleado para el drenaje en los contenedores, de 1.0 a 1.5 cm. El material de estos diámetros se consigue directamente en las minas o bien debe ser cribado para uniformizarlo (Pérez y Castro, 1999).

2.6.3. Transplante

El transplante se lleva a cabo entre los 28 y 30 días después de la siembra de la semilla. Cuando las plántulas han alcanzado una altura de 15 a 20 cm o tengan cuatro hojas verdaderas, se colocan en el centro de la bolsa con sustrato para su desarrollo. Durante el transplante se debe tener especial cuidado de que las plántulas lleven el cepellón completo para evitar rompimiento de raíces y posibles marchitamientos. Es conveniente presionar el sustrato después de que la plántula ha sido colocada en el lugar definitivo para favorecer el anclaje de la misma (Pérez y Castro, 1999). Esta actividad debe realizarse preferentemente por la tarde para evitar la deshidratación de las plántulas (Velasco y Nieto, 2005).

2.6.4. Tutorado

Aunque el tomate es una planta herbácea en su etapa inicial de crecimiento, el tallo se lignifica parcialmente en etapas posteriores, pero la debilidad de su cuello exige el empleo de soportes o tutores para mantenerla erecta (Nuez, 2001). El tutoreo se inicia entre los 15 a 25 días después del transplante, cuando la planta alcanza una altura aproximada de 25 a 30 cm o tienen seis hojas verdaderas (antes de que empiecen a doblarse). Tiene como objetivo facilitar las labores culturales (podas, aplicación de agroquímicos, cosecha, etc.), evitar el sombreado, mejorar la ventilación y que la planta no este en contacto con el sustrato o el suelo (Velasco y Nieto, 2005). El sistema de tutoreo para las plantas que se conducen a un sólo tallo consiste en una serie de estructuras metálicas reforzadas (“porterías”) que pueden ser individuales o integradas al invernadero con capacidad de carga, alambre galvanizado calibre 10 y rafia. La altura de las porterías está en función del número de racimos que se deseen cosechar. Un extremo de la rafia se amarra en la base de la planta o a anillos sujetadores (el nudo no debe ser corredizo o muy fuerte para evitar estrangulamiento del tallo y tampoco muy suave para evitar el deslizamiento de la rafia), el otro extremo de la rafia se fija en el alambre. Al mismo tiempo que la planta se va desarrollando, se enreda la rafia en espiral sobre el tallo a cada dos o tres hojas de éste. Si se

conducen las plantas con más de diez racimos, el hilo de la rafia debe ser de mayor longitud para ir bajando la planta conforme se van cosechando los primeros racimos (Pérez y Castro, 1999).

2.6.5. Poda

La poda es una práctica ampliamente utilizada en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero (Leonardi *et al.*, 2004). Permite encausar el desarrollo vegetativo de la planta, incrementar el tamaño de los frutos y reducir la incidencia de enfermedades (Salazar, 2005); además con esta práctica se tiene una mejor respuesta a las condiciones ambientales (temperatura, luz, nutrición) (Contreras y Sánchez, 1997). Como ventaja adicional, permite concentrar toda la cosecha de un ciclo en un intervalo corto de tiempo, para vender el fruto en las fechas (ventanas) en que los precios son más favorables para el productor (Juárez *et al.*, 2000).

Estudios de la influencia de diferentes métodos de poda en tomate, han demostrado que las plantas producen más altos rendimientos y calidad de fruto cuando son podadas a un solo tallo (Patiño, 2001; Nuez, 2001). Esta actividad consiste en la eliminación de los brotes laterales o chupones que se desarrollan en la base de las axilas de las hojas del tallo principal, se lleva a cabo cuando los brotes alcanzan una longitud entre 3 y 5 cm. Si los brotes no se eliminan a tiempo se puede provocar mayor susceptibilidad al ataque de enfermedades, debilitamiento en la planta y que los fotoasimilados sean tardíamente conducidos a los puntos de demanda (Pérez y Castro, 1999; Velasco y Nieto, 2005). Se recomienda hacer una aplicación de fungicida al follaje después de concluir la poda para prevenir la presencia de enfermedades (Gil y Miranda, 2000).

El despunte del tallo principal en cultivares de crecimiento indeterminado, es una práctica habitual después de haber conseguido el número de racimos deseado. En este caso se dejan dos o tres hojas arriba del último racimo (Nuez, 2001). Con el despunte se reduce la altura de la planta, modificando el hábito de crecimiento de indeterminado a determinado, concentra la producción en menos racimos, puede tenerse una mayor densidad de plantas, reducir el ciclo del cultivo e incrementar la eficiencia productiva (producción continua durante todo el año) (Sánchez y Ponce, 1998); con ello el menor rendimiento por planta se compensa con más plantas por unidad de superficie (Sánchez *et al.*, 1999).

La poda se debe realizar con tijeras o una navaja; es importante desinfectarlas con una solución de cloro al 2% para evitar la transmisión de enfermedades por esta vía (Velasco y Nieto, 2005).

2.6.6. Eliminación de hojas

En un sistema de producción intensiva de tomate, la poda de hojas es obligada (Pérez y Castro, 1999). Esta labor produce ventilación y aireación en la parte baja de la planta, eliminando el exceso de humedad que genera un microclima e incrementa los problemas de bacterias, hongos y otros patógenos (Gómez, 2003). El momento en que deben eliminarse las hojas viejas es cuando los primeros frutos alcanzan su madurez fisiológica, cuidando siempre que exista al menos una o dos hojas activas en la parte inmediata superior al último racimo. Si las hojas no se eliminan pueden retardar la maduración de los frutos (Leonardi *et al.*, 2004; Velasco y Nieto, 2005).

2.6.7. Raleo de frutos

Para producir frutos de calidad, se pueden eliminar uno o dos de los últimos frutos que aparecen en el racimo, ya que estos suelen quedar más chicos y son de poco valor comercial. La eliminación puede realizarse manualmente o con tijeras, inmediatamente después del amarre o máximo cuando los frutitos tengan el tamaño de una “canica”. Ocasionalmente el raleo de frutos también se justifica cuando se presentan síntomas de pudrición apical por deficiencia de calcio (Pérez y Castro, 1999; Velasco y Nieto, 2005).

2.6.8. Manejo del riego en un cultivo hidropónico

El concepto de riego en los cultivos sin suelo difiere del riego clásico; aquí va asociado con la reposición de la solución nutritiva a pequeñas dosis y alta frecuencia debido al pequeño volumen de sustrato utilizado y a su limitada retención de agua (Cánovas, 2001).

En el cultivo sin suelo, el riego y la nutrición se efectúan de forma automática a través de un sistema de goteo por microtubo que se coloca en la parte superior de cada bolsa y que percolará a través de ésta. Es muy importante monitorear la solución nutritiva en sus parámetros pH, CE, relación de aniones, relación de cationes, así como la temperatura (Lara, 2000).

La duración y frecuencia del riego deben adaptarse a los sistemas de cultivo y de riego disponibles. Varía dependiendo de factores, tales como la temperatura del ambiente, intensidad de la radiación solar, tipo de sustrato utilizado, variedad y fase fenológica de la planta (Adams, 2004; Alarcón, 2005). Conforme la planta va desarrollando la demanda de agua y en general de solución nutritiva, se incrementa (Rodríguez, 2004). En el almácigo (semillero) se utiliza solución nutritiva diluida y a partir del transplante hasta la floración se emplea solución a 50% de su

concentración original. Cuando la planta está en plena producción, recibe la solución al 100% de su concentración (Sandoval, 2005).

Durante los primeros 30 días después del trasplante, el tomate requiere alrededor de 0.3 litros planta día⁻¹; en los siguientes cuarenta días el consumo se incrementa a 0.8 litros diarios y finalmente el resto del ciclo demanda de 1 a 1.5 litros planta día⁻¹. En tezontle o arena se recomiendan tres a cuatro riegos distribuidos diariamente en el trayecto del día (9:00, 12:00, 14:00, 17:00 horas) dependiendo del gasto, volumen del sustrato y fase fenológica de la planta, aunque generalmente el tiempo de aplicación varía de 10 a 25 minutos cada riego, pudiéndose incrementar los riegos en épocas de mucha demanda de agua o de temperaturas e insolaciones muy altas (Velasco y Nieto, 2005).

En invierno se recomienda que el primer riego no se aplique antes de las 9:00 de la mañana, ya que la temperatura de la solución es relativamente baja y esto afecta el aprovechamiento de los nutrimentos por las plantas, sobre todo el fósforo. También se debe tener cuidado que el último riego no se realice muy tarde (después de las 17:00 horas), ya que al incrementar la cantidad de agua en el sustrato, la humedad relativa por la tarde-noche se incrementa, favoreciendo la presencia de enfermedades. Cuando el sistema de producción es en suelo y con acolchado no es necesario aplicar varios riegos al día, con uno o dos es suficiente (Velasco y Nieto, 2005).

En la estación de crecimiento más caliente se podría emplear la solución al 75%, pero incrementando la frecuencia de riegos, para mantener en condiciones normales la absorción de agua y nutrimentos. Por el contrario, si la intensidad de luz es baja por la presencia de alta nubosidad durante períodos prolongados (más de una semana), es conveniente emplear la solución nutritiva más concentrada (125%) (Pérez y Castro, 1999).

En sistemas hidropónicos, se toman muestras de solución para el análisis individual de los principales nutrimentos a intervalos regulares, usualmente cada semana. Cuando los resultados analíticos están disponibles, la solución recirculante se ajusta para alcanzar las concentraciones ideales. Por ejemplo, en tomate el requerimiento de K aumenta durante la fructificación y más o menos el 60% del K absorbido se mueve hacia el fruto. La relación K/N (g/g) de 1.2/1 cuando las flores en el primer racimo están abiertas, se incrementa a 2.5/1 cuando las flores del noveno racimo abren. Después de que los primeros dos racimos se colectan, la demanda de los frutos totales es menor y la fracción K/N se estabiliza a 2/1 (Adams, 2004).

Es conveniente lavar el sistema cada ocho días (fin de semana) con agua acidulada, para evitar la obturación de los goteros, y reducir la acumulación de sales en el sustrato; de lo contrario, pueden presentarse problemas nutricionales en el cultivo.

2.7. Producción de semilla

Varios son los factores que se combinan para influir en el éxito o en el fracaso de la producción de semilla de calidad en una zona determinada. Mientras mejor se conozcan tales factores y la influencia que ejercen en el cultivo, mayores serán las posibilidades de obtener altos rendimientos; precisando que no necesariamente las condiciones para lograr un buen crecimiento de las plantas en la producción comercial, serán las que se requieren para la producción óptima de semilla (George, 1989).

El proceso de producción de semilla requiere de conocimientos especiales, como la oportunidad de cosecha (estado de madurez en que la semilla alcanza su máxima calidad fisiológica), métodos de cosecha, procesamiento, almacenamiento y comercialización, para la toma acertada de decisiones en cada una de las etapas mencionadas (Pereira *et al.*, 2002).

En tomate los criterios que predominan en la producción de nuevas variedades son: productividad, resistencia a enfermedades, resistencia a la salinidad del agua, facilidad de cultivo, precocidad, forma, color y homogeneidad del fruto, resistencia a la manipulación y al transporte, larga vida de anaquel, y con buenas cualidades gustativas. Actualmente, es fácil encontrar en el mercado variedades que se adaptan a una amplia gama de ambientes de producción; dentro de éstas están aquellas que son aptas para la cosecha mecanizada, y las de crecimiento indeterminado para su cultivo en invernadero (Rodríguez *et al.*, 2001).

En un sistema intensivo de producción, sin duda es necesario el uso de semilla híbrida de alta calidad como parte básica de este engranaje (Austin, 2006). Un nuevo híbrido debe llenar dos expectativas: la del productor (alto rendimiento, adaptabilidad a las diferentes zonas, climas, manejo y tolerancia a enfermedades) y la del mercado (aceptación, calidad y vida postcosecha) (Patiño, 2001).

La adopción de híbridos por parte de los productores nacionales ha disminuido los riesgos en la producción y ha incrementado los rendimientos y la calidad de las cosechas (Morales, 2003).

La producción de semilla híbrida de tomate debe hacerse preferentemente bajo condiciones de invernadero. A campo abierto se requiere bastante mano de obra (500 jornales ha⁻¹) y se dificulta el trabajo (Villareal, 1982).

El proceso de hibridación en esta hortaliza se lleva a cabo en tres etapas (Rodríguez y Piñón 2004; Yogeesha *et al.*, 1999):

- a) Castración del progenitor femenino. Esta operación consiste en eliminar los estambres antes de que el polen esté maduro (cuando el cono estaminal presenta una coloración verde amarillento). Las anteras se eliminan con pinzas dando un tirón, los pétalos se pueden eliminar totalmente o dejar parte de ellos para indicar que la flor ha sido castrada. Sólo se dejan en el racimo las flores que han sido castradas para tener un control en la polinización. En campo la emasculación se efectúa por la mañana y más tarde se realiza la polinización. Para evitar este laborioso proceso se pueden usar líneas androestériles.
- b) Cosecha del polen del progenitor masculino. Usualmente el progenitor masculino se siembra 21 días antes que el femenino, para garantizar que haya suficiente polen y asegurar la máxima fertilización de la planta hembra. Normalmente se usa una proporción de 1:5 (una planta macho por cada cinco plantas hembra). El polen se colecta sacándolo manualmente de las flores o con un vibrador.
- c) Polinización. La polinización se hace a mano. El polen colectado se aplica a cada flor con la punta del dedo o con un pincel fino; también se puede sumergir completamente el estigma de la flor castrada en el recipiente que contenga el polen.

Cada flor polinizada se cubre con bolsas de glassine y se etiqueta para diferenciar los frutos que tendrán semilla híbrida (Villareal, 1982). Se recomienda eliminar los frutos que no fueron obtenidos por cruzamiento para evitar confusiones al momento de la cosecha (George, 1989).

Por otro lado, si se considera que todos los cultivares modernos de tomate se autopolinizan y que la polinización se realiza al momento de la antesis, el aislamiento en espacio y tiempo del lote de semillas debe hacerse con base a las normas del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) para cada categoría.

La pureza genética de una variedad puede alterarse entre otras cosas por la mezcla mecánica de la semilla y por el cruzamiento con plantas no deseables, por lo que debe cuidarse el aislamiento del

lote, y el manejo correcto durante el procesamiento y almacenaje, ya que son aspectos que garantizan su mantenimiento (Kanwar, 2003).

2.7.1. Cosecha

Para la obtención de la semilla se eligen las plantas más vigorosas y sanas, que presenten todos los caracteres de la variedad. Los frutos destinados a la producción de semilla deben cosecharse maduros (completamente rojos) para facilitar la trituración y por ser en este estado de madurez cuando la semilla tiene su máxima calidad fisiológica (Moreira y Nakagawa, 1988). Las semillas son removidas por el corte del fruto, se lavan en agua y se secan. La pulpa también se remueve por fermentación o por el uso de ácido clorhídrico diluido (Doijode, 2001).

En la cosecha el número de cortes dependerá del manejo dado al cultivo, de las condiciones climáticas imperantes y del hábito de crecimiento: 7-8 cortes en las variedades determinadas y de 12-15 en las indeterminadas (Ortiz, 2004).

2.8. Calidad de la semilla

Semánticamente, la calidad es un atributo o propiedad que connota superioridad o excelencia (Delouche, 2005).

La semilla de alta calidad es una parte importante y costosa del componente tecnológico en la producción, por lo que su elección debe ser cuidadosa para garantizar la obtención del producto con la calidad requerida por el mercado tanto nacional como de exportación (Morales, 2003).

La mayor calidad de una semilla en cualquier especie se obtiene cuando esta alcanza su madurez fisiológica (momento en que acumula la máxima cantidad de materia seca) (Copeland y McDonal, 2001; Groff, 2002), motivo por el cual es importante contar con indicadores visuales, que ayuden a los agricultores a hacer una cosecha oportuna para evitar su deterioro en campo (Martínez *et al.*, 2004). En tomate el cambio de color del fruto es una característica visual de gran utilidad; en este caso, la maduración de las semillas generalmente coincide con el inicio de cambio de coloración de los frutos (Dias, 2001). La semilla extraída de frutos rojos, presenta la máxima germinación comparada con aquella extraída de etapas cercanas a la maduración del fruto y las extraídas de frutos completamente rojos (cerca a la sobremaduración); estas últimas pueden entrar en un proceso de deterioro sin que el fruto presente síntomas de descomposición (Ramírez *et al.*, 2004).

Como ya se mencionó, el tomate es la hortaliza de mayor popularidad en el mundo, por tanto, la demanda de semilla de buena calidad cada vez va en aumento.

La calidad de la semilla es un concepto múltiple que involucra todas aquellas características que determinan su valor para la siembra (Hampton, 2001; 2002), y está compuesta por un conjunto de atributos que son utilizados para diferenciar a un lote de semillas de los demás (Zorato, 2005).

Según Carballo (2005) estos atributos son:

- a) Calidad genética. Está determinada por el genotipo de la planta y es responsabilidad del fitomejorador. En este caso la semilla debe representar con fidelidad las características genotípicas de la variedad;
- b) Calidad física. Comprende la proporción de semilla pura, uniforme en tamaño y forma, libre de semillas de otras variedades, de plantas indeseables, de malezas y especies nocivas;
- c) Calidad sanitaria. Implica que la semilla se encuentre libre de plagas y microorganismos o de sus estructuras reproductivas, considerándose tres formas de asociación patógeno-semilla: acompañamiento, transporte externo y transporte interno; y
- d) Calidad fisiológica. Se refiere a la viabilidad de las semillas o al potencial que éstas tienen para la germinación, incluyendo el vigor; como resultado de la expresión de factores propios del genoma de la variedad y de su interacción con los factores ambientales que la rodean durante su desarrollo, cosecha y almacenamiento.

En la práctica es difícil identificar cual de estos atributos es el más importante, por este motivo no es aconsejable su mención aisladamente. La consideración de uno u otro en el análisis de semillas, no es suficiente para definir la calidad de las mismas. A pesar de que estos atributos actúan en conjunto, no se puede negar que el componente fisiológico ha recibido mayor atención por parte de los investigadores (Filho, 2002).

La calidad fisiológica implica la integridad de las estructuras y procesos fisiológicos que permiten a la semilla mantener altos índices de viabilidad (Moreno *et al.*, 1998), y puede ser alterada por el manejo de la planta madre durante su desarrollo, en las operaciones de cosecha, procesamiento y las condiciones de almacenamiento hasta que las semillas sean sembradas (Sawan *et al.*, 1999; Krzyzanowski y França-Neto, 2003). Sus principales indicadores son la

germinación y el vigor, que dependen del genotipo y del cuidado en la producción y manejo postcosecha (Copeland y McDonald, 2001, Pandita y Nagarajan, 2001).

Es importante entender que la prueba de germinación no es una medida adecuada del potencial de una semilla para la producción de plántulas, ya que es conducida en condiciones óptimas de laboratorio (Delouche, 2002); en cambio, la prueba de vigor sí define la calidad de un lote de semillas, porque representa las condiciones que se pueden presentar en campo (Pereira *et al.*, 2002).

En ausencia de dormancia, el porcentaje de plántulas normales en una prueba de germinación debe ser cercano al 100 %, si por alguna razón predominan las plántulas anormales o las semillas muertas, significa que ha comenzado el deterioro fisiológico de la semilla (Hampton, 2002; Ortiz, 2004).

El deterioro de las semillas es un proceso natural que envuelve la interacción de cambios citológicos, fisiológicos, bioquímicos y físicos de las semillas y como resultado se tiene la pérdida del vigor y la viabilidad de las mismas (Krzyzanowski y Franca-Neto, 2003). Comienza en el campo después que la semilla ha alcanzado la madurez fisiológica y continúa hasta perder su capacidad de germinar. La duración del proceso de deterioro es determinada principalmente por la interacción entre la herencia genética, contenido de humedad y la temperatura (Delouche, 2002). El deterioro es progresivo y provoca en la semilla los siguientes cambios durante el almacenamiento: degradación de la membrana celular, daños en los mecanismos de energía, regulación de biosíntesis y síntesis de proteínas durante la germinación, y reducciones en la respiración, velocidad de germinación, capacidad de almacenamiento, velocidad de crecimiento, desarrollo, uniformidad, resistencia de la planta a factores adversos, producción, emergencia en campo, incremento en el número de plántulas anormales y pérdida de la capacidad de germinación (Shephard *et al.*, 1995; Delouche, 2002). La germinación, el vigor de la semilla y el deterioro están fisiológicamente ligados, son aspectos recíprocos de la calidad de las semillas. El vigor disminuye a medida que el deterioro aumenta. El deterioro es el proceso de envejecimiento y muerte de las semillas, y el vigor es el principal componente de la calidad afectado por el proceso de deterioro. La relación entre germinación con deterioro y vigor es similar (Delouche, 2002).

El conocimiento del vigor como componente de la calidad fisiológica de la semilla es importante, para garantizar densidades de población óptimas, a fin de maximizar rendimiento y/o calidad de

la producción (Hampton y Coolbear, 1990); se utiliza para explicar las diferencias en comportamiento de distintos lotes de semilla (Krzyzanowski y Franca-Neto, 2003). Cuando las condiciones ambientales son desfavorables, tanto en campo como durante el almacenamiento, el comportamiento de la semilla puede ser impredecible si no se conoce su vigor (Filho, 2002).

A pesar de que no hay una definición unánime sobre el vigor, existe consenso de que este representa el aspecto más importante de la calidad fisiológica de las semillas.

El vigor es definido como la suma total de aquellas propiedades de las semillas que determinan el nivel de actividad y el comportamiento de las semillas o de un lote de semillas durante la germinación y emergencia de las plántulas. Las semillas que muestran un buen comportamiento son consideradas de alto vigor, y las que presentan un pobre comportamiento son llamadas de bajo vigor (ISTA, 1995).

La predicción del vigor de un lote de semillas antes de la siembra, es un parámetro importante en la innovación de muchas pruebas de vigor (Vijayakumar, 2003). Se recomienda realizar una prueba de vigor al inicio del período de almacenamiento y dos meses antes de la siembra para predecir el comportamiento del lote de semillas (Pereira *et al.*, 2002). Hasta el momento no existe una prueba de vigor universalmente aceptada. Cada una de ellas evalúa determinado aspecto del comportamiento de la semilla, por lo que es recomendable analizarlas en conjunto y poder definir las características del lote de semillas (Filho, 2002).

Las pruebas más utilizadas en algunas especies son: la prueba de frío para maíz, envejecimiento acelerado en soya, conductividad eléctrica y lixiviación de potasio en semillas de leguminosas, la tinción con sales de tetrazolio en semillas de algodón, cacahuate, café, zanahoria, frijol, maíz, especies forrajeras y soya. No obstante, existen evidencias de la aplicación de estas pruebas para evaluar la calidad fisiológica, la prueba más utilizada por su sencillez y bajo costo es la que evalúa el desempeño de las plántulas en términos de la velocidad de germinación o emergencia de plántulas, primer conteo de la prueba de germinación, peso de la materia verde o seca, crecimiento de plántulas o de algunas partes y clasificación del vigor de plántulas (Ana, 2001).

Cabe señalar que el desarrollo de la plántula durante la germinación y la emergencia de ésta en campo, depende completamente de las reservas cotiledonarias de la semilla, y después su dependencia es de la fotosíntesis en concordancia con la presencia de hojas, las cuales son importantes para su crecimiento y desarrollo (Naidu *et al.*, 1999). Por ello es necesario un buen

manejo de la planta madre donde la nutrición juega un papel preponderante, para garantizar la obtención de semilla con la más alta calidad englobando todos los atributos que la caracterizan.

Sharma y Thakur (2002) probaron el efecto de la inoculación de la semilla con el biofertilizante “Natrín©” combinado con cuatro niveles de nitrógeno (0, 50, 75 y 100 kg ha⁻¹) y una base de 75 P₂O₅-60 K₂O kg ha⁻¹, sobre el rendimiento y calidad de semilla de tomate. Los resultados indican que el máximo número de semillas por fruto, rendimiento de semilla ha⁻¹, peso de mil semillas, porcentaje de germinación e índice de vigor de la semilla, fueron obtenidos con la combinación del tratamiento formado por 0.5 kg ha⁻¹ de “Natrín©” y la aplicación de la dosis más alta de N (100-75-60 kg ha⁻¹ de NPK).

En el mismo sentido, para probar los efectos de la fertilización con NPK, Babiker y George (1984) probaron los niveles de 7.958 y 11.3139g N; 2.994 y 3.8449g P₂O₅; 14.313 y 17.3139g K₂O por maceta de 15 L, respectivamente. Los resultados muestran que el rendimiento de fruto se incrementó significativamente con la aplicación de los niveles más altos de NPK; el rendimiento de semilla y el número de semillas por planta fueron incrementados significativamente por la interacción de N₂P₂K₁; el porcentaje de plántulas normales y de plántulas emergidas mejoró con N₂, y el número de semillas por fruto no fue afectado por ninguno de los tratamientos utilizados.

Por otro lado, Varis y George (1985) probaron en el cultivo de tomate la aplicación de 50 y 100g de N; 21.8 y 43.6g de P₂O₅; 83 y 116 g de K₂O por m⁻²; obteniendo que el nivel más alto de N incrementó el número de flores, rendimiento de frutos y el de semillas; además promovió una floración precoz y aceleró la maduración del fruto; asimismo, en P el nivel más alto incrementó el rendimiento de semilla, mientras que la interacción PK permitió obtener una floración más temprana y un mayor porcentaje de frutos formados. Por tanto, todas las combinaciones fueron favorables para obtener un alto rendimiento de fruto y semilla, así como el porcentaje más alto de frutos formados, en tanto que la combinación más alta de NPK produjo el mayor peso de 1000 semillas.

En el cultivo de pimiento “chile dulce” se probaron 1900-640-2800 kg NPK ha⁻¹. Los resultados indican que hubo un efecto significativo sobre el número de frutos por planta y en el rendimiento y calidad de la semilla producida (Osman y George, 1984).

En cuanto a estudios sobre soluciones nutritivas, Rodríguez (1996) exploró el efecto tres soluciones con presiones osmóticas de 0.5, 0.7 y 0.9 atm; sobre el crecimiento, producción y calidad de frutos y semilla de tomate, y encontró que la presión osmótica influyó sobre el

comportamiento de las plantas independientemente de la etapa de desarrollo, y que con la solución de 0.9 atm se observó la tendencia a un mayor potencial de rendimiento, así como mejor calidad de la semilla, sobre todo en el vigor.

Con un enfoque similar, Gutiérrez (1997) probó soluciones nutritivas con presiones osmóticas de 0.0526 y 0.72 atm y niveles de fósforo de 0.8690 y 1.2935 meq L⁻¹ sobre la producción de fruto y semilla de calidad de dos genotipos de tomate; en las variables de producción de fruto y semilla, no se encontraron diferencias significativas entre las presiones osmóticas, aunque sí se manifestó una tendencia a incrementar la calidad del fruto y la calidad de la semilla con una solución nutritiva más diluida (0.52 atm); en cuanto a los niveles de fósforo, se observó que el nivel más bajo incrementó el peso y diámetro de fruto, mientras que el más alto incrementó el número de semillas.

2.9. Rendimiento de semilla

El rendimiento y calidad de la semilla varía en los frutos de cada estrato de la planta (Verma *et al.*, 1998), y depende de factores como la constitución genética de la variedad (Dickson, 1980), condiciones o ambiente de producción en que se desarrolla la planta madre (Roberts y Black, 1989), y condiciones ambientales que prevalecen durante la cosecha y manejo postcosecha de la semilla (Abdul-Baki, 1980). Cuando las temperaturas son muy bajas, es frecuente que los frutos produzcan pocas o ninguna semilla y cuando estas son elevadas, se pueden presentar problemas de caída (aborto) de flores; la solución puede ser desarrollar líneas que cuajen bien en esas condiciones (Chamarro, 2001).

La nutrición y diversos factores también influyen en el número de frutos y en el rendimiento de fruto y semilla (Mosler, 2005); sin embargo, existe una alta correlación entre el número de semillas desarrolladas y el número de lóculos por fruto, lo cual determina que cada variedad produzca diferente cantidad de semilla (Castillo *et al.*, 1986). Además de la variedad, el tamaño y la calidad del fruto de tomate para semilla están íntimamente relacionados con la fisiología de la planta (Hernández, 2006); normalmente, los frutos de tamaño medio a grande producen mayor cantidad de semilla (Doijode, 2001). Por otro lado, el número de semillas por fruto, posición del fruto en el racimo, ubicación del racimo en la planta, y las condiciones climatológicas en las que se desarrolle el fruto, influyen en el rendimiento de semilla (Hernández, 2006); lo que finalmente

podiera ser determinante en el rendimiento total de semilla por unidad de superficie, el cual esta determinado por el peso específico de la misma (Filho, 2002).

En cuanto a la relación entre rendimiento de fruto y rendimiento de semilla, destacan los hechos de que, aunque el rendimiento de fruto de tomate es alto, el rendimiento de semilla por unidad de superficie es bajo (Sharma y Thakur, 2002), y que según la variedad y condiciones de cultivo, un fruto puede tener entre 50 y 200 semillas (Rodríguez *et al.*, 2001).

En invernadero 1 kg de fruto produce aproximadamente 4 g de semilla (1 200 semillas), y a campo abierto, la relación fruto-semilla es aproximadamente de 1%, es decir, una tonelada de fruto puede producir 10 kg de semilla (George, 1989).

Hernández *et al.* (1992) en un experimento para producción de semilla básica de seis variedades de tomate en Cuba, encontraron que las variedades con alto rendimiento de fruto produjeron poca semilla y viceversa; en este caso, los rendimientos de semilla variaron de 1.88 a 3.489 g por planta; mientras que Sharma (1995) llevó a cabo una investigación para determinar el efecto de 30, 60, 90, 120 kg N; 30, 60 kg P₂O₅ y 30, 60 kg K₂O ha⁻¹, sobre la producción de semilla de tomate; encontrando que los rendimientos más altos de semilla (189 y 154 kg ha⁻¹) fueron observados con la aplicación de 120 kg N y 60 kg P, respectivamente; interacción que también incrementó la altura de planta y número de frutos por planta. Por el contrario, al aplicar la dosis más alta de K, disminuyó la altura de planta, número de frutos y rendimiento de semilla por planta y por ha, en tanto que el rendimiento más alto de semilla (172 kg ha⁻¹) fue obtenido con la aplicación de 30 kg K ha⁻¹.

Martínez (1992), en dos genotipos de tomate cultivados bajo condiciones de hidroponía en invernadero, observó diferencias significativas en la capacidad de rendimiento total de semilla y peso promedio de semilla por fruto; con una correlación positiva y significativa entre rendimiento de semilla con rendimiento de fruto del 99%; la variedad Floradade tuvo un rendimiento de 0.245 g por fruto⁻¹ y el híbrido Contessa rindió 0.421 g por fruto⁻¹.

Con enfoque similar, Rodríguez (1996) encontró diferencias significativas entre 25 variedades de tomate, respecto al número y peso de semillas por fruto, con valores promedio por variedad de 716 a 1731 semillas y de 2.66 a 3.81 g de semilla por fruto, respectivamente; mientras que García (2000), al aplicar la solución universal Steiner a cuatro genotipos distribuidos en tres densidades de población (10, 16 y 20 plantas m⁻²), encontró que la densidad de población de 20 plantas m⁻² produjo el mayor rendimiento de fruto (135 t) y semilla (338 kg) ha⁻¹.

2.10. LITERATURA CITADA

- Abad B.M., P. Noguera M. y C. Carrión B. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo. *In:* Tratado de Cultivo Sin Suelo. Urrestarazu G.M. 3ª edición. Mundi Prensa. Madrid, España pp. 113-158.
- Abdul-Baki A.A. 1980. Biochemical aspects of seed vigor. *HortScience* 15: 765-771.
- Adams P. 1994. Nutrition of greenhouse vegetables in NFT and hydroponics systems. *Acta Horticulturae* 361: 245-257.
- Adams P. 2004. Aspectos de la nutrición mineral en cultivos sin suelo en relación al suelo. *In:* Tratado de Cultivo Sin Suelo. Urrestarazu G.M. 3ª edición. Mundi Prensa. Madrid, España pp. 81-111.
- Adams P. and A.M El-Gizawy. 1988. Effect of calcium stress on the calcium status of tomatoes grown in NFT. *Acta Horticulturae* 222: 15-22.
- Adams P. and A.M. El-Gizawy. 1986. Effect of salinity and watering level on the calcium content of tomato fruit. *Acta Horticulturae* 190: 253-259.
- Adams P. and L.C. Ho. 1992. The susceptibility of modern tomato cultivars to blossom end rot in relation to salinity. *Journal Horticultural Science* 67: 827-839.
- Adams P. and L.C. Ho. 1993. Effects of environment on the uptake and distribution of calcium in tomato and on the incidence of blossom-end rot. *Plant and Soil* 154: 127-132.
- Aguilera C.M. y R. Martínez E. 1996. Relaciones Agua-Suelo-Planta-Atmósfera. 4a. ed. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 426 p
- Alarcón V. A. L. 2005. Soluciones nutritivas y fertirriego. Consideraciones, manejo y diagnóstico en cultivo sin suelo. *Rev. Tecnoagro* 6: 16-19.
- Ana D. L. L. 2001. Evaluación de la calidad de las semillas. *En línea:* <http://www.seednews.inf.br/espanhol/archivo.shtml>. (Revisado el 11 de agosto de 2006).
- Anil S.V. and K.S. Rao. 2001. Calcium-mediated signal transduction in plants: A perspective on the role of Ca²⁺ and CDPKs during early plant development. *Journal of Plant Physiology* 158: 1237-1256.
- Austin R. 2006. Nuevos chiles jalapeños en el norte de Sinaloa. *Hortalizas, Frutas y Flores*. Editorial Agrosíntesis, S.A. de C.V. México, D.F. pp. 14-19.

- Babiker H.M. and R.A.T. George. 1984. The influence of mother plant mineral nutrition on seed yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Acta Horticulturae* 143: 143-151.
- Behling P. J., W.H. Gabelman and G.C. Gerloff. 1989. The distribution and utilization of calcium by two tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) lines differing in calcium efficiency when grown under low-Ca stress. *Plant and Soil* 113: 189-196.
- Belda R. M. and L. C. Ho. 1993. Salinity effects on the network of vascular bundles during tomato fruit development. *Journal of Horticultural Science* 68: 557-564.
- Belda R.M., J. Fenlon and L.C. Ho. 1996. Salinity effects on the xylem vessels in tomato fruit among cultivars with different susceptibilities to blossom-end rot. *Journal of Horticultural Science* 71: 173-179.
- Benoit F. and N. Ceustermans. 2001. Impact of root cooling on blossom end rot in soilless paprika. *Acta Horticulturae* 548: 319-325.
- Berrios U. M. 2004. Nutrición cálcica. *Hortalizas, Frutas y Flores*. Editorial Agrosíntesis, S.A. de C.V. México D.F. pp. 30-34.
- Blancard D. 2005. Enfermedades del Tomate. Observar, Identificar, Luchar. Mundi Prensa. Madrid, España pp. 133.
- Bowler Ch. and R. Fluhr. 2000. The role of calcium and activated oxygens as signals for controlling cross-tolerance. *Trends in Plant Science* 5: 241-246.
- Bull B. 2002. Tecnologías aplicadas a cultivos hortícolas. *Hortalizas, Frutas y Flores*. Editorial agrosíntesis, S.A. de C.V. México D.F. pp. 25-30.
- Burgueño H. 2005. La utilización de las soluciones nutritivas completas tipo hidroponía. *Rev. Tecnoagro* 6: 22-23.
- Cánovas M. F. 2001. Manejo del cultivo sin suelo. *In: El Cultivo del Tomate*. F. Nuez. Mundi Prensa. España pp. 227-254.
- Carballo C.A. 2005. Apuntes del Curso de Producción de Semillas I. Principios genéticos. Colegio de Postgraduados. Montecillo. México. (Inédito).
- Carvajal, M., A. Cerdá and V. Martínez. 2000. Does calcium ameliorate the negative effect of NaCl on melon root water transport by regulating aquaporin activity?. *New Phytol.* 145: 439-447.

- Castillo M.A., A. González M., C. Rodríguez F. y J. Margolles D. 1986. Mejoramiento genético del tomate II. Método de polinización. *Rev. Centro Agrícola* 13: 58-63.
- Cervantes F. M. A. 2004. Control de altas temperaturas en cultivos hortícolas intensivos. *Rev. Tecnoagro* 5: 28-31.
- Chamarro L. J. 2001. Anatomía y Fisiología de la planta. *In: El Cultivo del Tomate*. F. Nuez. Mundi Prensa. España : 43-91.
- Christiansen M. N. and C.D. Foy. 1979. Fate and function of calcium in tissue. *In Soil Science and Plant analysis* 10: 427-442.
- Clarkson D. T. 1984. Calcium transport between tissues and its distribution in the plant. *Plant Cell and Environment* 7: 449-456.
- Contreras M.E. y F. Sánchez del C. 1997. Efecto de algunos reguladores del crecimiento sobre el rendimiento de jitomate manejado en altas densidades. *Rev. Chapingo. Serie Hort.* 3: 25-29.
- Copeland L. O. and M.B. McDonald. 2001. *Principles of Seed Science and Technology*. 4th edition. Kluwer Academic Publishers. Boston, USA. 467 p.
- Cruces C. R. 1990. Lo que México aportó al Mundo. Edit. Panorama. 2ª reimpresión. México, D.F. pp. 61-64.
- De Pascale S., G. Raimondi, A. Martino and G. Barbieri. 2003. Water relations and Abscissic acid content in tomato as affected by osmotic stress. *Acta Horticulturae* 609: 89-95.
- Del Amor M.F., L.F.M. Marcelis and V.Martínez. 2003. Differential effects of N, K and Ca on growth of tomato plants during nutrient starvation and recovery. *Acta Horticulturae* 614: 535-540.
- Delouche C.J. 2002. Germinación, deterioro y vigor de semillas. *En línea: <http://www.seednews.inf.br/espanhol/archivo.shtml>*. (Revisado el 11 de agosto de 2006).
- Delouche C.J. 2005. Calidad y desempeño de la semilla. *En línea: <http://www.seednews.inf.br/espanhol/archivo.shtml>*. (Revisado el 11 de agosto de 2006).
- Dias D.C.F. 2001. Maduración de la semilla. *En línea: <http://www.seednews.inf.br/espanhol/archivo.shtml>*. (Revisado el 11 de agosto de 2006).
- Dickson M.H. 1980. Genetic aspects of seed quality. *HortScience* 15: 771-774.
- Dieter P. 1984. Calmodulin and calmodulin-mediated processes in plants. *Plant Cell and Environment* 7: 371-380.

- Doijode D.S. 2001. Seed Storage of Horticultural Crops. Food. Products Press. New York. USA. 339 p.
- Durán J.M., E. Martínez. y L.M. Navas. 2000. Los cultivos sin suelo: de la hidroponía a la aeroponía. *En línea*: <http://www.eumedia.es/articulos/vr/hortofrut/101cultivos.html>. (Revisado el 17 de julio de 2006).
- Ehret D. L. and L. C. Ho. 1986a. The effects of salinity on dry matter partitioning and fruit growth in tomatoes grown in nutrient film culture. *Journal of Horticultural Science* 61: 361-367.
- Ehret D. L. and L. C. Ho. 1986b. Translocation of calcium in relation to tomato fruit growth. *Annals of Botany* 58: 679-688.
- Eiberger S.M. and G. Noga. 2003. Influence of calcium deficiency on distribution and antioxidative system in tomato plants. *Acta Horticulturae* 618: 217-224.
- El-Gizawy, A. M., P. Adams and M. H. Adatia. 1986. Accumulation of calcium by tomatoes in relation to fruit age. *Acta Horticulturae* 190: 261-266.
- Esquinas-Alcázar J. y F. V. Nuez. 2001. Situación taxonómica, domesticación y difusión del tomate. *In*: El Cultivo del Tomate. F. Nuez. Mundi Prensa. España pp. 13-42.
- Fageria V.D. 2001. Nutrient interactions in crop plants. *Journal of Plant Nutrition* 24:1269-1290.
- Filho M.J. 2002. Probando el vigor de las semillas. *Seed news* 6: 8-9.
- García C. A. H. 2000. Producción de Semilla de Jitomate en Altas Densidades de Plantación Bajo Condiciones de Invernadero e Hidroponía. Tesis. Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México. 101p.
- Gázquez G. R. y J.M. Bayo M. 2006. Manejo de cultivos hortícolas en sustratos vs. Suelo. *Hortalizas, Frutas y Flores*. Editorial Agrosíntesis S.A. de C.V. México D.F.: 12-16.
- George R. A. T. 1989. Producción de Semillas de Plantas Hortícolas. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 330 p.
- Gerasopoulos D. and B. Chebli. 1999. Effects of pre-and postharvest calcium applications on the vase life of cut gerberas. *Journal of Horticultural Science Biotechnology* 74: 78-81.
- Gil V.I. y I. Miranda V. 2000. Producción de jitomate rojo en hidroponía bajo invernadero. Serie de Publicaciones Agribot. Chapingo. México. 63 p.
- Gómez B. J. G. 2003. Reserva F1, nuevo híbrido indeterminado de tomate saladette. *Hortalizas, Frutas y Flores*. Editorial Agrosíntesis. S.A. de C.V. México D.F.: 22-28.

- Gómez R. J. y I. Montoya M. 2001. Soluciones nutritivas en la producción de hortalizas. Hortalizas, Frutas y Flores. Editorial año dos mil, S.A. México D.F.: 20-29.
- González N. J. F. 2006a. Productores mayas exportan chile habanero, tomate y pepino a la Unión Europea. Hortalizas, frutas y flores. Editorial Agro Síntesis S.A. de C.V. México D.F.: 8-11.
- González N. J. F. 2006b. Avanzan los sistemas hidropónicos en México. Hortalizas, Frutas y Flores. Editorial Agro Síntesis S.A. de C.V. México D.F.: 6.
- Groff R. 2002. Secado de granos. Seed news 6: 16-21.
- Guilin Ch., G. Hongbo and Z. Xianbin. 2003. Effect of calcium on growth and chilling resistance of grafted eggplant seedlings. Acta Horticulturae 618: 225-232.
- Gutiérrez G. A. S. 1997. Presión Osmótica y Proporción de Fósforo en la Solución Nutritiva para la Producción de Semilla de Jitomate. Tesis. Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 118p.
- Hampton J.G. 2001. ¿Qué significa calidad de semillas? *En línea*: <http://www.seednews.inf.br/espanhol/archivo.shtml>. (Revisado el 11 de agosto de 2006).
- Hampton J.G. 2002. What is seed Quality?. Seed Sci. and Technol. 30: 1-10.
- Hampton J.G. and P Coolbear. 1990. Potential versus actual seed performance-Can vigour testing provide a answer?. Seed Sci. and Technol. 18: 215-228.
- Hanson B.J. 1984. The functions of calcium in plant nutrition. *In*: Advances in Plant Nutrition. P. B. Tinker and A. Läuchli (eds.). Vol I. Praeger. United States of America. pp. 149-208.
- Hao X., A. P. Papadopoulos, M. Dorais, D. L. Ehret, G. Turcotte and A. Gosselin. 2000. Improving tomato fruit quality by raising the EC of NFT nutrient solutions and calcium spraying: effects on growth, photosynthesis, yield and quality. Acta Horticulturae 511: 213-221.
- He Q.Y., S. Terabayashi and T. Namiki. 1999. Effect of temporary Ca deficiency on fruit growth and element concentrations in the petiole sap of tomato. Acta Horticulturae 481: 409-415.
- Hepler K.P. and R. Wayne. 1985. Calcium and plant development. Ann. Rev. Plant. Physiol. 36: 397-439.
- Hernández A., R. Díaz, T. Sánchez y M. Rosales. 1992. Características de seis variedades de tomate para la producción de semilla básica. Agrotecnia de Cuba 24: 39-45.

- Hernández G.R. 2002. Nutrición mineral. *En línea:* <http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/nutriciónmineral/>. (Revisado el 17 de julio de 2006).
- Hernández L. 2006. ¿Por qué tomates en invernadero? *Rev. Tecnoagro* 7:pp. 24.
- Ho L. C. 1989. Environmental effects on the diurnal accumulation of ^{45}Ca by young fruit and leaves of tomato plants. *Ann. Bot.* 63: 281-288.
- Ho L. C., D. J. Hand and M. Fussell. 1999. Improvement of tomato fruit quality by calcium nutrition. *Acta Horticulturae* 481: 463-468.
- Ho L.C., R.I. Grange and A.J. Picken. 1987. An analysis of the accumulation of water and dry matter in tomato fruit. *Plant Cell and Environment* 10: 157-162.
- Infoagro. 2003. El cultivo del tomate. *En línea:* www.infoagro.com/hortalizas/tomate.html. (Revisado el 17 de julio de 2006).
- International Seed Testing Association (ISTA). 1995. Handbook of Vigour Test Methods. 2^a ed. Zurich Switzerland. 117 p.
- Jensen M. 2001. Producción hidropónica en invernadero. Boletín informativo Núm. 12. *En Línea:* www.lamolina.edu.pe/hidroponia/boletin12.htm. (Revisado el 17 de julio de 2006).
- Jones J. B. Jr. 1999. Tomato Plant Culture: in the field, greenhouse, and home garden. CRC Press, Boca Raton, Florida. USA. 199 p.
- Juárez L.G., F. Sánchez del C. y E. Contreras M. 2000. Efectos del manejo de esquejes sobre el rendimiento de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponía. *Rev. Chapingo Serie Hort.* 6: 19-23.
- Kanwar S.J. 2003. Effect of isolation distance and planting design on natural cross pollination in okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench.). *Seed Research* 31: 130-132.
- Kirkby E. A. and D. J. Pilbeam. 1984. Calcium as a plant nutrient. *Plant Cell and Environment* 7: 397-405.
- Krzyzanowski F. y J.B. França-Neto. 2003. Agregando valor a la semilla de soya a través del control de calidad. *En línea:* <http://www.seednews.inf.br/espanhol/archivo/shtml>. (Revisado el 11 de agosto de 2006).
- Kumar A., D. P. Singh and P. Singh. 1994. Influence of water stress on photosynthesis, transpiration, water use efficiency and yield of *Brassica juncea* L. *Field Crops Research* 37: 95-101.

- Lara, H.A. 2000. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *En Línea*: <http://www.chapingo.mx/terra/contenido/17/3/art221-229.pdf>. (Revisado el 17 de julio de 2006).
- Leonardi C., F. Giuffrida. and V. Sciglitano. 2004. Tomato yield and fruit characteristics in relation to basal leaf removal. *Acta Horticulturae* 659: 411-416.
- Marschner H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. Fifth printing of the second edition. Academic Press. London, England. 889 p.
- Martínez L.A. 1992. Producción de Semillas de Jitomate Bajo Hidroponía en Condiciones de Invernadero. Tesis. Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo. México. 113 p.
- Martínez S.J., A. Peña L. y D. Montalvo H. 2004. Producción y Tecnología de Semilla de Tomate de Cáscara. Boletín Técnico #4. Programa Nacional de Investigación y Servicio en Olericultura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 36 p.
- Millaway M.R. and L. Wiersholm. 1979. Calcium and metabolic disorders. In *Soil Science and plant analysis* 10: 1-28.
- Morales B. G. 2003. Nuevos chiles y tomates de seminis en Yurécuaro, Michoacán. *Hortalizas, Frutas y Flores*. Agrosíntesis S.A. de C.V. México D.F.: 29-34.
- Morard P., L. Lacoste and J. Silvestre. 2000. Effects of calcium deficiency on nutrient concentration of xylem sap of excised tomato plants. *Journal of Plant Nutrition* 23: 1051-1062.
- Moreira de C. N. y J. Nakagawa 1988. *Ciencia, Tecnología y Producción*. Editorial Agropecuaria. Hemisferio Sur. S.R.L. Montevideo, Uruguay pp. 358-382.
- Moreno M.E., M.E. Vazquez B., A. Rivera, R. Navarrete and F. Esquivel V. 1998. Effect of seed shape and size on germination of corn (*Zea mays* L.) stored under adverse conditions. *Seed Sci. and Technol.* 26: 439-448.
- Morgan L. 2000. El calcio. Su importancia en hidroponía. *En línea*: www.lamolina.edu.pe/hidroponia/boletin6.htm. (Revisado el 17 de julio de 2006).
- Mosler R. F. 2005. Nutrición del aguacate: rendimiento y calidad. *Hortalizas, Frutas y Flores*. Editorial Agrosíntesis, S.A. de C.V. México D.F.: 28-34.
- Mosse F. 2004. Hidroponía: Cultivos sin suelo. *En línea*: <http://alipso.com/monografias/hidroponia/>. (Revisado el 17 de julio de 2006).
- Muñoz R. J J. 2005. Fisiopatías en el Cultivo de Pimiento. *Rev. de Riego* 4:66-69.

- Naidu M.T.C., B. Sreekanth, G.L.N. Reddy and A. Narayanan. 1999. Utilization of seed reserves for seedling growth of cashew (*Anacardium occidentale* L.). 1. Effect of seed size on depletion of nutrients and biochemical constituents. *Seed Research* 27: 149-153.
- Nederhoff E. 1999. Effects of different day/night conductivities on blossom-end rot, quality and production of greenhouse tomatoes. *Acta Horticulturae* 481: 495-502.
- Nickell L. G. 1986. The effects of N-(2-chloro-4-pyridil)-N-Phenylurea and the 3-chloro-benzyl ester of dicamba on the growth and sugar content of grapes. *Acta Horticulturae* 179: 805-806.
- Nonami H., K. Tanimoto, A. Tabuchi, T. Fukuyama and Y. Hashimoto. 1995. Salt stress under hydroponic conditions causes changes in cell wall extension during growth. *Acta Horticulturae* 396: 91-98.
- Nuez F. 2001. *El Cultivo del Tomate*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 793 p.
- Ortiz M. F. 2004. El tomate. *Rev. Tecnoagro* 5: 4-13.
- Osman O.A. and R.A.T. George. 1984. The effect of mineral nutrition and fruit position on seed yield and quality in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Acta Horticulturae* 143: 133-137.
- Paliyath G., B.W. Poovaiah, G.R. Munske and J.A. Magnuson. 1984. Membrane fluidity in senescing apples: effects of temperature and calcium. *Plant and Cell Physiology* 25: 1083-1087.
- Pandita K.V. and S. Nagarajan. 2001. Fruit maturity and post harvest ripening affecting chilli seed quality and field emergence. *Seed Research* 29: 21-23.
- Patiño J. L. 2001. Siguen ganando superficie los tomates saladettes indeterminados. *Hortalizas, Frutas y Flores*. Editorial año dos mil S.A. México D.F.: 14-19.
- Pereira C.N., J.B. França-Neto, F.C. Kryzanowskie y A.A. Henning. 2002. Nueva metodología para la prueba de tetrazolio en soya. *Seed news* 6:10-11.
- Pérez D.C., T. Tellería y R. Jiménez. 1989. *Cultivos Hidropónicos. Elementos Tecnológicos*. Centro de Información y Documentación Agropecuario. Habana, Cuba. 78p.
- Pérez G.M. y R. Castro B. 1999. Guía para la producción intensiva de jitomate en invernadero. Boletín de divulgación #3. Programa Universitario de Investigación y Servicio en Olericultura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 58 p.

- Peterson K., J. Willumsen. 1992. Effects of root-zone warming and season on blossom end rot and chemical composition of tomato fruit. *Danish Journal of Plant and Soil Science* 96: 489-498.
- Poovaiah B.W. 1985. Role of calcium and calmodulin in plant growth and development. *Hort. Sci.* 20: 347-352.
- Poovaiah B.W. and A.C. Leopold. 1973. Deferral of leaf senescence with calcium. *Plant Physiology* 52: 236-239.
- Ramirez R.G., M. Bennett, M. McDonald and D. Francis. 2004. Effect of fruit development on the germination and vigor of high lycopene tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seeds. *Seed Sci. and Technol.* 32: 775-783.
- Requejo L. R., L. B. Escobedo y H. O. García. 2003. Producción y calidad de tomate bajo el sistema de cultivo sin suelo. *En línea: www.monografias.com/trabajos13/hidropo/hidropo.shtml*. (Revisado el 17 de julio de 2006).
- Resh, H. M. 2001. *Cultivos Hidropónicos*. Ediciones Mundi-Prensa. Quinta edición. Madrid, España. 558 p.
- Roberts E.H. and M. Black. 1989. Seed quality. *Seed Sci. and Technol.* 17:175-185.
- Rodríguez D. A. 2004. Notas del editor. Boletín informativo No 25. *En línea: <http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/boletin25/boletin25.htm>*. (Revisado el 17 de julio de 2006).
- Rodríguez G., E. 1996. Evaluación y Selección de Líneas como Progenitores para la Producción de Híbridos de Jitomate. Tesis. Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 124 p.
- Rodríguez R. R., J. M. Tabares R. y J. A. Medina J. 2001. *Cultivo Moderno del Tomate*. Mundi Prensa. Madrid, España. 255 p.
- Rodríguez R.G. y M. Piñón G. 2004. Heterosis en el tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *En línea: <http://www.mixteco.utm.mx/temas-docs/ensay3t13R>*. (Revisado el 17 de julio de 2006).
- Rodríguez S. F 1996. *Fertilizantes: nutrición vegetal*. 3a. reimpresión. AGT Editor S.A. México D. F. 157 p
- Rorison H.I. and D. Robinson. 1984. Calcium as an environmental variable. *Plant Cell and environment* 7: 381-390.

- Salazar S.I. 2005. Elección de variedades para invernadero. *In: Producción de Jitomate en Invernadero*. N. Bautista M., J. Alvarado L. (Eds) Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. pp. 103-125.
- Sánchez del C.F. y J. Ponce O. 1998. Densidad de plantación y nivel de despunte en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado en hidroponía. *Rev. Chapingo. Serie Hort.* 4: 89-93.
- Sánchez del C.F., E. Escalante R. y P. Espinosa R. 1991. Experiencias sobre la producción de flores y hortalizas en México con sistemas hidropónicos. *Rev. Chapingo. Serie Hort.* (73-74): 7-13.
- Sánchez del C.F., J. Ortiz C., M.C. Mendoza C., V.A. González H. y M.T. Colinas L. 1999. Características morfológicas asociadas con un arquetipo de jitomate para un ambiente no restrictivo. *Rev. Agrociencia* 33: 21-29.
- Sánchez P.A. 2004. Análisis y diagnóstico nutricional en los cultivos sin suelo. *In: Tratado De Cultivo Sin Suelo*. Urrestarazu G.M. 3ª edición. Ediciones Mundi Prensa. México. pp: 49-79.
- Sandoval V. M. 2005. Cultivo en invernadero en México, con énfasis en nutrición. *In: Producción de Jitomate en Invernadero*. N. Bautista M., J. Alvarado L. (Eds) Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México. pp. 73-101.
- Sawan M.Z., B.R. Gregg and S.E. Yousef. 1999. Effect of phosphorus, chelated zinc and calcium on cotton seed yield, viability and seedling vigour. *Seed Sci. and Technol.* 27: 329-337.
- Schon K.M. 1993. Effects of foliar antitranspirant or calcium nitrate applications on yield and blossom- end rot occurrence in greenhouse-grown peppers. *Journal of Plant Nutrition:* 1137-1149.
- Scoot J.W. 2001. Enfermedades Fisiológicas. *In: Plagas y Enfermedades del Tomate*. J.B. Jones, J. P. Jones, R.E. Stall, T.A. Zitter. The American Phytopathological Society. Mundi Prensa. Madrid España pp. 55-61.
- Sharma S. K. 1995. Seed production of tomato as influenced by nitrogen, phosphorus and potassium fertilization. *Annals of Agri. Res.* 16: 399-400.
- Sharma S. K. and K.S. Thakur. 2002. Effect of biofertilizers and nitrogen nutrition on the yield and quality of tomato seed. *Seed Research* 30: 243-246.
- Shear C. B. 1975. Calcium-related disorders of fruits and vegetables. *HortScience* 10: 361-365.

- Shephard H.L., R.E.L. Naylor and T. Stuchbury. 1995. The influence of seed maturity at harvest and drying method on the embryo, α -amylase activity and seed vigour in rice (*Oryza sativa* L.). *Seed Sci. and Technol.* 23: 487-499.
- Singh S. and R. Kumar. 1989. Effect of preharvest application of cycocel, calcium nitrate and zinc sulphate on the storage behaviour of delight grapes. *Haryana Agric. University Journal of Research* 19: 294-301.
- Soria T., J. Cuartero and R. Romero A. 2002. Yield and fruit quality of salinised tomato plants with enhanced Ca fertilization. *Acta Horticulturae* 573: 35-41.
- Steiner A.A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil* 15:134-154.
- Steiner A.A. 1973. The selective capacity of tomato plants for ions in a nutrient solution. *ISOSC. Proceedings 3th int. Cong. Soilless Culture*: 43-53.
- Steiner A.A. 1984. The universal nutrient solution. *In: Proceedings of 6th Int. Cong. on Soilless Culture. International Society for Soilless Culture. Lunteren, the Netherlands*: 633-649.
- Tal B.A., M. Keinan, Y. Oserovitz, S. Gantz, A. Avidan and I. Posalski. 2001. Relationships between blossom-end rot and water availability and Ca fertilization in bell pepper fruit production. *Acta Horticulturae* 554: 97-104.
- Tello M. J. C. y J. del Moral de la V. 2001. Enfermedades no víricas del tomate. *In: El cultivo del tomate. F. Nuez (ed.). Mundi-Prensa. Bilbao, España* pp. 523-563.
- Topçuoğlu B. and C. Kütük. 2002. Dry matter, fruit yield and the distribution of calcium and oxalic acid contents in the upper and lower tissues of tomato plant in salinity stress. *Acta Horticulturae* 573: 449-453.
- Tzoutzoukou, C. G. and D. L. Bouranis. 1997. Effect of preharvest application of calcium on the postharvest physiology of apricot fruit. *Journal of Plant Nutrition* 20: 295-309.
- Varis S. and R.A.T. George. 1985. The influence of mineral nutrition on fruit yield, seed yield and quality in tomato. *Journal of Horticultural Science* 60: 373-376.
- Velasco H.E. y R. Nieto A. 2005. Cultivo de jitomate en hidroponía e invernadero. *Publicación especial No. 62. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.* 63 p.

- Verma P.O., P.V. Singh and G.D. Kushwaha. 1998. Influence of the order of capsule on seed content and its quality in okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench.). Seed Research 26: 178-179.
- Vijayakumar A. 2003. Vigour test for okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench.). Seed Research 31: 249-252.
- Villareal R. 1982. Tomates. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 184 p.
- Villaseñor de E. J. 2005. Terapia nutricional para un cultivo sano. Cómo prevenir enfermedades con macro y micro nutrientes (parte II). Rev. de Riego 4: 52-56.
- Voogt W. and C. Sonneveld. 2004. Interactions between nitrate (NO₃) and chloride (Cl) in nutrient solutions for substrate grown tomato. Acta Horticulturae 644: 359-368.
- Webb, M. A. 1999. Cell-mediated crystallization of calcium oxalate in plants. Plant cell 11:751-761.
- Yogeesha S.H., A. Nagaraja and S.P. Sharma. 1999. Pollination studies in hybrid tomato seed production. Seed Sci. and Techol. 27: 115-122.
- Young K.Ch. and L.Y. Beom. 2001. Effect of salinity of nutrient solution on growth, translocation and accumulation of ⁴⁵Ca in butterhead lettuce. Acta Horticulturae 548: 575-580.
- Zorato F. 2005. Evolución del Laboratorio de Análisis de Semillas. *En línea*: <http://www.seednews.inf.br/espanhol/archivo.shtml>. (Revisado el 11 de agosto de 2006).

III. EFECTO DEL POTENCIAL OSMÓTICO Y PODA EN LA CALIDAD DE SEMILLA DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.)

EFFECT OF OSMOTIC POTENTIAL AND PRUNE ON TOMATO (*Lycopersicon esculentum* Mill.) SEED QUALITY

3.1. RESUMEN

En México existen alrededor de 2,500 ha con invernaderos para producción de hortalizas, en las que se demanda semilla de calidad. El objetivo de la investigación consistió en evaluar la calidad física y fisiológica de la semilla de cuatro líneas y dos híbridos comerciales de tomate, a las que se aplicaron potenciales osmóticos de -0.054, -0.072 y -0.090 MPa, con y sin poda. El experimento se llevó a cabo en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, del 2 de noviembre de 2004 al 30 de abril de 2005. Se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo factorial 6x3x2 con cuatro repeticiones. Los factores y sus niveles fueron **Variedad:** híbridos comerciales Gabriela y Atila, y las líneas I(RK)B-17-1 (Variedad 3), I(1.20)B-14B4S4 (Variedad 4), I(16.19)F₂S-20B11S4 (Variedad 5) e I(6.14)F₂S-12B19S4 (Variedad 6); **solución nutritiva** con P.O. -0.054, -0.072 y -0.090 MPa; **manejo** con y sin poda, para un total de 36 tratamientos. La unidad experimental fue una planta por bolsa de polietileno negra de 15 L de capacidad. La solución nutritiva que promovió una mayor producción (13.2g planta⁻¹) y mejoró la calidad de semilla fue aquella que tenía un potencial osmótico de -0.072 MPa. Los híbridos Gabriela y Atila produjeron la mayor cantidad de semilla por planta y por unidad de superficie en todos los tratamientos probados y la variedad 5 en el sistema de manejo con poda registró el mayor rendimiento de semilla por fruto. La línea experimental I(RK) B-17-1 produjo la mejor calidad física de semilla en relación a peso y tamaño; sin embargo, fue la que registró la menor cantidad de plántulas normales en la prueba de germinación y de plántulas emergidas en la prueba de vigor. La mejor calidad fisiológica de semilla (plántulas normales, plántulas emergidas, índice de vigor), fue producida por la línea experimental I(1.20)B-14B4S4. La poda acortó el período de crecimiento, incrementó el porcentaje de frutos agrietados, aceleró

la maduración de los frutos y disminuyó la calidad física y fisiológica de la semilla producida. De los factores estudiados el genotipo mostró efectos significativos para todas las características evaluadas. Para la calidad fisiológica de semilla el mejor efecto de interacción fue en la combinación del P.O. -0.072 MPa aplicado a la línea experimental I(1.20)B-14B4S4 y el cultivo sin poda.

Palabras clave: Poda, solución nutritiva, hidroponía, invernadero

3.2. SUMMARY

The greenhouse surface for vegetables production in Mexico is around 2,500 ha, that require high seed quality. The objective of this research was to evaluate the physical and physiologic quality of the seed of four lines and two commercial hybrid of tomato, which were subjected to -0.054 , -0.072 and -0.090 MPa of osmotic potentials (O.P.) in nutrient solutions, combined with and without pruning. The experiment was carried out at Colegio de Postgraduados, Montecillo, México from November 2nd 2004 to April 30th, 2005. The experimental design was a completely randomized blocks with a factorial arrangement $6 \times 3 \times 2$ and four replications. Factors and levels were: variety (Gabriela, Atila, variety 3, variety 4, variety 5, variety 6); nutrient solution (O. P. -0.054 , -0.072 and -0.090 MPa); and pruning (with and without), for a total of 36 treatments. The experimental unit was one plant per plastic bag. The nutrient solution with -0.072 MPa increased yield (13.2g plant^{-1}) and seed quality. Gabriela and Atila hybrids produced the highest yield of seed per plant and m^2 in all treatments; variety 5 combined with pruning registered the highest yield of seed per fruit. The experimental line I(RK) B-17-1 (variety 3) produced the best physical seed quality in relation to weight and size. However, it registered the lowest germination in the standard test and seedlings emerged in the vigor test. The experimental inbred line I(1.20)B-14B4S4 (variety 4) produced seed with the best physiological quality (normal seedlings, emerged seedlings, vigor index). Pruned plants modified their growing habit: from indeterminate to determinate; and show shorter growing period, higher percentage of cracked fruits, shorter maturation period and lower physical and physiologic quality of the seed than those without pruning. The best interaction effect to obtain high seed quality corresponded to -0.072 MPa and variety 4 without pruning.

Key Words: Pruning, nutrient solution, hydroponics, greenhouse

3.3. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial existen alrededor de 280 mil ha de frutas y hortalizas producidas bajo invernadero (Araiza, 2006). En México se calcula que hay cerca de 2,500 ha bajo este esquema de producción (Minero, 2005), ubicadas principalmente en el noreste y centro del país, con productos como tomate, pimiento, pepinos y flores (González, 2006). En un proceso de producción tecnificado como el que se señala, la semilla de calidad garantiza la obtención del producto con la calidad requerida por el mercado tanto nacional como de exportación (Austin, 2006). Para lograr lo anterior, se requiere de un manejo y un suministro apropiado de elementos esenciales. Steiner (1961) encontró que una forma de proveer los nutrimentos a la planta, es a través de la formulación de soluciones nutritivas verdaderas, cuya característica principal es la relación mutua de cationes expresada en meq L⁻¹ (K⁺ [7]+ Ca²⁺ [9]+ Mg²⁺ [4]) y aniones (NO₃⁻ [12]+ H₂PO₄⁻ [1]+ SO₄²⁻ [7]), la concentración total de iones, el potencial osmótico (-0.072 MPa) y un pH fisiológico (6.5) (Steiner, 1984).

Por otra parte, la poda del tomate en invernadero permite encausar el desarrollo vegetativo de la planta, incrementar el tamaño de los frutos, reducir la incidencia de enfermedades (Salazar, 2005); asimismo, permite una mayor densidad de plantas, reducir el ciclo de cultivo e incrementar la eficiencia productiva (Sánchez y Ponce, 1998; Sánchez *et al.*, 1999). La eliminación de brotes laterales reduce la competencia interna por agua y fotoasimilados y el tutorado mejora la iluminación del dosel (Nuez, 2001). La práctica de despunte reduce la altura de la planta, modifica el hábito de crecimiento de indeterminado a determinado, y concentra la producción de frutos en menos racimos; con ello, el menor rendimiento por planta se compensa con más plantas por unidad de superficie (Sánchez *et al.*, 1999), pero también se incrementa el porcentaje de frutos agrietados; por el contrario, las plantas no podadas producen frutos más pequeños y se prolonga el ciclo de cultivo.

No obstante que existe en el mercado una amplia gama de variedades y tipos de tomates, así como de formas para producirlos, no todas son apropiadas para la producción intensiva en invernadero, por lo que se tiene que hacer una continua evaluación de los materiales que comercializan las empresas semilleras más importantes del mundo (Salazar, 2005). Del total de la

producción mundial de semilla de tomate, el 95% está monopolizada por tres países: Estados Unidos, Francia y, sobre todo, Holanda (Rodríguez *et al.*, 2001).

En un programa de producción de semillas es importante determinar los componentes de calidad de la misma (Antuna *et al.*, 2003; Flores, 2004), la cual puede verse como un estándar de excelencia (Hampton, 2002) y está determinada por un conjunto de atributos que la hacen deseable para su siembra, donde la calidad genética, física, sanitaria y biológica juegan un papel importante, manifestándose directamente en el vigor y en la productividad de los cultivos (Besnier, 1989; Copeland y McDonald, 2001, Hampton, 2002). En algunas especies la máxima calidad de semilla se obtiene al final del período de llenado de semilla o madurez fisiológica (Rasyad *et al.*, 1990, TeKrony, 2003) mientras que en otras se obtiene tiempo después del período de llenado de la misma (Valdes y Gray, 1998). Con el tomate existe incertidumbre acerca del momento óptimo de cosecha para obtener la máxima calidad de semilla; no obstante, se ha reportado que mejora el porcentaje y velocidad de germinación conforme se incrementa el peso de la semilla a través del desarrollo del fruto de un verde maduro a rojo (Ramírez *et al.*, 2004), pero declina cuando el fruto está sobremaduro debido a que las semillas ya pueden estar en un proceso de deterioro sin que el fruto presente síntomas de descomposición (Kwon y Bradford, 1987; Demir y Samit, 2001). Por el contrario, Demir y Ellis (1992) reportan que la máxima calidad de semilla, definida por el porcentaje y tiempo promedio de germinación, tamaño de plántula y porcentaje de germinación posterior al almacenamiento, ocurre después de que se produce el máximo peso seco de la misma, pero no registran la etapa de maduración del fruto.

La calidad física de la semilla está asociada con la estructura o apariencia de la misma (Palomo, 2003), mientras que la calidad fisiológica está relacionada al metabolismo (Illipronti, *et al.*, 1999). Aunque un cultivar sea competitivo genéticamente, es poco útil para la siembra o la comercialización si carece de una buena calidad fisiológica (Hampton, 2002). La calidad fisiológica implica la integridad de las estructuras y procesos fisiológicos que permiten a la semilla mantener altos índices de viabilidad (Moreno *et al.*, 1998, Steiner, *et al.*, 1999), siendo los principales indicadores la germinación y el vigor (Valdes y Gray, 1998; TeKrony, 2003; Ajayi y Fakorede, 2000), que dependen del genotipo y del cuidado de su desarrollo en la producción y del manejo poscosecha (Perry, 1980). Por realizarse bajo condiciones óptimas de laboratorio de acuerdo con la especie, la prueba de germinación no proporciona información

confiable acerca del comportamiento que tendrán las semillas en campo, en cambio, el vigor si permite conocer de manera más integral la calidad de ellas (Molina *et al.*, 1992). El vigor de la semilla es un atributo fisiológico medible que se refleja en una rápida, uniforme y alta germinación o emergencia aun en condiciones desfavorables. Por tanto, se espera que un lote de semilla de alto vigor germine en forma más sincronizada que otro de bajo vigor y que, además, las plántulas crezcan más rápido y uniformemente produciendo un buen establecimiento en campo (Hernández *et al.*, 1998).

Las determinaciones del vigor de la semilla son útiles para predecir el comportamiento de un lote cuando las condiciones del ambiente no son del todo favorables para la germinación y emergencia de las plántulas, así como para estimar el período de almacenamiento de las mismas al que pueden ser sometidas, ya que se ha demostrado que el vigor y la longevidad están altamente relacionados (Moreno, 1996; TeKrony, 2003).

Considerando lo anterior, uno de los propósitos del Programa de Semillas del Colegio de Postgraduados, es desarrollar el mercado de los medianos y pequeños productores de tomate que al no emplear en su mayoría semillas híbridas caras, representan un potencial ilimitado para incrementar rendimientos, reducir enfermedades y mejorar la calidad en sus cosechas. Por tal motivo, se llevó a cabo el presente trabajo con el propósito de evaluar la calidad de la semilla producida por líneas e híbridos, al ser expuestas a los potenciales osmóticos de -0.054, -0.072 y -0.090 MPa con y sin podas; asimismo, determinar las consecuencias fisiológicas y morfológicas en el manejo de estos factores.

3.4. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, y consistió de dos etapas: la primera fue del 16 de enero al 30 de octubre de 2004, para la producción de fruto en un invernadero con cubierta de plástico, así como la extracción, secado y envasado de la semilla; en la segunda etapa, durante el período del 2 de noviembre de 2004 al 30 de abril de 2005, se evaluó la calidad física y fisiológica de la semilla producida.

3.4.1. Material vegetal

Se utilizaron cuatro líneas experimentales de tomate tipo bola y hábito indeterminado (en lo sucesivo se les llamará variedad): I(RK)B-17-1 Mont. 2002 (Variedad 3); I(1.20)B-14B4S4 Mont. 2002 (Variedad 4); I(16.19)F₂S-20B11S4 Mont. 2003 (Variedad 5); I(6.14)F₂S-12B19S4 Mont. 2002 (Variedad 6), proporcionadas por el Área de Mejoramiento y Control de la Calidad Genética del Programa de Semillas, y dos híbridos comerciales de crecimiento indeterminado con buen vigor: Gabriela (tipo bola) y Atila (tipo saladette) como testigos.

Para la producción de fruto, se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar, con arreglo factorial 6x3x2, con seis repeticiones por tratamiento. Los factores y sus niveles fueron: **variedad** (Gabriela, Atila, variedades 3, 4, 5 y 6); **soluciones nutritivas** con potencial osmótico (PO) de -0.054, -0.072 y -0.090 MPa); y **manejo** (con y sin poda), para un total de 36 tratamientos. La unidad experimental fue una planta por bolsa de polietileno negro de 40x40 cm con una densidad de cuatro plantas m⁻². Como sustrato se utilizó tezontle rojo con partículas de 1 a 3 mm de diámetro. Los PO se diseñaron a partir de modificaciones a la solución nutritiva universal de Steiner (1984). Los riegos se hicieron en forma manual aplicando 1.5 L de solución nutritiva a las 9 a.m. y otra cantidad similar a las 15:00 h. Cada ocho días se dió un riego con agua potable para disolver y extraer sales acumuladas en el sustrato.

Las plantas fueron sostenidas en forma vertical con rafia. En el tratamiento con poda, se eliminó manualmente la yema terminal dos hojas después del quinto racimo. En ambos tratamientos (con y sin poda) se podaron todos los brotes laterales, sin quitar las hojas (las hojas se eliminaron después de la cosecha de frutos).

Los frutos seleccionados para semilla se cosecharon completamente rojos. Con una cuchara sopera se extrajo el mucílago y la semilla, los cuales se colocaron en una bolsa de polietileno durante 48 h para su fermentación; por decantación se eliminaron las impurezas y la semilla vana. La semilla se lavó con agua potable varias veces hasta quedar completamente limpia; después se colocó sobre toallas de papel (sanitas) para su secado a la sombra; posteriormente se pesó para estimar el rendimiento de semilla y se envasó en sobres de papel, conservándola en un lugar fresco y seco para su evaluación.

3.4.2. Evaluación de la calidad de la semilla producida

Antes de la evaluación, la semilla se sometió a un proceso de limpieza manual para mejorar su calidad. En la calidad física de la semilla se consideraron las siguientes variables:

3.4.2.1. Peso de mil semillas (PMS). Se tomaron al azar ocho repeticiones de 100 semillas por cada unidad experimental y se pesaron por separado en una balanza analítica. El dato, expresado en centésimas de g, se obtuvo promediando las ocho repeticiones y multiplicando por diez.

3.4.2.2. Peso volumétrico (PV). Se evaluó a partir de un compuesto balanceado formado con la semilla de las seis repeticiones de cada tratamiento, tomando como base una muestra de 20 mL por la poca semilla disponible. Una vez realizada la operación de llenado de la probeta, el contenido del recipiente se pesó en una balanza analítica; los valores se aproximaron a centésimas de g.

La calidad fisiológica fue evaluada mediante pruebas de germinación y vigor; realizando la primera en cámara de germinación a 25 °C y luz blanca las 24 h durante 14 días en laboratorio; mientras que la prueba de vigor se realizó en microtúnel.

La prueba de germinación se hizo de acuerdo a las normas de la ISTA (1993) para el tomate. Se utilizaron cuatro repeticiones de 100 semillas de cada variedad, colocando cada repetición sobre una caja Petri de 10 cm. Como sustrato se usó papel filtro No. 2. Diariamente se regó con agua destilada. Siete días después de iniciada la prueba se hizo el primer conteo y a los 14 días, el segundo, para así obtener el total de plántulas normales, plántulas anormales, semillas no germinadas y semillas muertas.

El vigor se midió en función de la velocidad de emergencia de plántulas, utilizando cuatro repeticiones de 25 semillas por genotipo. Se colocó una semilla por cavidad, en charolas de 200 cavidades rellenas con una mezcla de arena fina de río y agrolita en una proporción de 1:1; posteriormente se dieron dos riegos por día para mantener húmedo el sustrato. La velocidad de emergencia se estimó de acuerdo con Maguire (citado por Copeland y McDonald, 2001), se contaron diariamente las plántulas emergidas (PE) desde el décimo primero al vigésimo cuarto día después de la siembra (14 conteos) y, al final de la prueba se obtuvo la emergencia total. Para el análisis estadístico, cada conteo se consideró independiente, desde el primero (PE11D) al décimo cuarto conteo (PE24D).

3.4.2.3.El índice de vigor (IV) se determinó a partir de la relación entre el número de plántulas emergidas y el número de días de cada conteo, aplicando la siguiente fórmula:

$$IV = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{C_i}$$

Donde:

IV = Índice de vigor

X_i = Número de plántulas emergidas en el i-ésimo conteo

C_i = Número de días al i-ésimo conteo

i = 1, . . . , n conteos

3.4.2.3.1. Peso de materia seca de plántula. De cada unidad experimental se tomaron al azar 10 plántulas con la segunda hoja verdadera expuesta, las cuales se lavaron con agua potable. Se separó la raíz de la parte aérea a la altura del cuello del tallo, se colocaron en un sobre de papel perforado para después someterlas a secado en estufa a 70 °C por tres días.

En ambas pruebas se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar, con arreglo factorial 6x3x2 y seis repeticiones.

Las variables registradas en cada experimento se sometieron al análisis de varianza utilizando el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS, 1996) versión 8. En la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para todas las variables que presentaron diferencias significativas en el análisis de varianza.

3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.5.1. Rendimiento de semilla

En el Cuadro 1A se presentan los cuadrados medios y su significancia estadística, coeficientes de variación y porcentaje de determinación (R^2) de los análisis de varianza para las variables relacionadas con el rendimiento de semilla. Se registraron diferencias altamente significativas

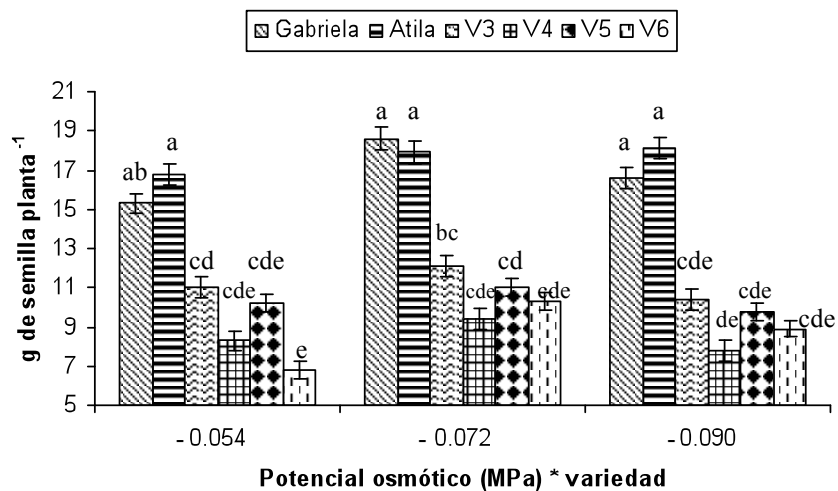
para solución nutritiva, variedad y manejo sobre el rendimiento de semilla por planta (RSP) y rendimiento de semilla por fruto (RSF). El coeficiente de determinación (R^2) fue del 73% en RSP y 67% en RSF; el coeficiente de variación (CV) fue de 21.45 en RSP y 8.56% para RSF.

La interacción variedad*manejo tuvo efectos altamente significativos en RSP; el resto de las interacciones no presentó diferencias estadísticas. Para RSF, ninguna interacción fue significativa.

El mayor rendimiento de semilla por planta (13.2 g) correspondió al tratamiento con PO -0.072 MPa, y el RSF más alto (0.583 g) fue obtenido con un PO -0.090 MPa (Cuadro 2A).

De los genotipos, los híbridos Gabriela y Atila fueron los que registraron el RSP más alto (16.8 y 17.6 g). El híbrido Gabriela y la variedad 5 registraron el mayor rendimiento de semilla por fruto con promedios de 0.615 y 0.628 g, respectivamente.

En cuanto al manejo, se tuvieron resultados más altos en el cultivo sin poda para la variable RSP, con promedio de 12.8 g de semilla, mientras que en el cultivo con poda se registró el mayor rendimiento de semilla por fruto, con 0.581 g.



1A

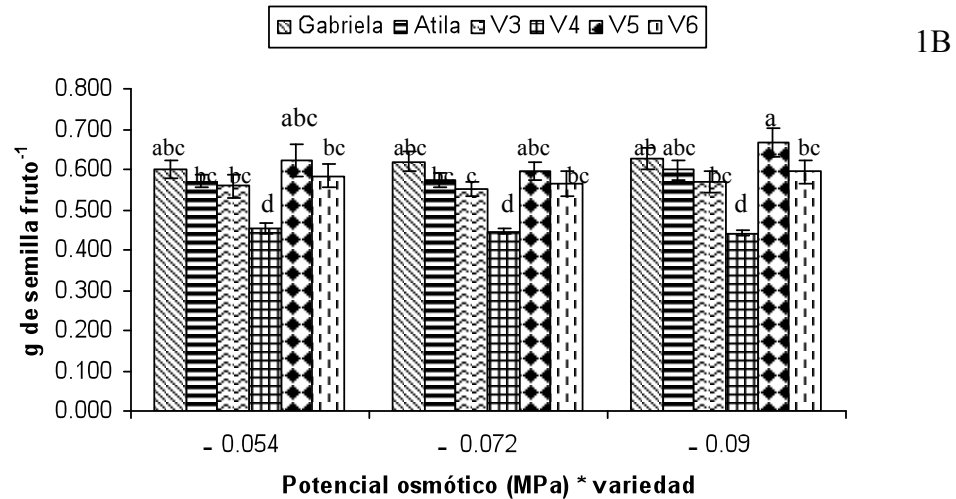
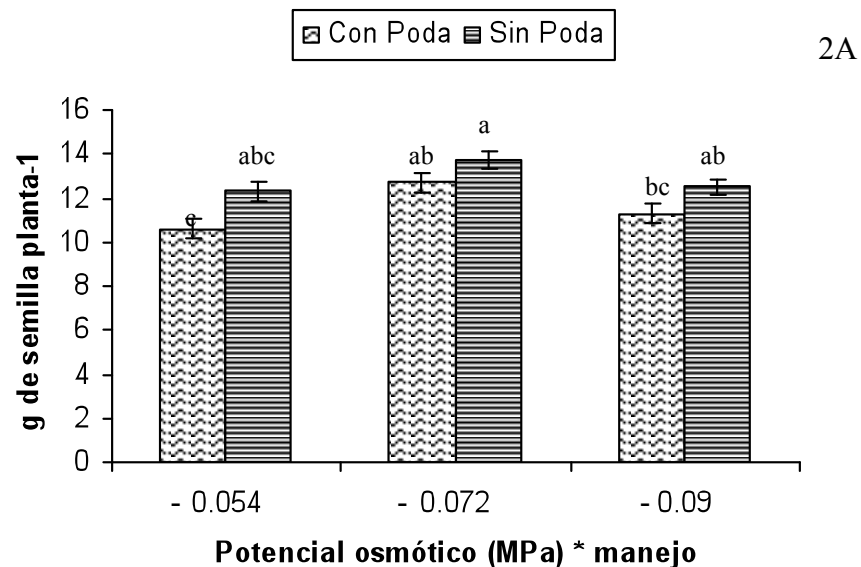


Figura 1. Efectos de la interacción solución nutritiva (MPa)*variedad sobre el rendimiento de semilla por planta (1A) y por fruto (1B); en seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

Los RSP más altos (18.6 y 18.1g; Figura 1A) se registraron con -0.072 MPa en los híbridos Gabriela y Atila; sin embargo, no hubo diferencia estadística con los rendimientos de -0.090 MPa (16.8, 17.9g) y -0.054 MPa (15.3, 16.8g) aplicados a los mismos genotipos. En cuanto al rendimiento de semilla por fruto, los mayores promedios (0.667, 626g; Figura 1B) ocurrieron con -0.090 MPa aplicado a la Variedad 5 y al híbrido Gabriela, los cuales fueron similares estadísticamente a los promedios obtenidos por -0.054 y -0.072 MPa en los mismos genotipos.



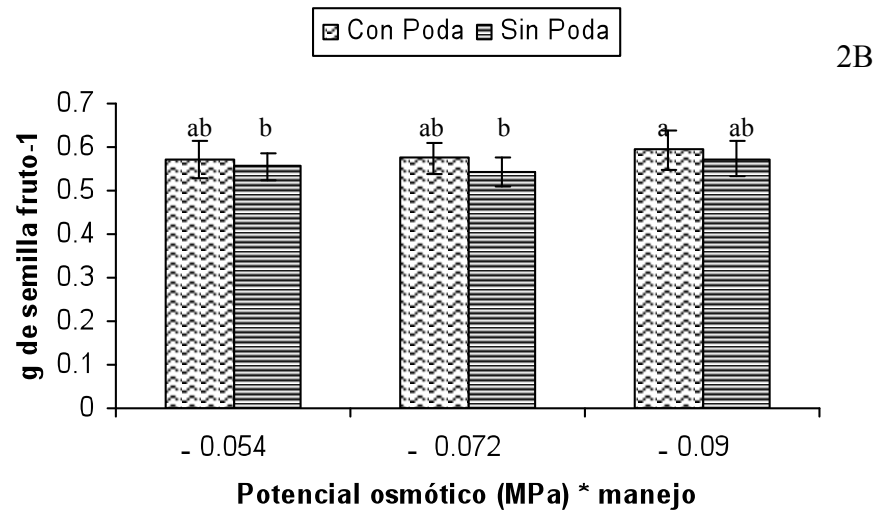
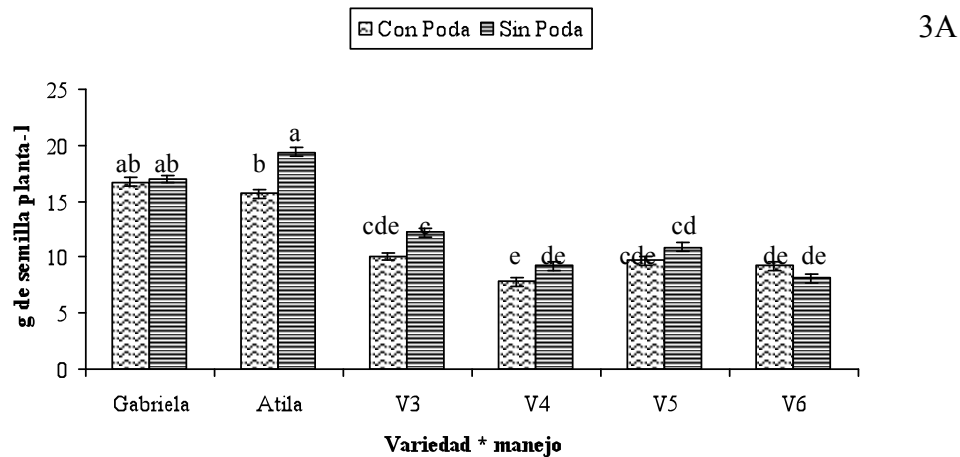


Figura 2. Efectos de la interacción solución nutritiva (MPa)*manejo del cultivo, sobre el rendimiento de semilla por planta (2A) y por fruto (2B); en seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

El mayor rendimiento de semilla por planta (13.7g; Figura 2A) se registró en la combinación de -0.072 MPa y el cultivo sin poda; sin embargo, los PO de -0.054 y -0.090 MPa registraron el mismo promedio estadístico con un rendimiento de 12.3 y 12.5 g planta⁻¹, respectivamente. Para RSF, fue la combinación de -0.090 MPa y el cultivo con poda, la que produjo el promedio más alto (0.593g; Figura 2B), el cual resultó estadísticamente igual al de las combinaciones de -0.054 y -0.072 MPa con 0.573 y 0.575 g de semilla por fruto, respectivamente.



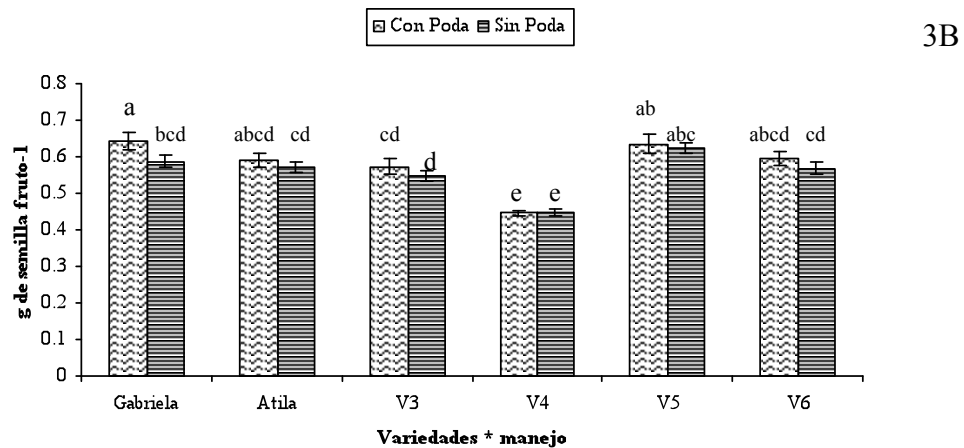


Figura 3. Efecto de la interacción variedad*manejo del cultivo, sobre el rendimiento de semilla por planta (3A) y por fruto (3B); en seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

El mayor RSP (Figura 3A) se registró en la combinación entre el híbrido Atila y el cultivo sin poda con $19.4 \text{ g planta}^{-1}$ y fue estadísticamente igual al del híbrido Gabriela con rendimientos de 16.7 g en el cultivo con poda y $17.1 \text{ g planta}^{-1}$ en el cultivo sin poda.

En la combinación del híbrido Gabriela y el cultivo con poda ocurrió el RSF más alto (0.643g ; Figura 3B), el cual fue similar estadísticamente a los promedios de las combinaciones de la Variedad 5 con y sin poda (0.634 y 0.622g), Variedad 6 con poda (0.595g) y el híbrido Atila con poda (0.592g), respectivamente.

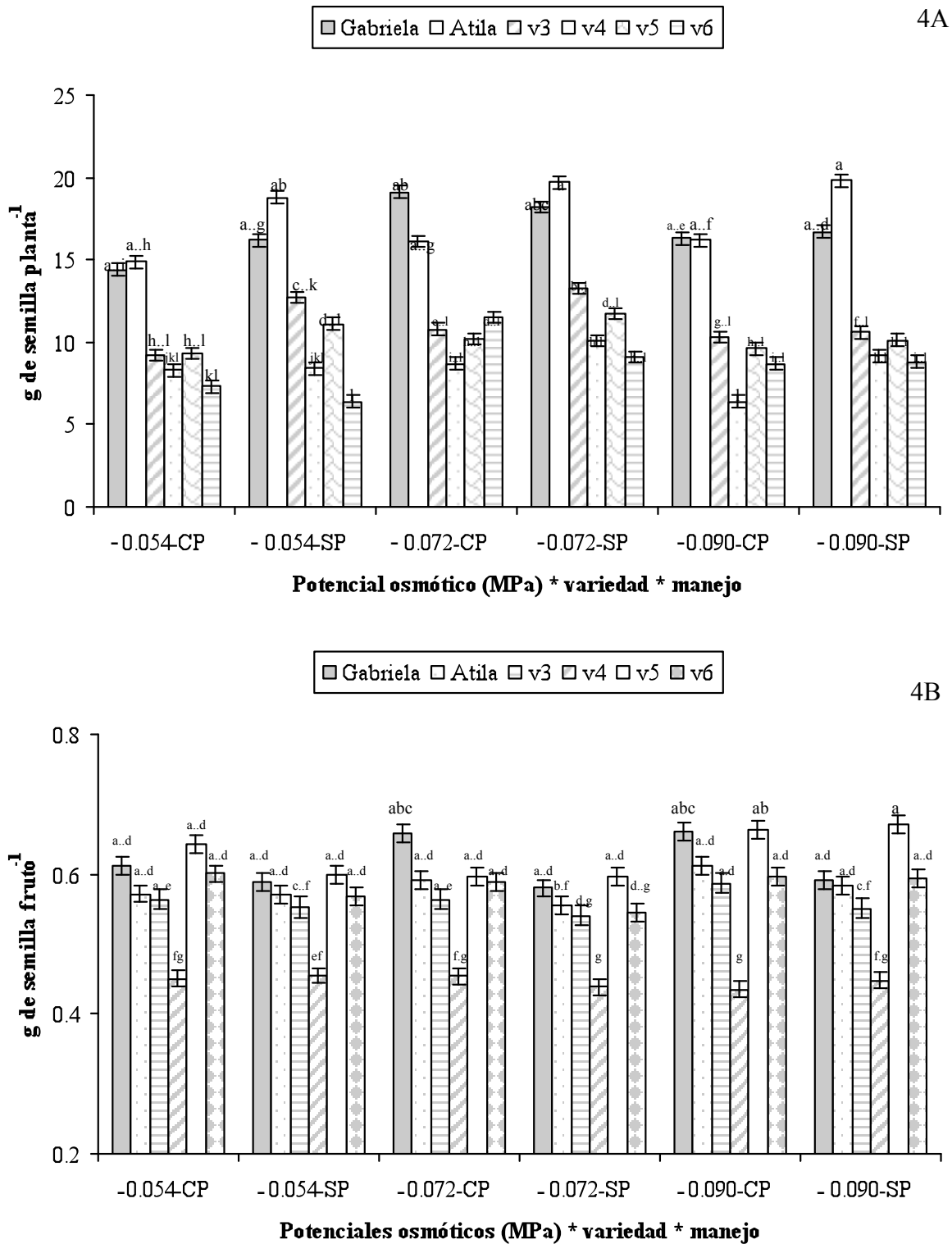


Figura 4. Efecto de la interacción solución nutritiva (MPa)*variedad*manejo del cultivo, sobre el rendimiento de semilla por planta (4A) y por fruto (4B); en seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

El RSP más alto (19.8 y 19.7g; Figura 4A) fue registrado en las combinaciones de las soluciones nutritivas de -0.090 y -0.072 MPa aplicadas al híbrido Atila sin poda; sin embargo, no hubo diferencia estadística con las combinaciones de PO -0.072 y -0.054 MPa aplicados a los híbridos Gabriela y Atila en ambos sistemas de cultivo. Es decir, los mejores rendimientos de semilla por planta se tuvieron por los híbridos en las tres soluciones nutritivas probadas en ambos sistemas de cultivo.

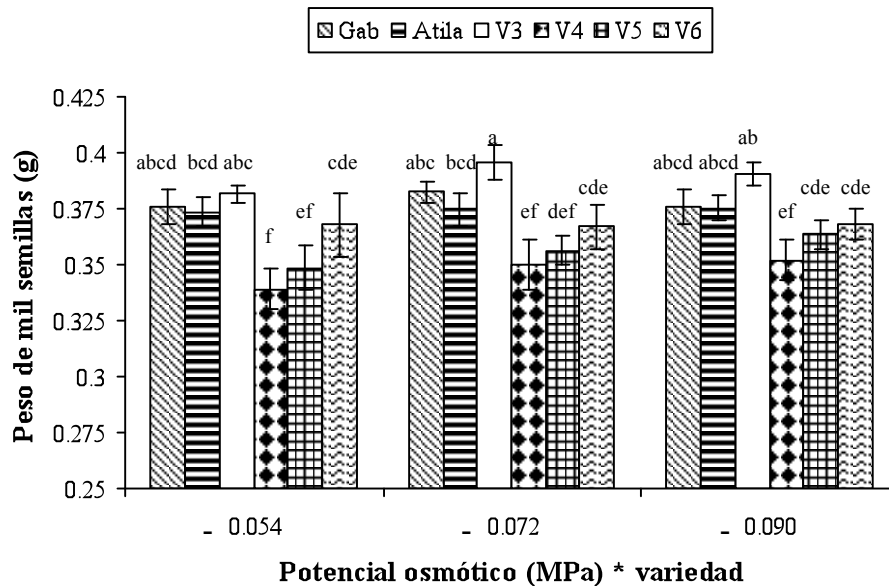
A excepción de las combinaciones de -0.072 MPa aplicado al híbrido Atila y Variedad 6 en el cultivo sin poda (Figura 4B), todos los promedios de los híbridos Gabriela, Atila, Variedad 5 y Variedad 6 en las tres soluciones nutritivas utilizadas en ambos sistemas de manejo fueron estadísticamente iguales.

Los rendimientos de semilla obtenidos coinciden con lo reportado por George (1989), quien determinó que bajo invernadero 1 kg de fruto produce aproximadamente 4 g de semilla, y confirman la información de Mosler (2005) quien asevera que la nutrición y diversos factores influyen en el número de frutos y rendimiento de fruto y semilla por fruto. Castillo *et al.* (1986) mencionan que existe alta correlación entre el número de semillas desarrolladas y el número de lóculos por fruto, lo cual determina que cada variedad produzca diferente cantidad de semilla. Además, Hernández (2006) afirma que la variedad, tamaño y calidad del fruto de tomate para semilla están íntimamente relacionados con la fisiología de la planta. Doijode (2001) señala que los frutos de tamaño medio a grande producen mayor cantidad de semilla que los pequeños. Esto coincide con los resultados obtenidos donde las variedades Gabriela, Variedad 3, Variedad 5 y Variedad 6 producen frutos de mayor tamaño, por tanto produjeron más semilla por fruto; sin embargo, el rendimiento de semilla por unidad de superficie fue mayor en los genotipos que rindieron mayor cantidad de frutos por planta como es el caso de los híbridos Atila y Gabriela. La variedad 4 produjo los frutos más pequeños y fue la que registró el menor rendimiento de semilla. Con la poda mejoró el tamaño del fruto y por consiguiente el rendimiento de semilla por fruto.

3.5.2. Calidad física de la semilla

La variable PMS mostró diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) en los efectos principales de los factores solución nutritiva, variedad y manejo; no hubo significancia en sus interacciones. R^2 fue de 61% y el CV 3.9% (Cuadro 3A).

El mejor PMS (3.71g y 269 semillas g^{-1}) fue obtenido con el PO de -0.072 MPa; sin embargo, fue similar estadísticamente al del PO -0.090 MPa cuyo promedio fue de 3.70g y 270 semillas g^{-1} . El PO más bajo (-0.054 MPa) presentó el menor PMS (3.6g y 275 semillas g^{-1}). De las variedades evaluadas, fue la línea experimental I(RK)B-17-1 Mont. 2002 (Variedad 3) la que produjo las semillas más pesadas con un PMS de 3.9g y 257 semillas g^{-1} . En el factor manejo se registró el mayor PMS (3.75g y 267 semillas g^{-1}) en la semilla proveniente de las plantas sin poda (Cuadro 4A).



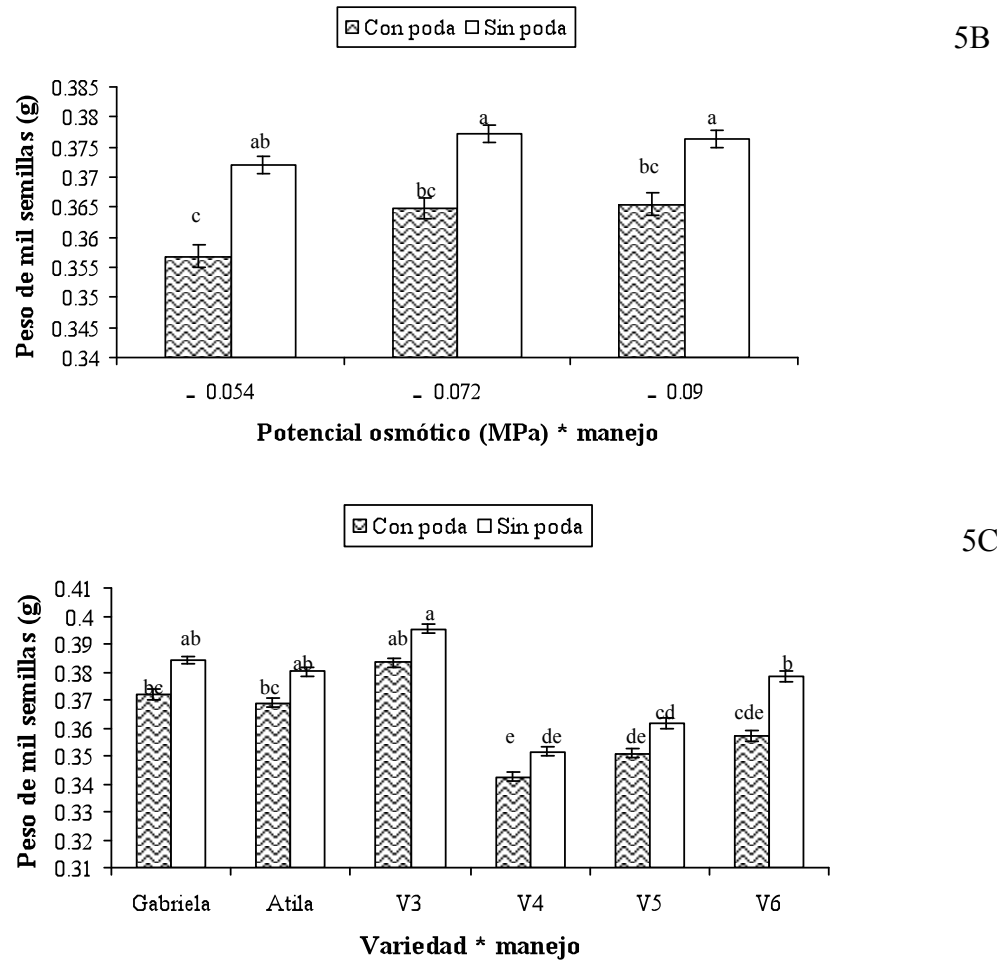


Figura 5. Efecto de las interacciones: solución nutritiva (MPa)*variedad (5A), solución nutritiva (MPa)*manejo (5B) y variedad*manejo (5C) sobre el peso de mil semillas; en seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

El PMS más alto (3.96g; Figura 5A) correspondió a la combinación del PO -0.072 MPa y la Variedad 3; sin embargo, los promedios del híbrido Gabriela fueron estadísticamente iguales (3.76, 3.82 y 3.76g) en las tres PO probadas, Variedad 3 (3.82g) en -0.054 MPa; así como el híbrido Atila y la Variedad 3 en -0.090 MPa con PMS de 3.75 y 3.91g, respectivamente. En la interacción formada entre la solución nutritiva*manejo del cultivo (Figura 5B), sobresale la combinación del PO -0.072 MPa y el cultivo sin poda con un PMS de 3.77g, el cual fue estadísticamente igual al de las combinaciones de los PO -0.090 y -0.054 MPa aplicados al cultivo sin poda con PMS de 3.76 y 3.72g, respectivamente. Nuevamente fueron la Variedad 3 y los híbridos Gabriela y Atila sin poda, las de mayor PMS con 3.95, 3.84 y 3.80g, respectivamente (Figura 5C). La interacción solución nutritiva*variedad*manejo no presentó diferencias

estadísticas; sin embargo, sobresale la combinación del PO -0.072 MPa aplicado a la variedad 3 en el cultivo sin poda con un PMS de 4.02 g.

Para el PV no hubo significancia por solución nutritiva, pero sí se registraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para manejo, y altamente significativas ($p \leq 0.01$) para variedad.

El coeficiente de determinación (R^2) fue del 91% y el coeficiente de variación (CV) de 2.6% (Cuadro 5A).

En la comparación de medias para los efectos de las variedades, sobresalen con el PV más alto la Variedad 3 y el híbrido Atila con 6.3 y 6.0g en 20 mL de semilla (Cuadro 6A).

Los resultados muestran que los factores estudiados tienen efecto positivo sobre el rendimiento y la calidad física de la semilla, y deben tomarse en consideración en un proceso de producción a mayor escala. Las líneas de tomate probadas no necesariamente son las más adecuadas para este tipo de estudio, ya que aún se encuentran en fase experimental; sin embargo, sirven como indicadoras para probar que un buen manejo mejora la calidad del producto final, sobre todo si se toma en cuenta que en un mismo lote se pueden tener semillas con distinto peso. Al respecto, Cruz (1990) reportó que una semilla ligera de tomate pesa 0.001g y se tienen 700 semillas g^{-1} ; la semilla semipesada 0.002g por unidad con 500 semillas g^{-1} , y la semilla pesada 0.003g con 320 semillas g^{-1} ; también reporta que la materia prima tiene un PV de 28 kg HL^{-1} y el producto final de 36 kg HL^{-1} y que los rendimientos de semilla en variedades tipo saladette son de 0.10 a 0.11 t ha^{-1} , y 0.23 a 0.25 t ha^{-1} de semilla en variedades tipo bola. Los resultados obtenidos en este experimento fueron superiores a los de la semilla pesada que reporta Cruz (1990), porque las condiciones en las que se desarrolló el cultivo fueron adecuadas. Los PMS obtenidos también superan los valores reportados por Desai *et al.* (1997) quienes mencionan un PMS de 2.4g y que cada fruto tiene entre 150 a 300 semillas o más, dependiendo de la variedad y del manejo del cultivo. Por su parte, Jones (1999) señala que el peso de la semilla varía considerablemente, con 300 a 350 semillas g^{-1} , y 7, 000 a 12, 000 semillas onza $^{-1}$ (28.4g). Sharma y Thakur (2002) afirman que el rendimiento de semilla ha^{-1} , número de semillas fruto $^{-1}$ y el PMS se incrementaron al aplicar la combinación del tratamiento formado por 0.5 kg ha^{-1} de “Natrín©” con la dosis más alta de N (100 kg ha^{-1}) y una base de 75 P_2O_5 -60 K_2O (kg ha^{-1}); mientras que Hamsaveni *et al.*

(2003) determinaron que los frutos cosechados completamente rojos, registraron el mayor PMS con 2.20g.

La poda mejora la calidad del fruto y se esperaría que también la de la semilla; sin embargo, los resultados muestran lo contrario, ya que los mejores promedios para todas las variables evaluadas se obtuvieron del cultivo sin poda. Después de la poda se presentó una proliferación de nuevos brotes en los puntos de crecimiento de la planta, lo que al parecer provocó un fuerte desvío de los fotoasimilados y hormonas a los ápices vegetativos, limitando su utilización por los frutos y semillas que es donde se necesitan. Lo anterior se sustenta en lo publicado por Chamarro (2001) quien indica que el ápice consume más asimilados que una inflorescencia en iniciación y cuando el suministro de estos asimilados es inadecuado, la inflorescencia solo obtiene carbohidratos después de que las necesidades del ápice han sido satisfechas. Monteiro (1983), señala que existe una correlación positiva entre el número de semillas y la concentración de auxinas y se ha identificado a las semillas como una fuente de auxinas en el fruto. Con la poda se modifica esta relación, ya que los nuevos brotes demandan auxinas para su crecimiento afectando la distribución de éstas hacia las semillas y con ello la calidad física y fisiológica de las mismas.

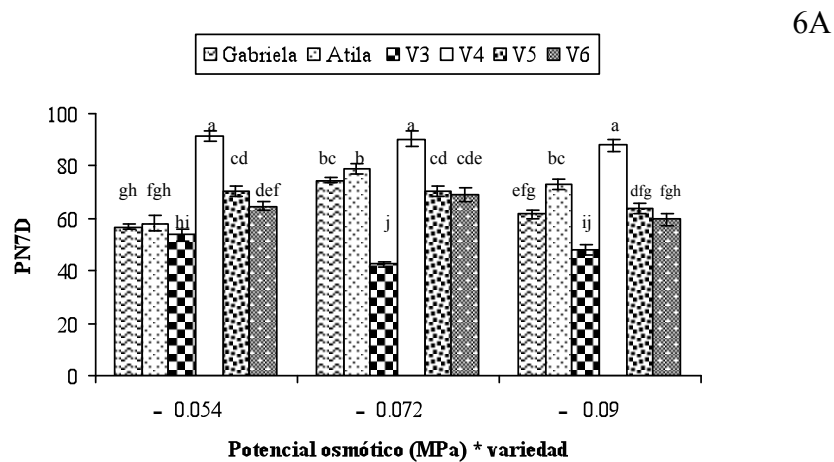
3.5.3. Calidad fisiológica de la semilla

3.5.3.1. a) Prueba de germinación

Se observan diferencias altamente significativas en los efectos principales de solución nutritiva, variedad y manejo, para las variables: plántulas normales a los siete días (PN7D), plántulas normales totales (PNT) y semillas no germinadas (SNG). También se presentan diferencias altamente significativas en todas las interacciones para la variable PN7D y en la interacción solución nutritiva*variedad en las variables PNT y SNG. Las interacciones solución nutritiva*manejo, variedad*manejo y solución nutritiva*variedad*manejo, fueron no significativas en las variables PNT y SNG. Para plántulas anormales (PAT) sólo en el efecto de las variedades hubo diferencias significativas, en el resto de las combinaciones no hubo significancia. En la variable SM se presentaron diferencias altamente significativas en los efectos

principales de la solución nutritiva y de las variedades, y significativas para manejo del cultivo; en todas las interacciones no hubo significancia. Los valores de R^2 para PN7D, PNT, PAT, SNG y SM fueron de 94.0, 91.0, 73.0, 86.0 y 60.0%; y los CV de 6.2, 5.9, 56.4, 28.9 y 41.4% para las mismas variables, respectivamente (Cuadro 7A).

Los promedios en los efectos principales de los factores estudiados para cada variable de la prueba de germinación se presentan en el Cuadro 8A. El mayor número de plántulas normales (71.0 en PN7D y 80.9 para PNT), se obtuvo con la solución nutritiva de -0.072 MPa; mientras que los valores extremos de PO (-0.054, -0.090 MPa) produjeron la mayor cantidad de plántulas anormales, semillas no germinadas y semillas muertas. Respecto al efecto de variedades, la Variedad 4 en las variables PN7D y PNT registró el mayor porcentaje de germinación con 89.9 y 96.7 plántulas normales, respectivamente. La Variedad 3 presentó el mayor número de semillas no germinadas (29.4); mientras que las Variedades 3 y 5 registraron la mayor cantidad de plántulas anormales (6.7 y 5.9). Para manejo del cultivo, el mayor porcentaje de germinación (69.9 en PN7D y 80.8 para PNT), se obtuvo en el cultivo sin poda. La mayor cantidad de semillas no germinadas (18.2) y de semillas muertas (3.4) se presentó en el cultivo con poda.



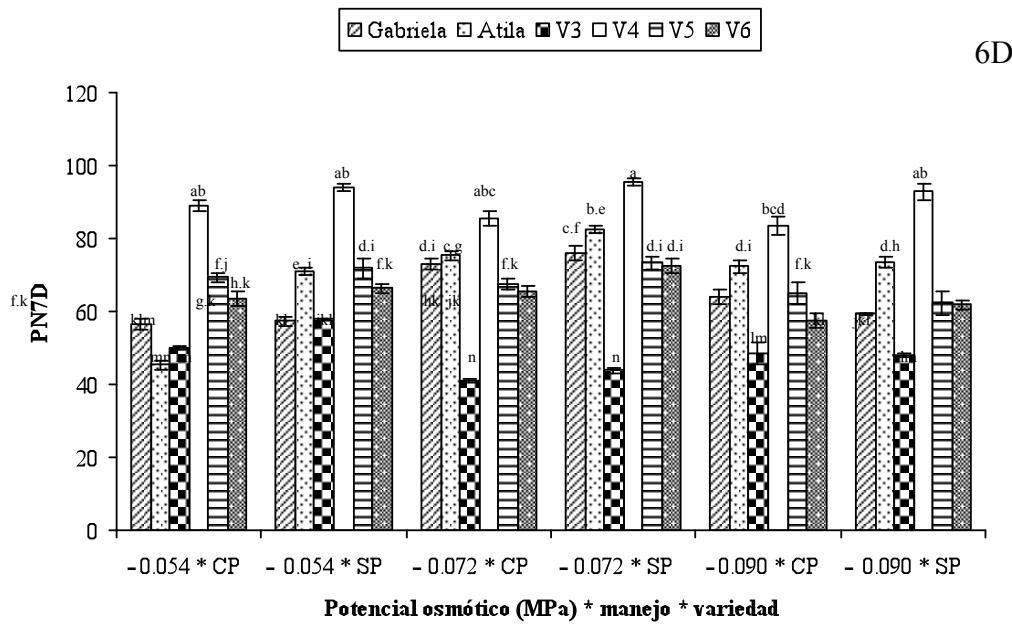
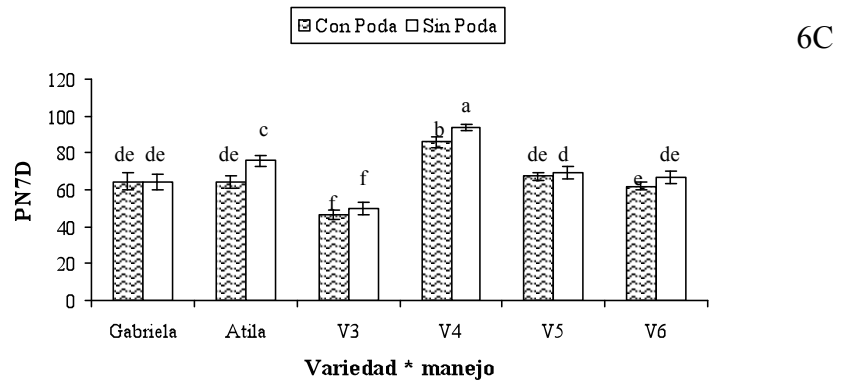
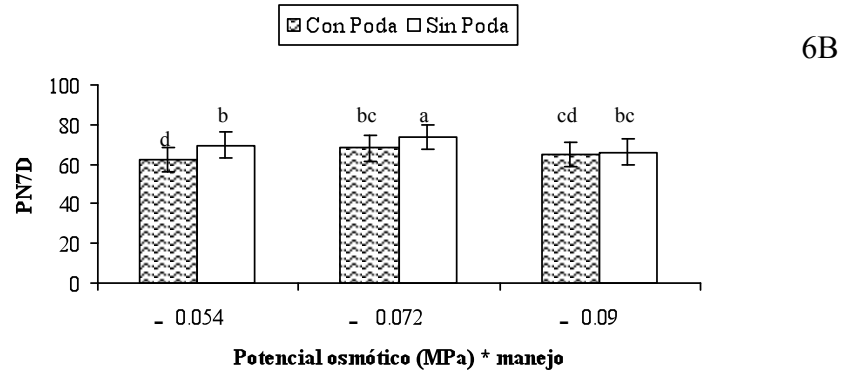
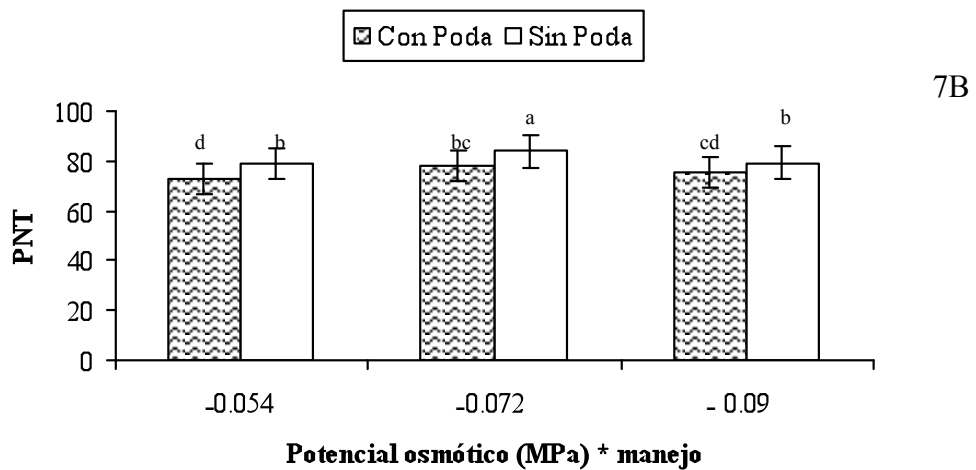
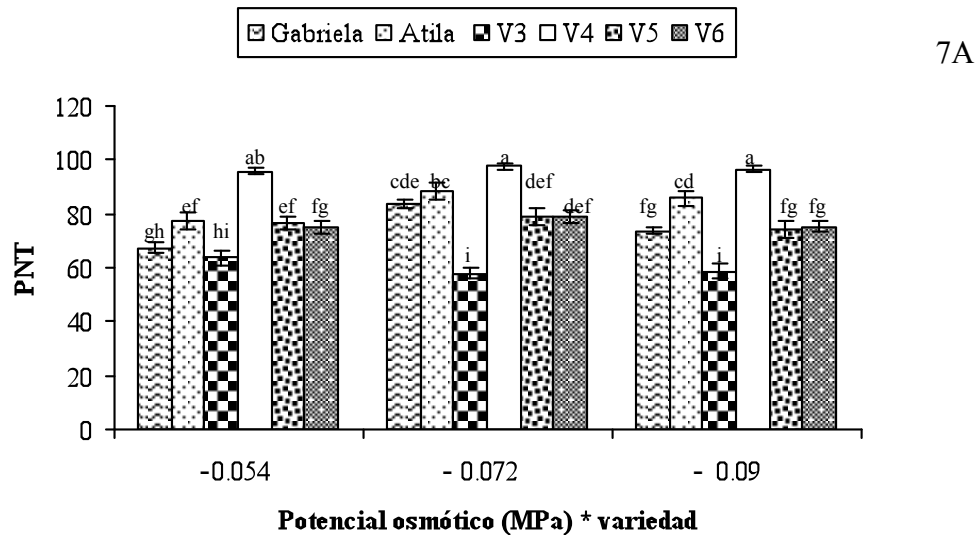


Figura 6. Efecto de las interacciones: solución nutritiva*variedad (6A), solución nutritiva*manejo (6B), variedad*manejo (6C) y solución nutritiva*variedad*manejo (6D), para plántulas normales a los siete días en la prueba de germinación; en semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

En la interacción solución nutritiva*variedad (Figura 6A), se observa que independientemente del PO la Variedad 4 fue la que obtuvo el mayor porcentaje de germinación con 91.4, 90.4 y 88.0 plántulas normales en -0.054, -0.072 y -0.090 MPa, respectivamente. Para la interacción solución nutritiva*manejo (Figura 6B) sobresale con el mejor promedio la combinación de -0.072 MPa aplicada al cultivo sin poda con 73.9 plántulas normales. En la interacción variedad*manejo (Figura 6C), se observa que la Variedad 4 sin poda registró el promedio más alto con 93.9 plántulas normales. Para la interacción solución nutritiva*variedad*manejo (Figura 6D), nuevamente se observa que la Variedad 4 obtuvo el mayor número de plántulas normales en todas las combinaciones evaluadas.



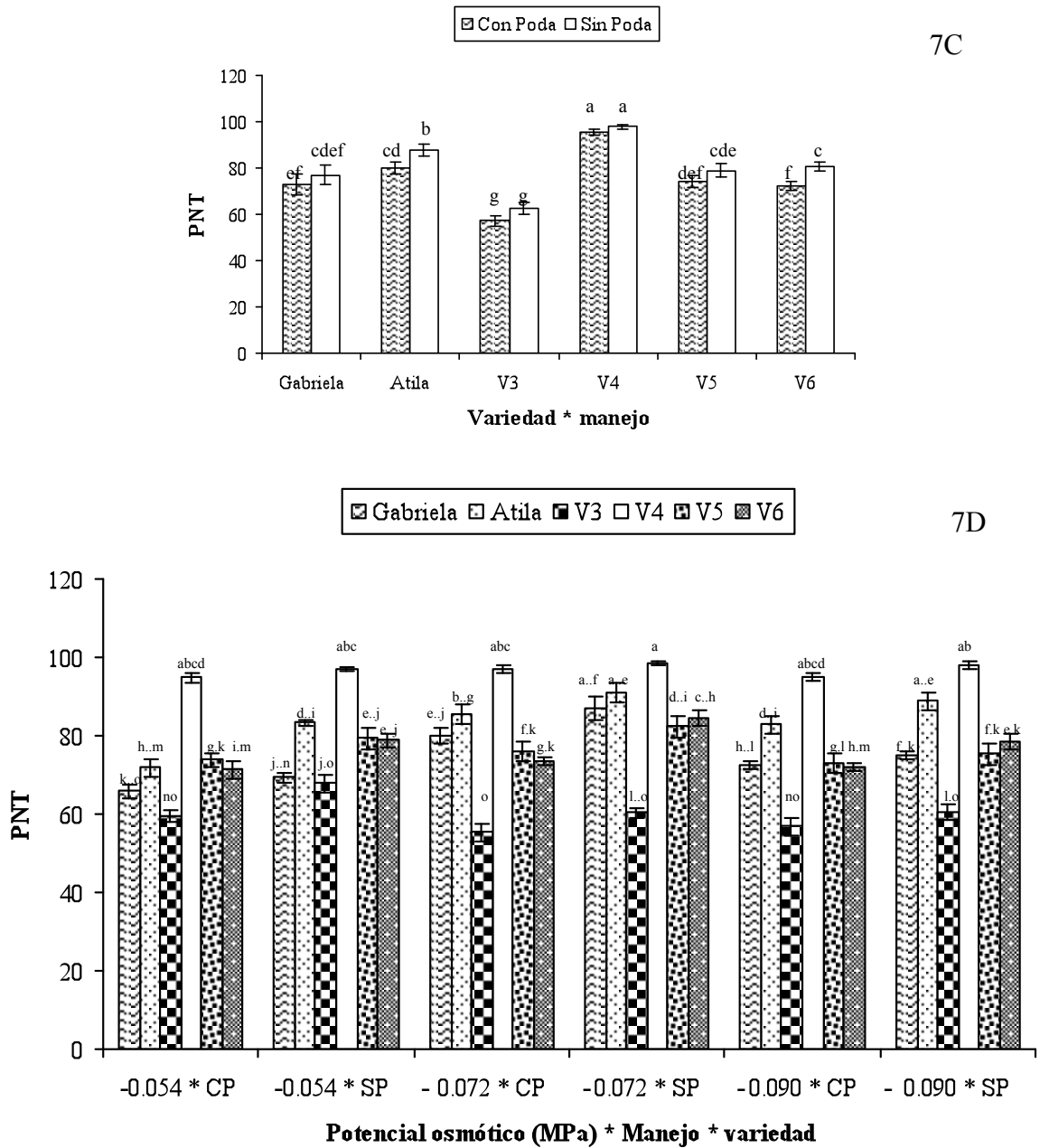
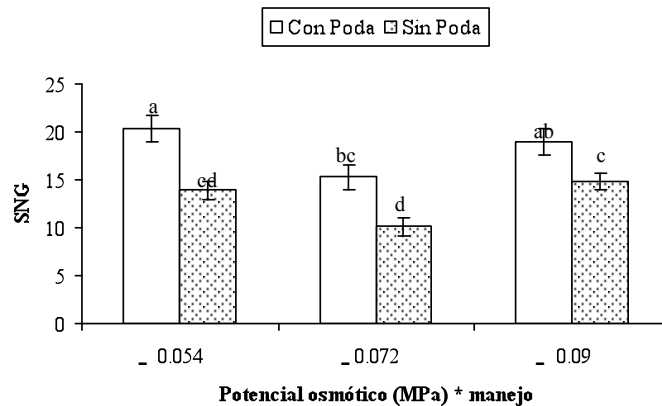
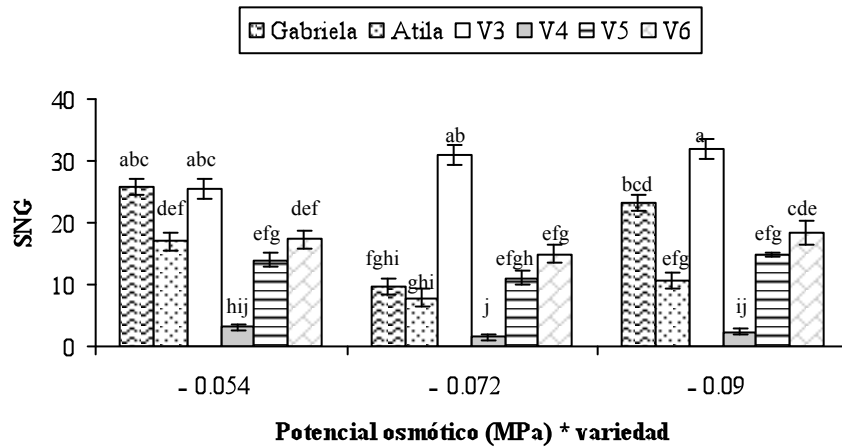


Figura 7. Efecto de las interacciones: solución nutritiva*variedad (7A), solución nutritiva*manejo (7B), variedad*manejo (7C) y solución nutritiva*variedad*manejo (7D), sobre el número de plántulas normales totales en la prueba de germinación (PNT); en semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

La Figura 7A muestra que la Variedad 4 obtuvo el mejor porcentaje de germinación en las tres soluciones nutritivas utilizadas; sobresaliendo con 97.6 plántulas normales la combinación del

PO -0.072 MPa, el cual fue estadísticamente igual al de los PO -0.054 y -0.090 MPa con 95.9 y 96.5 plántulas normales, respectivamente. En la Figura 7B se observa que en la combinación de PO -0.072 MPa y el cultivo sin poda se registró el mejor promedio con 83.9 plántulas normales. En la interacción variedad*manejo (Figura 7C), la Variedad 4 en ambos sistemas de cultivo presentó el promedio más alto con 95.5 y 97.8 plántulas normales totales. En la interacción de los factores solución nutritiva*variedad*manejo (Figura 7D), los PO de -0.054, -0.072, -0.090 MPa aplicados a la Variedad 4 en el cultivo con y sin poda, registraron el mismo promedio estadístico al producir 94.8 y 97.0, 96.8 y 98.5, 95.0 y 98.0 plántulas normales totales, respectivamente en la prueba de germinación. La Variedad 3 registró los promedios más bajos en las tres soluciones nutritivas en ambos sistemas de manejo.



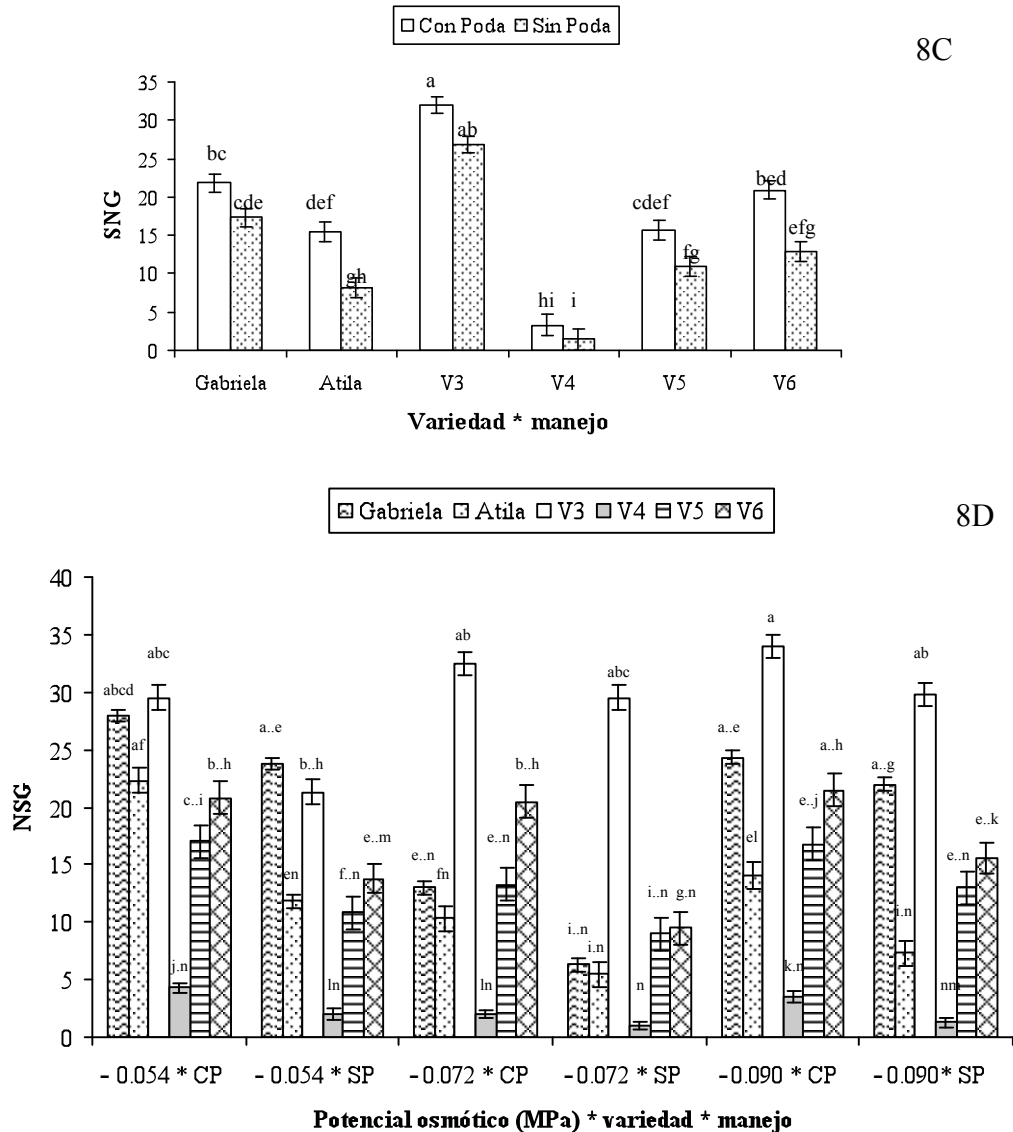


Figura 8. Efecto de las interacciones: solución nutritiva*variedad (8A), solución nutritiva*manejo (8B), variedad*manejo (8C) y solución nutritiva*variedad*manejo (8D), sobre el número de semillas no germinadas (NSG) en la prueba de germinación; en semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

Respecto a las semillas no germinadas los PO -0.090, -0.072, -0.054 MPa y la Variedad 3, registraron el mismo promedio estadístico con 31.9, 31.0 y 25.4, respectivamente (Figura 8A).

Los potenciales osmóticos de -0.054 y -0.090 MPa y el cultivo con poda presentaron (Figura 8B) los promedios más altos de semillas no germinadas (20.3 y 19.0); en tanto que las combinaciones de la Variedad 3 en ambos sistemas de cultivo presentó (Figura 8C) el mayor NSG (32.0 CP, 26.8 SP). En la interacción de los tres factores, nuevamente la Variedad 3 registró (Figura 8D) la

mayor cantidad de semillas no germinadas en las tres soluciones nutritivas para las plantas cultivadas con poda.

Los resultados muestran que la solución universal de Steiner (1984) con PO de -0.072 MPa, no sólo es la óptima para la producción de fruto de tomate, sino que también puede ser la adecuada para la producción de semilla, ya que influye positivamente en la calidad física y fisiológica de la misma. Con ello se confirma lo reportado por Osman y George (1984) en el sentido de que una buena nutrición de la planta madre puede favorecer la germinación y emergencia de las plántulas. Un PO alto restringe la absorción de algunos nutrimentos, y puede ocasionar un déficit en la cantidad de éstos en la solución nutritiva; ambos casos afectan el crecimiento de la planta y por consecuencia la calidad de la semilla producida.

Del análisis factorial puede señalarse que la solución nutritiva, variedades y manejo, influyeron positivamente en el porcentaje de plántulas normales y semillas no germinadas de la prueba de germinación. Las normas del SNICS (1975) marcan que se requiere de un 85% de germinación en la semilla de tomate para las categorías básica, registrada y certificada. Esto indica que la semilla cosechada tiene buena viabilidad, y que sólo debe aplicarse un tratamiento que estimule la germinación para alcanzar valores cercanos al 100%. Estos resultados coinciden con lo reportado por Nuez (2001) quien afirma que la germinación depende de la variedad y de las condiciones ambientales en las que ésta se cultive; también son similares a los obtenidos por Rodríguez *et al.* (2000), en relación a que encontraron diferencias significativas entre los genotipos para todas las variables estimadas, en tanto que son distintos a los reportados por Rodríguez *et al.* (1998), quienes sólo detectaron diferencias significativas para el porcentaje de semillas muertas, como resultado del potencial osmótico de las soluciones nutritivas.

La variabilidad genética observada, puede ser el resultado de una respuesta diferencial de las variedades a los potenciales osmóticos, debido a la tolerancia relativa de un genotipo a las sales presentes en las soluciones nutritivas utilizadas. Esta característica es particularmente importante, cuando el agua de riego presenta cierto grado de salinidad.

Las Variedades 3 y 5, así como los híbridos Gabriela y Atila tienen semillas más grandes, mientras que en la Variedad 4 son más pequeñas. Al respecto, Nuez (2001) menciona que las semillas grandes tienen la cubierta seminal más dura e impermeable que las semillas pequeñas. Esta característica, es fundamental en la germinación y emergencia de las plántulas, en virtud de que la testa es la primera barrera que influye en la velocidad de absorción del agua y en consecuencia influye en la capacidad de germinación. Estudios realizados sobre el tamaño de la semilla, reportan resultados contradictorios sobre la germinación, crecimiento de la planta y rendimiento final del cultivo (Hill *et al.*, 1997). Los resultados de este experimento, coinciden con lo reportado por Nuez (2001) quien afirma que la germinación está, al menos en parte, bajo control genético y es más rápida en las semillas pequeñas, como es el caso de la Variedad 4 que presentó la mayor cantidad de plántulas normales; por el contrario, Moreno *et al.* (1998) encontraron que el tamaño grande de la semilla tiene un efecto positivo en la germinación y vigor del maíz.

Como prácticamente no hubo semillas muertas y los promedios de las plántulas anormales fueron bajos, se puede inferir que la calidad de la semilla cosechada tuvo buena viabilidad; al respecto Hampton (2002) menciona que la calidad de un lote de semilla disminuye debido al porcentaje de plántulas anormales y/o al aumento de semillas muertas.

Aunque en el presente trabajo no se le dio tratamiento a la semilla para no enmascarar los efectos de los factores estudiados, principalmente el de los PO y las podas; para mejorar el porcentaje de germinación en las variedades que registraron los promedios más bajos, es conveniente darles tratamiento con promotores de la germinación, ya que en este caso, el problema no es de viabilidad sino de otro tipo (latencia por ejemplo). Según Ramírez *et al.* (2004) altos niveles de carotenoides pueden disminuir la síntesis de promotores esenciales de la germinación como las giberelinas; y un elevado nivel de licopeno puede ser responsable de la reducción de la velocidad de germinación en las semillas de algunas variedades y estos dos pigmentos son abundantes en frutos completamente maduros como los cosechados para semilla.

3.5.3.2. b) Prueba de vigor

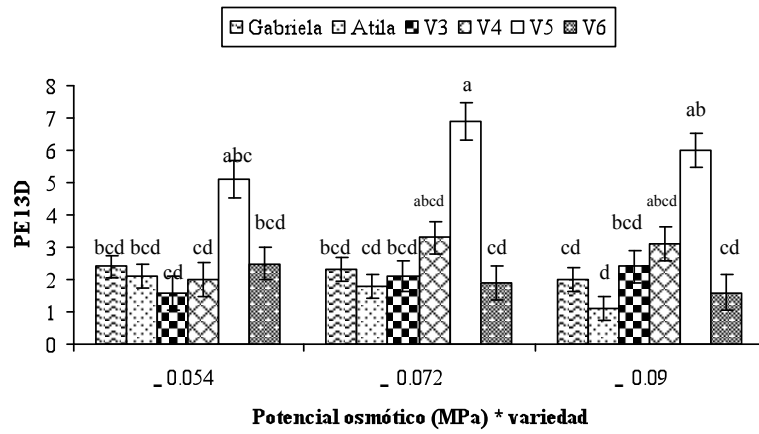
En el Cuadro 9A se observa que no hubo diferencias estadísticas para la solución nutritiva en todas las variables evaluadas. Para el factor variedad, las diferencias estadísticas fueron altamente significativas en PE13D, TPE e IV y no significativas en MSR y MSPA; mientras que se registraron diferencias significativas para el manejo en TPE e IV y no significativas en PE13D, MSR y MSPA.

En la interacción solución nutritiva*manejo se presentan diferencias significativas en PE13D y altamente significativas en TPE e IV; no hubo significancia en MSR y MSPA. La interacción solución nutritiva*variedad*manejo tuvo diferencias significativas en TPE y altamente significativas en PE13D e IV. Para las interacciones solución nutritiva*variedad y variedad*manejo, los efectos fueron no significativos en todas las variables consideradas en la evaluación del vigor de la semilla.

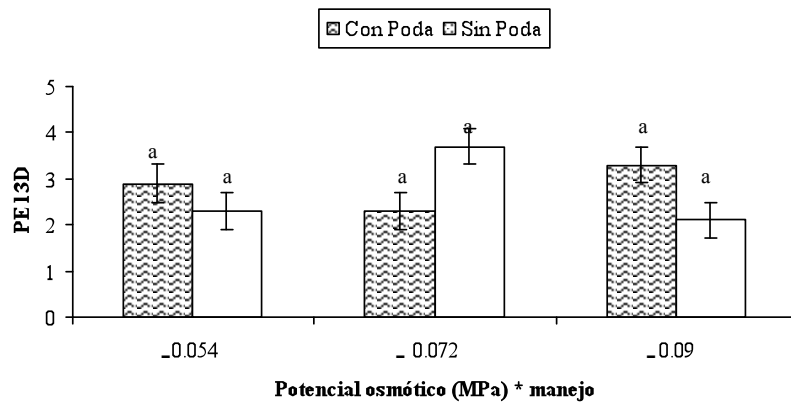
Los R^2 fueron de 52.0, 77.0, 29.0, 49.0 y 77.0% para PE13D, TPE, MSR, MSPA e IV, respectivamente; los CV obtenidos fueron de 80.3, 13.5, 67.1, 11.1 y 14.3%, para las mismas variables.

Con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para los efectos principales (Cuadro 10A), se observa que todas las variables tuvieron el mismo promedio estadístico en las soluciones nutritivas. La Variedad 5 hasta el tercer conteo (PE13D), presentó la mayor cantidad de plántulas emergidas (6.0) que equivalen al 24 % del total de semillas sembradas; sin embargo, a partir del cuarto conteo hasta concluir la prueba de vigor, la Variedad 4 fue la que registró la mayor cantidad de plántulas emergidas (23.5) que equivalen al 96% de las semillas sembradas y el mayor índice de vigor (1.62). EN las variables MSR y MSPA todas las combinaciones fueron estadísticamente iguales. En el factor manejo los promedios fueron iguales estadísticamente en las variables PE13D, TPE, MSR y MSPA; para IV, el promedio mayor (1.22) se registró en la semilla obtenida de las plantas sin poda.

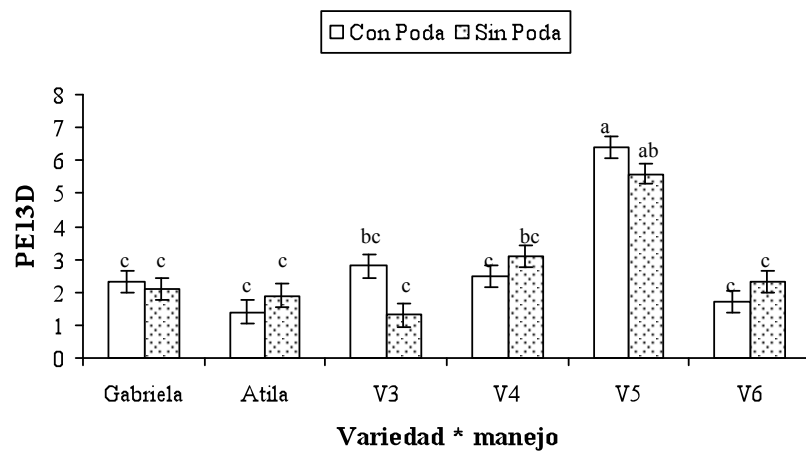
9A



9B



9C



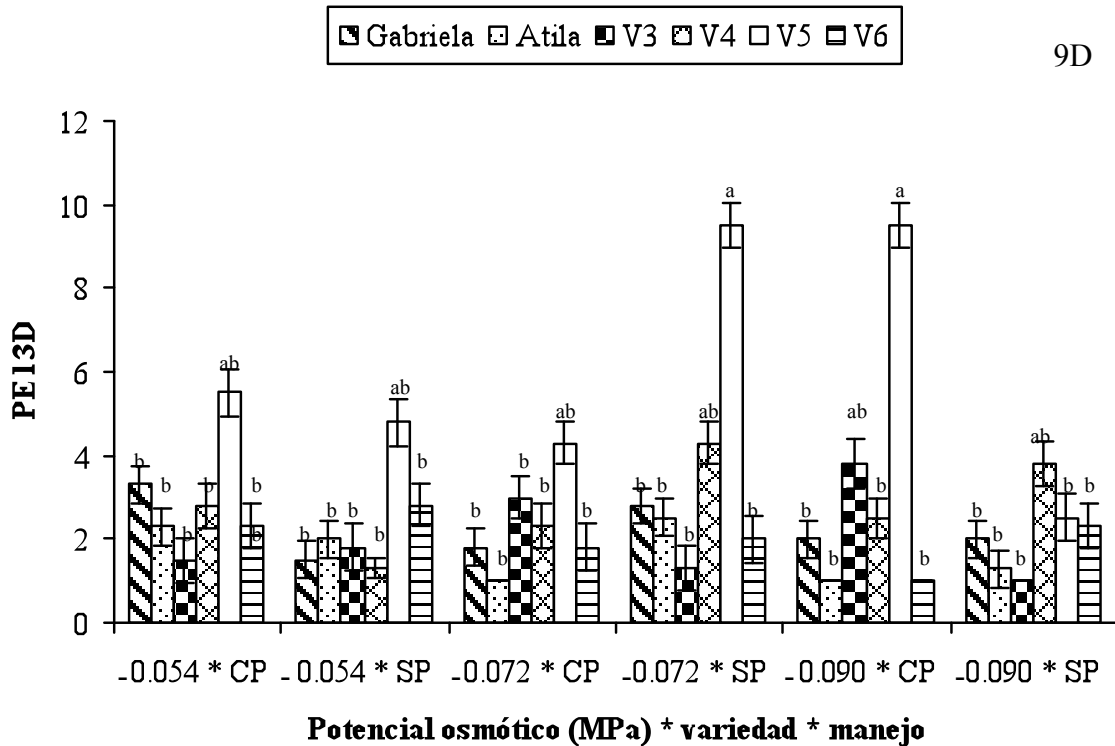
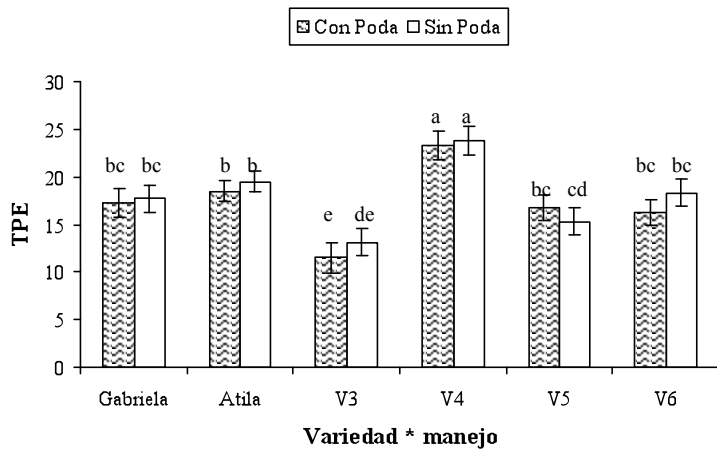
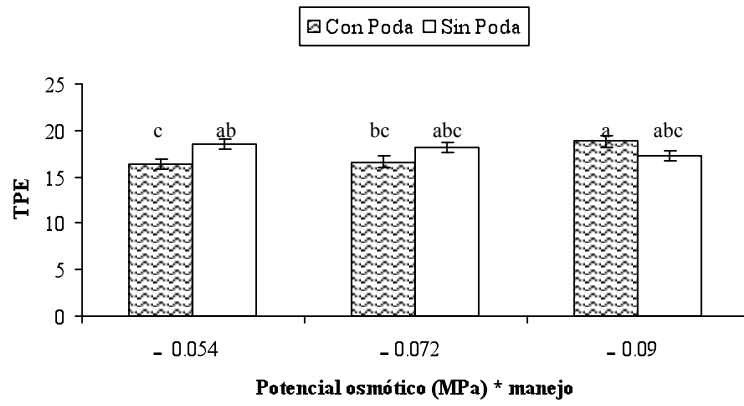
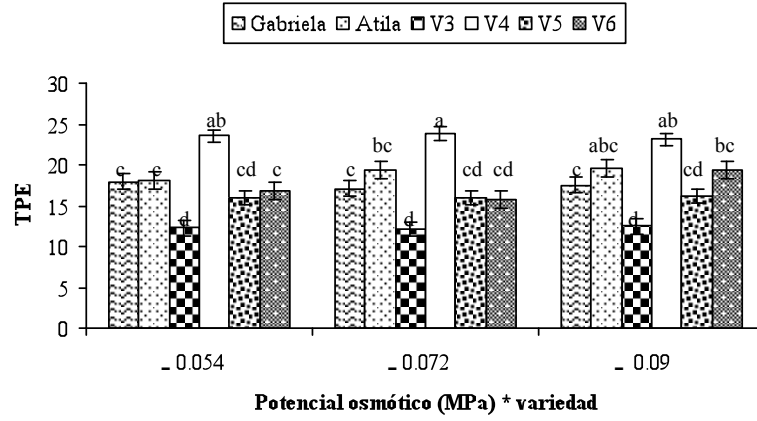


Figura 9. Efecto de las interacciones: solución nutritiva*variedad (9A), solución nutritiva*manejo (9B), variedad*manejo (9C) y solución nutritiva*variedad*manejo (9D), en plántulas emergidas a los 13 días de iniciada la prueba de vigor; en semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

La Figura 9A muestra que en las tres soluciones nutritivas la Variedad 5 presentó la mayor cantidad de plántulas emergidas (6.9, 6.0 y 5.1) en el tercer conteo de la prueba de vigor; los cuales equivalen al 28.0, 24.0 y 20.4% de las semillas sembradas. A pesar de que la combinación del PO -0.072 MPa y el cultivo sin poda tuvo más plántulas emergidas (Figura 9B), todas las combinaciones de esta interacción registraron el mismo promedio estadístico. En la Figura 9C la Variedad 5 en ambos sistemas de manejo presentaron el mejor promedio, con 6.4 plántulas emergidas en el cultivo con poda y 5.6 en el sin poda. La Figura 9D de la interacción solución nutritiva*variedad*manejo, muestra que las combinaciones entre el PO -0.072 MPa y la Variedad 5 sin poda, PO -0.090 MPa y Variedad 5 con poda, fueron las más sobresalientes con 9.5 plántulas emergidas en cada una, lo cual equivale al 38.0% de las semillas sembradas.



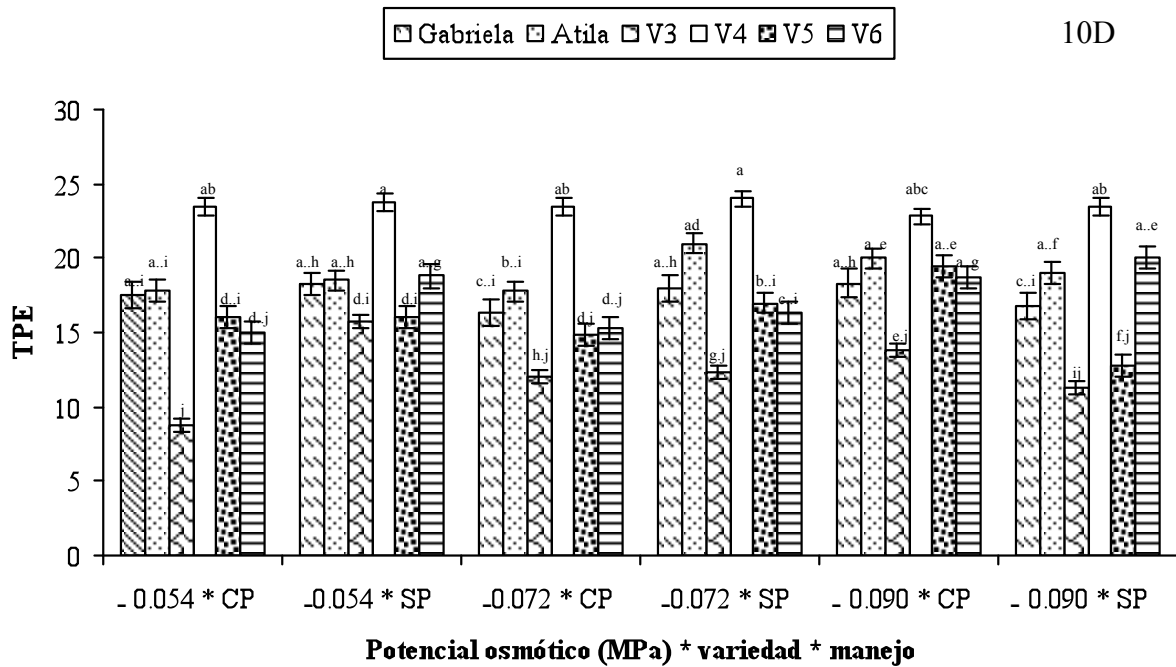
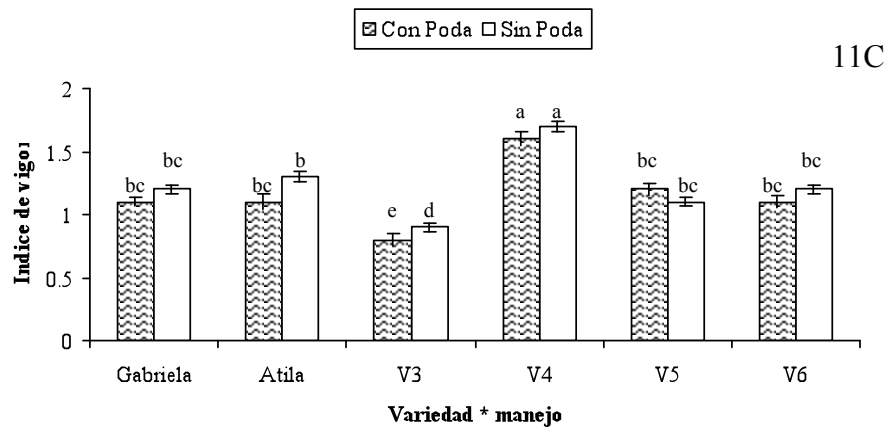
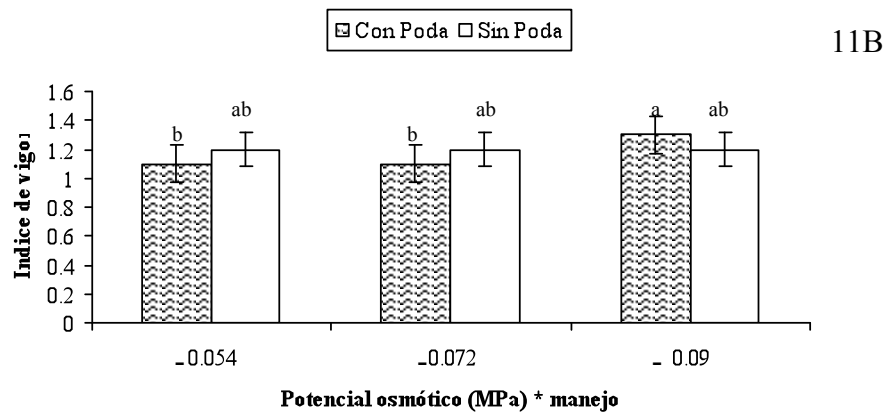
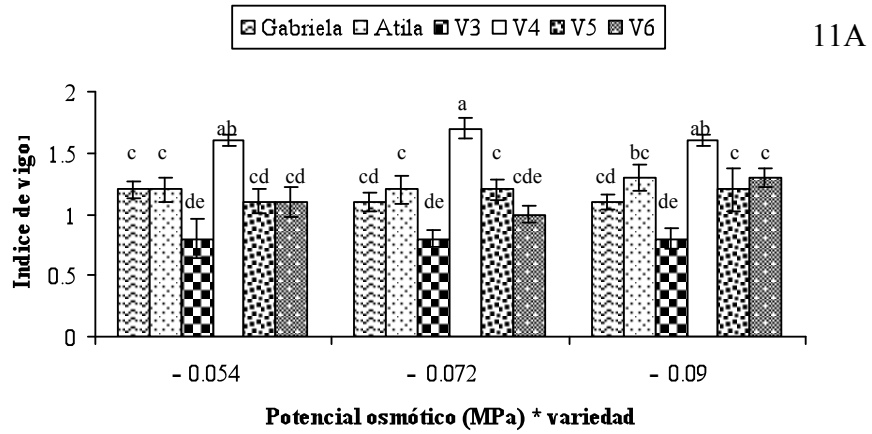


Figura 10. Efecto de las interacciones: solución nutritiva*variedad (10A), solución nutritiva*manejo (10B), variedad*manejo (10C) y solución nutritiva*variedad*manejo (10D), en el total de plántulas emergidas (TPE) en la prueba de vigor de semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

En la Figura 10, donde se presentan los efectos de interacción para la variable TPE, se aprecia (Figura 10A) que en la interacción solución nutritiva*variedad las combinaciones de los PO - 0.072, -0.054 y -0.090 MPa por la Variedad 4, registraron los promedios más altos con 23.8, 23.5 y 23.1 plántulas emergidas totales, que equivalen al 95.2, 94.1 y 92.4% de las semillas utilizadas en la prueba de vigor. La interacción solución nutritiva*manejo (Figura 10B) presentó el mismo promedio estadístico en la mayoría de las combinaciones. En la interacción variedad*manejo (Figura 10C), la Variedad 4 produjo el mejor porcentaje de plántulas emergidas totales con promedios de 23.8 en el cultivo sin poda y 23.3 en el con poda; mientras que la Variedad 3 tuvo los promedios más bajos.

En la interacción de los tres factores (Figura 10D), nuevamente la Variedad 4 registró la mayor cantidad de plántulas emergidas totales con el mismo promedio estadístico en los tres PO utilizados (-0.054, -0.072 y -0.090 MPa) en ambos sistemas de cultivo; respectivamente con valores de 23.6, 24.1 y 23.5 cuando el cultivo se manejó sin poda y 23.5, 23.5 y 22.8 cuando se

podaron las plantas; nuevamente la variedad 3 registró los promedios más bajos en todas las combinaciones estudiadas.



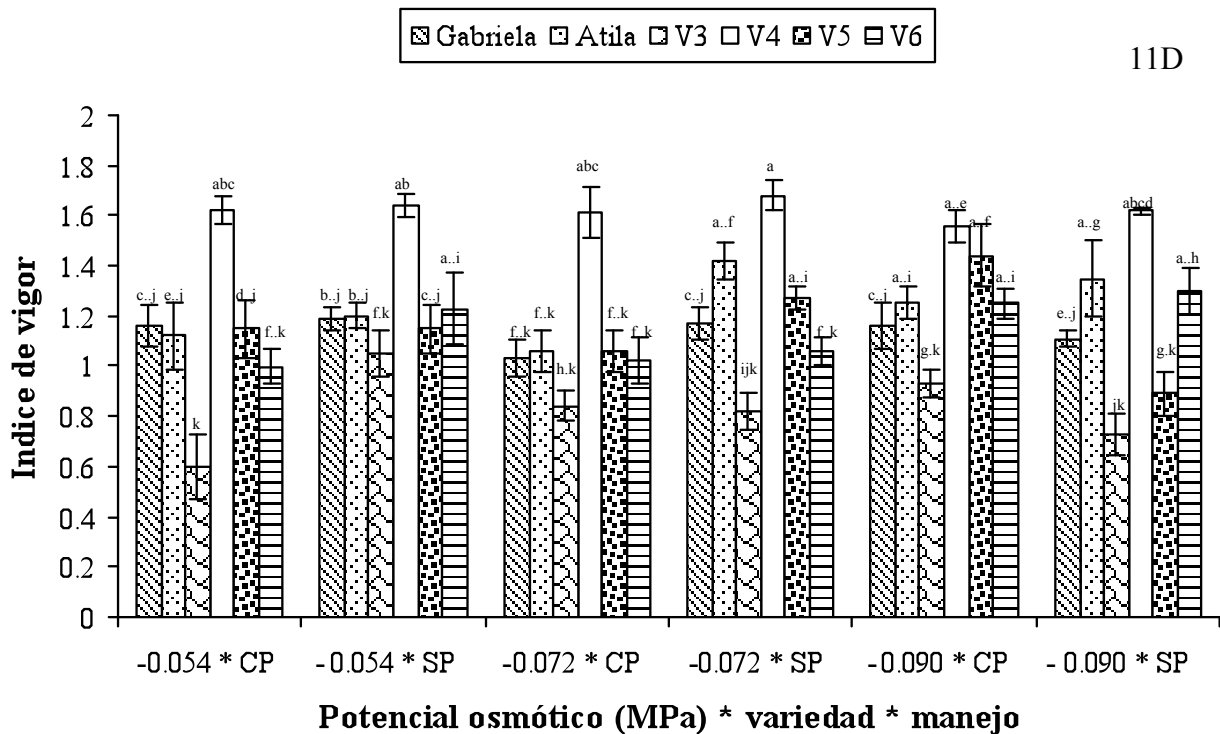


Figura 11. Efecto de las interacciones: solución nutritiva*variedad (11A), solución nutritiva*manejo (11B), variedad*manejo (11C) y solución nutritiva*variedad*manejo (11D), en el índice de vigor de la semilla en seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

En la Figura 11 se presentan los efectos de interacciones para el IV, donde puede apreciarse (Figura 11A) que independientemente de los PO la Variedad 4 fue la que obtuvo el mayor índice de vigor. Para la interacción solución nutritiva*manejo (Figura 11B), se observa que la mayoría de las combinaciones fueron similares estadísticamente. En la interacción variedad*manejo (Figura 11C), la Variedad 4 en ambos sistemas de cultivo fue la más sobresaliente, con índices de vigor de 1.7 en el cultivo sin poda y 1.6 en el con poda. En la interacción de los tres factores (Figura 11D), nuevamente la Variedad 4 obtuvo los índices de vigor más altos en las tres PO evaluadas en ambos sistemas de manejo.

Los resultados indican que hubo efectos positivos de los factores y sus interacciones en la calidad fisiológica de la semilla. Sin embargo, la mayor variación tanto en condiciones controladas como de campo, puede atribuirse principalmente al genotipo y a su interacción con el ambiente.

Al igual que en la prueba de germinación, la solución de Steiner (1984) con PO de -0.072 MPa, produjo la mayor cantidad de plántulas emergidas en la prueba de vigor y se reafirma el supuesto de que con la Variedad 4 se pueden tener resultados satisfactorios en cuanto a producción de semilla se refiere. Además estos resultados confirman la aseveración de Osman y George (1984) en el sentido de que una buena nutrición de la planta madre puede favorecer la germinación y emergencia de las plántulas.

Los pobres resultados de las variedades 3, 5, Atila y Gabriela en la prueba de vigor, además de su testa dura, estos pueden estar asociados, entre otras cosas, con la poca tolerancia de los genotipos a las bajas y altas temperaturas, ya que en los días en que se desarrolló la prueba de vigor, las condiciones del ambiente fueron extremadamente adversas. Al respecto, Nuez (2001) señala que la capacidad de germinar a temperaturas muy bajas (8.5-12 °C) y muy elevadas (35-37 °C), depende de la variedad, ya que algunos cultivares capaces de germinar a temperaturas bajas, también lo hacen a temperaturas elevadas. Por su parte Perry (1981), asevera que en condiciones adversas emergerán pocas plántulas sin importar el nivel de vigor de la semilla, sucediendo lo contrario en condiciones favorables donde la emergencia puede correlacionar con la germinación, y entonces una prueba de vigor puede no representar ventaja alguna. Albuquerque y Carvalho (2003) mencionan que factores de estrés tales como exceso o déficit de agua, temperatura desfavorable, y patógenos, pueden dificultar la emergencia y desarrollo temprano de las plántulas y esta fase (desde germinación hasta emergencia) requiere de buena calidad en la semilla.

La materia seca de raíz (MSR) y parte aérea (MSPA) de las plántulas ayudaron poco a explicar el efecto de los factores estudiados sobre el vigor de las plántulas y por consiguiente del índice de vigor, lo cual difiere con lo reportado por Hernández *et al.* (2000), en el sentido de que las variables relacionadas con el peso seco producido por las plántulas, son los mejores indicadores de vigor.

El índice de vigor o índice de Maguire (IV) en las semillas es un indicador de calidad de las mismas, y en tal virtud la información sobre vigor ha sido utilizada como estrategia de comercialización; en este sentido, la semilla de la Variedad 4 mostró buen vigor, ya que el porcentaje de plántulas emergidas se acercó al 100 % en las tres soluciones nutritivas.

Mientras muchos agricultores cuentan con tecnología para producir lotes de semilla con alta pureza, sanidad y estándares adecuados de germinación, poco se conoce de cómo producir lotes de semilla con una rápida y uniforme emergencia (alto vigor) bajo un amplio rango de condiciones. TeKrony *et al.* (1980) consideran que un problema crónico de la industria semillera es la producción de semilla que posee bajo vigor; mientras que Dornbos (1995) ha reportado la influencia de los factores agronómico y ambiental sobre el vigor de la semilla.

La poda de las plantas permitió encausar el desarrollo vegetativo de las mismas, modificar el hábito de crecimiento de indeterminado a determinado, incrementar el tamaño del fruto y concentrar la producción de frutos maduros en menor tiempo; pero también incrementó el número de frutos agrietados y afectó negativamente la calidad de la semilla producida, ya que los mejores resultados se obtuvieron en la semilla del cultivo sin poda. Probablemente con la poda se provocó un desbalance hormonal en la planta por la abundante proliferación de nuevos brotes en los puntos donde se realizó la poda, los cuales demandan gran cantidad de auxinas para su crecimiento y desarrollo. Según Kagan *et al.* (1992), existe una correlación positiva entre el número de semillas bien desarrolladas por fruto y la concentración de auxinas en éstos; esta relación, puede ser una de las causas que provocaron una disminución de la calidad en la semilla producida.

Los resultados obtenidos, y bajo las condiciones en que se desarrolló el experimento, sugieren que la línea experimental I(1.20)B-14B4S4, Montecillo 2002 (Variedad 4) es la más indicada para producción de semilla de calidad; sin embargo, cabe señalar que hace falta la integración de algunos caracteres como el tamaño de fruto, y otras características organolépticas para poder recomendarla a los productores.

3.6. CONCLUSIONES

Los híbridos Gabriela y Atila produjeron la mayor cantidad de semilla por planta y por unidad de superficie en todos los tratamientos probados; en tanto que la Variedad 5 en el sistema de manejo con poda registró el mayor rendimiento de semilla por fruto.

La mejor solución nutritiva para producción de semilla de tomate es la que tiene un potencial osmótico de -0.072 MPa: la solución Steiner.

El mayor efecto en la calidad de la semilla producida se debió al genotipo y a su interacción con el ambiente de producción. La variedad que produjo la mejor calidad física de semilla en relación a peso y tamaño, fue la línea experimental I(RK) B-17-1, Montecillo 2002 (Variedad 3). No obstante, fue también la que registró la menor cantidad de plántulas normales en la prueba de germinación, así como la menor cantidad de plántulas emergidas en la prueba de vigor.

La línea experimental I(1.20)B-14B4S4, Montecillo 2002 (Variedad 4) fue la que produjo la mejor calidad fisiológica de semilla (plántulas normales, plántulas emergidas e índice de vigor).

La poda de las plantas, modificó el hábito de crecimiento de indeterminado a determinado, acortó el período de crecimiento de las mismas, aceleró la maduración de los frutos; pero también incrementó el número de frutos agrietados y afectó la calidad física y fisiológica de la semilla producida. Por tanto, el sistema de manejo influyó positivamente en la calidad física y fisiológica de la semilla producida; específicamente la no poda.

El mejor efecto de interacción para la calidad de la semilla, fue cuando se combinó el potencial osmótico de -0.072 MPa con la Variedad 4 cultivando la planta sin poda.

3.7. LITERATURA CITADA

- Ajayi S.A. and M.A.B. Fakorede. 2000. Physiological maturity effects on seed quality, seedling vigour and mature plant characteristics of maize in a tropical environment. *Seed Sci. and Technol.* 28: 301-319.
- Albuquerque M.C. de F. e and N. M. Carvalho. 2003. Effect of the type of environmental stress on the emergence of sunflower (*Helianthus annuus* L.), soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) and maize (*Zea mays* L.) seeds with different levels of vigor. *Seed Sci. and Technol.* 31:465-479.

- Antuna G. O., F. Rincón S., E. Gutiérrez del R., N. A. Ruiz T. y L. Bustamante G. 2003. Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 26: 11-17.
- Araiza M. S. E. 2006. La industria y el mercado de fertilizantes en México. A 12 años de la privatización y globalización. *Rev. Tecnoagro.* 7: 35-38.
- Austin R. 2006. Nuevos chiles jalapeños en el norte de Sinaloa. *Hortalizas, Frutas y Flores.* Editorial Agrosíntesis, S.A. de C.V México, D.F.: pp 14-19.
- Besnier R. F. 1989. *Semillas: Biología y Tecnología.* Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 637 p.
- Castillo M.A., A. González M., C. Rodríguez F. y J. Margolles D. 1986. Mejoramiento genético del tomate II. Método de polinización. *Rev. Centro Agrícola* 13: 58-63.
- Copeland L. O. and M.B. McDonald. 2001. *Principles of Seed Science and Technology.* 4th edition. Kluwer Academic Publishers. Boston, USA. 467 p.
- Cruz H. P. 1990. Evaluación de la calidad física de semillas hortícolas mediante equipo mecánico de limpieza. Tesis Profesional. U.A.Ch. Chapingo, México. 92p.
- Demir I. and R. H. Ellis. 1992. Changes in seed quality during seed development and maturation in tomato. *Seed Sci. Research* 2: 81-87.
- Demir I. and Y. Samit. 2001. Seed quality in relation to fruit maturation and seed dry weight during development in tomato. *Seed Sci. and Technol.* 29: 453-462.
- Desai B. B., P.M. Kotecha and D.K. Salunkhe. 1997. *Seeds handbook: biology, production, processing, and storage.* Marcel Dekker, Inc. New York, USA. 628 p.
- Dornbos D.L. 1995. Production environment and seed quality. *In: Seed Quality: Basic Mechanisms and Agricultural Implications* (ed. A.S. Basra). Food Products Press, New York USA. pp 119-152.
- Doijode D.S. 2001. *Seed Storage of Horticultural Crops.* Food. Products Press. New York. USA. 339 p.
- Flores H. A. 2004. *Introducción a la tecnología de las semillas.* Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 160 p.
- George R. A. T. 1989. *Producción de Semillas de Plantas Hortícolas.* Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 330 p.

- González I. J. F. 2006. Productores mayas exportan chile habanero, tomate y pepino a la Unión Europea. *Hortalizas, frutas y flores*. Editorial Agro Síntesis S.A. de C.V. México D.F.: 8-11.
- Hampton J. G. 2002. What is seed quality?. *Seed Sci. and Technol.* 30: 1-10.
- Hamsaveni M. R., M. B. Kurdikeri, M. Shekargouda, S. D. Shashidhara and P. R. Dharmatti. 2003. Influence of harvesting stages and post harvest ripening periods on seed quality in tomato (cv. Megha). *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*. 16: 597-599.
- Hernández L. 2006. ¿Por qué tomates en invernadero? *Rev. Tecnoagro*. 7: 24.
- Hernández G. J. A., A. Carballo C., A. Hernández L. y F. V. González C. 2000. Ponderación de variables de calidad fisiológica para la medición del vigor en semilla de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 23: 239-250.
- Hernández L. A., A. Carballo C. y A. E. Hernández L. 1998. Calidad fisiológica y longevidad de semillas en variedades mexicanas de frijol. *Rev. Fitotec. Mex.* 21: 105-113.
- Hill M. J., J. G. Hampton and K. A. Hill. 1997. Seed quality of grasses and legumes. *In: Forage seed production*. Vol.1. Temperate Species (ed. D.T. Fairey and J.G. Hampton). CAB International, Wallingford. UK. pp 219-242.
- Illipronti Jr. R. A., C. J. Langerak and W. J. M. Lommen. 1999. Variation in physical seed attributes relates to variation in growth of soybean seedlings within a seed lot. *Seed Sci. and Technol.* 27: 339-357.
- International Seed Testing Association (**ISTA**). 1993. International rules for seed testing. *Seed Sci. and Technol.* 21, Supplement: 25-30.
- Jones J. B. Jr. 1999. *Tomato Plant Culture: in the field, greenhouse, and home garden*. CRC Press, Boca Raton, Florida. USA. 199 p.
- Kagan Z. V., D. Livne and Y. Mizrahi. 1992. Analysis of effects of auxin on fruit size of tetraploid and diploid tomato fruits. *Journal of Horticultural Science* 67:817-825.
- Kwon O. S. and K. J. Bradford. 1987. Tomato seed development and quality as influenced by preharvest treatment with ethephon. *Hort Science* 22:588-591.
- Minero A. 2005. El sustrato ideal. *Revista productores de hortalizas*. Pub. Para México por Meister Publishing Co. 14:14-16.
- Molina M. J., D. Lisakowski I. y E. Paulo Z. 1992. Pruebas de vigor para semillas de maíz y su relación con la emergencia en campo. *Rev. Fitotec. Mex.* 15: 10-21.

- Moreno M. E. 1996. Análisis Físico y Biológico de Semillas Agrícolas. Tercera Ed. Instituto de Biología, UNAM. México. 393 p.
- Moreno M.E., M.E. Vazquez B., A. Rivera, R. Navarrete and F. Esquivel V. 1998. Effect of seed shape and size on germination of corn (*Zea mays* L.) stored under adverse conditions. *Seed Sci. and Technol.* 26:439-448.
- Mosler R. F. 2005. Nutrición del aguacate: rendimiento y calidad. Hortalizas, Frutas y Flores. Editorial Agrosíntesis, S.A. de C.V. México D.F.: 28-34.
- Nuez F. 2001. El cultivo del tomate. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 793 p.
- Osman O.A. and R.A.T. George. 1984. The effect of mineral nutrition and fruit position on seed yield and quality in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Acta Horticulturae* 143:133-137.
- Palomo G. A., A. Gaytán M., A. Espinoza B., H. J. Martínez A. y D. Jasso C. 2003. Dosis de nitrógeno y número de riegos en el rendimiento y calidad de la semilla de algodón. *Rev. Fitotec. Mex.* 26: 95-99.
- Perry D. A. 1980. The concept of seed vigour and its relevance to seed production techniques. *In*: P.D. Hebblethwaite (Ed.) *Seed production*. Butterworths, London, Great Britain. pp. 585-591.
- Perry D. A. 1981. *Handbook of vigour test methods*. International Seed Testing Association. Zurich, Switzerland. pp: 3-20.
- Ramírez R.G., M. Bennett, M. McDonald and D. Francis. 2004. Effect of fruit development on the germination and vigor of high lycopene tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seeds. *Seed Sci. and Technol.* 32: 775-783.
- Rasyad A., D. A. Vansanford and D. M. TeKrony. 1990. Changes in seed viability and vigour during wheat seed maturation. *Seed Sci. and Technol.* 18: 259-267.
- Rodríguez G. E., A. Carballo C. y G. Baca C. 1998. Efecto de la presión osmótica en solución nutritiva sobre producción y calidad de semilla de jitomate. *Rev. Fitotec. Mex.* 21:15-24.
- Rodríguez G. E., A. Carballo C., G. A. Baca C., A. Martínez G. y M. Rosas R. 2000. Parámetros genéticos y heredabilidad en calidad fisiológica de semilla de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Rev. Chapingo. Serie Hort.* 6:165-171.
- Rodríguez R. R., J. M. Tabares R. y J. A. Medina J. 2001. *Cultivo Moderno del Tomate*. Mundi Prensa. Madrid, España. 255 p.
- Salazar S.I. 2005. Elección de variedades para invernadero. *In*: *Producción de Jitomate en Invernadero*. N. Bautista M., J. Alvarado L. (Eds) Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. pp: 103-125.

- Sánchez del C.F. y J. Ponce O. 1998. Densidad de plantación y nivel de despunte en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado en hidroponía. Rev. Chapingo. Serie Hort. 4: 89-93.
- Sánchez del C.F., J. Ortiz C., M.C. Mendoza C., V.A. González H. y M.T. Colinas L. 1999. Características morfológicas asociadas con un arquetipo de jitomate para un ambiente no restrictivo. Rev. Agrociencia 33:21-29.
- SAS Institute Inc 1996. SAS Software release Version 6.12, SAS Institute, Inc. Cary, N.C. 830 p.
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). 1975. Normas para la certificación de semillas. Secretaria de Agricultura y Ganadería. Dirección General de Agricultura. México. 91p
- Sharma S. K. and K.S. Thakur. 2002. Effect of biofertilizers and nitrogen nutrition on the yield and quality of tomato seed. Seed Research. 30: 243-246.
- Steiner A. M., M. Kruse and H. Fuchs. 1999. A re-assessment of the comparison of tetrazolium viability testing and germination testing. Seed Sci. and Technol. 27:59-65.
- Steiner A.A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. Plant and Soil 15:134-154.
- Steiner A.A. 1984. The universal nutrient solution. In: Proceedings of 6th Int. Cong. on Soilless Culture. International Society for Soilless Culture. Lunteren, the Netherlands : 633-649.
- TeKrony D.M. 2003. Precision is an essential component in seed vigour testing. Seed Sci. and Technol. 31: 435-447.
- TeKrony D.M., D.B. Egli and J. Balles. 1980. The effect of the field production environment on soybean seed quality. In: P.D. Hebblethwaite (Ed.). Butterworths, London, Great Britain. pp 403-425.
- Valdes V.M. and D. Gray. 1998. The influence of stage of fruit maturation on seed quality in tomato (*Lycopersicon lycopersicum* (L.) Karsten). Seed Sci. and Technol. 26: 309-318.

**IV. EFECTO DE NIVELES DE CALCIO Y PODAS EN LA CALIDAD DE SEMILLA DE
TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.)**

**EFFECT OF CALCIUM LEVELS AND PRUNE IN THE QUALITY OF SEED OF
TOMATO (*Lycopersicon esculentum* Mill.)**

4.1. RESUMEN

Se realizó un estudio en tomate bajo condiciones de hidroponía en invernadero, con el objetivo de evaluar la calidad física y fisiológica de la semilla producida en cuatro líneas y dos híbridos comerciales, con la aplicación de soluciones nutritivas de 3, 6, 9 y 12 meq Ca L⁻¹, con y sin poda; así como, determinar las consecuencias fisiológicas y morfológicas en el manejo de estos factores. La evaluación de la semilla se llevó a cabo en Montecillo, Estado de México del 2 de noviembre de 2004 al 30 de abril de 2005. Se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo factorial 6x4x2 con cuatro repeticiones, donde los factores y sus niveles fueron: **variedad** (Gabriela, Atila, I(RK)B-17-1 (Variedad 3), I(1.20)B-14B4S4 (Variedad4), I(16.19)F₂S-20B11S4 (Variedad 5) e I(6.14)F₂S-12B19S4 (Variedad 6); **solución nutritiva** (con 3, 6, 9 y 12 meq Ca L⁻¹); **manejo** (con y sin poda) para un total de 48 tratamientos. La unidad experimental fue una planta por bolsa de polietileno negra de 15 L de capacidad. El rendimiento de semilla por unidad de superficie fue mayor en los híbridos Gabriela y Atila, debido a que superaron en número de frutos de mejor calidad a las líneas experimentales. La solución nutritiva con 9 meq Ca L⁻¹ o solución universal Steiner (1984), produjo la mayor cantidad y calidad de semilla (evaluada por PMS, PV, germinación en la prueba estándar, y plántulas emergidas en la prueba de vigor, materia seca de plántula e índice de vigor). La poda modificó el hábito de crecimiento de indeterminado a determinado, mejoró el tamaño del fruto, aceleró la maduración de los frutos, incrementó el porcentaje de frutos agrietados; afectó el rendimiento de frutos y semilla y disminuyó la calidad física y fisiológica de la misma. Se encontró efectos significativos para genotipos en todas las características evaluadas. La línea experimental I(RK)B-17-1 (con la

semilla más grande), registró los valores más altos de PMS (3.87g) y 258 semillas g^{-1} ; por el contrario, la línea experimental I(1.20)B-14B4S4 (de la semilla más pequeña), tuvo el promedio de PMS más bajo (3.39g) y 295 semillas g^{-1} ; sin embargo, es la que presentó la mejor calidad fisiológica con promedios cercanos al 100% de plántulas normales y de plántulas emergidas; por el contrario los genotipos de semilla grande (línea I(RK)B-17-1 y mediana (Gabriela, Attila, Variedad 5), presentaron los valores más bajos.

Palabras clave: Poda, solución nutritiva, hidroponía, invernadero

4.2. SUMMARY

This study was conducted under hydroponics conditions with the objective of evaluating the physical and physiological quality of tomato seed from four lines and two commercial hybrid, subjected to treatments of nutrient solutions with 3, 6, 9 and 12 meq Ca L^{-1} and with and without pruning; in addition, physiologic and morphological consequences in the handling of these factors, were measured. The evaluation of the seed was carried out in Montecillo, Texcoco, State of Mexico from November 2th of 2004 to April 30th 2005. The experiment design was a completely randomized blocks with a factorial arrangement 6x4x2, with four replications. Factors and levels were: variety (Gabriela, Attila, I(RK)B-17-1 (Variety 3), I(1.20)B-14B4S4 (Variety 4), I(16.19)F2S-20B11S4 (Variety 5) and I(6.14)F2S-12B19S4 (Variety 6); nutritious solution (with 3, 6, 9 and 12 meq Ca L^{-1}); I management (with and without pruning), for a total of 48 treatments. The experimental unit was one plant per plastic bag. Seed yield was higher for Gabriela and Attila hybrids (as a result of more fruits with good quality) per surface unit than experimental lines. The nutrient solution with 9 meq Ca L^{-1} or universal solution promoted the highest yield and seed quality (evaluated by PMS, PV, germination in the standard test, and seedling emergence in the vigor test, dry matter accumulated of the seedling and vigor index). The pruning modified growth; from undetermined to determinate, improved fruit size, accelerated fruit maturation, increased the percentage of cracked fruit, besides decreased fruit yield, seed and its physical and physiologic quality. There was significant differences for genotypes effect for all characteristics evaluated. The experimental line I(RK)B-17-1 (with the biggest seed), registered

the highest values in PMS (3.87 g) and 258 seeds g^{-1} ; compared with the experimental line I(1.20)B-14B4S4 (with the smallest seed), which produce the lower PMS (3.39 g) and 295 seeds g^{-1} ; however, this line shows the best physiological quality, with an averages close to 100% of normal seedling and of emerged seedling. On the contrary, the genotype with biggest seed (line I(RK)B-17-1 and medium (Gabriela, Attila, Variety 5), that showed the lowest values.

Key Words: Pruning, nutrient solution, hydroponics, greenhouse

4.3. INTRODUCCIÓN

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es la hortaliza más importante en el mundo; sin embargo, debido a la influencia desfavorable de los extremos climáticos, los productores se han visto obligados por una parte a la búsqueda de cultivares con adaptación climática y por la otra a la diversificación de los métodos de cultivo para modificar favorablemente el microclima donde desarrolle la planta, de ahí el surgimiento del cultivo protegido (Rodríguez y Piñón 2004).

En México esta hortaliza se cultiva intensivamente tanto a cielo abierto como en invernadero y por razones tales como: superficie ocupada, producción obtenida, valor del producto, captación de divisas, generación de empleos, consumo per cápita, tecnología de producción, etc., se ubica como la más importante del sector agrícola (Contreras y Sánchez, 1997).

A nivel mundial se cuenta con alrededor de 280, 000 ha bajo invernadero, para la producción de frutas y hortalizas (Araiza, 2006). En México se calcula que hay cerca de 2, 550 ha bajo este esquema de producción con un volumen aproximado de 747, 150 t de tomate, pimiento y pepino al año. Los invernaderos y la hidroponía han demostrado ser la solución para tener una producción de tomate durante todo el año aumentando los rendimientos hasta en un 1000% más que en los sistemas convencionales en suelo (González, 2006), con rendimientos de hasta 500 a 700 t ha^{-1} (Rodríguez, 2004). Para alcanzar los estándares que exige el mercado de exportación, la solución nutritiva debe satisfacer de forma no limitante las necesidades del sistema radical de la planta y proveer los elementos minerales indispensables en proporciones análogas a como se encuentran éstos dentro del vegetal. Debe ser una formulación equilibrada entre aniones y cationes;

es decir, que la suma de aniones contenidos en la solución nutritiva sea igual a la suma de cationes (Burgueño, 2005). Al respecto, Steiner (1984) menciona que es importante controlar las concentraciones de las diferentes especies iónicas, para evitar alteraciones en los potenciales osmóticos o que ocurra la precipitación de los iones menos solubles como Ca^{2+} , para lo cual propone una “solución nutritiva universal” que se puede aplicar a una amplia gama de cultivos, cuya composición química en meq L^{-1} es como sigue: (K^+ [7]+ Ca^{2+} [9]+ Mg^{2+} [4]) y aniones (NO_3^- [12]+ H_2PO_4^- [1]+ SO_4^{2-} [7]), la concentración total de iones, el potencial osmótico (-0.072 MPa) y un pH fisiológico (6.5).. El calcio está involucrado en muchos procesos bioquímicos y morfológicos en las plantas, es esencial en el mantenimiento de la integridad de la pared y membrana celular, es un mensajero en la transducción de señales externas, está implicado en el funcionamiento del floema y en la formación de la membrana celular durante la mitosis, reduce la tasa de senescencia de las plantas, contribuye a la vida de anaquel en los frutos, le proporciona rigidez a la paja y a granos, e interviene en la formación de las semillas (Sánchez, 2004). El calcio es absorbido en su forma catiónica (Ca^{2+}); absorción que ocurre en forma pasiva, utilizando a la corriente transpiratoria normal de la planta (Alarcón, 2005). El movimiento del calcio es principalmente acropétalo hacia las hojas de la planta a una velocidad que puede estar correlacionada con la cantidad de agua moviéndose hacia el tejido (Young y Beom, 2001); su distribución final depende del flujo de masas asociado con la transpiración. El transporte del Ca a través del xilema es controlado por la densidad de cargas negativas en la pared del vaso del xilema, la concentración de otros cationes en el xilema, y la habilidad de células adyacentes para removerlo del sitio de intercambio (Behling *et al.*, 1989). Por tanto, cualquier factor que influya en la pérdida de agua y en la tasa de flujo del xilema, afectará la nutrición de Ca (Morgan, 2000). En el fruto el transporte de Ca es intrínsecamente bajo (Ho *et al.*, 1987) y la demanda de este nutrimento para la expansión celular en el rápido crecimiento del fruto (particularmente en el tejido distal de la pulpa) puede no ser satisfecha, si la importación de Ca es baja y la resistencia al transporte por xilema dentro del fruto es alta (Ho *et al.*, 1999). Factores como alta temperatura, alta humedad relativa, radiación excesiva (Sánchez, 2004), baja temperatura durante el invierno, muy baja humedad relativa durante la primavera-verano (Soria *et al.*, 2002), baja humedad relativa en la noche, susceptibilidad genética (Adams y Ho, 1992; Blancard, 2005), manejo inadecuado del cultivo (exceso o falta de riego, podas mal conducidas) (Berrios, 2004), nutrición inadecuada (altas concentraciones de potasio, nitrógeno amoniacal y magnesio en la solución

nutritiva (Morgan, 2000), crecimiento rápido de las hojas y frutos (Chamarro, 2001), elevada salinidad (Adams y Ho, 1992; Soria *et al.*, 2002), pobre aireación (Ho *et al.*, 1999), bajo pH y baja temperatura en la zona radical (Young y Beom, 2001); pueden originar deficiencias de calcio. La pudrición apical es una enfermedad que ha sido reportada desde todas las áreas de producción de tomate en el mundo (Morgan, 2000) y es ampliamente reconocida como un desorden fisiológico causado por una deficiencia de Ca en el fruto (Muñoz, 2005). En invernaderos, a pesar de un adecuado suministro de Ca, la producción de tomate esporádicamente presenta esta fisiopatía (Ho *et al.*, 1999); sin embargo, no se tienen registros del efecto de este nutrimento en la calidad de la semilla producida.

Semánticamente, la calidad es un atributo o propiedad que connota superioridad o excelencia (Delouche, 2005). La semilla de alta calidad es una parte importante y costosa del componente tecnológico en la producción, por lo que su elección debe ser cuidadosa para garantizar la obtención del producto con la calidad requerida por el mercado tanto nacional como de exportación (Morales, 2003). La mayor calidad de una semilla en cualquier especie se obtiene cuando ésta alcanza su madurez fisiológica (momento en que acumula la máxima cantidad de materia seca) (Copeland y McDonal, 2001; Groff, 2002). En tomate, el cambio de color del fruto es una característica visual de gran utilidad para identificar la madurez fisiológica; en este caso, la maduración de las semillas generalmente coincide con el inicio de cambio de coloración de los frutos (Dias, 2001). La semilla extraída de frutos rojos presenta la máxima germinación comparada con aquella extraída de etapas cercanas a la sobremaduración, estas últimas pueden entrar en un proceso de deterioro sin que el fruto presente síntomas de descomposición (Ramírez *et al.*, 2004). La calidad de la semilla es un concepto múltiple que involucra todas aquellas características que determinan su valor para la siembra (Hampton, 2001; 2002), y está compuesta por un conjunto de atributos físicos y fisiológicos que son utilizados para diferenciar a un lote de semillas de los demás (Zorato, 2005).

En la práctica es difícil identificar cual de estos atributos es el más importante, y por este motivo no es aconsejable su mención aisladamente. La consideración de uno u otro en el análisis de semillas, no es suficiente para definir la calidad de las mismas. A pesar de que estos atributos

actúan en conjunto, no se puede negar que el componente fisiológico ha recibido mayor atención por parte de los investigadores (Filho, 2002).

La calidad fisiológica implica la integridad de las estructuras y procesos fisiológicos que permiten a la semilla mantener altos índices de viabilidad (Moreno *et al.*, 1998), y puede ser alterada por el manejo de la planta madre durante su desarrollo, en las operaciones de cosecha, procesamiento y las condiciones de almacenamiento hasta que las semillas sean sembradas (Sawan *et al.*, 1999; Krzyzanowski y França-Neto, 2003). Sus principales indicadores son la germinación y el vigor, que dependen del genotipo y del cuidado en la producción y manejo postcosecha (Copeland y McDonald, 2001, Pandita y Nagarajan, 2001).

Es importante entender que la prueba de germinación no es una medida adecuada del potencial de una semilla para la producción de plántulas, ya que es conducida en condiciones óptimas de laboratorio (Delouche, 2002); en cambio, la prueba de vigor sí define la calidad de un lote de semillas, porque representa las condiciones que se pueden presentar en campo (Pereira *et al.*, 2002).

Muchos investigadores han estudiado el efecto de los nutrimentos minerales sobre la producción de fruto y pocos han relacionado su efecto con el rendimiento y calidad de semilla. En ese sentido se condujo un experimento bajo condiciones de invernadero e hidroponía, para evaluar la calidad física y fisiológica de la semilla producida por líneas e híbridos, al ser expuestas a soluciones nutritivas con 3, 6, 9 y 12 meq Ca L⁻¹ cultivadas con y sin poda; además, se determinaron las consecuencias fisiológicas y morfológicas del manejo de estos factores.

4.4. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el Colegio de Postgraduados, en Montecillo, Estado de México, y consistió de dos etapas: la primera fue del 16 de enero al 30 de octubre de 2004, para la producción de fruto en un invernadero con cubierta de plástico, así como la extracción, secado y

envasado de la semilla; en la segunda etapa se analizó la semilla producida durante el período comprendido entre el 2 de noviembre de 2004 al 30 de abril de 2005.

4.4.1. Material vegetal

Se utilizaron cuatro líneas experimentales de tomate tipo bola (en lo sucesivo se les llamará variedad): I(RK)B-17-1 Mont. 2002 (Variedad 3); I(1.20)B-14B4S4 Mont. 2002 (Variedad 4); I(16.19)F₂S-20B11S4 Mont. 2003 (Variedad 5); I(6.14)F₂S-12B19S4 Mont. 2002 (Variedad 6) y de hábito indeterminado, que fueron proporcionadas por el Área de Mejoramiento y Control de la Calidad Genética del Programa en Producción de Semillas; así como dos híbridos comerciales de crecimiento indeterminado con buen vigor: Gabriela (tipo bola) y Atila (tipo saladette) como testigos.

Para la producción de fruto, se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar, con arreglo factorial 6x4x2, con seis repeticiones. Los factores y sus niveles fueron: **variedad** (Gabriela, Atila, variedades 3, 4, 5 y 6); **soluciones nutritivas** con 3, 6, 9, 12 meq L⁻¹ de Ca; y **manejo** (con y sin poda), para un total de 48 tratamientos. La unidad experimental fue de una planta por bolsa de polietileno negro de 40x40 cm con una densidad de cuatro plantas m⁻². Como sustrato se utilizó tezontle rojo con partículas de 1 a 3 mm de diámetro. Las soluciones nutritivas se diseñaron a partir de modificaciones a la solución universal de Steiner (1984). Los riegos se hicieron en forma manual aplicando 1.5 L de solución nutritiva a las 9 a.m. y otra cantidad similar a las 15:00 h. Cada ocho días se dio un riego con agua potable para disolver y extraer sales acumuladas en el sustrato.

Las plantas fueron sostenidas en forma vertical con rafia. En el tratamiento con poda, se eliminó manualmente la yema apical dos hojas después del quinto racimo. En ambos tratamientos (con y sin poda) se eliminaron todos los brotes laterales, sin quitar las hojas, las cuales se eliminaron después de la cosecha de frutos.

Los frutos seleccionados para semilla se cosecharon completamente rojos. Con una cuchara sopera se extrajo el mucílago y la semilla, los cuales se colocaron en una bolsa de polietileno

durante 48 h para su fermentación; las semillas vanas e impurezas se eliminaron por decantación. La semilla se lavó con agua potable varias veces hasta quedar completamente limpia; se colocó sobre toallas de papel para su secado a la sombra; posteriormente se pesó y conservó a temperatura ambiente para su evaluación.

4.4.2 Evaluación de calidad en la semilla producida

Antes de la evaluación, la semilla se sometió a un proceso de limpieza manual para mejorar su calidad. En la calidad física de semilla se consideraron las siguientes variables:

4.4.2.1. Peso de mil semillas (PMS). Se tomaron al azar ocho repeticiones de 100 semillas por cada unidad experimental y se pesaron por separado en una balanza analítica. El dato, expresado en centésimas de g, se obtuvo promediando las ocho repeticiones y multiplicando por 10.

4.4.2.2. Peso volumétrico (PV). Se evaluó a partir de un compuesto balanceado formado con la semilla de las seis repeticiones de cada tratamiento, tomando como base una muestra de 20 mL por la poca semilla disponible. Una vez realizada la operación de llenado de la probeta, el contenido del recipiente se pesó en una balanza analítica; los valores se aproximaron a centésimas de g.

La calidad fisiológica fue evaluada mediante pruebas de germinación y vigor; realizando la primera en cámara de germinación a 25 °C y luz blanca las 24 h durante 14 días en laboratorio; mientras que la prueba de vigor se realizó en microtúnel.

La prueba de germinación se hizo de acuerdo a las prescripciones de la ISTA (1993) para el tomate. Se utilizaron cuatro repeticiones de 100 semillas de cada variedad, colocando cada repetición en una caja petri de 10 cm, utilizando como sustrato papel filtro No. 2. Diariamente se regó con agua destilada. Siete días después de iniciada la prueba se hizo el primer conteo y a los 14 días el segundo, para así obtener el total de plántulas normales, plántulas anormales, semillas no germinadas y semillas muertas.

El vigor se midió en función de la velocidad de emergencia de plántulas, utilizando cuatro repeticiones de 25 semillas por genotipo. Se colocó una semilla por cavidad, en charolas de 200

cavidades rellenas con una mezcla de arena fina de río y agrolita en una proporción de 1:1; posteriormente se dieron dos riegos por día para mantener húmedo el sustrato. La velocidad de emergencia se estimó de acuerdo con Maguire (citado por Copeland y McDonald, 1995), mediante el conteo diariamente de las plántulas emergidas (PE) desde el séptimo al décimo octavo día después de la siembra (12 conteos) y, al final de la prueba se obtuvo la emergencia total. Para el análisis estadístico, cada conteo se consideró independiente, desde el primero (PE7D) al décimo segundo conteo (PE18D).

4.4.2.3. Índice de vigor (IV). Se determinó como la relación entre el número de plántulas emergidas en cada uno de los conteos y el número de días de cada conteo, aplicando la siguiente fórmula:

$$IV = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{C_i}$$

Donde:

IV = Índice de vigor

X_i = Número de plántulas emergidas en el i -ésimo día

C_i = Número de días al i -ésimo conteo

$i = 1, \dots, n$ conteos

4.4.2.4. Peso seco de plántula. De cada unidad experimental se tomaron al azar 10 plántulas con la segunda hoja verdadera y se lavaron con agua potable. Se separó la raíz de la parte aérea a la altura del cuello del tallo, se colocaron en un sobre de papel perforado para después someterlas a secado en estufa a 70 °C por tres días.

En ambas pruebas se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar, con arreglo factorial 6x4x2 y cuatro repeticiones.

Las variables registradas en cada experimento se sometieron al análisis de varianza utilizando el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS, 1996) versión 8. En la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para todas las variables que presentaron diferencias significativas en el análisis de varianza.

4.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.5.1. Rendimiento de semilla

En el Cuadro 11A se reportan los cuadrados medios y su significancia estadística de los análisis de varianza para las variables relacionadas con el rendimiento de semilla. Se registró una diferencia altamente significativa por solución nutritiva, variedad y manejo en el rendimiento de semilla por planta (RSP) y rendimiento de semilla por fruto (RSF). Hubo una diferencia significativa en el efecto de la interacción solución nutritiva*variedad en las mismas variables y altamente significativa de la interacción solución nutritiva*manejo, en la variable RSP. En RSF no se tuvieron diferencias para esta combinación. Las interacciones variedad*manejo, solución nutritiva*variedad*manejo resultaron no significativas en ambas variables.

El coeficiente de determinación (R^2) fue del 64% en RSP, RSF y el de variación (CV) del 21.8% para RSP y 8.6% en RSF.

En el Cuadro 12A se presentan los promedios de los factores solución nutritiva, variedad y manejo, con base a la prueba de Tukey $\alpha = 0.05$; para las variables relacionadas con el rendimiento de semilla. A pesar de que el promedio más alto (13.6 y 0.566g) en RSP y RSF se tuvo en el tratamiento de la solución nutritiva de 12 meq L^{-1} de Ca, éste fue similar estadísticamente a los promedios obtenidos con los tratamientos donde se aplicaron 6 y 9 meq L^{-1} de Ca.

En relación a las variedades, el mayor RSP (17.4g) lo tuvo el híbrido Gabriela; sin embargo, fue estadísticamente igual al registrado por el híbrido Atila (16.7g) en la misma variable; el RSF fue mayor (0.606g) en la Variedad 5, el cual fue igual estadísticamente al registrado por la Variedades 6 e híbrido Gabriela con promedios de 0.587 y 0.583g, respectivamente.

Para el manejo, se tuvo el mayor RSP (14.1g) en el cultivo sin poda; en tanto que el rendimiento más alto de semilla por fruto (0.564g) se registró en las plantas podadas.

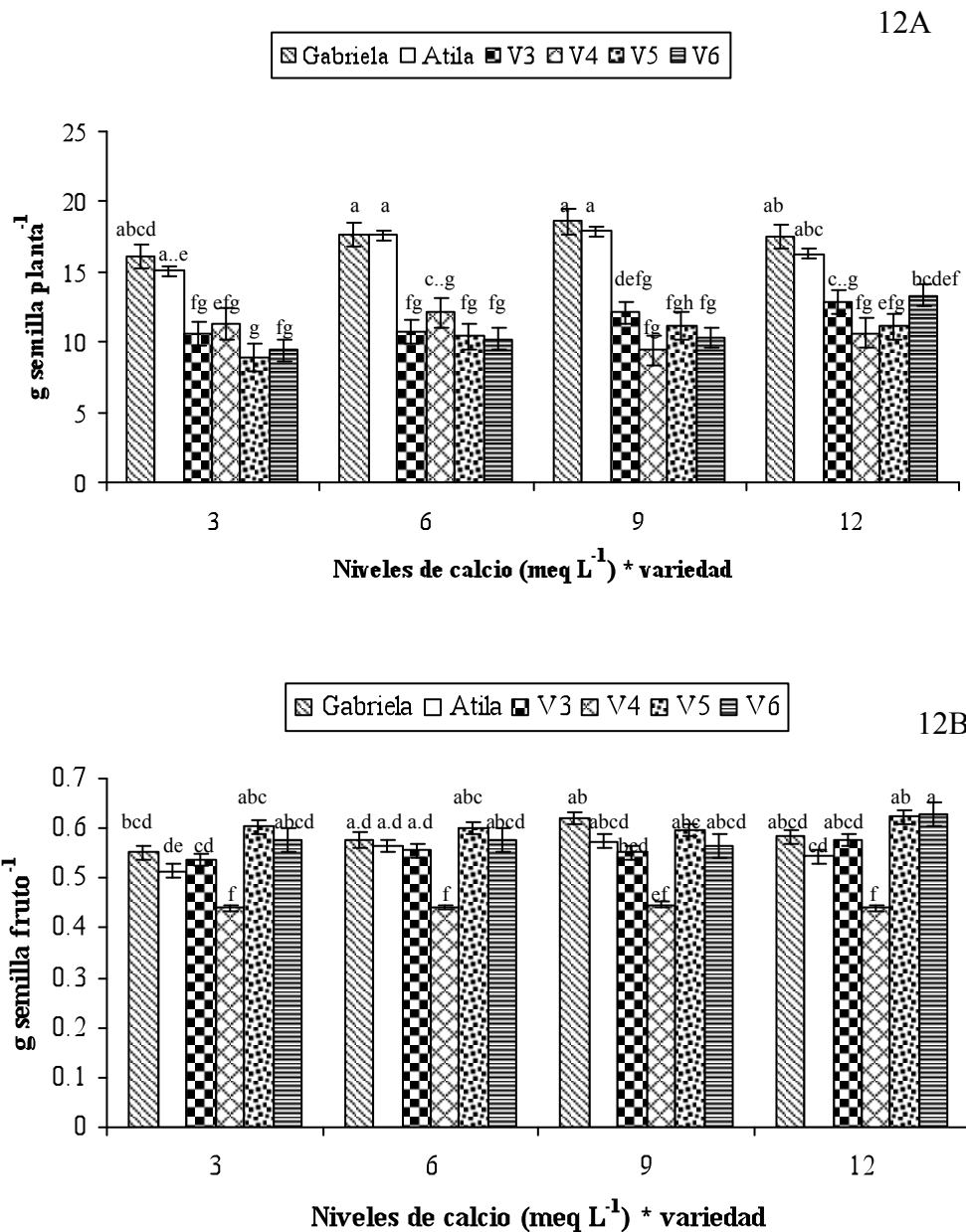


Figura 12. Efecto de la interacción solución nutritiva (meq L⁻¹ Ca) * variedad, sobre el rendimiento de semilla por planta⁻¹ (12A) y por fruto⁻¹ (12B); en seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

En la Figura 12 se presenta la interacción entre solución nutritiva (meq L⁻¹ Ca)*variedad para las variables relacionadas con el rendimiento de semilla; el mayor RSP (18.6 y 17.9g) fue registrado en la combinación donde se aplicaron 9 meq L⁻¹ de Ca a los híbridos Gabriela y Atila (Figura 12A); sin embargo, estos promedios fueron estadísticamente similares a los obtenidos con las

combinaciones en las que se aplicaron 3, 6 y 12 meq L⁻¹ de Ca en los mismos genotipos, lo que indica que se puede tener un ahorro del 33% en los fertilizantes con calcio.

La Figura 12B muestra que el mayor rendimiento de semilla por fruto (0.628g) se registró en la combinación de 12 meq L⁻¹ de Ca y la Variedad 6; el cual fue igual estadísticamente al obtenido por todas las variedades de tipo bola en las cuatro soluciones nutritivas utilizadas en el experimento. La variedad 4 es la que presentó el menor rendimiento de semilla por fruto y por unidad de superficie.

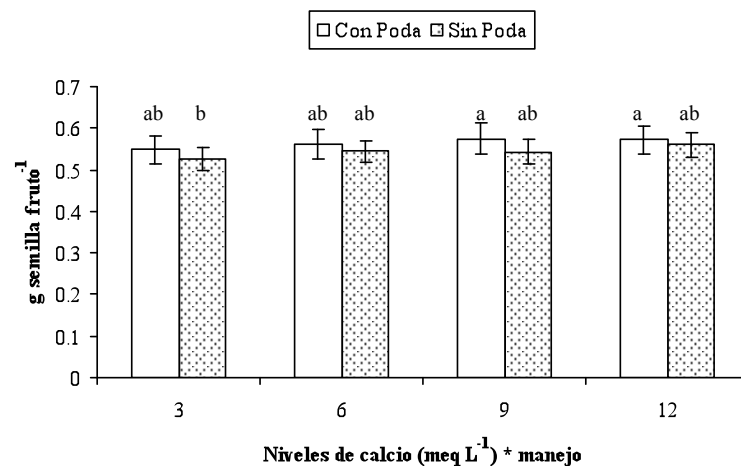
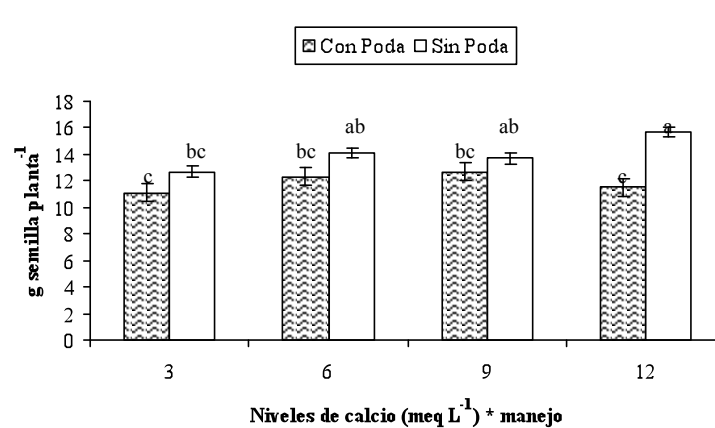


Figura 13. Efecto de la interacción solución nutritiva (meq L⁻¹ Ca) * manejo del cultivo, sobre el rendimiento de semilla por planta⁻¹ (13A) y por fruto⁻¹ (13B); en seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

La Figura 13 muestra la interacción entre calcio y manejo del cultivo para las variables relacionadas con el rendimiento de semilla. El mayor RSP (15.7g, Figura 13A) se obtuvo con 12 meq L⁻¹ de Ca y el cultivo sin poda. Este promedio fue similar estadísticamente al obtenido en las combinaciones formadas entre las soluciones nutritivas de 6 y 9 meq L⁻¹ de Ca y el cultivo sin poda. Los resultados indican que en todas las soluciones nutritivas aplicadas al cultivo con poda, se registraron los promedios más bajos. La Figura 13B para RSF muestra que a excepción de la combinación de 3 meq L⁻¹ de Ca y el cultivo sin poda, todas las combinaciones presentaron estadísticamente el mismo promedio.

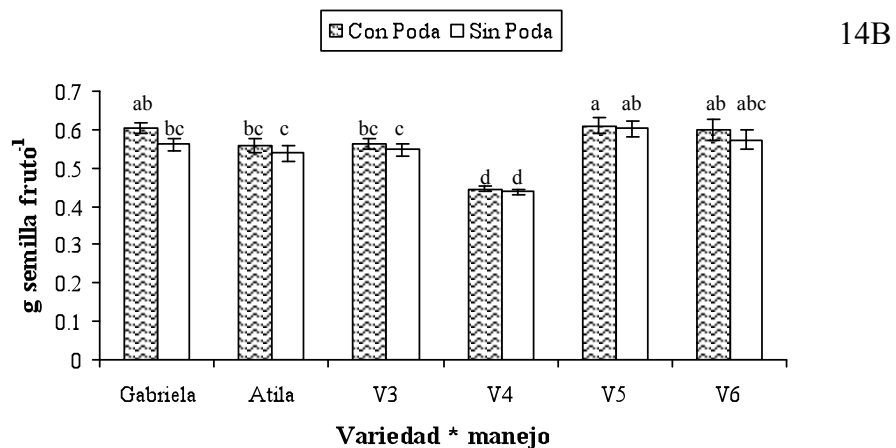
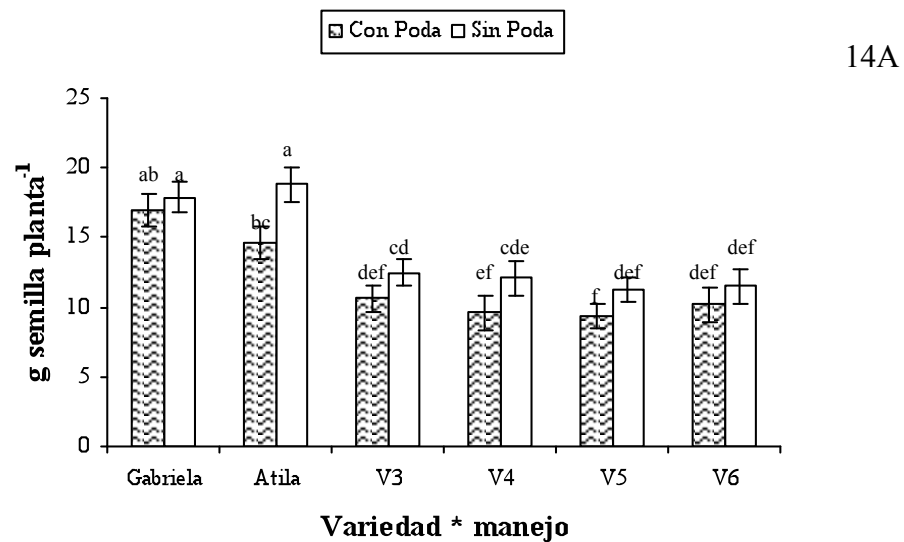
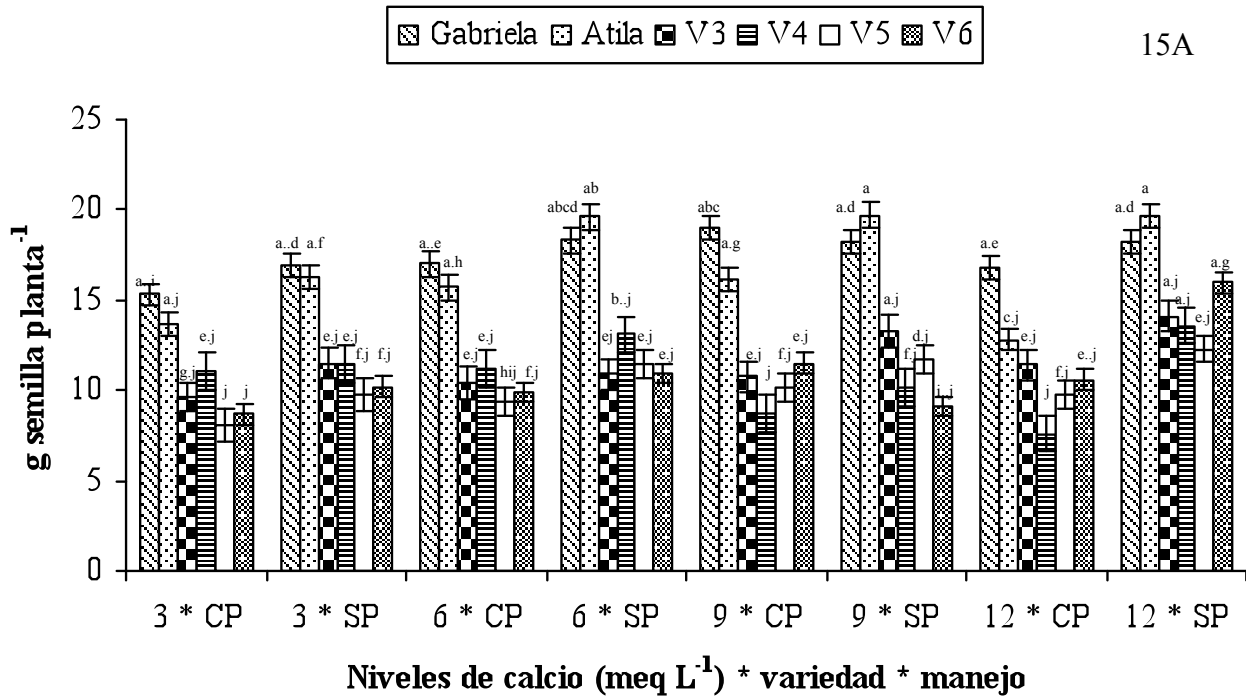


Figura 14. Efecto de la interacción variedad * manejo del cultivo, sobre el rendimiento de semilla por planta⁻¹ (14A) y por fruto⁻¹ (14B); en seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

En la Figura 14A se observa que los híbridos Atila y Gabriela sin poda, produjeron la mayor cantidad de semilla por planta (18.8 y 17.9g, respectivamente). El mayor rendimiento de semilla por fruto (0.610g, Figura 14B) lo tuvo la Variedad 5 con poda, el cual fue similar estadísticamente al registrado por el híbrido Gabriela con poda, Variedad 5 sin poda, y Variedad 6 con y sin poda.



La Figura 15A muestra que el mayor rendimiento de semilla por planta (19.7g) se tuvo en las combinaciones donde se aplicaron 12 y 9 meq L⁻¹ de Ca al híbrido Atila sin poda. Estos promedios tienen el mismo valor estadístico según la prueba de Tukey $\alpha = 0.05$ con los obtenidos en las combinaciones de 3, 6 y 9 meq L⁻¹ de Ca aplicados a los híbridos Gabriela y Atila en ambos sistemas de cultivo. En general, los resultados indican que se produjo mayor cantidad de semilla en el sistema de cultivo sin poda independientemente del genotipo.

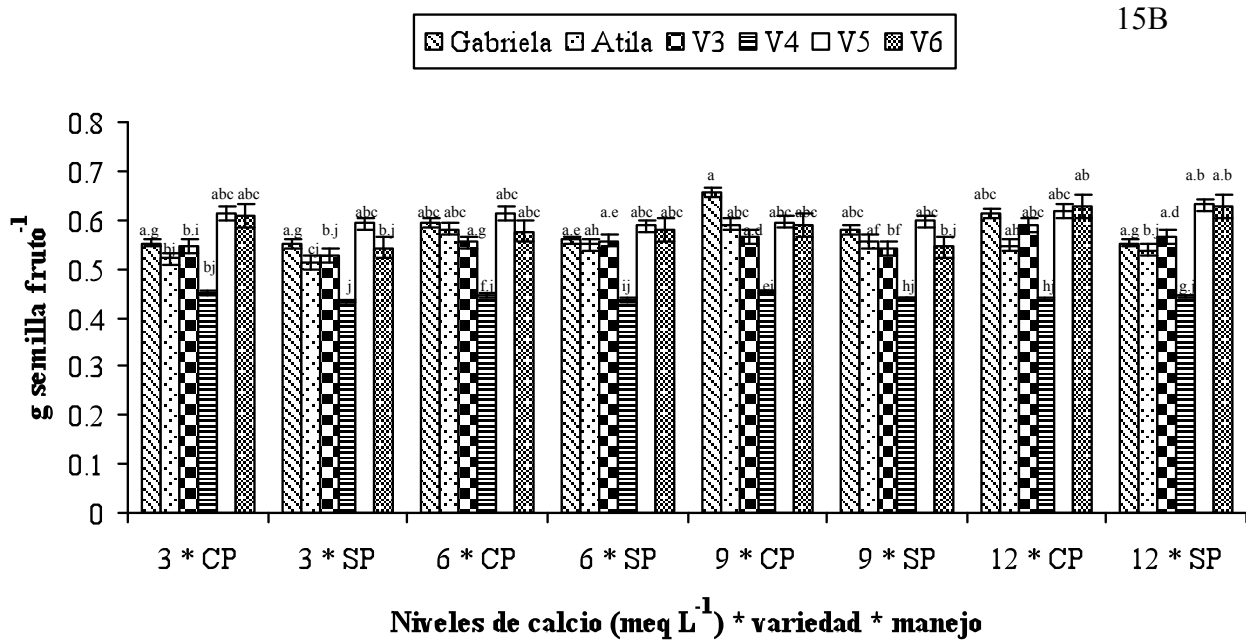


Figura 15. Efecto de la interacción solución nutritiva (meq L⁻¹ Ca) * variedad * manejo del cultivo, sobre el rendimiento de semilla por planta⁻¹ (15A) y por fruto⁻¹ (15B); en seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

Para la variable RSF (Figura 15B) la mayoría de las combinaciones evaluadas tuvieron el mismo promedio estadístico; sin embargo, sobresalió con 0.658g fruto⁻¹ la combinación de 9 meq L⁻¹ Ca*híbrido Gabriela*con poda. El hecho de limitar al cultivo a un determinado número de racimos con la poda, afectó significativamente al rendimiento de semilla, pero no el rendimiento de semilla por fruto, el cual fue mayor en las plantas podadas en todas las combinaciones.

La variación en el rendimiento de semilla, se atribuye a que los híbridos superaron en número de frutos de mejor calidad a las líneas experimentales. Este comportamiento es normal, ya que los híbridos son materiales superiores y estables liberados para ser utilizados en diferentes ambientes de producción, en tanto que a las líneas todavía les falta fijar algunos caracteres sobresalientes, como el rendimiento y adaptabilidad, que les permita competir con los híbridos comerciales; lo que confirma lo publicado por Patiño (2001), en el sentido de que un híbrido debe llenar dos

expectativas: la del productor (alto rendimiento, adaptabilidad a diferentes zonas, climas, manejo y resistencia a enfermedades) y la del mercado (aceptación, calidad y vida postcosecha).

Respecto al número de semillas por fruto, por tener mayor cantidad de lóculos, éste fue mayor en los frutos tipo bola que en los de tipo saladette; lo que confirma lo reportado por Castillo *et al.* (1986) quienes señalan que existe mayor producción de semillas conforme aumenta el número de lóculos por fruto, que son los que determinan que cada variedad produzca diferente cantidad de semilla.

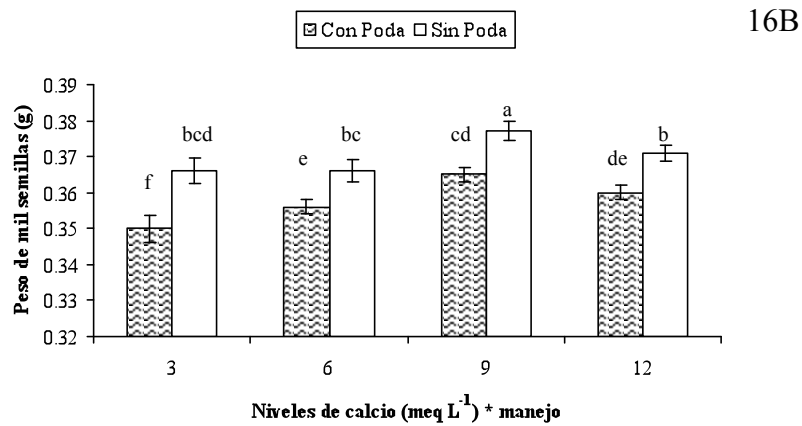
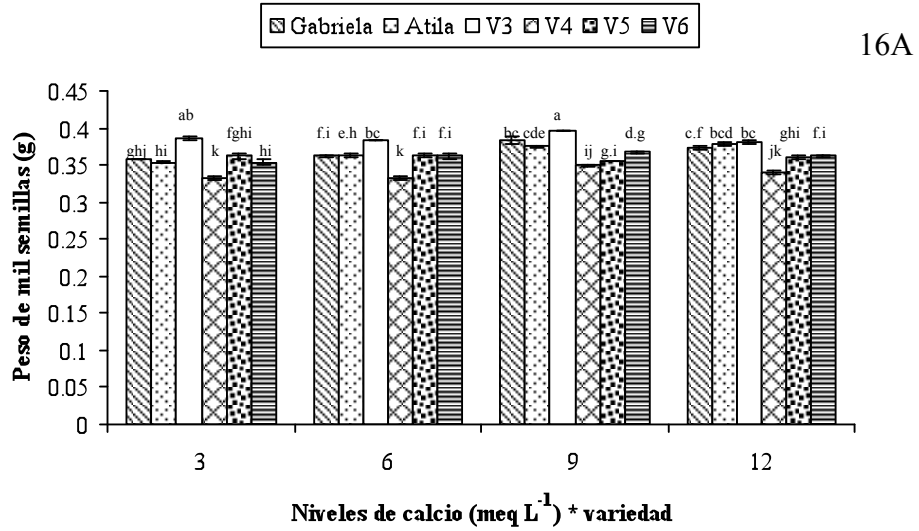
Con la nutrición del cultivo se pueden modificar las características morfológicas, el crecimiento y la producción de las plantas; no obstante lo anterior, los resultados obtenidos en la presente investigación muestran que las soluciones nutritivas con 9 y 12 meq Ca L⁻¹ fueron similares estadísticamente; lo que indica que al aplicar 9 meq Ca L⁻¹ permite tener un ahorro de 1/3 de los fertilizantes que contienen Ca.

La poda modificó el hábito de crecimiento de indeterminado a determinado, redujo el número de racimos y frutos por planta, incrementó el tamaño del fruto e influyó en el rendimiento de frutos y semilla por unidad de superficie. Estos resultados coinciden con lo reportado por Sánchez y Ponce (1998); Sánchez *et al.* (1999) y Ucan *et al.* (2005), quienes señalan que al eliminar el ápice del tallo principal y dejar menos racimos por planta aumenta la cantidad de fotoasimilados disponibles por fruto, y explica el mayor peso y tamaño del mismo cuando se practica la poda. El hecho de alcanzar mayor tamaño de fruto con la poda, permitió obtener en la práctica mayor cantidad de semilla por fruto.

4.5.2. Calidad física de la semilla

Para PMS (Cuadro 13A) se registraron diferencias significativas para solución nutritiva, variedad, manejo e interacción solución nutritiva*variedad. Las interacciones solución nutritiva*manejo y variedad*manejo no presentaron diferencia estadística. La combinación de los tres factores presentó diferencia estadística significativa en esta variable. El valor de R² fue de 85% y el CV de 2.22%.

Los promedios muestran que se tuvieron semillas más pesadas (3.71g) y 270 semillas g⁻¹ cuando se aplicó al cultivo 9 meq L⁻¹ de Ca. El mayor PMS se registró en la Variedad 3 con 3.87g y 258 semillas g⁻¹. Respecto al manejo del cultivo, el mejor PMS (3.70g) y 270 semillas g⁻¹ correspondió a plantas sin poda (Cuadro 14A).



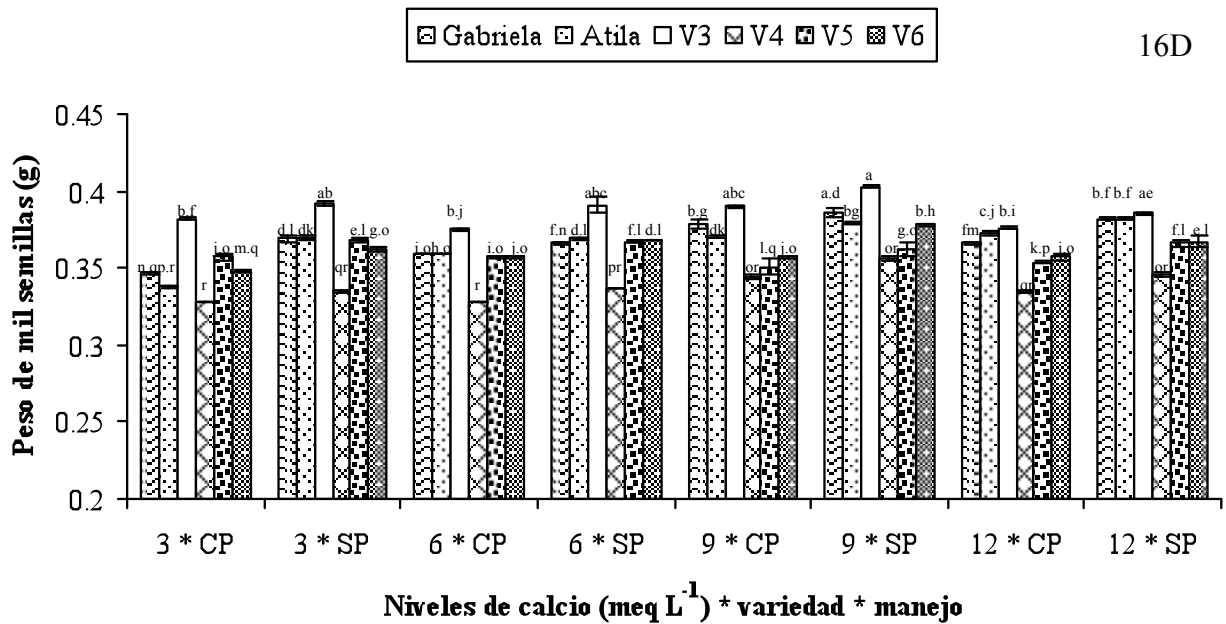
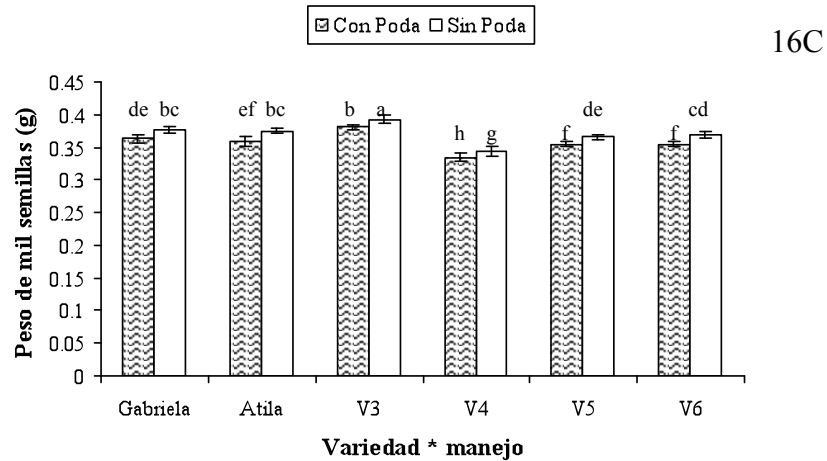


Figura 16. Efecto de las interacciones: solución nutritiva (meq L⁻¹ Ca)*variedad (16A), solución nutritiva (meq L⁻¹ Ca)*manejo (16B), variedad*manejo (16C) y solución nutritiva (meq L⁻¹ Ca)*variedad*manejo (16D), sobre el peso de mil semillas; en seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

El tratamiento con 9 meq L⁻¹ de Ca aplicado a la Variedad 3 demostró ser el mejor al producir las semillas más pesadas con un PMS de 3.96g y 253 semillas g⁻¹; el cual fue similar estadísticamente al registrado en el tratamiento de 3 meq L⁻¹ de Ca aplicado a la misma variedad (Figura 16A). En la Figura 16B se presenta la interacción solución nutritiva*manejo, donde se observa que la combinación de 9 meq L⁻¹ Ca y el cultivo sin poda, registró el promedio más alto

con un PMS de 3.77g y 265 semillas g^{-1} . Para esta interacción, se produjo semilla más pesada en el cultivo sin poda en todas las soluciones nutritivas evaluadas. En la interacción variedad*manejo (Figura 16C), la mejor combinación fue la formada entre la Variedad 3 y el cultivo sin poda con PMS de 3.93g y 254 semillas g^{-1} . Al analizar el efecto de los tres factores (Figura 16D), el PMS más alto (4.03g y 248 semillas g^{-1}) se registró con 9 meq L^{-1} Ca aplicados a la Variedad 3 y el cultivo sin poda; sin embargo, este promedio fue estadísticamente igual al obtenido por las combinaciones de 3, 6 y 12 meq L^{-1} de Ca aplicados en la misma Variedad 3 en el cultivo sin poda.

Los cuadrados medios y su significancia estadística para peso volumétrico (PV) de la semilla producida se reportan en el Cuadro 15A; donde se aprecia que se tuvieron diferencias altamente significativas en los efectos de solución nutritiva, variedad y manejo; el R^2 y CV fueron del 77 y 1.84%, respectivamente.

El mayor peso volumétrico (5.97 g/20 mL de semilla) se tuvo en el tratamiento con 9 meq L^{-1} de Ca; mientras que entre variedades, el mejor PV (6.03 g/20 mL de semilla) se registró en la Variedad 3, y en cuanto al efecto del manejo, el PV más alto (5.91 g/20 mL de semilla) se observó en la semilla obtenida de plantas sin poda (Cuadro 16A).

Los resultados obtenidos indican que los mejores promedios de PMS y PV se tuvieron con la aplicación de 9 meq L^{-1} de Ca al cultivo sin poda; por lo tanto, no es necesario incrementar los meq de Ca L^{-1} . Esta respuesta favorable, se debió a que la solución nutritiva mantiene un equilibrio de la relación mutua entre los aniones y entre los cationes. Por otro lado, en un estudio postcosecha de semillas de hortalizas en una planta de beneficio, Cruz (1990) reporta que una semilla ligera pesa 0.001g y se tienen 700 semillas g^{-1} ; la semilla semipesada pesó 0.002g por unidad con 500 semillas g^{-1} y la semilla pesada tuvo 0.003g con 320 semillas g^{-1} . Los valores de PMS de esta investigación aún en el genotipo de semilla más pequeña, fueron superiores a los obtenidos por Cruz (1990) en las semillas más pesadas; y a los reportados por Desai *et al.* (1997) quienes mencionan que 1000 semillas tienen un peso aproximado de 2.4g. El mayor peso alcanzado por la semilla, demuestra que la planta madre tuvo las condiciones adecuadas para

expresar mejor su potencial genético, además de haberse conducido con un manejo apropiado de la solución nutritiva y de los demás factores que inciden en la producción.

Por otra parte, Jones (1999) señala que el peso de la semilla varía considerablemente entre las variedades con 300 a 350 semillas g^{-1} ; lo cual concuerda con los resultados de la presente investigación donde se registraron PMS de 3.87g y 258 semillas g^{-1} en la línea experimental I(RK)B-17-1 (Variedad 3) de la semilla más grande, y 3.39g y 295 semillas g^{-1} en la línea experimental I(1.20)B-14B4S4 (Variedad 4) de la semilla más pequeña.

Adicionalmente se observó que la poda redujo el ciclo de cultivo, aceleró la maduración de los frutos y, como desventaja, muchos de éstos se agrietaron, lo que provocó la cosecha prematura de los mismos. Al parecer, el hecho de cosechar pronto los frutos afectó la calidad de la semilla producida, que coincide con lo reportado por Doijode (2001) quien asevera que la semilla de frutos verde maduros dan baja calidad de la semilla y afectan la germinación. También se detectó que el PMS decreció de una cosecha a otra debido a un incremento en la proporción de semillas pequeñas en el fruto.

Los valores de PV de la semilla producida también superaron a los de Cruz (1990) quien reportó que la semilla de tomate tiene un PV de 28 kg HL^{-1} , con lo cual puede decirse que hubo buen manejo agronómico del cultivo, que es la clave para obtener buenos rendimientos y alta calidad de la semilla producida.

Las diferencias en PMS y PV entre los genotipos, indican que existe la variabilidad genética para estos caracteres, los cuales pueden ser utilizados como criterio de selección en el proceso de mejoramiento genético del tomate.

4.5.3. Calidad fisiológica de la semilla

4.5.3.1. a) Prueba de germinación

En la prueba de germinación (Cuadro 17A) se registraron diferencias altamente significativas en los efectos principales y sus interacciones para los factores solución nutritiva, variedad y manejo,

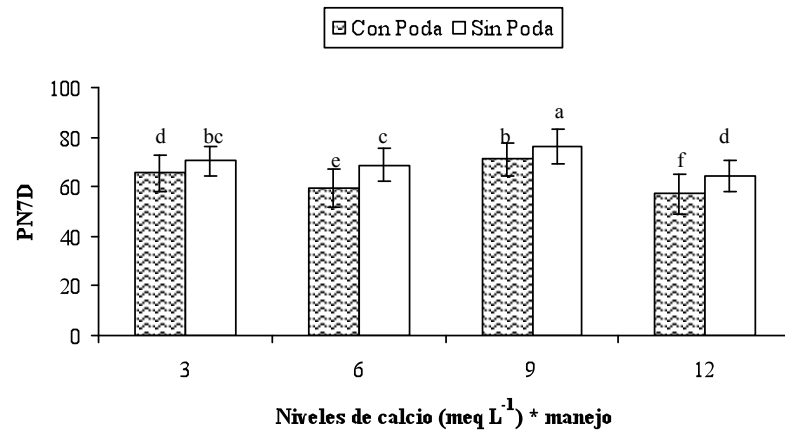
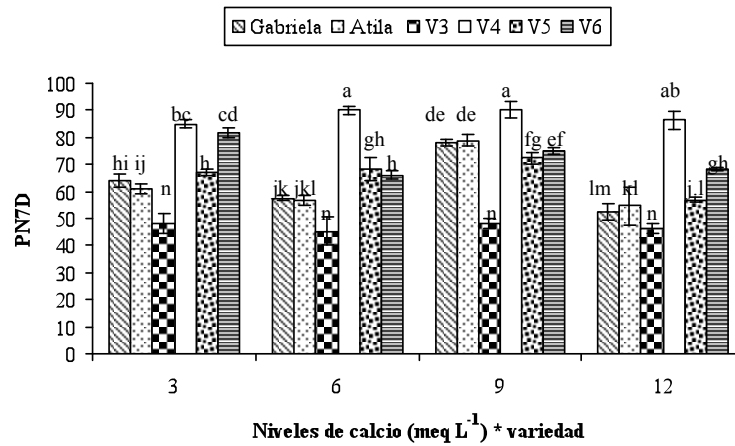
en el número de plántulas normales a los siete días de iniciada la prueba de germinación (PN7D) y en el total de plántulas normales o germinación acumulada a los 14 días después de la siembra (PNT). Para la variable plántulas anormales totales (PAT) no hubo diferencias significativas en los efectos de la solución nutritiva y manejo, ni en las interacciones variedad*manejo y solución nutritiva*variedad*manejo; se registraron diferencias altamente significativas para variedad y para la interacción solución*variedad; y significativas para la interacción solución*manejo. En el número de semillas sin germinar (SNG) los efectos principales de los factores estudiados y las interacciones solución nutritiva*variedad, variedad*manejo, resultaron con diferencias estadísticas altamente significativas. Por lo que toca al total de semillas muertas (SMT), las diferencias fueron altamente significativas en los efectos de solución nutritiva, variedad y la interacción solución nutritiva*variedad; no hubo significancia para manejo y las interacciones solución nutritiva*manejo, variedad*manejo y solución nutritiva*variedad*manejo.

El R^2 fue del 98% en PN7D y PNT; 51.0, 91.0 y 70% en PAT, SNG y SMT; y el CV fue del 3.69, 2.55, 79.76, 24.91 y 54.13%, en PN7D, PNT, PAT, SNG y SMT, respectivamente.

En el Cuadro 18A donde se reportan los promedios obtenidos con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) en los efectos principales de los factores: solución nutritiva, variedades y manejo del cultivo para las variables relacionadas con la prueba de germinación; se aprecia que se registró la mayor cantidad de plántulas normales en PN7D (73.8%) y PNT (82.8%) cuando se aplicó el tratamiento de 9 meq L⁻¹ de Ca en la solución nutritiva; respecto al número de plántulas anormales en todas las soluciones nutritivas probadas, se tuvo el mismo promedio estadístico. Los tratamientos con 6 y 12 meq L⁻¹ de Ca en la solución nutritiva registraron la mayor cantidad de semillas no germinadas con promedios de 18.1 y 17.1%, respectivamente; en tanto que se presentó una relación inversa entre el nivel de Ca en solución y semillas muertas, donde el mayor nivel (12 meq L⁻¹ de Ca) produjo la mayor cantidad de semillas muertas (7.4%).

Para el efecto de las variedades el mayor porcentaje de plántulas normales (87.9% en PN7D) y (93.6% en PNT) se registró en la Variedad 4; las variedades 3 y 5 registraron la mayor cantidad de plántulas anormales (4.7 y 5.7%) y semillas muertas (6.9 y 8.7%), respectivamente; mientras que la Variedad 3 presentó la mayor cantidad de semillas no germinadas (30.5%).

En cuanto al factor poda, se observa una mayor cantidad de plántulas normales (70.0% en PN7D) y (80.3% en PNT) en la semilla obtenida de plantas que no fueron sometidas a la eliminación de la yema apical; el número de plántulas anormales (3.5 y 2.9%) y de semillas muertas (5.2 y 4.7%) fue igual estadísticamente en ambos sistemas de cultivo, y se registraron más semillas sin germinar (18.5%) en la semilla obtenida de las plantas podadas.



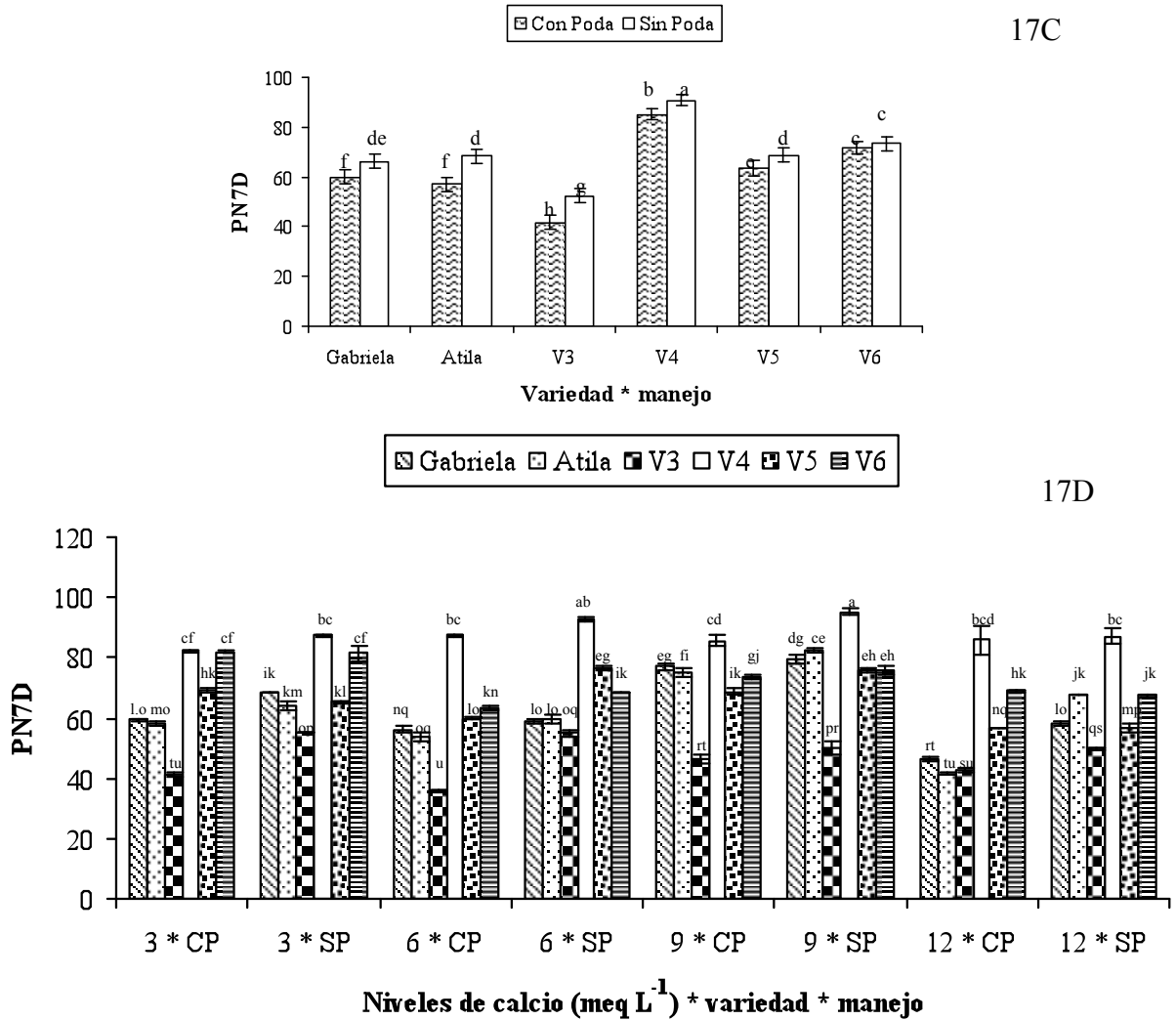
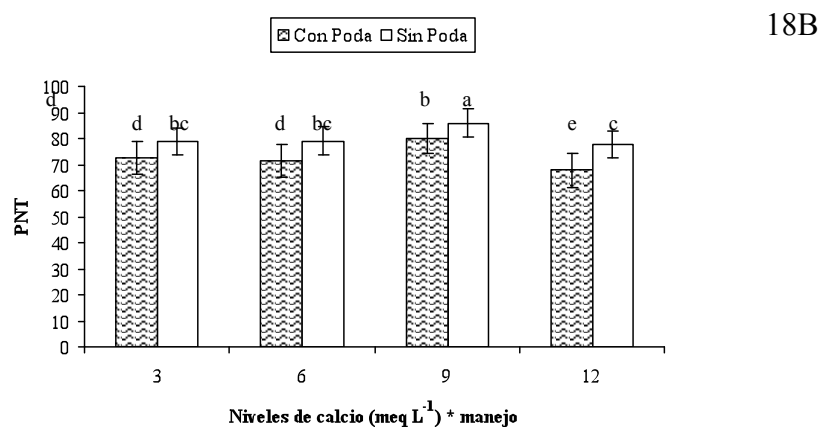
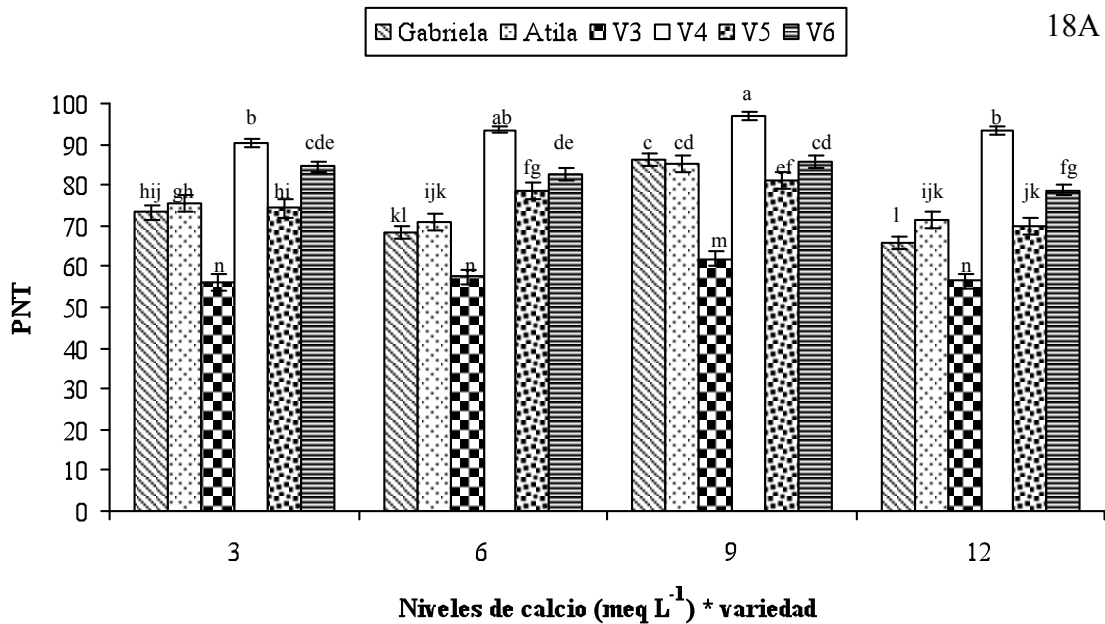


Figura 17. Efecto de las interacciones: solución nutritiva*variedad (17A), solución nutritiva*manejo (17B), variedad*manejo (17C) y solución nutritiva*variedad*manejo (17D), sobre el número de plántulas normales a los siete días en la prueba de germinación; de la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

La Figura 17A muestra que la mayor cantidad de plántulas normales a los siete días de establecida la prueba de germinación, se registró en la combinación de 9 meq L⁻¹ de Ca aplicado a la Variedad 4 con promedio de 90.4%; promedio que es igual estadísticamente al registrado en los tratamientos de 6 y 12 meq L⁻¹ de Ca aplicados a la Variedad 4 con 90.0 y 86.4%, respectivamente. En la figura 17B (interacción solución nutritiva (meq L⁻¹ de Ca)*manejo), se observa que la mayor cantidad de plántulas normales en PN7D se registró en el tratamiento donde

se aplicó la solución nutritiva con 9 meq L^{-1} de Ca al cultivo sin poda con promedio de 76.5%. La Figura 17C muestra la interacción variedad*manejo y se aprecia que se registró el promedio más alto en la combinación de la Variedad 4 y el cultivo sin poda, con 90.6% plántulas normales en PN7D. En la Figura 17D, donde se presenta la interacción solución nutritiva (meq L^{-1} Ca)*variedad*manejo para la variable PN7D, el promedio más alto (95.3%) correspondió al tratamiento de la solución nutritiva con 9 meq L^{-1} de Ca aplicada a la Variedad 4 en el cultivo sin poda, el cual fue similar estadísticamente al registrado en la combinación de 6 meq L^{-1} Ca y la Variedad 4 sin poda con 92.8 plántulas normales. Esta misma tendencia se observó en las combinaciones de 3, 6 y 12 meq L^{-1} de Ca aplicados a la Variedad 4 en ambos sistemas de manejo (con y sin poda). Es decir, la Variedad 4 produjo la mayor cantidad de plántulas normales en todos los tratamientos, en la prueba de germinación.



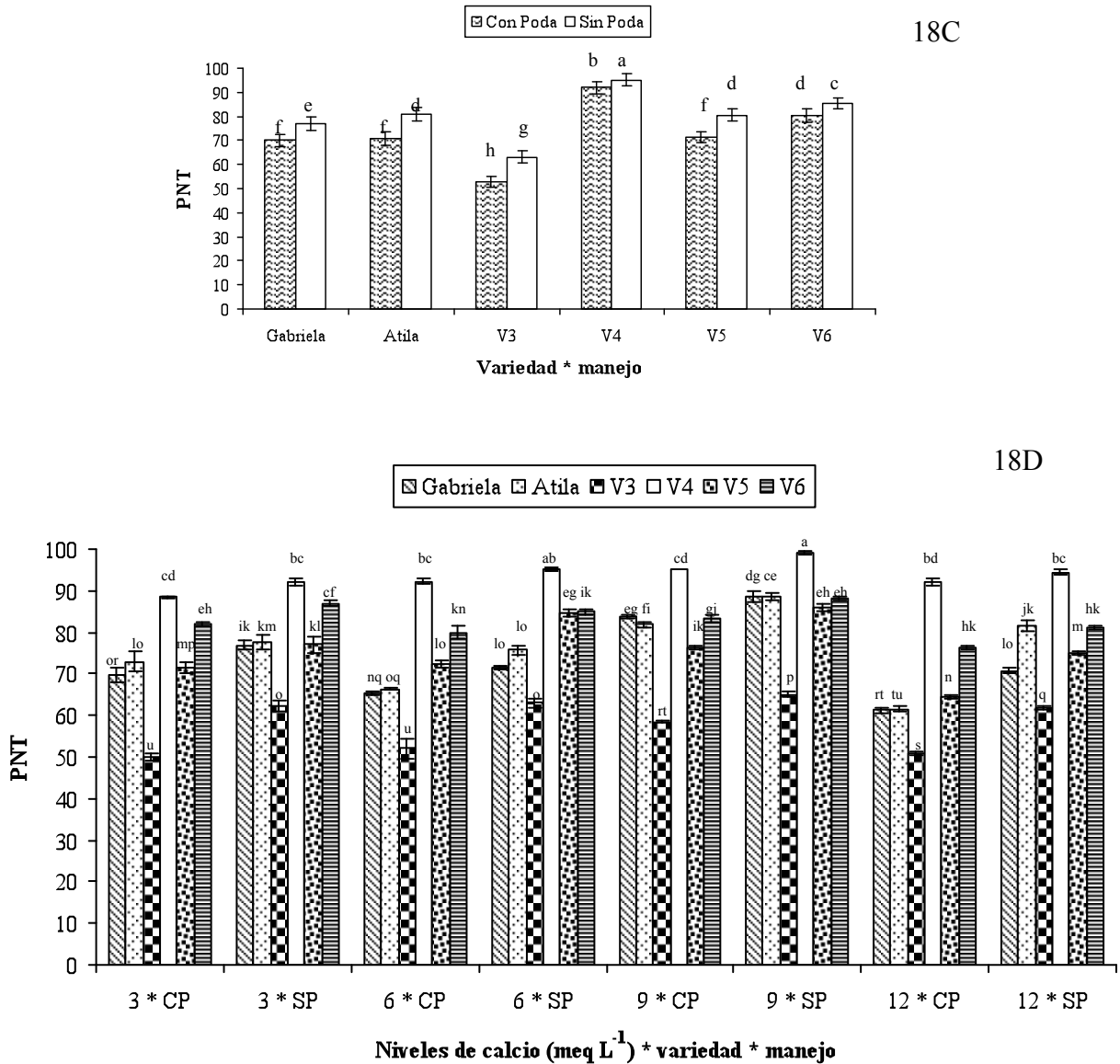
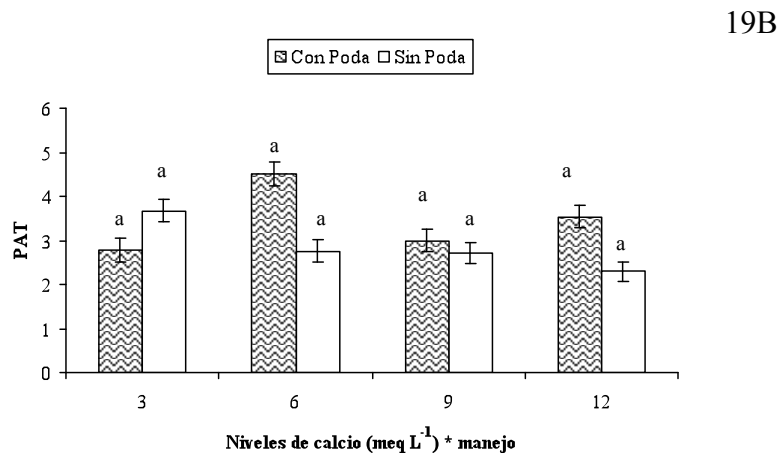
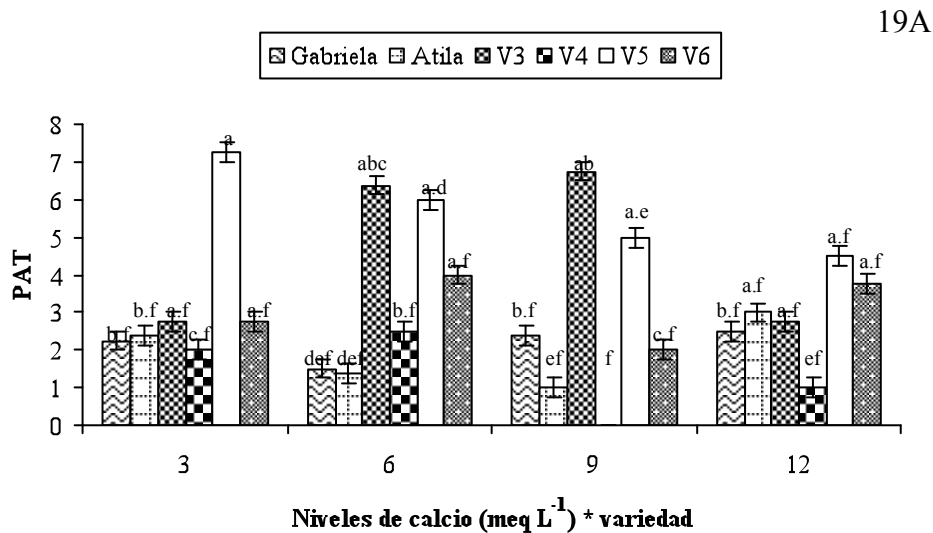


Figura 18. Efecto de las interacciones: solución nutritiva*variedad (18A), solución nutritiva*manejo (18B), variedad*manejo (18C) y solución nutritiva*variedad*manejo (18D), sobre el número de plántulas normales totales al concluir la prueba de germinación (PNT); de la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

La Figura 18A contiene la interacción solución nutritiva (meq L⁻¹ de Ca)*variedad, donde se observa que la mayor cantidad de plántulas normales totales (97.0%) se registró en la combinación de 9 meq L⁻¹ de Ca aplicado a la Variedad 4, que fue igual estadísticamente al promedio registrado en el tratamiento de 6 meq L⁻¹ de Ca aplicado a esta misma variedad, con 93.6% de plántulas normales; de manera general en esta interacción, la Variedad 4 registró los

promedios más altos en las cuatro soluciones nutritivas evaluadas. En la Figura 18B la interacción solución nutritiva*manejo muestra la mayor cantidad de plántulas normales totales (85.9%) en el tratamiento donde se aplicaron 9 meq L⁻¹ de Ca al cultivo sin poda; mientras que la Figura 18C de la interacción variedad*manejo muestra que se registró el promedio más alto (95.2% para PNT) en la combinación de la Variedad 4 y el cultivo sin poda.

En la interacción solución nutritiva (meq L⁻¹ de Ca)*variedad*manejo (Figura 18D), se observa que el promedio más alto (99%) correspondió al tratamiento donde se aplicó la solución nutritiva con 9 meq L⁻¹ de Ca a la Variedad 4 en el cultivo sin poda; misma tendencia que se presenta, sin diferencias estadísticas en las combinaciones de 6 y 12 meq L⁻¹ de Ca aplicados a la Variedad 4 en el cultivo sin poda. Nuevamente es notable que la Variedad 4 produjo la mayor cantidad de plántulas normales en todos los tratamientos en la prueba de germinación.



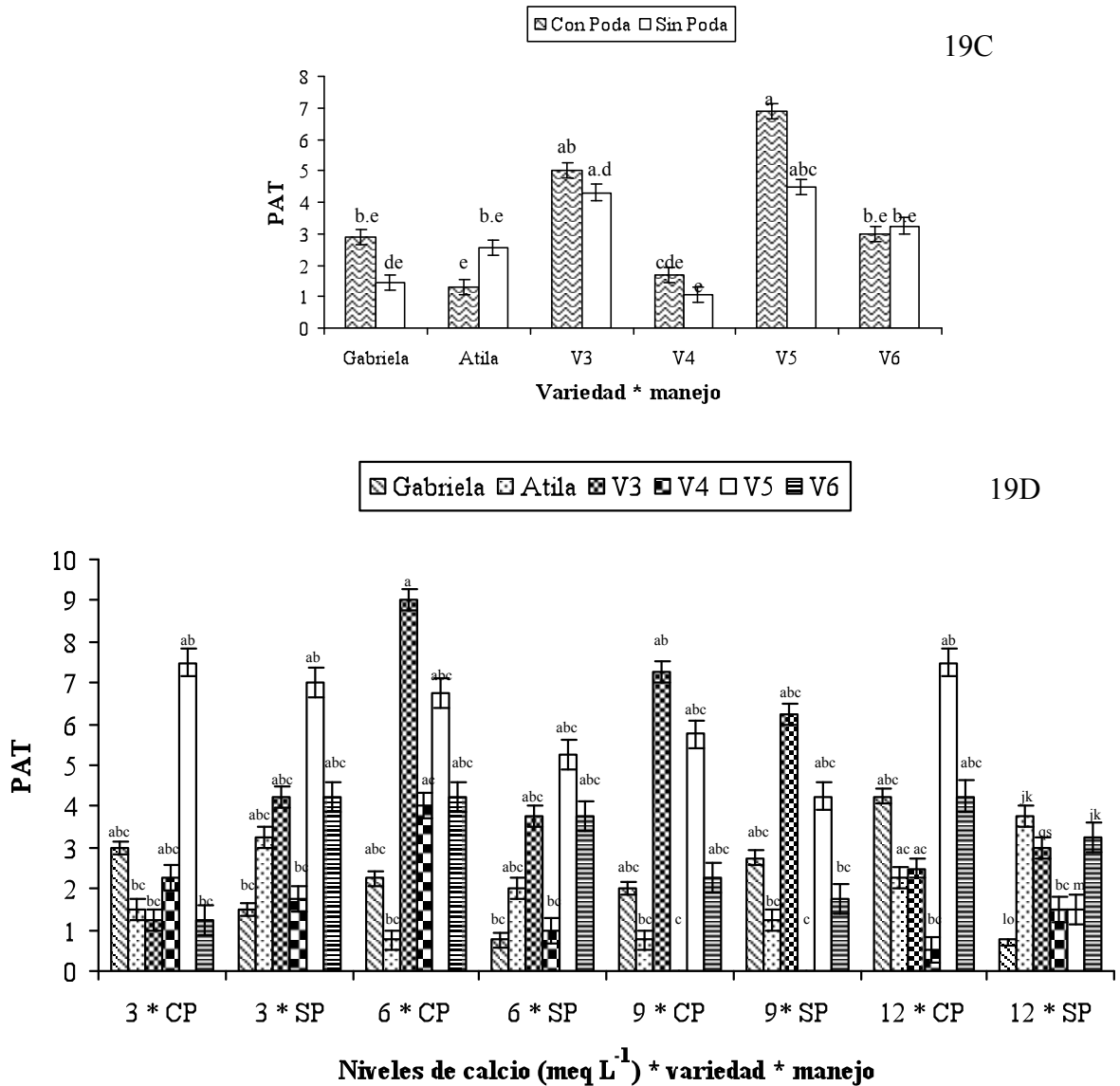
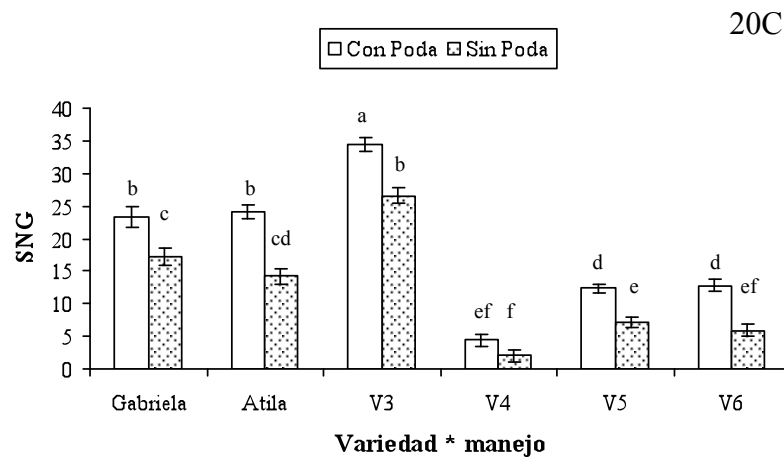
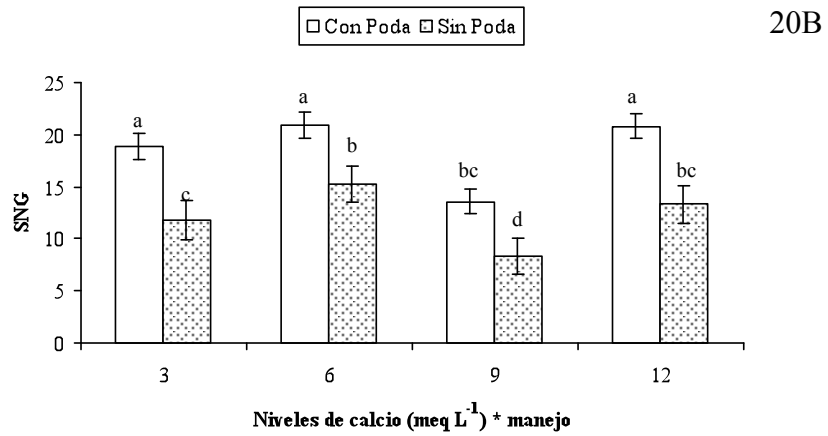
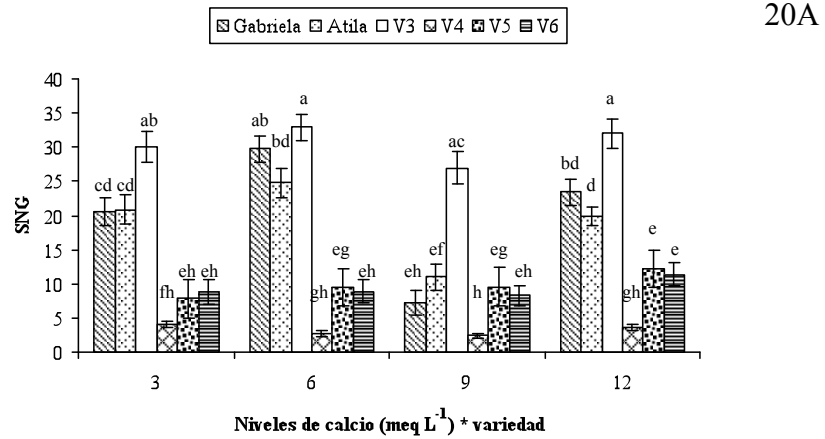


Figura 19. Efecto de las interacciones: solución nutritiva*variedad (19A), solución nutritiva*manejo (19B), variedad*manejo (19C) y solución nutritiva*variedad*manejo (19D), sobre el número de plántulas anormales totales al concluir la prueba de germinación; de la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

La Figura 19A (interacción solución nutritiva (meq L⁻¹ Ca)*variedad) muestra que las variedades 3, 5 y 6 registraron un comportamiento similar, con la mayor cantidad de plántulas anormales totales (PAT) en todos los niveles de Ca probados. La Figura 19B muestra que todas las combinaciones presentaron el mismo promedio estadístico; y en el mismo sentido, para la interacción variedad*manejo (Figura 19C) las variedades 3 y 5 tuvieron promedios similares a

nivel estadístico al registrar la mayor cantidad de plántulas anormales en ambos sistemas de manejo (con y sin poda); por último las variedades 3 y 5 registraron la mayor cantidad de plántulas anormales en la prueba de germinación en todas las combinaciones evaluadas (Figura 19D).



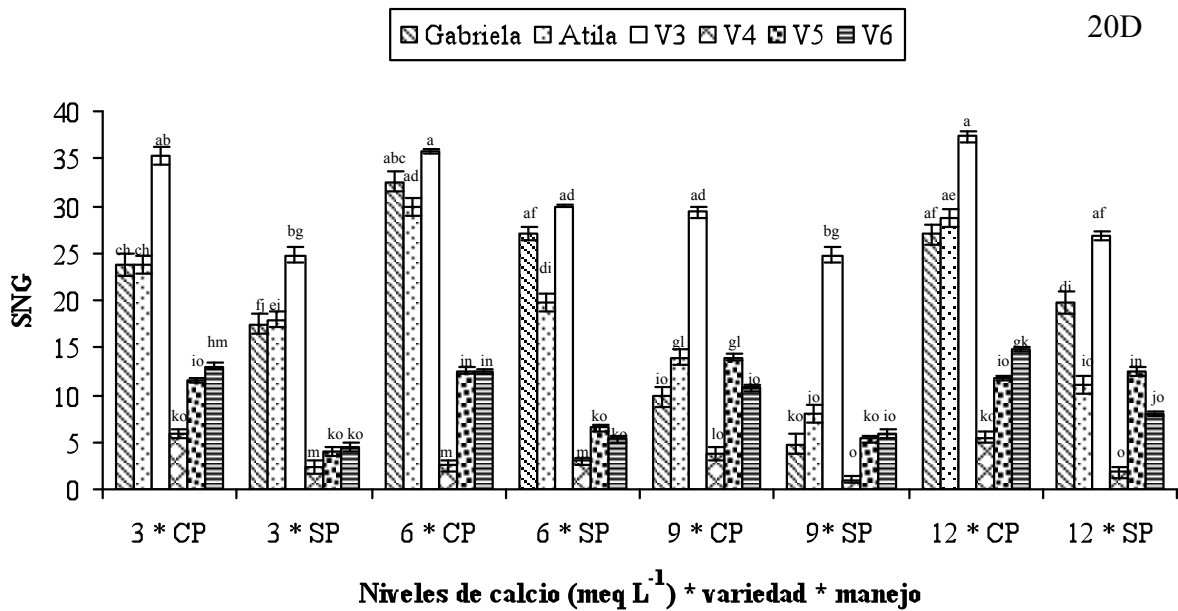
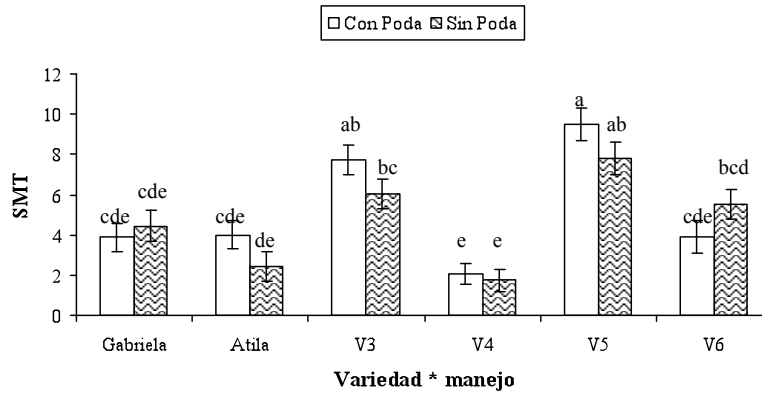
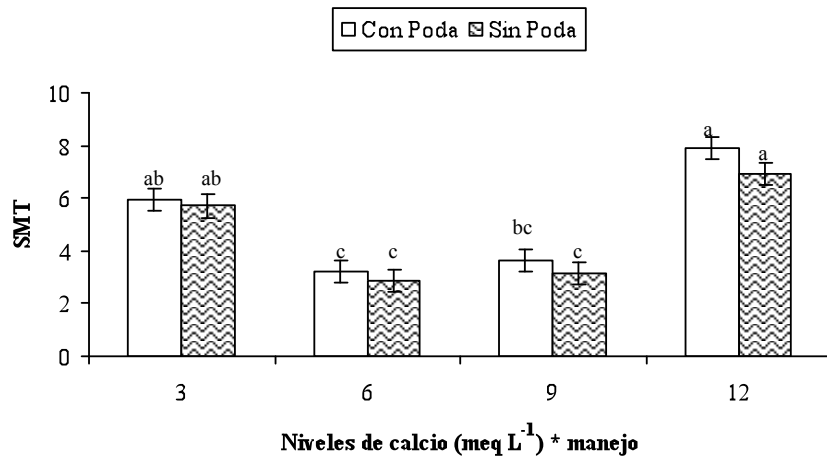
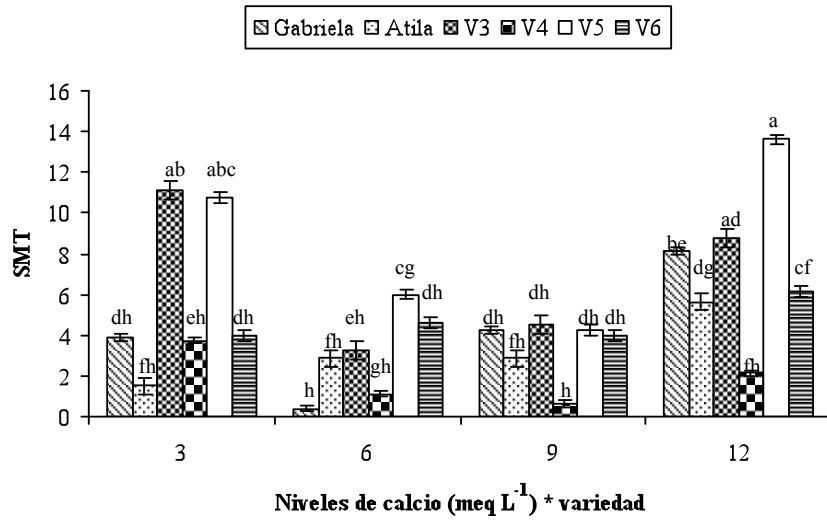


Figura 20. Efecto de las interacciones: solución nutritiva*variedad (20A), solución nutritiva*manejo (20B), variedad*manejo (20C) y solución nutritiva*variedad*manejo (20D), sobre el número de semillas no germinadas (SNG) al concluir la prueba de germinación; de la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

En la interacción solución nutritiva*variedad (Figura 20A) se registró el mismo promedio a nivel estadístico con las soluciones nutritivas de 3, 6, 9 y 12 meq L⁻¹ Ca aplicados a la Variedad 3; y en el mismo sentido, la interacción solución nutritiva*manejo (Figura 20B), muestra que las combinaciones de 3, 6 y 12 meq L⁻¹ Ca aplicadas al cultivo con poda tuvieron comportamiento similar en SNG. Para la interacción variedad*manejo (Figura 20C) la combinación de la Variedad 3 y el cultivo con poda registró la mayor cantidad de semillas sin germinar con un promedio de 34.4%; de igual manera, en la interacción de los tres factores estudiados (Figura 20D), nuevamente fue la Variedad 3 en todas las combinaciones la que registró la mayor cantidad de semillas sin germinar.



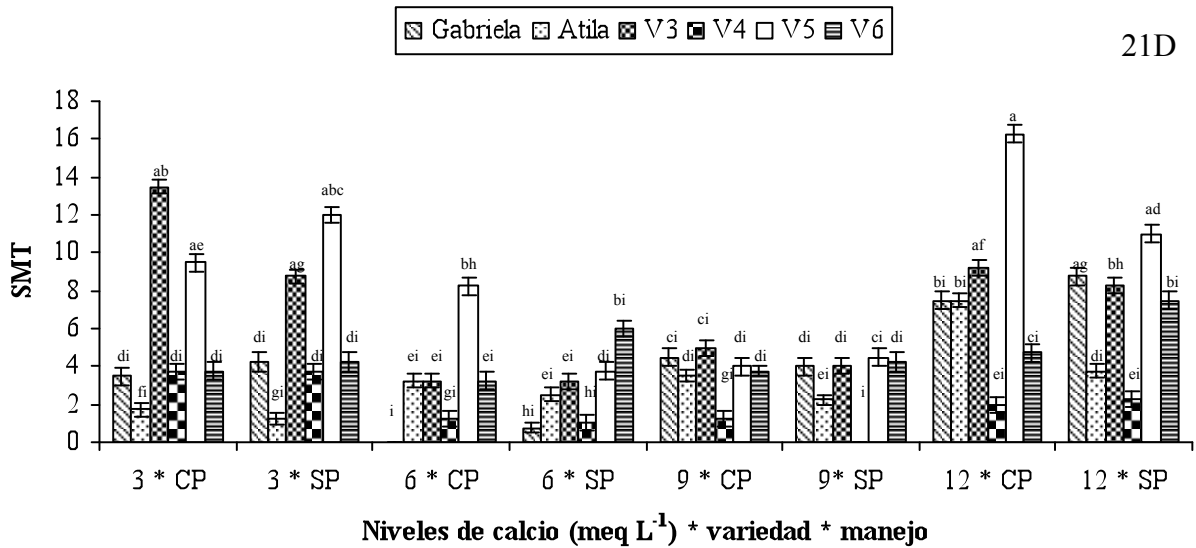


Figura 21. Efecto de las interacciones: solución nutritiva*variedad (21A), solución nutritiva*manejo (21B), variedad*manejo (21C) y solución nutritiva*variedad*manejo (21D), sobre el número de semillas muertas al concluir la prueba de germinación; de la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

En la Figura 21A se observa que la mayor cantidad de semillas muertas se registró en las combinaciones de las soluciones nutritivas de 3 y 12 meq L⁻¹ Ca aplicadas a las variedades 3 y 5, respectivamente; mientras que para la interacción solución nutritiva*manejo (Figura 21B), las combinaciones de 3, 6 y 12 meq L⁻¹ Ca y el cultivo con poda presentaron los mayores promedios en SMT. Las variedades 3 y 5 con poda (Figura 21C) muestran la mayor cantidad de semillas muertas en la interacción variedad*manejo, y en la interacción de los tres factores estudiados (Figura 21D), nuevamente las variedades 3 y 5 en ambos sistemas de cultivo (con y sin poda) produjeron la mayor cantidad de semillas muertas en los tratamientos de 3 y 12 meq L⁻¹ Ca.

Las diferencias en los resultados de la prueba de germinación, se atribuyen principalmente a las características propias de cada genotipo, a la concentración de calcio en la solución nutritiva y a la poda de la planta, además de las condiciones imperantes durante el desarrollo del cultivo; donde se demuestra que el potencial germinativo de cada variedad varió considerablemente, sobresaliendo la línea experimental I(1.20)B-14B4S4 (Variedad 4 de semilla pequeña) por registrar a los siete días de establecida la prueba, promedios cercanos al 100% de plántulas

normales. Por el contrario los genotipos de semilla grande como la línea I(RK)B-17-1 (Variedad 3) y mediana como los híbridos Gabriela, Atila y la Variedad 5, presentaron los promedios más bajos de plántulas normales y tuvieron la mayor cantidad de semillas sin germinar, al concluir la prueba de germinación. Los resultados obtenidos indican que la semilla producida tuvo buena viabilidad, ya que casi no se presentaron plántulas anormales ni semillas muertas en todas las variedades y, concuerdan con lo reportado por Nuez (2001), quien afirma que la germinación depende de la variedad, de las condiciones ambientales en las que esta se cultive y del tamaño de la semilla, señalando que ésta es más rápida en semillas pequeñas; asevera asimismo, que las semillas grandes tienen la cubierta seminal más dura e impermeable que las semillas pequeñas. La testa de la semilla es fundamental en la germinación y emergencia de las plántulas, en virtud de que es la primera barrera que influye en la velocidad de absorción del agua y en consecuencia determina la capacidad de germinación. Los resultados obtenidos también son parecidos a los reportados por Rodríguez *et al.* (2000) en relación a que encontraron diferencias significativas entre los genotipos para todas las variables estimadas; y son distintos a los reportados por Rodríguez *et al.* (1998) quienes solo detectaron diferencias significativas para el porcentaje de semillas muertas, como resultado de la presión osmótica de la solución nutritiva.

La variabilidad observada en el comportamiento de las variedades, puede ser el resultado de una respuesta diferencial de los genotipos a las concentraciones de calcio en las soluciones nutritivas utilizadas, y esta característica es particularmente importante para decidir cuánto hay que aplicar al cultivo, dependiendo del objetivo de la siembra (si es para producción fruto o semilla); en este caso los mejores resultados se tuvieron con la aplicación de 9 meq L⁻¹ de Ca en la solución nutritiva; lo que confirma que la solución universal de Steiner (1984), no sólo es la óptima para la producción de fruto, sino que también es la recomendada para la producción de semilla.

La poda afectó negativamente la calidad fisiológica de la semilla producida, ya que se tuvieron menos plántulas normales, más semillas sin germinar y mayor cantidad de semillas muertas en la prueba de germinación de la semilla obtenida de plantas sometidas a poda. Después de la poda se presentó una proliferación de nuevos brotes en los puntos de crecimiento de la planta, lo que al parecer provocó un fuerte desvío de los fotoasimilados y hormonas a los ápices vegetativos, limitando su utilización por los frutos y semillas que es donde se necesitan. Lo anterior se

sustenta en lo publicado por Chamarro (2001) quien indica que el ápice consume más asimilados que una inflorescencia en iniciación y cuando el suministro de estos asimilados es inadecuado, la inflorescencia sólo obtiene carbohidratos después de que las necesidades del ápice han sido satisfechas. Monteiro (1983) señala que existe una correlación positiva entre el número de semillas y la concentración de auxinas y que asimismo se ha identificado a las semillas como una fuente de auxinas en el fruto; de tal forma que con la poda se modifica esta relación, ya que los nuevos brotes demandan auxinas para su crecimiento afectando la distribución de éstas hacia las semillas, con ello se afecta también la calidad fisiológica de las mismas.

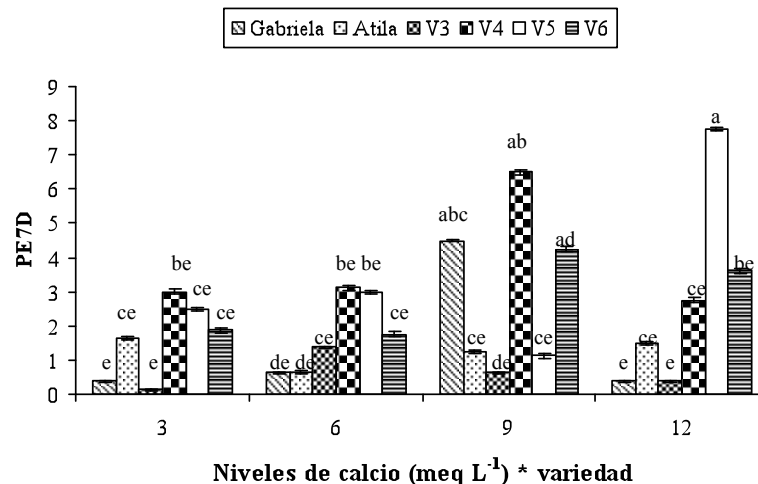
4.5.3.2. b) Prueba de vigor

Para las variables plántulas emergidas a los siete días después de la siembra (PE7D), plántulas totales emergidas al concluir la prueba de vigor (PTE), materia seca de raíz (MSR) y materia seca de la parte aérea (MSPA) de plántulas extraídas al final de la prueba de vigor (Cuadro 19A); se registraron diferencias altamente significativas en los efectos principales de la solución nutritiva, variedad y manejo; así como de la interacción solución nutritiva*variedad. La interacción solución nutritiva*manejo no presentó diferencias significativas en PE7D y PTE; en cambio, las diferencias estadísticas fueron altas en MSR y MSPA. La interacción variedad*manejo registró diferencias significativas en PTE y MSR, y altamente significativas en PE7D y MSPA. En la interacción de los factores solución nutritiva*variedad*manejo, las diferencias fueron altamente significativas en las variables PE7D, MSR, MSPA, y no significativas en PTE.

Para el índice de vigor, se registraron diferencias significativas en el efecto de la solución nutritiva y de las interacciones variedad*manejo, solución nutritiva*variedad*manejo; y altamente significativas en los efectos principales de variedad y manejo; así como de la interacción solución*variedad; la interacción solución nutritiva*manejo fue no significativa en esta variable.

Los R^2 fueron de 67.0, 77.0, 95.0, 90.0 y 82.0% para PE7D, PTE, MSR, MSPA e IV, respectivamente. Los CV registrados fueron de 87.6, 6.8, 4.0, 3.8 y 7.1 % en PE7D, PTE, MSR, MSPA e IV, respectivamente.

Los tratamientos con 9 y 12 meq L⁻¹ de Ca en la solución nutritiva registraron la mayor cantidad de plántulas emergidas (3.0 y 2.7) a los siete días después de la siembra (PE7D). Al final de la prueba de vigor se tuvo el promedio más alto con 21.2 plántulas emergidas (84.8% de las semillas sembradas en PTE) y 0.145g en MSR en la semilla obtenida del tratamiento con 9 meq L⁻¹ de Ca. Para la variable MSPA se obtuvo el mismo promedio en términos estadísticos (0.422 y 0.419g) en los tratamientos con 3 y 6 meq L⁻¹ de Ca. Para el índice de vigor fueron similares estadísticamente los promedios de 2.37, y 2.38 en los tratamientos donde se aplicaron 3, 9 y 12 meq L⁻¹ de Ca en la solución nutritiva. Las variedades 4, 5 y 6 presentaron promedios sin diferencias estadísticas (3.8, 3.6 y 2.9) que equivale a 15.2, 14.4 y 11.6% de las plántulas emergidas a los siete días después de la siembra (PE7D). La Variedad 4 fue la más sobresaliente al producir la mayor cantidad de plántulas emergidas, 22.3 en PTE, que equivale al 89.2% de las semillas sembradas. Para la variable MSR las variedades 4 y 6 registraron el promedio más alto con 0.136 y 0.132g, respectivamente. A excepción del híbrido Atila y la Variedad 3, todas las variedades utilizadas en el experimento produjeron promedios similares a nivel estadístico en MSPA. El índice de vigor más alto (2.72) fue obtenido por la Variedad 4; mientras que todas las variables evaluadas en la prueba de vigor registraron los mejores promedios en la semilla obtenida de las plantas que no fueron podadas (Cuadro 20A).



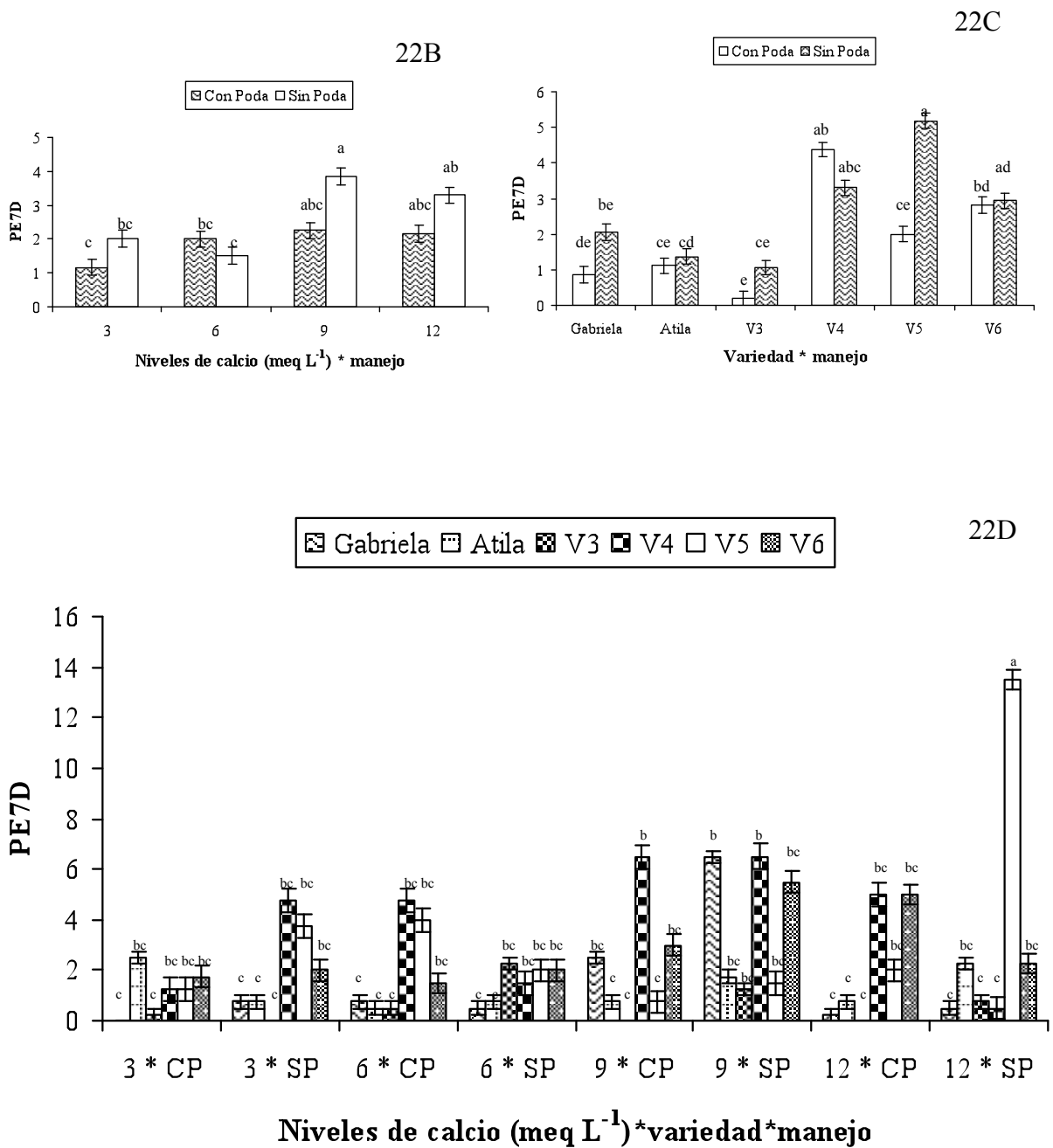
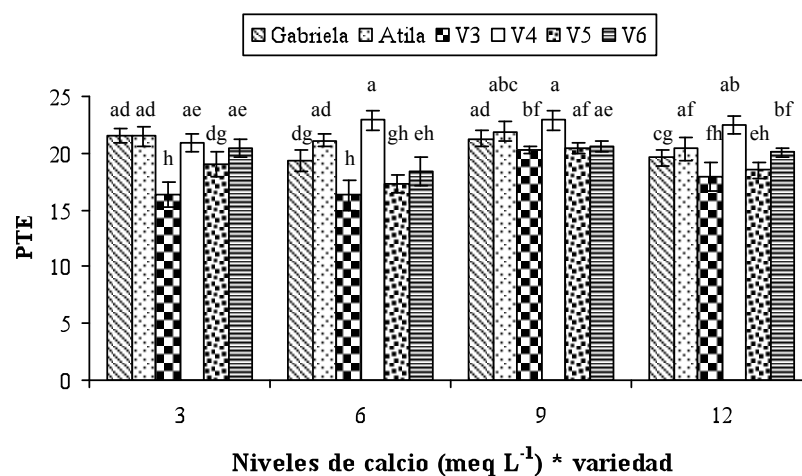


Figura 22. Efecto de las interacciones: solución nutritiva*variedad (22A), solución nutritiva*manejo (22B), variedad*manejo (22C) y solución nutritiva*variedad*manejo (22D), sobre las plántulas emergidas siete días después de iniciada la prueba de vigor; en la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

La interacción entre solución nutritiva ($\text{meq L}^{-1} \text{ Ca}$) y variedades (Figura 22A) muestra el mayor promedio (7.8 plántulas emergidas) en la combinación de $12 \text{ meq L}^{-1} \text{ Ca}$ aplicado a la Variedad 5, el cual equivale al 31.2% de las semillas utilizadas en la prueba de vigor, y fue estadísticamente similar al registrado en las combinaciones de $9 \text{ meq L}^{-1} \text{ Ca}$ aplicados a las variedades 4, 6 e híbrido Gabriela con 6.5, 4.3 y 4.5 plántulas emergidas en PE7D, respectivamente. En la Figura 22B de la interacción solución nutritiva ($\text{meq L}^{-1} \text{ Ca}$)*manejo del cultivo, se observa que la solución nutritiva de $9 \text{ meq L}^{-1} \text{ Ca}$ aplicada al cultivo sin poda registró el promedio más alto con 3.8 plántulas emergidas en PE7D lo cual representa el 15.2% de las semillas sembradas. Las combinaciones de $9 \text{ meq L}^{-1} \text{ Ca}$ y el cultivo con poda y de $12 \text{ meq L}^{-1} \text{ Ca}$ en ambos sistemas de cultivo, tuvieron el mismo promedio estadístico en esta interacción. En la Figura 22C para la interacción variedad*manejo del cultivo, se observa que la combinación de la Variedad 5 sin poda registró el mejor promedio con 5.2 plántulas emergidas en PE7D, el cual equivale al 20.8% de las semillas utilizadas en la prueba de vigor, siendo similar estadísticamente al obtenido por las combinaciones formadas entre las variedades 4 y 6 en ambos sistemas de cultivo.

En la interacción solución nutritiva ($\text{meq L}^{-1} \text{ Ca}$)*variedad*manejo (Figura 22D), el promedio más alto (13.5) plántulas emergidas a los siete días (54% de las semillas sembradas) se registró en la combinación de $12 \text{ meq L}^{-1} \text{ Ca}$ aplicados a la Variedad 5 en el cultivo sin poda.



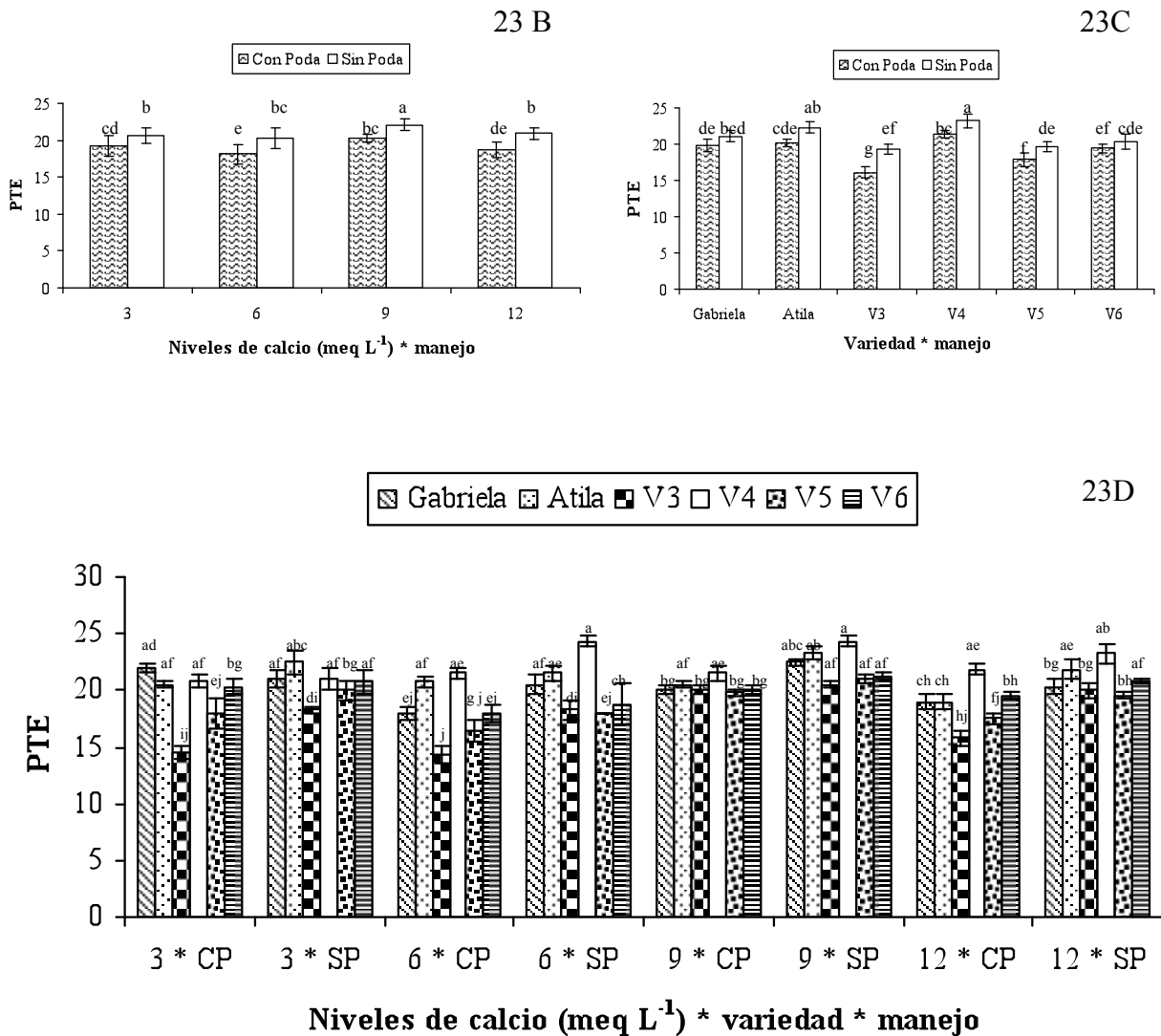
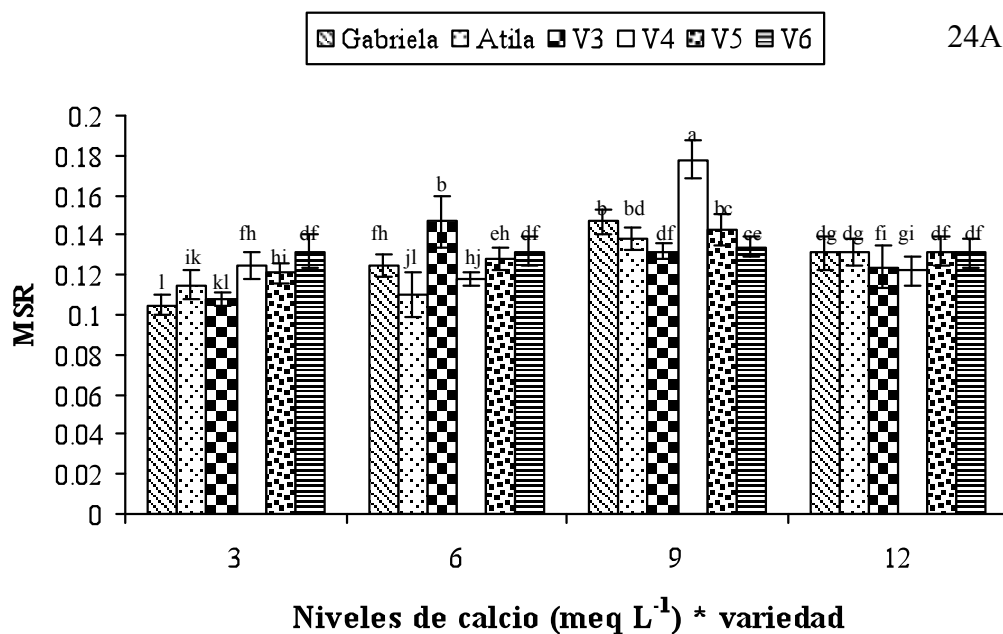


Figura 23. Efecto de las interacciones: solución nutritiva (meqL Ca)*variedad (23A), solución nutritiva*manejo (23B), variedad*manejo (23C) y solución nutritiva*variedad*manejo (23D), en el total de plántulas emergidas (TPE) en la prueba de vigor de la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

En la Figura 23A se observa que las combinaciones de 6 y 9 meq L⁻¹ Ca aplicadas a la Variedad 4 produjeron el mejor promedio (22.9 plántulas emergidas), el cual corresponde al 91.6% de las semillas sembradas; sin embargo, fue estadísticamente similar a los promedios obtenidos con los tratamientos de 3 meq L⁻¹ Ca aplicados en la Variedad 4 y a los híbridos Gabriela y Atila; 6 meq L⁻¹ Ca aplicado al híbrido Atila; 9 meq L⁻¹ Ca a los híbridos Gabriela, Atila y variedades 5 y 6,

respectivamente. En la Figura 23B (interacción solución nutritiva*manejo para PTE), se observa que la solución nutritiva de 9 meq L⁻¹ Ca aplicada al cultivo sin poda registró el mejor promedio (22.1 plántulas emergidas) que equivale al 88.4% de las semillas sembradas; en cuanto a la interacción variedad*manejo (Figura 23C), se observa que la Variedad 4 sin poda registró el mayor promedio (23.2) de plántulas emergidas, que equivale al 92.8% de las semillas sembradas; también sobresalió la combinación del híbrido Atila sin poda con 22.3 plántulas emergidas (89.2% de las semillas sembradas).

En la interacción solución nutritiva*variedad*manejo (Figura 23D), el mejor promedio (24.3 plántulas emergidas, que equivale al 97.2% de las semillas sembradas), correspondió a las combinaciones de 6 y 9 meq L⁻¹ Ca aplicados a la Variedad 4 en el cultivo sin poda y fue estadísticamente igual al registrado por las combinaciones de las soluciones con 3 y 6 meq L⁻¹ Ca aplicadas a los híbridos Gabriela, Atila y Variedad 4 en ambos sistemas de manejo; en esta misma interacción la solución nutritiva con 9 meq L⁻¹ Ca en todas las variedades y el cultivo sin poda presentó un promedio mayor al que se obtuvo en el cultivo con poda.



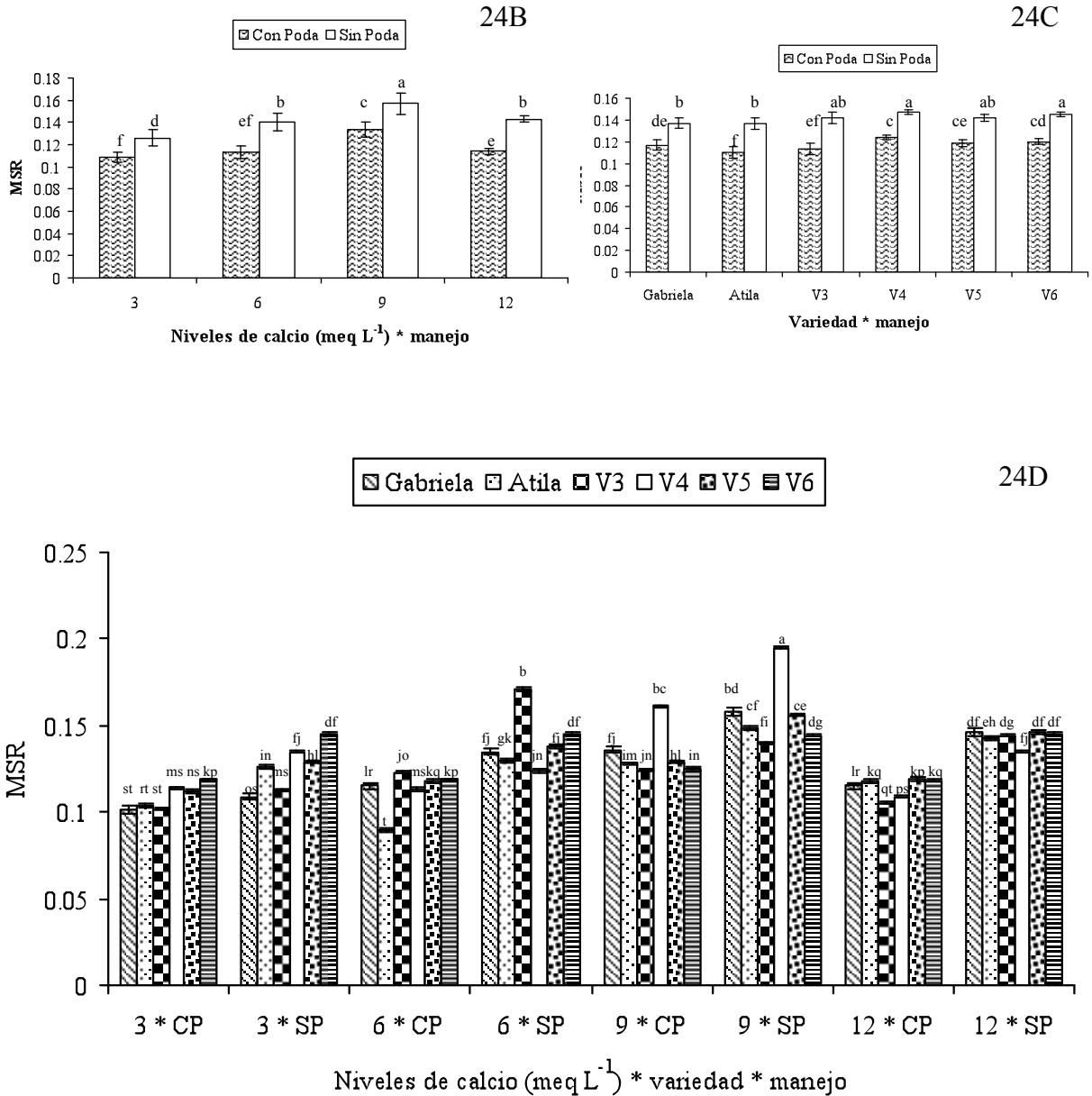
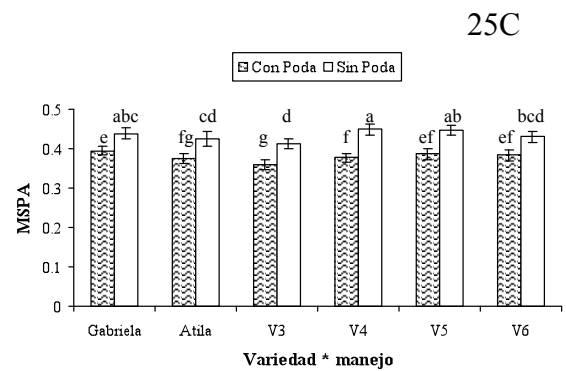
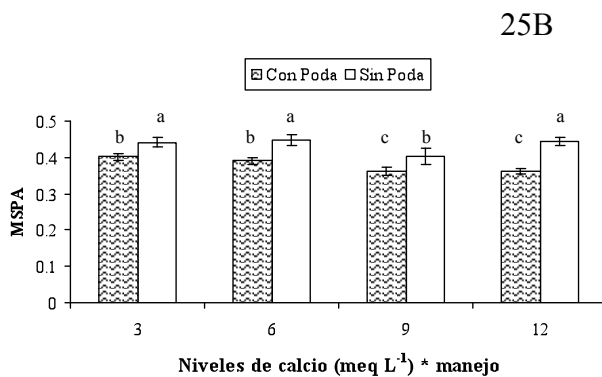
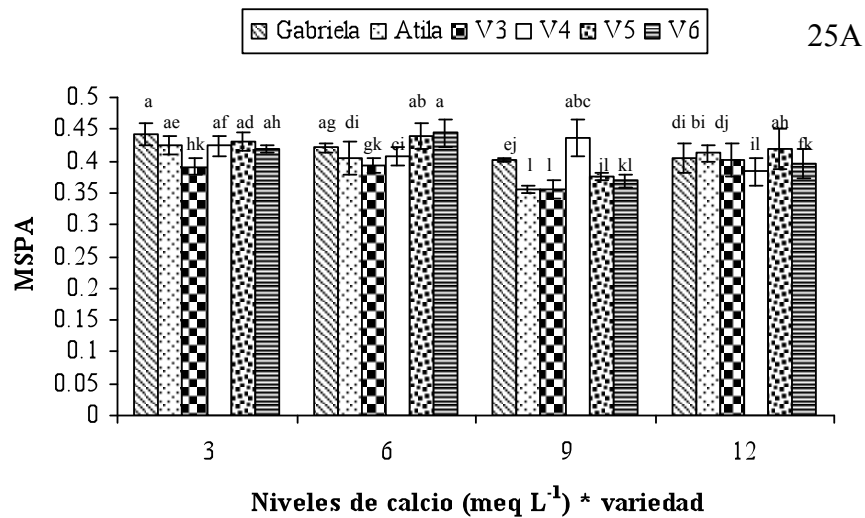


Figura 24. Efecto de las interacciones: solución nutritiva (meqL Ca)*variedad (24A), solución nutritiva*manejo (24B), variedad*manejo (24C) y solución nutritiva*variedad*manejo (24D), en el peso de materia seca de raíz; en la prueba de vigor de la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

La Figura 24A de la interacción solución nutritiva*variedad, muestra que la combinación de 9 meq L⁻¹ Ca aplicada a la Variedad 4 presentó el mejor promedio (0.178g) en MSR; en tanto que

en la interacción solución nutritiva*manejo (Figura 24B), se observa que la combinación de 9 meq L⁻¹ Ca aplicada al cultivo sin poda registró la mayor acumulación de materia seca de raíz (0.157g) en plántulas extraídas al concluir la prueba de vigor. La Figura 24C de la interacción variedad*manejo, muestra que la Variedad 4 sin poda presentó el mejor promedio con 0.147g en MSR; el cual fue similar al de las variedades 3, 5 y 6 sin poda con MSR de 0.142 y 145g, respectivamente; finalmente en la Figura 24D (interacción de los tres factores estudiados) nuevamente es notable que la solución nutritiva con 9 meq L⁻¹ Ca, aplicada a la Variedad 4 sin poda, presentó el promedio más alto con 0.195g en la variable MSR.



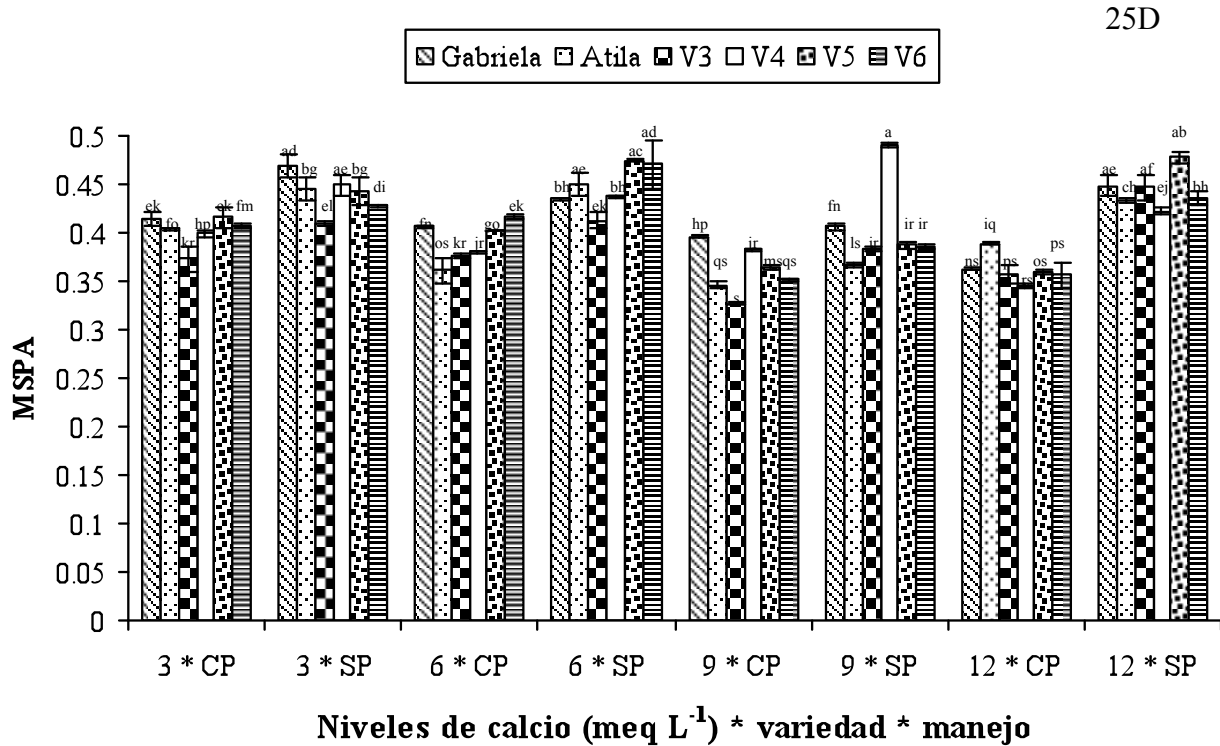
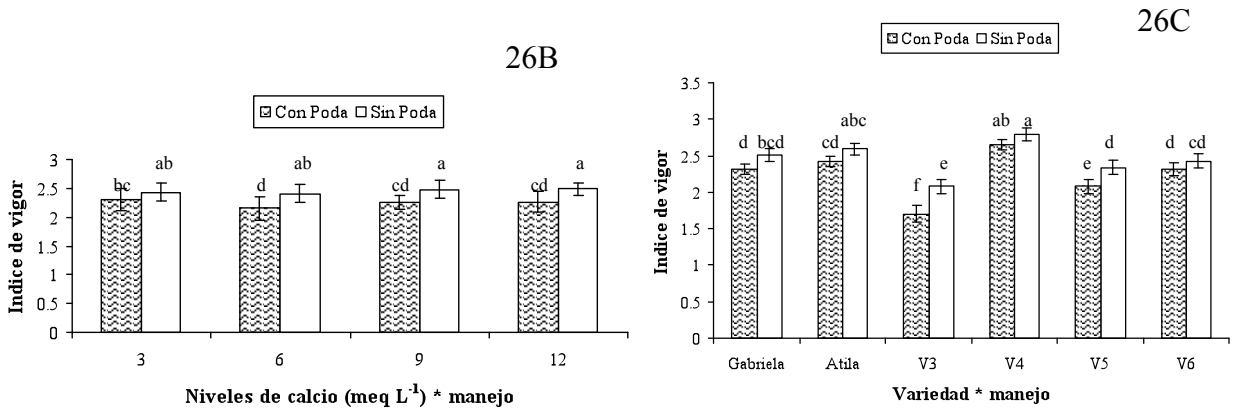
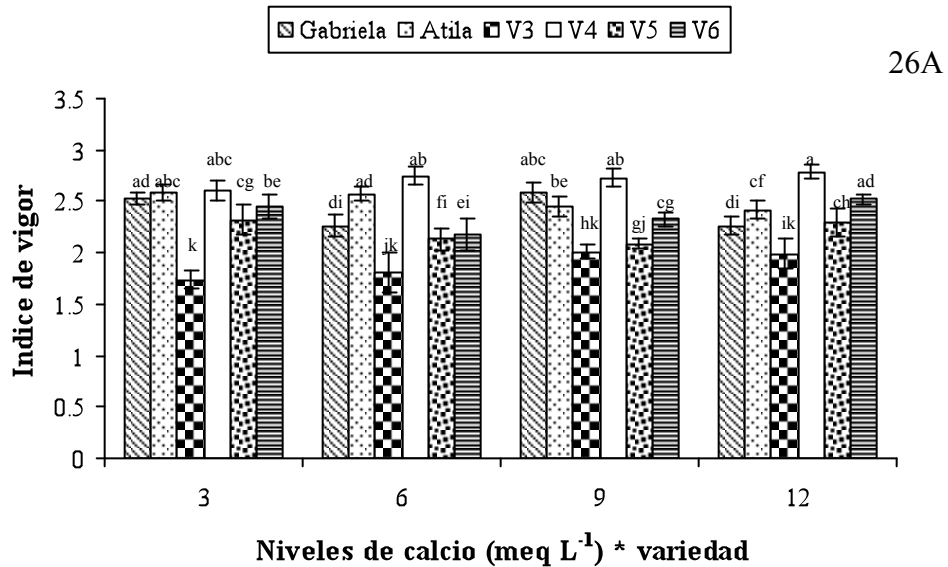


Figura 25. Efecto de las interacciones: solución nutritiva (meqL Ca)*variedad (25A), solución nutritiva*manejo (25B), variedad*manejo (25C) y solución nutritiva*variedad*manejo (25D), en la materia seca de parte aérea de plántulas; en la prueba de vigor de la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

La interacción solución nutritiva*variedad (Figura 25A), muestra que la solución nutritiva con 3 meq L⁻¹ Ca aplicada a los genotipos Gabriela, Atila y a las variedades 4, 5 y 6 registraron el mismo MSPA con 0.441, 0.425, 0.424, 0.430 y 0.418g, respectivamente; similares al obtenido con las combinaciones de 6 y 12 meq L⁻¹ Ca aplicadas a la Variedad 5 con 0.439 y 0.419g y 9 meq L⁻¹ Ca aplicado a la Variedad 4 con 0.437g, respectivamente. Para la interacción solución nutritiva*manejo (Figura 25B), se observa que se registraron los promedios más altos (0.441, 0.447 y 0.444g) en los tratamientos de 3, 6, y 12 meq L⁻¹ Ca aplicados al cultivo sin poda; en tanto que la interacción variedad*manejo (Figura 25C) la Variedad 4 sin poda presentó la mayor MSPA con 0.449g; asimismo, se encuentran en este grupo estadístico las combinaciones del híbrido Gabriela y la Variedad 5 sin poda con 0.439 y 0.446g, respectivamente. En la figura 25D (interacción de los tres factores) se agrupan con el mismo promedio estadístico las combinaciones

de 3 meq L⁻¹ Ca aplicados al híbrido Gabriela y a la Variedad 4 sin poda con 0.469 y 0.449g; 6 meq L⁻¹ Ca aplicados al híbrido Atila, y variedades 5 y 6 sin poda, con 0.449, 0.475 y 0.471g; 9 meq L⁻¹ Ca aplicados a la Variedad 4 sin poda con 0.490g, y 12 meq L⁻¹ Ca aplicados al híbrido Gabriela y a las variedades 3 y 5 sin poda, con 0.448, 0.447 y 0.478g, respectivamente. Cabe destacar que en el manejo del cultivo sin poda (Figura 25D), todos los tratamientos produjeron plántulas que acumularon mayor cantidad de materia seca en la parte aérea en la prueba de vigor.



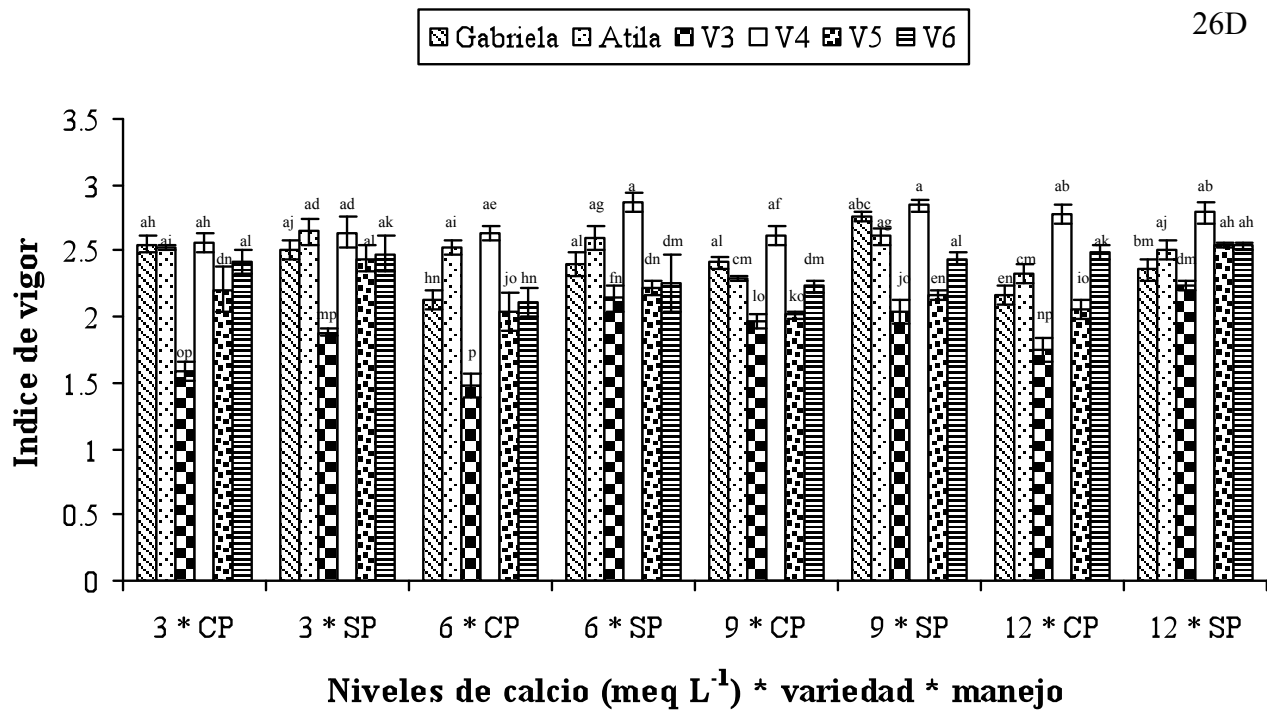


Figura 26. Efecto de las interacciones: solución nutritiva ($\text{meq L}^{-1} \text{Ca}$)*variedad (26A), solución nutritiva*manejo (26B), variedad*manejo (26C) y solución nutritiva*variedad*manejo (26D), sobre el IV de la prueba de vigor en la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

La Figura 26A (interacción solución nutritiva*variedad) muestra que las combinaciones de 3 $\text{meq L}^{-1} \text{Ca}$ aplicados a los híbridos Gabriela, Atila y a la Variedad 4; 6 $\text{meq L}^{-1} \text{Ca}$ aplicados al híbrido Atila y a la Variedad 4; 9 $\text{meq L}^{-1} \text{Ca}$ aplicados al híbrido Gabriela y a la Variedad 4, y 12 $\text{meq L}^{-1} \text{Ca}$ aplicados a las variedades 4 y 6, tienen el mismo promedio estadístico con valores de IV de 2.53, 2.59, 2.60; 2.57, 2.75; 2.58, 2.73; 2.79 y 2.52, respectivamente.

La interacción solución nutritiva*manejo (Figura 26B), muestra que se registraron promedios más altos de IV en el cultivo sin poda en todas las soluciones nutritivas probadas, con valores de 2.43 en 3 $\text{meq L}^{-1} \text{Ca}$, 2.41 en 6 $\text{meq L}^{-1} \text{Ca}$, 2.48 en 9 $\text{meq L}^{-1} \text{Ca}$ y 2.49 en 12 $\text{meq L}^{-1} \text{Ca}$, respectivamente. Por lo que toca a la interacción variedad*manejo (Figura 26C), las combinaciones del híbrido Atila sin poda y la Variedad 4 con y sin poda tuvieron un IV de 2.43,

2.41 y 2.48, respectivamente. Para la interacción de los tres factores (Figura 26D) la mayoría de las combinaciones presentaron el mismo valor estadístico, registrándose el más alto IV (2.85) en la combinación de 9 meq L⁻¹ Ca aplicado a la Variedad 4 sin poda. De manera general, el cultivo sin poda presentó los mejores IV en todas las combinaciones.

Los resultados obtenidos muestran que las respuestas de los genotipos fueron consistentes en las dos pruebas de calidad fisiológica realizadas (germinación y vigor), e indican que el efecto de las concentraciones de Ca en las soluciones nutritivas y el manejo del cultivo tuvieron relación con la calidad de la semilla producida y el buen rendimiento de la planta. En la prueba de vigor la variación en el número de plántulas emergidas por variedad fue más notoria que en la prueba de germinación, donde la línea experimental I(1.20)B-14B4S4 (Variedad 4 con la semilla más pequeña) presentó los promedios más altos, lo que coincide con lo reportado por Khare *et al.* (1995) quienes señalan que dentro de un cultivar, la semilla pequeña tiene menor longitud de plántula y menos acumulación de materia seca, pero presenta la mayor emergencia e índice de emergencia en campo que semillas de otros grados. Por el contrario, las líneas I(RK)B-17-1 (Variedad 3 de semilla grande) e I(16.19)F₂S-20B11S4 (Variedad 5 de semilla mediana) presentaron los valores más bajos. La información obtenida no concuerda con lo reportado por Doijode (2001) quien señala que las semillas de tamaño medio y grande en tomate dan el mayor porcentaje de germinación, la mayor emergencia en campo y mayor rendimiento del cultivo. En ese sentido pero en otra especie, Moreno *et al.* (1998) encontraron que el tamaño grande de la semilla tiene un efecto positivo en la germinación y vigor del maíz; en tanto que Rodríguez *et al.* (2000) también reportaron diferencias significativas entre los genotipos de tomate, en todas las variables estimadas.

Puede establecerse que para efectos de calidad de la semilla, el porcentaje de plántulas normales alcanzado en el primer conteo en la prueba de germinación fue útil para detectar los tratamientos que produjeron las semillas con mayor vigor; sin embargo, Copeland y McDonald (2001) señalan que la información obtenida en una prueba de germinación carece de importancia para diferenciar materiales, debido a que la prueba se desarrolla en condiciones controladas de laboratorio; en cambio, en microtúnel existe menos control del ambiente y como la duración de la prueba es mayor, puede afectar la cantidad y calidad de las plántulas. Ante tal situación, puede asegurarse que los resultados de la prueba de vigor están más apegados a la realidad prevaleciente de la

calidad en la semilla. Además, con ello se confirma lo que en la literatura se menciona de que un lote de semilla que aparenta buena calidad fisiológica en términos de porcentaje de germinación, puede ser rechazado cuando se valora en función del vigor por la pobre emergencia de plántulas; ya que esta característica puede ser importante para predecir el comportamiento del cultivo en campo; en este sentido, Vijayakumar (2003) menciona que la predicción del vigor de un lote de semilla antes de la siembra, es un parámetro importante en la innovación de muchas pruebas de vigor. Al respecto, Perry (1981) señala que en condiciones adversas emergerán pocas plántulas sin importar el nivel de vigor de la semilla. Lo anterior permite proponer que en un programa de mejoramiento genético, además de las características de rendimiento y caracteres agronómicos se deben incluir criterios de calidad de semillas como el tamaño, peso y vigor de la semilla, para la selección de materiales.

Al relacionar los niveles de Ca con la calidad fisiológica de la semilla, se observó que los resultados presentaron diferencias significativas entre las soluciones nutritivas y sus interacciones, lo que indica que si la planta está bien nutrida con este nutriente, puede producir mayor cantidad de semilla de buena calidad. Austin (1972) afirma que las deficiencias nutrimentales afectan principalmente al número de semillas y tiene poco efecto en su composición química; mientras que la aplicación suficiente de fertilizantes afecta su composición e incrementa el número de semillas, a la vez que mejora su calidad fisiológica. Con esto se confirma lo reportado por Osman y George (1984) en el sentido de que una buena nutrición de la planta madre puede favorecer la germinación y emergencia de plántulas; además, Naidu *et al.* (1999) reportan que el desarrollo de la plántula durante la germinación depende de la transferencia de reservas de la semilla hacia los cotiledones; toda vez que durante la etapa inicial, la plántula depende completamente de las reservas cotiledonarias de la semilla, y después de la fotosíntesis producida por las hojas, las cuales son importantes para su crecimiento y desarrollo; no obstante, la velocidad de transferencia de materia seca y el descenso de nutrientes hacia el cotiledón es dependiente del tamaño de la semilla. En el caso de la presente investigación, la Variedad 4 tuvo una emergencia uniforme por lo que la mayoría de las plántulas alcanzaron buen desarrollo al momento de su evaluación. Adicionalmente, es importante considerar en una prueba, lo que señala Markovié *et al.* (1997), en el sentido de que el área foliar y el número de hojas son parámetros que deben tomarse en cuenta cuando se evalúa la calidad de plántulas.

Por otra parte, Milthorpe y Moorby (1982) consideran que la tercera parte de las reservas de la semilla son destinadas a satisfacer el crecimiento de la raíz, y con fines de comparación recomiendan considerar juntos el peso seco de la raíz y de la parte aérea de las plántulas; reforzando esta recomendación lo señalado por Hernández *et al.* (2000) quienes señalan que en maíz, las variables relacionadas con el peso seco producido por las plántulas, son los mejores indicadores de vigor.

Los resultados obtenidos muestran que la mejor solución nutritiva para producción de fruto y semilla de calidad en tomate, es la de 9 meq Ca L⁻¹ debido a que con ella se alcanzaron los porcentajes más altos de plántulas normales en la prueba de germinación, plántulas emergidas, acumulación de materia seca en la raíz y parte aérea de la plántulas, así como el mayor índice de vigor en la prueba de vigor en todas las variedades en el cultivo sin poda. Sin embargo, en el híbrido Gabriela podrían utilizarse soluciones nutritivas más diluidas (con 3 ó 6 meq Ca L⁻¹) debido a que el efecto de las concentraciones de calcio evaluadas no fueron estadísticamente diferentes; esta situación, demuestra que la variedad es calcio-eficiente porque es capaz de producir buenos rendimientos de fruto y semilla con poco calcio disponible.

Asimismo se confirma que la poda (despunte) acortó el ciclo de cultivo, permitió la cosecha de frutos más grandes y aceleró el proceso de maduración en los frutos, tal y como lo señalan Contreras y Sánchez (1997) y Salazar (2005); sin embargo, el hecho de limitar el crecimiento de la planta, afectó negativamente la calidad de la semilla. Como respuesta fisiológica de la planta a la poda, se presentó una proliferación de nuevos brotes en los puntos de crecimiento, lo cual provocó un fuerte desvío de los fotoasimilados y hormonas (principalmente auxinas) a los ápices vegetativos, limitando su utilización por los frutos y semillas; al respecto, es importante señalar que Monteiro (1983) afirma que se ha identificado a las semillas como una fuente de auxinas en el fruto, y señala además que existe una correlación positiva entre el número de semillas y la concentración de auxinas en el mismo; por lo que al alterar esta relación con la poda, se altera también la calidad fisiológica de la semilla.

4.6. CONCLUSIONES

La variación en el rendimiento de semilla por planta entre las variedades estudiadas, se atribuye a que los híbridos Gabriela y Atila superaron a las líneas experimentales en número de frutos de mejor calidad.

El rendimiento de semilla fue mayor en los frutos tipo bola que en los de tipo saladette, sobresaliendo la línea experimental I(16.19)F2S-20B11S4 (Variedad 5) y el híbrido Gabriela, por tener mayor cantidad de lóculos en cada fruto y presentar los frutos más grandes.

El peso volumétrico y el peso de 1000 semillas fueron determinados en gran parte por el diferente comportamiento de los genotipos y por el manejo de la planta madre. La línea experimental I(RK)B-17-1 (Variedad 3) con la semilla más grande, registró los valores más altos de PMS (3.87g) y 258 semillas g^{-1} ; por el contrario, la línea experimental I(1.20)B-14B4S4 (Variedad 4) con la semilla más pequeña, tuvo el promedio más bajo de PMS (3.39g) y 295 semillas g^{-1} en el cultivo sin poda.

La línea experimental I(1.20)B-14B4S4 (Variedad 4 de semilla pequeña) fue la que produjo la mejor calidad fisiológica de semilla (plántulas normales, velocidad de emergencia, porcentaje total de plántulas emergidas, acumulación de materia seca e índice de vigor); por el contrario los genotipos de semilla grande (línea I(RK)B-17-1 ó Variedad 3) y mediana (Gabriela, Atila, Variedad 5), presentaron los valores más bajos.

La concentración “ideal” de calcio en la solución nutritiva es la de 9 meq Ca L^{-1} o solución universal Steiner (1984), debido a que con ella se tuvieron los mejores rendimientos de fruto y semilla, se alcanzaron los promedios más altos de PMS y PV, y se registraron los mayores porcentajes de plántulas normales en la prueba de germinación, y de plántulas emergidas en la prueba de vigor; asimismo, se presentó la mayor acumulación de materia seca en la raíz y parte aérea de las plántulas, y se tuvo el mejor índice de vigor, en todas las variedades del cultivo sin poda.

El híbrido Gabriela demostró ser calcio-eficiente y podría cultivarse con soluciones nutritivas de 3 ó 6 meq Ca L⁻¹ por que sus resultados fueron estadísticamente iguales a los de 9 meq Ca L⁻¹.

La poda modificó el hábito de crecimiento de indeterminado a determinado, acortó el período de crecimiento, aceleró la maduración de los frutos, incrementó el número de frutos agrietados y afectó negativamente la calidad fisiológica de la semilla producida. La mejor calidad de semilla se logró con el cultivo sin poda.

Las diferencias encontradas entre los genotipos, sugieren que, además de las características de rendimiento y de los caracteres agronómicos de la variedad, deben ser incluidos como criterios de selección los parámetros relacionados con la calidad de semillas como el tamaño, peso y vigor. El vigor de plántulas (altura, diámetro de tallo, número de hojas), color, presencia de tricomas (vellosidades), acumulación de materia seca, etc. también pueden ser utilizados para este fin.

El mejor efecto de interacción para la calidad de la semilla, fue cuando se combinó la solución nutritiva con 9 meq L⁻¹ Ca y la Variedad 4 cultivando la planta sin poda.

4.7. LITERATURA CITADA

- Adams P. and L.C. Ho. 1992. The susceptibility of modern tomato cultivars to blossom end rot in relation to salinity. *Journal Horticultural Science* 67:827-839.
- Alarcón V. A. L. 2005. Soluciones nutritivas y fertirriego. Consideraciones, manejo y diagnóstico en cultivo sin suelo. *Rev. Tecnoagro* 6 :16-19.
- Araiza M. S. E. 2006. La industria y el mercado de fertilizantes en México. A 12 años de la privatización y globalización. *Rev. Tecnoagro* 7 :35-38.
- Austin R. B. 1972. Effects of environment before harvesting on viability. *In*: E. H. Roberts (Ed.). *Viability of seeds*. Chapman and Hall. Great Britain. pp. 114-149.
- Behling P. J., W.H. Gabelman and G.C. Gerloff. 1989. The distribution and utilization of calcium by two tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) lines differing in calcium efficiency when grown under low-Ca stress. *Plant and Soil* 113: 189-196.

- Berrios U. M. 2004. Nutrición cálcica. Hortalizas, Frutas y Flores. Editorial Agrosíntesis, S.A. de C.V. México D.F. pp. 30-34.
- Blancard D. 2005. Enfermedades del Tomate. Observar, Identificar, Luchar. Mundi Prensa. Madrid, España. pp. 133.
- Burgueño H. 2005. La utilización de las soluciones nutritivas completas tipo hidroponía. Rev. Tecnoagro 6 : 22-23.
- Castillo M.A., A. González M., C. Rodríguez F. y J. Margolles D. 1986. Mejoramiento genético del tomate II. Método de polinización. Rev. Centro Agrícola 13 : 58-63.
- Chamarro L. J. 2001. Anatomía y Fisiología de la planta. *In*: El Cultivo del Tomate. F. Nuez. Mundi Prensa. España. pp. 43-91.
- Contreras M.E. y F. Sánchez del C. 1997. Efecto de algunos reguladores del crecimiento sobre el rendimiento de jitomate manejado en altas densidades. Rev. Chapingo. Serie Hort. 3: 25-29.
- Copeland L. O. and M.B. McDonald. 2001. Principles of Seed Science and Technology. 4th edition. Kluwer Academic Publishers. Boston, USA. 467 p.
- Cruz H. P. 1990. Evaluación de la calidad física de semillas hortícolas mediante equipo mecánico de limpieza. Tesis Profesional. U.A.Ch. Chapingo, México. 92p.
- Delouche C.J. 2002. Germinación, deterioro y vigor de semillas. *En línea*: <http://www.seednews.inf.br/espanhol/archivo.shtml>. (Revisado el 11 de agosto de 2006).
- Delouche C.J. 2005. Calidad y desempeño de la semilla. *En línea*: <http://www.seednews.inf.br/espanhol/archivo.shtml>. (Revisado el 11 de agosto de 2006).
- Desai B. B., P.M. Kotecha and D.K. Salunkhe. 1997. Seeds handbook: biology, production, processing, and storage. Marcel Dekker, Inc. New York, USA. 628 p.
- Dias D.C.F. 2001. Maduración de la semilla. *En línea*: <http://www.seednews.inf.br/espanhol/archivo.shtml>. (Revisado el 11 de agosto de 2006).
- Doijode D.S. 2001. Seed Storage of Horticultural Crops. Food. Products Press. New York. USA. 339 p.
- Filho M.J. 2002. Probando el vigor de las semillas. Seed news 6: 8-9.
- González I. J. F. 2006. Productores mayas exportan chile habanero, tomate y pepino a la Unión Europea. Hortalizas, frutas y flores. Editorial Agro Síntesis S.A. de C.V. México D.F.: 8-11.
- Groff R. 2002. Secado de granos. Seed news 6 : 16-21.
- Hampton J.G. 2001. ¿Qué significa calidad de semillas? *En línea*: <http://www.seednews.inf.br/espanhol/archivo.shtml>. (Revisado el 11 de agosto de 2006).

- Hampton J.G. 2002. What is seed Quality?. *Seed Sci. and Technol.* 30: 1-10.
- Hernández G. J.A., A. Carballo C., A. Hernández L. y F. V. González. 2000. Ponderación de variables de calidad fisiológica para la medición del vigor en semilla de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 23:239-250.
- Ho L. C., D. J. Hand and M. Fussell. 1999. Improvement of tomato fruit quality by calcium nutrition. *Acta Horticulturae* 481: 463-468.
- Ho L.C., R.I. Grange and A.J. Picken. 1987. An analysis of the accumulation of water and dry matter in tomato fruit. *Plant Cell and Environment* 10: 157-162.
- International Seed Testing Association (**ISTA**). 1993. International rules for seed testing. *Seed Sci. and Technol.* 21, Supplement: 25-30.
- Jones J. B. Jr. 1999. *Tomato Plant Culture: in the field, greenhouse, and home garden.* CRC Press, Boca Raton, Florida. USA. 199 p.
- Khare D., N.D. Raut, S. Rao and J.P. Lakhani. 1995. Effect of seed size on germination and field emergence in soybean. *Seed Research* 23: 75-79.
- Krzyzanowski F. y J.B. França-Neto. 2003. Agregando valor a la semilla de soya a través del control de calidad. *En línea:* <http://www.seednews.inf.br/espanhol/archivo/shtml>. (Revisado el 11 de agosto de 2006).
- Marković V., M. Djurovka and Ž. Ilin. 1997. The effect of seedling quality on tomato yield, plant and fruit characteristics. *Acta Horticulturae* 462: 163-169.
- Milthorpe F. L. y J. Moorby. 1982. *Introducción a la fisiología de los cultivos.* Edit. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina pp. 141-157.
- Monteiro A. A. 1983. Tomato fruit growth in relation to methods of improving fruit-setting. *Acta Horticulturae* 137: 307-314.
- Morales B. G. 2003. Nuevos chiles y tomates de seminis en Yurécuaro, Michoacán. *Hortalizas, Frutas y Flores.* Agrosíntesis S.A. de C.V. México D.F: 29-34.
- Moreno M.E., M.E. Vazquez B., A. Rivera, R. Navarrete and F. Esquivel V. 1998. Effect of seed shape and size on germination of corn (*Zea mays* L.) stored under adverse conditions. *Seed Sci. and Technol.* 26: 439-448.
- Morgan L. 2000. El calcio. Su importancia en hidroponía. *En línea:* www.lamolina.edu.pe/hidroponia/boletin6.htm. (Revisado el 17 de julio de 2006).
- Muñoz R. J J. 2005. Fisiopatías en el Cultivo de Pimiento. *Rev. de Riego* 4:66-69.

- Naidu M.T.C., B. Sreekanth, G.L.N. Reddy and A. Narayanan. 1999. Utilization of seed reserves for seedling growth of cashew (*Anacardium occidentale* L.). 1. Effect of seed size on depletion of nutrients and biochemical constituents. *Seed Research* 27: 149-153.
- Nuez F. 2001. *El Cultivo del Tomate*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 793 p.
- Osman O.A. and R.A.T. George. 1984. The effect of mineral nutrition and fruit position on seed yield and quality in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Acta Horticulturae* 143: 133-137.
- Pandita K.V. and S. Nagarajan. 2001. Fruit maturity and post harvest ripening affecting chilli seed quality and field emergence. *Seed Research* 29: 21-23.
- Patiño J. L. 2001. Siguen ganando superficie los tomates saladettes indeterminados. *Hortalizas, Frutas y Flores*. Editorial año dos mil S.A. México D.F.: 14-19.
- Pereira C.N., J.B. França-Neto, F.C. Kryzanowskie y A.A. Henning. 2002. Nueva metodología para la prueba de tetrazolio en soya. *Seed news* 6:10-11.
- Perry D. A. 1981. *Handbook of vigour test methods*. International Seed Testing Association. Zurich, Switzerland pp. 3-20.
- Ramírez R.G., M. Bennett, M. McDonald and D. Francis. 2004. Effect of fruit development on the germination and vigor of high lycopene tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seeds. *Seed Sci. and Technol.* 32: 775-783.
- Rodríguez D. A. 2004. Notas del editor. Boletín informativo No 25. *En línea*: <http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/boletin25/boletin25.htm>. (Revisado el 17 de julio de 2006).
- Rodríguez G. E., A. Carballo C., G. Baca C. 1998. Efecto de la presión osmótica en solución nutritiva sobre producción y calidad de semilla de jitomate. *Rev. Fitotec. Mex.* 21:15-24.
- Rodríguez G. E., A. Carballo C., G. A. Baca C., A. Martínez G. y M. Rosas R. 2000. Parámetros genéticos y heredabilidad en calidad fisiológica de semilla de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Rev. Chapingo. Serie Hort.* 6:165-171.
- Rodríguez R.G. y M. Piñón G. 2004. Heterosis en el tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *En línea*: <http://www.mixteco.utm.mx/temas-docs/ensay3t13R>. (Revisado el 17 de julio de 2006).
- Salazar S.I. 2005. Elección de variedades para invernadero. *In: Producción de Jitomate en Invernadero*. N. Bautista M., J. Alvarado L. (Eds) Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México pp. 103-125.

- Sánchez del C.F. y J. Ponce O. 1998. Densidad de plantación y nivel de despunte en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado en hidroponía. Rev. Chapingo. Serie Hort. 4: 89-93.
- Sánchez del C.F., J. Ortiz C., M.C. Mendoza C., V.A. González H. y M.T. Colinas L. 1999. Características morfológicas asociadas con un arquetipo de jitomate para un ambiente no restrictivo. Rev. Agrociencia 33: 21-29.
- Sánchez P.A. 2004. Análisis y diagnóstico nutricional en los cultivos sin suelo. In: Tratado De Cultivo Sin Suelo. Urrestarazu G.M. 3ª edición. Ediciones Mundi Prensa. México pp. 49-79.
- SAS Institute Inc 1996. SAS Software release Version 6.12, SAS Institute, Inc. Cary, N.C. 830 p.
- Sawan M.Z., B.R. Gregg and S.E. Yousef. 1999. Effect of phosphorus, chelated zinc and calcium on cotton seed yield, viability and seedling vigour. Seed Sci. and Technol. 27: 329-337.
- Soria T., J. Cuartero and R. Romero A. 2002. Yield and fruit quality of salinised tomato plants with enhanced Ca fertilization. Acta Horticulturae 573: 35-41.
- Steiner A.A. 1984. The universal nutrient solution. In: Proceedings of 6th Int. Cong. on Soilless Culture. International Society for Soilless Culture. Lunteren, the Netherlands : 633-649.
- Ucan Ch. I., F. Sánchez del C., E. Contreras M. y T. Corona S. 2005. Efecto de la densidad de población y raleo de frutos sobre el rendimiento y tamaño del fruto en tomate. Rev. Fitotec. Mex. 28: 33-38.
- Vijayakumar A. 2003. Vigour test for okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench.). Seed Research 31: 249-252.
- Young K.Ch. and L.Y. Beom. 2001. Effect of salinity of nutrient solution on growth, translocation and accumulation of ⁴⁵Ca in butterhead lettuce. Acta Horticulturae 548: 575-580.
- Zorato F. 2005. Evolución del Laboratorio de Análisis de Semillas. *En línea*: <http://www.seednews.inf.br/espanhol/archivo.shtml>. (Revisado el 11 de agosto de 2006).

V. DISCUSIÓN GENERAL

El rendimiento total de semilla en tomate se asocia con el número de semillas por fruto y el número de frutos por planta; así, a mayor rendimiento de fruto corresponde un mayor rendimiento de semilla; al respecto Hernández (2006) señala que el tamaño y calidad del fruto está íntimamente relacionado a la variedad, fisiología de la planta, número de semillas, posición del fruto en el racimo y del racimo en la planta, y principalmente debido a las condiciones climatológicas en que ésta se desarrolle.

En las investigaciones aquí realizadas se encontró una correlación positiva entre el tipo de fruto y la cantidad de semilla por fruto, en este caso los frutos tipo bola (con mayor cantidad de lóculos) produjeron más semilla que los de tipo saladette. Las variedades Gabriela, Variedad 3, Variedad 5 y Variedad 6 producen frutos tipo bola de buen tamaño y por tanto, tuvieron más semilla por fruto; sin embargo, el rendimiento de semilla por unidad de superficie fue mayor en los genotipos que rindieron mayor cantidad de frutos por planta, como es el caso de los híbridos Atila y Gabriela, mientras que la Variedad 4 con frutos tipo saladette, produjo los frutos más pequeños y fue la que registró el menor rendimiento de semilla. Los resultados confirman lo reportado por Castillo *et al.* (1986) quienes mencionan que existe una alta correlación entre el número de semillas desarrolladas y el número de lóculos por fruto, lo cual determina que cada variedad produzca diferente cantidad de semilla. En ese mismo sentido Doijode (2001) señala que los frutos de tamaño medio a grande producen mayor cantidad de semilla que los pequeños; por tanto, si es mayor el número de frutos pequeños y medianos, la cantidad de semilla de calidad presente en ellos es menor que en los frutos grandes y en consecuencia el rendimiento de semilla disminuye; de lo que se infiere que para producir semilla son preferibles los frutos medianos a grandes.

La variación entre los genotipos evaluados tiene relación con las diferencias genéticas de las variedades y con su respuesta al ambiente de producción, donde los híbridos superaron en rendimiento de semilla a las líneas experimentales. Esta variación se atribuye principalmente a que los híbridos produjeron mayor cantidad de frutos grandes por planta y por unidad de superficie. El comportamiento observado es normal, ya que los híbridos son materiales superiores

y estables liberados para ser utilizados en cualquier ambiente de producción, en tanto que en las líneas es necesario seleccionarlas considerando caracteres como el rendimiento y adaptabilidad, que les permita una producción de semilla, alta y estable.

Además de las características propias de la variedad, los resultados obtenidos prueban que el tamaño del fruto se logra mejorar con un buen sistema de manejo del cultivo; para este fin, es conveniente realizar las podas a tiempo y aplicar los niveles de nutrición mineral apropiados tal y como lo señala Mosler (2005), quien asevera que la nutrición y otros factores influyen en el rendimiento de fruto y semilla por planta. Al respecto Menezes-Dos Santos (1992) afirma que la nutrición mineral es fundamental para el desarrollo de la planta y producción de frutos de calidad en tomate, debido al gran volumen de frutos producidos por unidad de superficie.

Las respuestas de los seis genotipos fueron consistentes en los dos experimentos conducidos, e indican que el efecto de las soluciones nutritivas y el manejo del cultivo estuvieron relacionados con el buen rendimiento de la planta; las evidencias logradas, indican que la mejor solución nutritiva para producción de fruto y semilla de calidad en tomate, es la “Solución Universal de Steiner (1984)” aplicada al cultivo sin poda. Es posible que la respuesta favorable se debió a que esta solución mantiene un equilibrio en la relación mutua entre los aniones y entre los cationes, y no hay variación en la concentración de los nutrimentos expresada en términos de la CE; el pH es estable (se mantiene en un rango de 5.5-6).

Para el conocimiento de cual nutrimento influye más en la formación y calidad de la semilla, en investigaciones futuras sería conveniente trabajar con la técnica del elemento faltante, y con el análisis químico de la misma, hacer formulaciones específicas.

Por otro lado, aún cuando no se hizo una evaluación de la relación existente entre el tamaño de la semilla y su calidad, los resultados obtenidos indican que éste sí influyó en la calidad física y fisiológica de la misma. Esta información permite inferir que el tamaño de la semilla es un parámetro valioso a considerar en el establecimiento de la plántula y crecimiento del cultivo, y que las variedades en un mismo cultivo pueden diferir en el tamaño de la semilla. Gontia y Awasthi (1999) afirman que estudios sobre el tamaño de semilla y vigor son importantes debido a que indican la cantidad de reservas a suministrar a la plántula para reunir los requerimientos de

material alimenticio durante el tiempo de germinación, emergencia en campo y condiciones de estrés. Al respecto cabe señalar que los nutrimentos aportados a través de la nutrición, son necesarios para la formación y desarrollo de nuevos órganos y como materiales de reserva, así como en la composición química, metabolismo y vigor de la semilla.

El efecto del tamaño de la semilla sobre el vigor y viabilidad ha estado sujeto a un gran número de investigaciones; por lo que, este puede ser un parámetro valioso a considerar en el mejoramiento genético del tomate; no obstante, Hill *et al.* (1997) señalan que estudios realizados sobre el tamaño de la semilla, reportan resultados contradictorios sobre la germinación, crecimiento de la planta y rendimiento final del cultivo, vale la pena insistir que se debe profundizar en este tema.

La línea experimental I(1.20)B-14B4S4 ó Variedad 4 con la semilla más pequeña, presentó los porcentajes más altos de plántulas normales en la prueba de germinación; y de plántulas emergidas, acumulación de materia seca en raíz y parte aérea e índice de vigor en la prueba de vigor; resultados que coinciden con lo reportado por Nuez (2001) quien afirma que la germinación está, al menos en parte, bajo control genético y es más rápida en las semillas pequeñas. Por el contrario, la línea experimental I(RK)B-17-1 ó Variedad 3 con la semilla más grande, presentó los valores más bajos en ambas pruebas; comportamiento opuesto a lo reportado por Moreno *et al.* (1998), quienes encontraron que el tamaño grande de la semilla tiene un efecto positivo en la germinación y vigor del maíz; en este mismo sentido Ellis (1992) señala que las semillas grandes originan plántulas vigorosas debido a que disponen de mayor cantidad de sustancias de reserva para el desarrollo del eje embrionario, de tal forma que en condiciones de campo pueden establecerse más rápidamente. Los pobres resultados mostrados por la Variedad 3 pueden tener relación con la información reportada por Nuez (2001), quien menciona que las semillas grandes en tomate tienen la cubierta seminal más dura e impermeable que las semillas pequeñas; característica que es fundamental en la germinación y emergencia de las plántulas, en virtud de que la testa es la primera barrera que influye en la velocidad de absorción del agua y en consecuencia afecta la capacidad de germinación.

En otro grupo de variedades, los híbridos Gabriela, Atila y la línea experimental I(16.19)F₂S-20B11S4 ó Variedad 5 con tamaño medio de semilla, se comportaron de manera irregular, toda vez que en la prueba de germinación tuvieron la mayor proporción de semillas no germinadas y en la de vigor mostraron una cantidad intermedia de plántulas emergidas, lo cual indica que la semilla tiene buena viabilidad y mediante un tratamiento que estimule la germinación es posible que se puedan mejorar los resultados. Este comportamiento no corresponde con lo reportado por Doijode (2001), quien señala que las semillas de tamaño medio en tomate (alrededor de 0.8 mm) dan el mayor porcentaje de germinación, la mayor emergencia en campo y mayor rendimiento del cultivo.

Pandita y Randhawa (1995) evaluaron el efecto del tamaño de la semilla de cinco variedades de tomate, sobre la emergencia de plántulas y el índice de vigor; y concluyen que el cultivar S-120 con tamaño grande de semilla (arriba de 1.2 mm) dio la mayor emergencia en campo (66%) e índice de vigor; por el contrario el cultivar Pusa Ruby con semilla pequeña (0.6 a 0.8 mm) registró el mínimo índice de vigor y el porcentaje de emergencia más bajo. Así mismo, Khare y Satpute (1999) afirman que genotipos con tamaño de semilla pequeña y mediana tienen un porcentaje de germinación alto y una mejor eficiencia en la movilización de reservas, mientras que genotipos con tamaño de semilla grande presentan el mayor índice de vigor.

La falta de consistencia en los resultados reportados en la literatura con los de esta investigación, hace pensar que es necesario profundizar la exploración en relación con el tamaño de la semilla, para clasificar los genotipos en base a este parámetro, ya que los resultados demuestran que éste sí influyó en la calidad física y fisiológica de la semilla.

El manejo del cultivo (aplicación de nutrimentos, poda, momento de cosecha, extracción de la semilla) es otro de los factores que más influencia pudo tener en el peso de la semilla. Los resultados de PMS y PV de los dos experimentos indican que la nutrición, la poda y sus interacciones, tuvieron efectos altamente significativos en el comportamiento de los genotipos estudiados, donde los nutrimentos aportados a través de la solución nutritiva contribuyeron a la formación de semillas más pesadas. Esta aseveración se sustenta en que algunos tratamientos tuvieron promedios más bajos (en los experimentos de PO y Ca), a los obtenidos con el PO de -

0.072 MPa; o con la solución que tiene una concentración de 9 meq L⁻¹ de Ca, en el cultivo sin poda. La información aquí generada, demuestra que los valores de PMS y PV fueron mejores a los reportados por Cruz (1990); Desai *et al.* (1997); Jones (1999); Sharma y Thakur (2002) y Hamsaveni *et al.* (2003); por tanto, se puede concluir que para estas variables la solución universal de Steiner (1984) con PO de -0.072 MPa y 9 meq L⁻¹ de Ca, no sólo es la óptima para la producción de fruto de tomate, sino que también es la adecuada para la producción de semilla de calidad.

Cabe señalar que las variedades de tomate utilizadas fueron muy distintas, por lo que deben ser cosechadas para semilla a diferente grado de madurez del fruto; por ejemplo, se observó que en las líneas I(RK)B-17-1 (Variedad 3) e I(16.19)F₂S-20B11S4 (Variedad 5) en el cultivo con poda, mucha semilla germinó dentro de los frutos maduros o sobremaduros, por lo que se propone su cosecha cuando se inicie el color rojo de los mismos; al parecer la poda provocó una alteración hormonal en la planta que promovió este fenómeno fisiológico. Al aplicar esta técnica, se agrietaron los frutos, hubo precocidad en la producción, y se presentó una proliferación de nuevos brotes en los puntos de corte; esto último parece ser la causa que más afectó la calidad de la semilla producida, para lo cual existe la posibilidad de utilizar algún retardador de crecimiento con la intención de frenar este efecto fisiológico.

Nandeesh y Ramegowd (1995) señalan que cosechar en la etapa óptima de madurez no sólo minimiza la pérdida de viabilidad y vigor de la semilla en pepino, sino que también se previene el daño a la semilla en campo debido al efecto de plagas, enfermedades y condiciones ambientales adversas. Doijode (2001) reporta que la semilla de tomate alcanza la calidad aceptable con la madurez del fruto a los 35 y 41 días después de la antesis; por tanto, los frutos pueden cosecharse en la etapa de rompimiento de color en un cultivo para semilla, sin problemas en la viabilidad de la misma; toda vez que la germinación y el vigor de la semilla no se afectan en frutos color rosa-palo a rojo oscuro.

El hecho de haber cosechado los frutos maduros o sobremaduros en todas las variedades, posiblemente provocó el deterioro prematuro de la semilla en las variedades 3 y 5, y por consiguiente afectó su calidad física y fisiológica. Esta respuesta fue más notoria en el

experimento donde se evaluó una distinta concentración de calcio por litro, que en el que se modificó el PO de la solución nutritiva. Tal vez porque como lo señala Villaseñor (2005), el calcio tiene un rol importante en la interacción con las hormonas como las citocininas en la división y elongación celular, y en la estimulación de la germinación en ciertas semillas; además, varios investigadores destacan las bondades del calcio. Morgan (2000) asevera que es esencial para el desarrollo del grano en el cacahuete; en tanto que Sánchez (2004) menciona que el Ca actúa como ion regulador, en la traslocación de carbohidratos, por el efecto que ejerce sobre células y paredes celulares, proporciona vigor a la planta, rigidez a la paja y a granos, e interviene en la formación de las semillas, aunado a lo que señala Marschner (2002), de que una concentración alta de Ca^{2+} estimula la actividad de la enzima α -amilasa en la geminación de las semillas de cereales. Lo anterior implica que es necesario buscar un sistema de manejo apropiado para cada variedad y así poder cosechar semilla de mejor calidad en cada una de ellas.

Ahmed *et al.* (1984) señalan que la variación del peso y tamaño de la semilla en un genotipo puede ser causada por la nutrición de la planta madre, posición de la inflorescencia y estado de madurez al momento de la cosecha; asimismo, Sawan *et al.* (1999) mencionan que la nutrición de la planta madre utilizando un programa balanceado de fertilización con macro y micronutrientes es muy importante en la producción de semilla de alta calidad; además, Carvalho y Nakagawa (1988) consideran que las exigencias nutricionales para la mayoría de las especies se vuelven más intensas con el inicio de la fase reproductiva y son más críticas al momento de formarse las semillas.

Filho (2002) reporta que el peso de la semilla es la propiedad física que mejor se relaciona con la calidad fisiológica, ya que semillas inmaduras (ligeras) y enfermas presentan bajo peso específico y consecuentemente baja germinación y vigor.

Puede ocurrir que una variedad con bajos porcentajes de germinación en una prueba de laboratorio también presente baja emergencia en campo (tal y como sucedió con las variedades 3 y 5), o bien registrar elevados o similares porcentajes de germinación, con buena emergencia en campo (ejemplo los promedios de la Variedad 4). De esta manera los resultados pueden ser utilizados para clasificar los lotes de semilla según su vigor y para la toma de decisiones en cuanto a la capacidad de almacenamiento o potencial de siembra de cada lote.

Como bien señalan Ahmed *et al.* (1984), las condiciones del ambiente tienen influencia directa sobre las reservas de nutrientes en la semilla y estas influyen en el vigor de las plántulas; además de que estos nutrientes pueden controlar la velocidad de desarrollo de las plántulas bajo determinadas condiciones, siendo por lo tanto un factor potencial en el vigor de las mismas.

Según Powell (1995), las diferencias en el vigor de las semillas sólo son importantes cuando estas ocurren en semillas que tienen una alta germinación y están, por lo tanto, disponibles para la venta, de tal forma que el objetivo de una prueba de vigor es distinguir entre semillas con una elevada germinación pero con una disminución en el vigor.

La asociación positiva y significativa entre los caracteres de viabilidad para definir el vigor (germinación al primer conteo, velocidad de emergencia y acumulación de materia seca) permite inferir que la calidad de la semilla producida fue buena y es apta para promover un buen establecimiento en campo. Si se toma en cuenta que la calidad fisiológica de las semillas es una característica dinámica y compleja, como resultado del efecto directo de la interacción de factores genéticos y ambientales, es posible suponer que los pobres resultados de la emergencia de plántulas en las variedades 3, 5, Atila y Gabriela del experimento de potenciales osmóticos (PO), hayan sido influenciados más por las condiciones en las que se desarrolló la prueba de vigor que por los efectos de los tratamientos; ya que el estrés al que estuvieron sometidas las semillas fue mayor al que pudieran tener en campo (se presentaron temperaturas muy bajas durante la prueba); condición ambiental que prolongó la prueba por varios días, con la expectativa de encontrar diferencias significativas en el desarrollo de las plántulas entre las variedades. Sin embargo, a pesar de que se tuvieron diferencias numéricas, no hubo diferencias estadísticas entre los valores obtenidos, por lo que se concluye que los potenciales osmóticos evaluados no tuvieron efecto significativo en la variable de materia seca de plántula. Nuez (2001) afirma que la capacidad de germinar a temperaturas muy bajas (8.5-12 °C) y muy elevadas (35-37 °C), depende de la variedad, ya que algunos cultivares capaces de germinar a temperaturas bajas, también lo hacen a temperaturas elevadas. Por su parte Perry (1981), asevera que en condiciones adversas emergerán pocas plántulas sin importar el nivel de vigor de la semilla, sucediendo lo contrario en condiciones favorables donde la emergencia puede correlacionar con la germinación, y en este caso una prueba de vigor puede no representar ventaja alguna.

En la semilla del experimento para estudiar el efecto de las concentraciones de Ca, las temperaturas prevalecientes no impusieron una condición adversa durante la prueba de vigor, por desarrollarse en el período de calor (primavera), y las diferencias encontradas entre las plántulas de las mismas variedades sí fueron estadísticamente significativas; donde la materia seca de raíz (MSR) y parte aérea (MSPA) ayudaron a explicar el efecto de los factores estudiados sobre el vigor de la semilla y por consiguiente del índice de vigor, lo cual concuerda con lo reportado por Hernández *et al.* (2000), en el sentido de que las variables relacionadas con el peso seco producido por las plántulas, son los mejores indicadores de vigor.

Favaro y Pilatti (S/A) señalan que el primer crecimiento de la plántula privilegia la formación de un área foliar importante, con objeto de realizar el proceso fotosintético, para responder a los requerimientos energéticos de la planta; la velocidad de aparición de estas hojas está relacionado con la temperatura y la cantidad de reservas en la semilla, de tal manera que a mayor suma térmica menor cantidad de días son necesarios para el desarrollo de una hoja. El efecto de las temperaturas e intensidad lumínica puede ser comprendido, desde el punto de vista de la disponibilidad de carbohidratos; de tal forma que, a mayores intensidades de luz mayor será la tasa fotosintética, lo que propiciará un ápice de mayor tamaño; mientras que con temperaturas bajas se reduce la respiración de mantenimiento y con ello hay más asimilados disponibles para el ápice; además, continúa el desarrollo radical en la plántula para poder explorar el suelo, con el fin de absorber agua y nutrimentos. De lo anterior se infiere que en la selección de nuevos materiales, la tendencia es que tengan menos hojas, con una baja tasa de senescencia y alta actividad fotosintética, de tal forma que la energía gastada en desarrollar y luego mantener esta estructura sea la mínima posible.

La variabilidad observada en la respuesta de los genotipos puede ser el resultado de una respuesta diferencial de las variedades a los potenciales osmóticos y niveles de calcio, debido a que hay diferencias entre genotipos en la tolerancia relativa a las sales presentes en las soluciones nutritivas utilizadas. Esta característica es particularmente importante cuando el agua de riego presenta cierto grado de salinidad; ya que según Young y Beom (2001), la salinidad tiene un profundo efecto sobre el movimiento del agua en la planta (un estrés osmótico reduce la toma de nutrientes y del agua), mientras que Adams (2004) señala que en hidroponía la salinidad alta

puede deberse a la acumulación de iones no utilizados provenientes del agua o sales fertilizantes empleadas, requiriéndose de un riguroso lavado del sistema. En tomate una CE entre 1.5-2.0 dSm^{-1} es suficiente para un suministro óptimo de nutrientes (Voogt y Sonneveld, 2004).

En un estudio para analizar la relación entre caracteres de calidad y la emergencia en campo, Makkawi *et al.* (1999) encontraron que ésta dependió del año de evaluación de los genotipos, y que el porcentaje de germinación estándar fue el único atributo útil para predecir el establecimiento en campo; por tanto, el número de plántulas normales al primer conteo en la prueba de germinación, puede utilizarse como indicador de alto vigor en las semillas producidas. Si se considera este criterio como válido, se concluye que la semilla de la línea I(1.20)B-14B4S4 (Variedad 4) tenía alto vigor al momento de ser analizada, ya que alcanzó a los pocos días de establecidas las pruebas de germinación y vigor valores cercanos al 100% de plántulas normales y plántulas emergidas.

En el análisis de los resultados en forma conjunta, se puede constatar que las pruebas utilizadas para medir la calidad fisiológica de la semilla producida, mostraron buena sensibilidad para diferenciar niveles de calidad en la semilla de los dos experimentos; no obstante, los resultados demuestran que las variaciones se debieron principalmente al diferente comportamiento de los genotipos y a su interacción con el ambiente en el que se desarrollaron.

A manera de conclusión puede decirse que las pruebas utilizadas mostraron ser buenos indicadores del vigor, y que la combinación de dos o más métodos permitiría complementar la información acerca del comportamiento de las semillas con relación a su potencial de almacenamiento y capacidad para una rápida emergencia en condiciones de campo.

Con la poda (eliminación del brote terminal o capado), se eliminan los puntos de crecimiento vegetativo. El efecto de esta técnica es muy notorio y básicamente se logra aumentar la tasa de crecimiento de los frutos formados en los racimos cercanos al ápice, pero sin influencia en los racimos inferiores que normalmente están próximos a cosecha. La elección del momento de despunte esta dada por razones económicas y de manejo y depende de varios factores, entre ellos la variedad utilizada. La poda modifica el hábito de crecimiento de las plantas de indeterminado a

determinado, acelera la senescencia del cultivo (los frutos maduran antes), y puede causar falla en el establecimiento del último racimo. Según Favaro y Pilatti (S/A) los primeros racimos normalmente disponen de mayor cantidad de fotoasimilados y a partir del tercero o cuarto racimo se llega a un equilibrio; el tamaño potencial del fruto también está influenciado por su posición en el racimo; generalmente, los frutos de los estratos inferiores son más grandes y crean una dominancia sobre los restantes. Con la poda se consigue que todos los frutos estén en las mismas condiciones para alcanzar un mejor tamaño.

Como respuesta fisiológica de la planta a la poda, se presentó una proliferación de nuevos brotes en los puntos de crecimiento, lo que al parecer provocó un fuerte desvío de los fotoasimilados y hormonas (principalmente auxinas) a los ápices vegetativos, limitando su utilización por los frutos y semillas. Al respecto Monteiro (1983) afirma que se ha identificado a las semillas como una fuente de auxinas en el fruto, y señala que existe una correlación positiva entre el número de semillas y la concentración de auxinas en el mismo; sin embargo, Rodríguez *et al.* (2001) mencionan que todavía no se sabe con certeza si el crecimiento del fruto está regulado directamente por las semillas o indirectamente por las auxinas producidas por estas. Sea cual fuere la razón de esta relación, lo cierto es que si no se eliminan estos brotes lo más temprano posible, se puede provocar una pérdida de energía que va en detrimento de la producción. Acorde a lo anterior, con la poda la fuente de fotoasimilados no se consideró un factor limitante para el crecimiento del fruto, pero sí para la calidad de la semilla producida.

Por otra parte, las plantas que no fueron podadas tuvieron un mayor IAF, lo cual les permitió aprovechar mejor la RFA incidente en el dosel y lograron producir más materia seca por unidad de superficie. Resultados similares fueron reportados por Santos y Sánchez (2003) quienes afirman que las plantas sembradas a menores densidades de población con más racimos por planta, pueden desarrollar un mayor número de hojas y tener un mayor porcentaje de intercepción de RFA, lo que permite aseverar que las plantas no podadas se desarrollaron en condiciones no restrictivas de fotosíntesis, con fotoasimilados suficientes para el desarrollo adecuado de las semillas, y que la nutrición proporcionada durante el desarrollo del cultivo, contribuyó a aumentar significativamente la calidad de las mismas.

Una de las desventajas de no eliminar el ápice terminal del tallo en el cultivo sin poda, es que disminuye notablemente el tamaño de los frutos producidos y se pierde precocidad, pero se gana en tiempo para el desarrollo normal de la semilla y por consecuencia mejora la calidad de la misma.

En las dos investigaciones conducidas, los genotipos respondieron en forma diferente al manejo del cultivo. En las plantas sin poda el número de frutos por unidad de superficie fue mayor al registrado en las plantas podadas, aunque el tamaño de los mismos se redujo considerablemente, no así el rendimiento y la calidad de la semilla producida.

Como los experimentos se establecieron en un invernadero sin calefacción, los días fueron calurosos y las noches frías durante el desarrollo del cultivo, lo que propició un enrollamiento de las hojas. Según Favaro y Pilatti (S/A) este fenómeno sucede debido a una gran acumulación de almidón en los cloroplastos, lo cual indica que el crecimiento de la planta no está limitado por la fuente sino por los destinos. En invernaderos de este tipo, durante el día es común que se obtengan tasas fotosintéticas altas debido a que alcanzan temperaturas adecuadas para la fotosíntesis, pero en la noche las temperaturas descienden fuertemente, lo que hace que los destinos detengan su crecimiento y parte de los fotoasimilados queden en la hoja. Esto ocurre día tras día hasta que se produce un disturbio a nivel del mesófilo y se observa el enrollamiento de las hojas. Las primeras hojas que presentan este síntoma son las que mayor iluminación reciben. Esta situación, puede explicar en parte algunas de las causas que impidieron que los fotoasimilados fueran llevados eficientemente a los puntos de demanda como los frutos y semillas afectando la calidad de éstas.

5.1. LITERATURA CITADA

Adams P. 2004. Aspectos de la nutrición mineral en cultivos sin suelo en relación al suelo. *In:* Tratado de Cultivo Sin Suelo. Urrestarazu G.M. 3ª edición. Mundi Prensa. Madrid, España pp. 81-111.

- Ahmed A.E., Ahmed G. and R.A.T. George. 1984. The effects of mineral nutrition on seed yield and quality in onion. *Acta Horticulturae* 143:107-118.
- Carvalho N. M. y J. Nakagawa. 1988. Semillas: ciencia, tecnología y producción. Edit. Agropecuaria Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. 406 p.
- Castillo M.A., A. González M., C. Rodríguez F. y J. Margolles D. 1986. Mejoramiento genético del tomate II. Método de polinización. *Rev. Centro Agrícola* 13: 58-63.
- Cruz H. P. 1990. Evaluación de la calidad física de semillas hortícolas mediante equipo mecánico de limpieza. Tesis Profesional. U.A.Ch. Chapingo, México. 92p.
- Desai B. B., P.M. Kotecha and D.K. Salunkhe. 1997. *Seeds handbook: biology, production, processing, and storage*. Marcel Dekker, Inc. New York, USA. 628 p.
- Doijode D.S. 2001. *Seed Storage of Horticultural Crops*. Food. Products Press. New York. USA. 339 p.
- Ellis R. H. 1992. Seed and seedling vigour in relation to crop growth and yield. *Plant Growth Regulation* 11: 249-255.
- Favaro J.C. y Pilatti, R.A. (S/A). El cultivo de tomate en invernaderos. Documento de extensión N° 31. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Litoral. Pp 40-51. www://fca.unl.edu.ar/intensivos/exten6.htm.
- Filho M.J. 2002. Probando el vigor de las semillas. *Seed news* 6: 8-9.
- Gontia S.A. and M.K. Awasthi. 1999. Effect of seed grading by size on various seed vigour attributes, morphophysiological characters and seed yield in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) genotypes. *Seed Research* 27: 25-30.
- Hamsaveni M. R., M. B. Kurdikeri, M. Shekargouda, S. D. Shashidhara and P. R. Dharmatti. 2003. Influence of harvesting stages and post harvest ripening periods on seed quality in tomato (cv. Megha). *Karnataka Journal of Agricultural Sciences* 16: 597-599.
- Hernández G. J. A., A. Carballo C., A. Hernández L. y F. V. González C. 2000. Ponderación de variables de calidad fisiológica para la medición del vigor en semilla de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 23: 239-250.
- Hernández L. 2006. ¿Por qué tomates en invernadero? *Rev. Tecnoagro* 7: 24.
- Hill M. J., J. G. Hampton and K. A. Hill. 1997. Seed quality of grasses and legumes. *In: Forage seed production*. Vol.1. Temperate Species (ed. D.T. Fairey and J.G. Hampton). CAB International, Wallingford. UK pp. 219-242.

- Jones J. B. Jr. 1999. Tomato Plant Culture: in the field, greenhouse, and home garden. CRC Press, Boca Raton, Florida. USA. 199 p.
- Khare D. and R.G. Satpute. 1999. Influence of days to maturity and seed size on germination and seedling vigour in pigeonpea. *Seed Research* 27: 170-173.
- Makkawi M., M. El-Balla, Z. Bishaw and A. J. G. Van-Gastel. 1999. The relationship between seed vigour tests and field emergence in lentil (*Lens culinaris* Medikus). *Seed Sci. and Technol.* 27: 657-668.
- Marschner H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. Fifth printing of the second edition. Academic Press. London, England. 889 p.
- Menezes-Dos Santos J. 1992. Producción de tomate en América Latina y el Caribe. *In: FAO. Producción, Postcosecha, procesamiento y comercialización de ajo, cebolla y tomate. Santiago de Chile. FAO:173-215.*
- Monteiro A. A. 1983. Tomato fruit growth in relation to methods of improving fruit-setting. *Acta Horticulturae* 137: 307-314.
- Moreno M.E., M.E. Vazquez B., A. Rivera, R. Navarrete and F. Esquivel V. 1998. Effect of seed shape and size on germination of corn (*Zea mays* L.) stored under adverse conditions. *Seed Sci. and Technol.* 26: 439-448.
- Morgan L. (2000). El calcio. Su importancia en hidroponía. *En línea: www.lamolina.edu.pe/hidroponía/boletín6.htm*. (Revisado el 17 de julio de 2006).
- Mosler R. F. 2005. Nutrición del aguacate: rendimiento y calidad. *Hortalizas, Frutas y Flores. Editorial Agrosíntesis, S.A. de C.V. México D.F.: 28-34.*
- Nandeesh S. J. and Ramegowd. 1995. Studies on the stage of harvest and post-harvest ripening on seed quality in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Seed Research* 23: 113-115.
- Nuez F. 2001. *El Cultivo del Tomate. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 793 p.*
- Pandita K.V., K.S. Randhawa. 1995. Influence of seed size grading on seed quality of some tomato cultivars. *Seed Research* 23: 31-33.
- Perry D. A.1981. Handbook of vigour test methods. International Seed Testing Association. Zurich, Switzerland pp. 3-20.
- Powell, A. A. 1995. The controlled deterioration test. *In: Congress of the International Seed Testing Association, 24.Copenhagen. Seed Vigour Testing: contributions to a seminar. Zurich: International Seed Testing Association, 1995. pp. 73-87.*

- Rodríguez R. R., J. M. Tabares R. y J. A. Medina J. 2001. Cultivo Moderno del Tomate. Mundi Prensa. Madrid, España. 255 p.
- Sánchez P.A. 2004. Análisis y diagnóstico nutricional en los cultivos sin suelo. *In: Tratado De Cultivo Sin Suelo*. Urrestarazu G.M. 3ª edición. Ediciones Mundi Prensa. México pp. 49-79.
- Santos M. J. y F. Sánchez del C. 2003. Densidades de población, arreglos de dosel y despuntes en jitomate cultivado en hidroponía bajo invernadero. *Rev. Fitotec. Mex.* 26: 257-262.
- Sawan M.Z., B.R. Gregg and S.E. Yousef. 1999. Effect of phosphorus, chelated zinc and calcium on cotton seed yield, viability and seedling vigour. *Seed Sci. and Technol.* 27: 329-337.
- Sharma S. K. and K.S. Thakur. 2002. Effect of biofertilizers and nitrogen nutrition on the yield and quality of tomato seed. *Seed Research* 30: 243-246.
- Steiner A.A. 1984. The universal nutrient solution. *In: Proceedings of 6th Int. Cong. on Soilless Culture*. International Society for Soilless Culture. Lunteren, the Netherlands: 633-649.
- Villaseñor de E. J. 2005. Terapia nutricional para un cultivo sano. Cómo prevenir enfermedades con macro y micro nutrientes (parte II). *Rev. de Riego* 4: 52-56.
- Voogt W. and C. Sonneveld. 2004. Interactions between nitrate (NO₃) and chloride (Cl) in nutrient solutions for substrate grown tomato. *Acta Horticulturae* 644: 359-368.
- Young K.Ch. and L.Y. Beom. 2001. Effect of salinity of nutrient solution on growth, translocation and accumulation of ⁴⁵Ca in butterhead lettuce. *Acta Horticulturae* 548: 575-580.

VI. CONCLUSIONES GENERALES

Para la producción de semilla de calidad en tomate, es posible adoptar la misma tecnología aplicada para la producción comercial de fruto, sin que sea necesario generar fórmulas específicas para cada variedad.

Se encontró una correlación positiva entre el tipo de fruto y el rendimiento de semilla por fruto, donde los frutos tipo bola produjeron mayor cantidad de semilla que los de tipo saladette.

La mejor calidad de semilla se logró con el cultivo sin poda.

La poda modificó el hábito de crecimiento de las plantas de indeterminado a determinado, acortó el período de crecimiento, mejoró el tamaño del fruto, aceleró la maduración de los frutos, incrementó el rendimiento de semilla por fruto, aumentó el número de frutos agrietados y afectó la calidad física y fisiológica de la semilla producida.

La mejor solución nutritiva para producción de fruto y semilla de calidad en tomate, es la del potencial osmótico de -0.072 MPa y 9 meq Ca L⁻¹ (Solución Universal de Steiner, 1984); debido a que con ella se alcanzaron los promedios más altos en el peso de 1000 semillas, y en el peso volumétrico, asimismo se registraron los mayores porcentajes de plántulas normales en la prueba de germinación, de plántulas emergidas en la prueba de vigor; por otro lado, todas las variedades conducidas bajo cultivo sin poda, presentaron la mayor acumulación de materia seca en raíz y parte aérea de las plántulas, y además mostraron los mejores índices de vigor.

Se observó una respuesta diferencial de las variedades a los potenciales osmóticos y niveles de calcio, debido a que hay diferencias entre genotipos en la tolerancia relativa a las sales presentes en las soluciones nutritivas utilizadas.

La línea experimental I(16.19)F2S-20B11S4 (Variedad 5) y el híbrido Gabriela de frutos tipo bola, registraron el máximo rendimiento de semilla por fruto en el sistema de manejo con poda.

El rendimiento de semilla por unidad de superficie en todos los tratamientos probados fue mayor en los híbridos Gabriela y Atila, debido a que superaron a las líneas experimentales en número de frutos de mejor calidad, y en general este fue superior en los genotipos que tuvieron mayor cantidad de frutos por planta. La línea I(1.20)B-14B4S4 (Variedad 4) con frutos tipo saladette, produjo los frutos más pequeños y fue la que registró el menor rendimiento de semilla.

La línea experimental I(RK) B-17-1 (Variedad 3, de semilla grande) produjo la mejor calidad física de semilla en relación a peso y tamaño; no obstante, fue la que registró la menor cantidad de plántulas normales en la prueba de germinación y de plántulas emergidas en la prueba de vigor.

La línea experimental I(1.20)B-14B4S4 (Variedad 4, de semilla pequeña) produjo la mejor calidad fisiológica de semilla con promedios cercanos al 100% de plántulas normales en la prueba de germinación, así como mayor número de plántulas emergidas, mayor acumulación de materia seca en raíz y parte aérea, e índices de vigor más altos, en la prueba de vigor; para el cultivo sin poda.

El mejor efecto de interacción para la calidad fisiológica de la semilla producida, fue cuando se combinó la solución nutritiva de -0.072 MPa y 9 meq Ca L⁻¹ aplicada a la línea experimental I(1.20)B-14B4S4 (Variedad 4) en el cultivo sin poda.

El híbrido Gabriela demostró ser calcio-eficiente, por lo que podría cultivarse con soluciones nutritivas de 3 ó 6 meq Ca L⁻¹.

Las diferencias encontradas entre los genotipos, sugieren que, además de las características de rendimiento y de los caracteres agronómicos de la variedad, se deben incluir los parámetros relacionados con la calidad de semillas (tamaño, peso y vigor) como criterios de selección.

VII. APÉNDICE

Cuadro 1A. Cuadrados medios y su significancia estadística en los análisis de varianza para las variables de rendimiento de semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

F. V.	G. L.	RSP (g)	RSF (g)
SOLUCIÓN NUTRITIVA	2	60.9 ****	0.011 ***
VARIEDAD	5	584.9 ****	0.150 ****
MANEJO	1	91.2 ****	0.029 ****
SOLUCIÓN*VARIEDAD	10	6.7 NS	0.003 NS
SOLUCIÓN*MANEJO	2	2.3 NS	0.001 NS
VARIEDAD*MANEJO	5	23.5 ***	0.003 NS
SOLUCIÓN*VARIEDAD*MANEJO	10	4.4 NS	0.001 NS
R ²		0.73	0.67
C V (%)		21.45	8.56

RSP = Rendimiento de semilla por planta (g), RSF = Rendimiento de semilla por fruto (g)

*** = p≤0.001; **** = p≤0.0001

Cuadro 2A. Comparación de medias en los efectos principales de los factores estudiados, sobre el rendimiento de semillas de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo Edo. México. 2005.

F. V.	RSP (g)	RSF (g)
SOLUCIÓN NUTRITIVA		
-0.054 MPa	11.4 b	0.565 a b
-0.072 MPa	13.2 a	0.559 b
-0.090 MPa	11.9 b	0.583 a
DHS	1.03	0.02
VARIEDAD		
Gabriela	16.8 a	0.615 a
Atila	17.6 a	0.581 b
Variedad 3	11.1 b	0.560 b
Variedad 4	8.5 d	0.447 c
Variedad 5	10.3 b c	0.628 a
Variedad 6	8.6 c d	0.582 b
DHS	1.8	0.033
MANEJO		
Con poda	11.5 b	0.581 a
Sin poda	12.8 a	0.557 b
DHS	0.70	0.013

RSP = Rendimiento de semilla por planta (g), RSF = Rendimiento de semilla por fruto (g)

Medias con la misma letra en la misma columna para cada variable son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Cuadro 3A. Cuadrados medios y su significancia estadística en el análisis de varianza para el peso de 1000 semillas de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

F. V.	G. L.	PMS (g)
SOLUCIÓN NUTRITIVA	2	0.001 ***
VARIEDAD	5	0.008 ****
MANEJO	1	0.009 ****
SOLUCIÓN NUTRITIVA * VARIEDAD	10	0.0002 NS
SOLUCIÓN NUTRITIVA *MANEJO	2	0.0001 NS
VARIEDAD *MANEJO	5	0.0002 NS
SOLUCIÓN NUTRITIVA*VARIEDAD*MANEJO	10	0.0001 NS
R ²	0.61	
C V (%)	3.98	

PMS = Peso de mil semillas (g)

* = $p \leq 0.05$; *** = $p \leq 0.001$; **** = $p \leq 0.0001$

Cuadro 4A. Comparación de medias en los efectos principales de los factores estudiados, sobre el peso de 1000 semillas de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo Edo. México. 2005.

F. V.	PMS (g)	Semillas g ⁻¹
SOLUCIÓN NUTRITIVA		
-0.054 MPa	3.64 b	275
-0.072 MPa	3.71 a	269
-0.090 MPa	3.70 a	270
DHS	0.06	
VARIEDAD		
Gabriela	3.78 b	265
Atila	3.75 b c	267
variedad 3	3.89 a	257
variedad 4	3.47 b	288
variedad 5	3.56 d	281
variedad 6	3.68 c	272
DHS	0.1	
MANEJO		
Con poda	3.62 b	276
Sin poda	3.75 a	267
DHS	0.04	

PMS = Peso de mil semillas (g)

Medias con la misma letra en la misma columna para cada variable son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Cuadro 5A. Cuadrados medios y su significancia estadística en el análisis de varianza para el peso volumétrico de la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

F. V.	G. L.	PV
SOLUCIÓN NUTRITIVA	2	0.03 NS
VARIEDAD	5	1.12 ****
MANEJO	1	0.09 *
R ²	0.91	
C. V.	2.62	

P V = Peso volumétrico (g/20 mL de semilla)

* = $p \leq 0.05$; **** = $p \leq 0.0001$

Cuadro 6A. Comparación de medias en los efectos principales de los factores estudiados, sobre el peso volumétrico de las semillas de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo Edo. México. 2005.

F. V.	PV (g)
SOLUCIÓN NUTRITIVA	
-0.054 MPa	5.6 a
-0.072 MPa	5.7 a
-0.090 MPa	5.7 a
DHS	0.15
VARIEDAD	
Gabriela	5.7 c
Atila	6.0 a b
variedad 3	6.3 a
variedad 4	5.8 b c
variedad 5	5.1 d
variedad 6	5.3 d
DHS	0.26
MANEJO	
Con poda	5.6 a
Sin poda	5.7 a
DHS	0.10

P V = Peso volumétrico (g/20 mL de semilla)

Medias con la misma letra en la misma columna para cada variable son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Cuadro 7A. Cuadrados medios y su significancia estadística en los análisis de varianza para las variables de calidad fisiológica (prueba de germinación) de la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

F. V.	G. L.	PN7D	PNT	NSG
SOLUCIÓN NUTRITIVA	2	431.3 ****	303.38 ****	296.55 ****
VARIEDAD	5	4329.9 ****	3460.71 ****	1937.66 ****
MANEJO	1	831.4 ****	1094.51 ****	992.25 ****
SOLUCIÓN*VARIEDAD	10	343.6 ****	129.60 ****	128.82 ****
SOLUCIÓN*MANEJO	2	129.8 ***	20.88 NS	14.77 NS
VARIEDAD*MANEJO	5	110.2 ****	29.74 NS	29.43 NS
SOL.*VAR.*MAN.	10	65.7 ****	8.96 NS	9.20 NS
R ²		0.94	0.91	0.86
C V (%)		6.22	5.85	28.91

PN7D = Plántulas normales siete días después de la siembra (primer conteo), PNT = Total acumulado de plántulas normales a los 14 días de iniciada la prueba de germinación, NSG = Número de semillas no germinadas

*** = $p \leq 0.001$; **** = $p \leq 0.0001$

Cuadro 8A. Comparación de medias en los efectos principales de los factores estudiados, para las variables de calidad fisiológica (prueba de germinación) de la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

F. V.	PN7D (%)	PNT (%)	NSG (%)
SOLUCIÓN NUTRITIVA			
-0.054 MPa	65.9 b	76.0 b	17.1 a
-0.072 MPa	71.0 a	80.9 a	12.7 b
-0.090 MPa	65.6 b	77.3 b	16.9 a
DHS	2.04	2.2	2.2
VARIEDAD			
Gabriela	64.3 c	75.0 c	19.5 b
Atila	70.0 b	83.8 b	11.8 d
Variedad 3	48.2 d	60.0 d	29.4 a
Variedad 4	89.9 a	96.7 a	2.3 e
Variedad 5	68.2 b	76.5 c	13.3 c d
Variedad 6	64.5 c	76.4 c	16.9 b c
DHS	3.5	3.8	3.8
MANEJO			
Con poda	65.1 b	75.3 b	18.2 a
Sin poda	69.9 a	80.8 a	12.9 b
DHS	1.4	1.5	1.5

PN7D = Plántulas normales siete días después de la siembra (primer conteo), PNT = Total acumulado de plántulas normales a los 14 días de iniciada la prueba de germinación, NSG = Número de semillas no germinadas

Medias con la misma letra en la misma columna para cada variable son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Cuadro 9A. Cuadrados medios y su significancia estadística en los análisis de varianza para las variables relacionadas con la prueba de vigor de la semilla de tomate producida en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

F. V.	G. L.	PE13D	TPE	MSR	MSPA	IV
SOLUCIÓN	2	2.09 NS	6.44 NS	0.012 NS	0.003 NS	0.028 NS
VARIEDAD	5	62.82 ****	324.43 ****	0.006 NS	0.004 NS	1.56 ****
MANEJO	1	0.56 NS	15.34 *	0.005 NS	0.002 NS	0.12 *
SOL.*VAR.	10	2.59 NS	5.63 NS	0.012 NS	0.005 NS	0.03 NS
SOL.*MAN.	2	21.27 *	47.72 ****	0.004 NS	0.001 NS	0.21 ****
VAR.*MAN.	5	4.45 NS	9.07 NS	0.006 NS	0.002 NS	0.06 NS
SOL.*VAR.*MAN.	10	14.25 ***	12.67 *	0.007 NS	0.003 NS	0.08 ***
R ²		0.52	0.77	0.29	0.49	0.77
C V (%)		80.29	13.5	67.13	11.13	14.27

PE13D = Plántulas emergidas a los 13 días de iniciada la prueba de vigor (tercer conteo), TPE = Plántulas totales emergidas 24 días después de la siembra (décimo cuarto conteo), MSR = Materia seca de raíz de plántulas, MSPA = Materia seca de la parte aérea de la plántula, IV = Índice de vigor

* = $p \leq 0.05$; *** = $p \leq 0.001$; **** = $p \leq 0.0001$

Cuadro 10A. Comparación de medias en los efectos principales de los factores estudiados, para las variables de calidad fisiológica (prueba de vigor) de la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

F. V.	PE13D (%)	TPE (%)	MSR (g)	MSPA (g)	IV
SOLUCIÓN NUTRITIVA					
-0.054 MPa	2.6 a	17.5 a	0.098 a	0.359 a	1.18 a
-0.072 MPa	3.1 a	17.3 a	0.101 a	0.366 a	1.17 a
-0.090 MPa	2.7 a	18.1 a	0.126 a	0.374 a	1.22 a
DHS	1.1	1.15	0.035	0.02	0.082
VARIEDAD					
Gabriela	2.2 b	17.5 b c	0.109 a	0.376 a b	1.14 b
Atila	1.7 b	19.0 b	0.094 a	0.345 b	1.23 b
Variedad 3	2.1 b	12.3 d	0.094 a	0.379 a	0.83 c
Variedad 4	2.8 b	23.5 a	0.137 a	0.362 a b	1.62 a
Variedad 5	6.0 a	16.0 c	0.108 a	0.367 a b	1.16 b
Variedad 6	2.0 b	17.3 b c	0.107 a	0.367 a b	1.14 b
DHS	1.87	1.99	0.061	0.034	0.142
MANEJO					
Con poda	2.8 a	17.3 a	0.099 a	0.360 a	1.16 b
Sin poda	2.7 a	17.9 a	0.117 a	0.372 a	1.22 a
DHS	0.74	0.79	0.024	0.014	0.06

PE13D = Plántulas emergidas a los 13 días de iniciada la prueba de vigor (tercer conteo), TPE = Plántulas totales emergidas 24 días después de la siembra (décimo cuarto conteo), MSR = Materia seca de raíz de plántulas, MSPA = Materia seca de la parte aérea de la plántula; IV = Índice de vigor

Medias con la misma letra en la misma columna para cada variable son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Cuadro 11A. Cuadrados medios y su significancia estadística en los análisis de varianza para las variables relacionadas con el rendimiento de semilla de tomate producida en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

F. V.	G. L.	RSP (g)	RSF (g)
SOLUCIÓN NUTRITIVA	3	38.05 ***	0.011 ***
VARIEDAD	5	499.12 ****	0.164 ****
MANEJO	1	325.35 ****	0.030 ****
SOLUCIÓN*VARIEDAD	15	14.10 *	0.004 *
SOLUCIÓN*MANEJO	3	34.94 ***	0.001 NS
VARIEDAD*MANEJO	5	16.52 NS	0.002 NS
SOLUCIÓN*VARIEDAD*MANEJO	15	6.27 NS	0.002 NS
R ²		0.64	0.64
C. V. (%)		21.8	8.6

RSP = Rendimiento de semilla por planta (g), RSF = Rendimiento de semilla por fruto (g)

* = $p \leq 0.05$; *** = $p \leq 0.001$; **** = $p \leq 0.0001$

Cuadro 12A. Comparación de medias de los efectos principales de los niveles de calcio para el rendimiento de semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

F V	RSP (g)	RSF (g)
SOLUCIÓN NUTRITIVA		
3 meq L ⁻¹ Ca	11.9 b	0.537 b
6 meq L ⁻¹ Ca	13.1 a	0.553 a b
9 meq L ⁻¹ Ca	13.2 a	0.559 a
12 meq L ⁻¹ Ca	13.6 a	0.566 a
DHS	1.21	0.02
VARIEDAD		
Gabriela	17.4 a	0.583 a b
Atila	16.7 a	0.549 c
variedad 3	11.5 b	0.555 b c
variedad 4	10.9 b	0.442 d
variedad 5	10.4 b	0.606 a
variedad 6	10.8 b	0.587 a
DHS	1.65	0.03
MANEJO		
Con poda	11.9 b	0.564 a
Sin poda	14.1 a	0.544 b
DHS	0.65	0.01

RSP = Rendimiento de semilla por planta (g), RSF = Rendimiento de semilla por fruto (g)

Medias con la misma letra en la misma columna para cada variable son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Cuadro 13A. Cuadrados medios y su significancia estadística en el análisis de varianza para el peso de 1000 semillas de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

F.V.	G.L.	PMS (g)
SOLUCION NUTRITIVA	3	0.002 ****
VARIEDAD	5	0.012 ****
MANEJO	1	0.011 ****
SOLUCIÓN * VARIEDAD	15	0.0005 ****
SOLUCIÓN * MANEJO	3	0.0001 NS
VARIEDAD * MANEJO	5	0.00005 NS
SOL.*VAR.*MAN.	15	0.0001 *
R ²	0.85	
C. V. (%)	2.22	

PMS = Peso de 1000 semillas (g)

* = $p \leq 0.05$; **** = $p \leq 0.0001$

Cuadro 14A. Comparación de medias de los efectos principales de los niveles de calcio en la calidad física de la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

F. V.	PMS (g)	Semillas g ⁻¹
SOLUCIÓN NUTRITIVA		
3 meq L ⁻¹ Ca	3.58 c	279
6 meq L ⁻¹ Ca	3.61 c	277
9 meq L ⁻¹ Ca	3.71 a	270
12 meq L ⁻¹ Ca	3.66 b	273
DHS	0.035	
VARIEDAD		
Gabriela	3.69 b	271
Atila	3.68 b	272
variedad 3	3.87 a	258
variedad 4	3.39 d	295
variedad 5	3.60 c	278
variedad 6	3.62 c	276
DHS	0.047	
MANEJO		
Con poda	3.58 b	279
Sin poda	3.70 a	270
DHS	0.019	

PMS = Peso de 1000 semillas (g)

Medias con la misma letra en la misma columna para cada variable son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Cuadro 15A. Cuadrados medios y su significancia estadística en el análisis de varianza para el peso volumétrico de la semilla de tomate producida en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

F.V.	G.L.	P V (g)
SOLUCION NUTRITIVA	3	0.121 ****
VARIEDAD	5	0.134 ****
MANEJO	1	0.395 ****
R ²	0.77	
C.V. (%)	1.84	

P V = Peso volumétrico (g/20 mL de semilla)

**** = $p \leq 0.0001$

Cuadro 16A. Comparación de medias de los efectos principales de los niveles de calcio en la calidad física de la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

F. V.	PV (g)
SOLUCIÓN NUTRITIVA	
3 meq L ⁻¹ Ca	5.78 b
6 meq L ⁻¹ Ca	5.77 b
9 meq L ⁻¹ Ca	5.97 a
12 meq L ⁻¹ Ca	5.75 b
DHS	0.1175
VARIEDAD	
Gabriela	5.83 b
Atila	5.86 b
Variedad 3	6.03 a
Variedad 4	5.65 c
Variedad 5	5.82 b
Variedad 6	5.73 bc
DHS	0.1606
MANEJO	
Con poda	5.73 b
Sin poda	5.91 a
DHS	0.0626

PV = Peso volumétrico (g/20 mL de semilla)

Medias con la misma letra en la misma columna para cada variable son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Cuadro 17A. Cuadrados medios y su significancia estadística en los análisis de varianza para las variables de la prueba de germinación de la semilla de tomate producida en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

F.V.	G.L.	PN7D	PNT	PAT	SNG	SMT
SOLUCION	3	1499.3 ****	914.7 ****	5.9 NS	480.9 ****	204.1 ****
VARIEDAD	5	5768.2 ****	4387.1 ****	91.6 ****	3088.5 ****	195.3 ****
MANEJO	1	2214.1 ****	2692.5 ****	17.5 NS	1957.1 ****	12.5 NS
SOL. * VAR.	15	259.7 ****	92.1 ****	13.9 ***	121.5 ****	35.9 ****
SOL. * MANEJO	3	46.7 ****	33.5 ****	16.1 *	13.4 NS	1.2 NS
VAR. * MANEJO	5	113.6 ****	68.6 ****	12.8 NS	50.7 ***	15.4 NS
SOL.*VAR.*MAN.	15	100.9 ****	19.5 ****	7.9 NS	23.8 NS	9.2 NS
R ²		0.98	0.98	0.51	0.91	0.70
C. V. (%)		3.69	2.55	79.76	24.91	54.13

PN7D = Plántulas normales a los siete días de iniciada la prueba de germinación, PNT = Plántulas normales totales en la prueba de germinación, PAT = Plántulas anormales totales en la prueba de germinación, SNG = Semillas no germinadas en la prueba de germinación, SMT = Semillas muertas totales en la prueba de germinación

* = $p \leq 0.05$; *** = $p \leq 0.001$; **** = $p \leq 0.0001$

Cuadro 18A. Comparación de medias de los efectos principales de los niveles de calcio para determinar la calidad fisiológica (en laboratorio) de la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

F. V.	PN7D	PNT	PAT	SNG	SMT
SOLUCIÓN NUTRITIVA					
3 meq L ⁻¹ Ca	67.9 b	75.6 b	3.2 a	15.3 b	5.8 b
6 meq L ⁻¹ Ca	64.0 c	75.3 b	3.6 a	18.1 a	3.0 c
9 meq L ⁻¹ Ca	73.8 a	82.8 a	2.9 a	10.9 c	3.4 c
12 meq L ⁻¹ Ca	60.8 d	72.6 c	2.9 a	17.1 ab	7.4 a
DHS	1.31	1.04	1.34	2.03	1.41
VARIEDAD					
Gabriela	63.0 d	73.4 d	2.2 c	20.3 b	4.2 b
Atila	62.8 d	75.7 c	1.9 c	19.1 b	3.2 bc
Variedad 3	47.0 e	58.0 e	4.7 ab	30.5 a	6.9 a
Variedad 4	87.9 a	93.6 a	1.4 c	3.2 d	1.9 c
Variedad 5	66.2 c	76.0 c	5.7 a	9.8 c	8.7 a
Variedad 6	72.7 b	83.0 b	3.1 bc	9.3 c	4.7 b
DHS	1.78	1.41	1.82	2.76	1.92
MANEJO					
Con poda	63.2 b	72.8 b	3.5 a	18.5 a	5.2 a
Sin poda	70.0 a	80.3 a	2.9 a	12.2 b	4.7 a
DHS	0.70	0.56	0.72	1.09	0.76

PN7D = Plántulas normales a los siete días de iniciada la prueba de germinación, PNT = Plántulas normales totales en la prueba de germinación, PAT = Plántulas anormales totales en la prueba de germinación, SNG = Semillas no germinadas en la prueba de germinación, SMT = Semillas muertas totales en la prueba de germinación

Medias con la misma letra en la misma columna para cada variable son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Cuadro 19A. Cuadrados medios y su significancia estadística en los análisis de varianza para las variables de la prueba de vigor de la semilla de tomate producida en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

F.V.	G.L.	PE7D	PTE	MSR	MSPA	IV
SOLUCION	3	24.8 ****	34.3 ****	0.006 ****	0.015 ****	0.10 *
VARIEDAD	5	57.5 ****	87.6 ****	0.001 ****	0.005 ****	2.60 ****
MANEJO	1	27.8 ***	159.5 ****	0.029 ****	0.144 ****	2.12 ****
SOL. * VAR.	15	23.3 ****	7.3 ****	0.001 ****	0.003 ****	0.13 ****
SOL. * MAN.	3	9.6 NS	2.0 NS	0.0003 ****	0.005 ****	0.04 NS
VAR. * MAN.	5	16.1 ***	4.5 *	0.0001 *	0.001 ***	0.07 *
SOL.*VAR.*MAN.	15	21.3 ****	3.0 NS	0.0002 ****	0.002 ****	0.05 *
R ²		0.67	0.77	0.95	0.90	0.82
C. V. (%)		87.62	6.78	4.03	3.76	7.08

PE7D = Plántulas emergidas a los siete días de iniciada la prueba de vigor (primer conteo), PTE = Plántulas totales emergidas a los 18 días de iniciada la prueba de vigor (conteo final), MSR = Materia seca de raíz de plántulas, MSPA = Materia seca de parte aérea de plántulas, IV = Índice de vigor (índice de Maguire)

* = p≤0.05; *** = p≤0.001; **** = p≤0.0001

Cuadro 20A. Comparación de medias de los efectos principales de los niveles de calcio para las variables del vigor de la semilla de seis variedades de tomate cultivadas en invernadero. Montecillo, Edo. México. 2005.

F. V.	PE7D	PTE	MSR	MSPA	IV
SOLUCIÓN NUTRITIVA					
3 meq L ⁻¹ Ca	1.6 c	19.9 b	0.117 c	0.422 a	2.37 ab
6 meq L ⁻¹ Ca	1.8 bc	19.2 c	0.127 b	0.419 a	2.28 b
9 meq L ⁻¹ Ca	3.0 a	21.2 a	0.145 a	0.382 c	2.37 ab
12 meq L ⁻¹ Ca	2.7 ab	19.8 bc	0.128 b	0.403 b	2.38 a
DHS	1.06	0.72	0.003	0.008	0.09
VARIEDAD					
Gabriela	1.5 bc	20.4 bc	0.127 de	0.417 a	2.41 bc
Atila	1.3 c	21.2 b	0.123 e	0.399 b	2.51 b
Variedad 3	0.6 c	17.7 e	0.128 cd	0.386 c	1.89 e
Variedad 4	3.8 a	22.3 a	0.136 a	0.413 a	2.72 a
Variedad 5	3.6 a	18.8 d	0.131 bc	0.416 a	2.21 d
Variedad 6	2.9 ab	19.9 c	0.132 ab	0.407 ab	2.37 c
DHS	1.44	0.98	0.004	0.011	0.120
MANEJO					
Con poda	1.9 b	19.1 b	0.117 b	0.379 b	2.25 b
Sin poda	2.7 a	21.0 a	0.142 a	0.434 a	2.46 a
DHS	0.57	0.39	0.002	0.004	0.048

PE7D = Plántulas emergidas a los siete días de iniciada la prueba de vigor, PTE = Plántulas totales emergidas a los 18 días de iniciada la prueba de vigor, MSR = Materia seca de raíz de plántulas, MSPA = Materia seca de parte aérea de plántulas, IV = Índice de vigor (Índice de Maguire)

Medias con la misma letra en la misma columna para cada variable son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).