

EFECTO DEL CALCIO Y POTENCIAL OSMÓTICO DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA EN LA PUDRICIÓN APICAL, COMPOSICIÓN MINERAL Y RENDIMIENTO DE TOMATE

Saúl Parra Terraza, Manuel Villarreal Romero, Pedro Sánchez Peña, José L. Corrales Madrid y Sergio Hernández Verdugo

RESUMEN

La pudrición apical (BER, por sus siglas en inglés, de blossom end-rot), un desorden físico común en la producción de tomate, es causada por diversos factores y las medidas para su control no están bien definidas. Se realizaron dos estudios en instalación tipo casa sombra en el Valle de Culiacán, Sinaloa, México, para conocer los efectos de la concentración de Ca, del potencial osmótico (Ψ_s) de la solución nutritiva (SN) y su interacción sobre número de frutos con pudrición apical (NFBER), el contenido de nutrientes y el rendimiento de frutos de dos híbridos de tomate, B-52 tipo bola y Aníbal tipo 'saladette'. En el experimento 1 se evaluaron nueve tratamientos resultantes de la combinación de variar la concentración de Ca (4,5; 6,75 y

9,0 meq·l⁻¹) y el Ψ_s (-0,047; -0,072 y -0,097 MPa) de la SN. En el experimento 2 se evaluaron otras concentraciones de Ca (7, 9 y 11 meq·l⁻¹) y diferentes Ψ_s (-0,036; -0,048 y -0,072 MPa). En el experimento 1 el incremento de Ca en la solución disminuyó significativamente el NFBER, mientras que niveles decrecientes de Ψ_s lo aumentaron. En el experimento 2 los frutos con BER tuvieron contenidos significativamente menores de Ca y P y mayores de Mg, comparados con los frutos sin BER. No hubo diferencias significativas en el rendimiento de frutos comerciales debido a los factores Ca y Ψ_s en los dos estudios, por lo que es posible reducir hasta en 50% la inversión en fertilizantes.

EFFECT OF CALCIUM AND OSMOTIC POTENTIAL OF THE NUTRITIVE SOLUTION ON THE TOMATO BLOSSOM-END ROT, MINERAL COMPOSITION AND YIELD

Saúl Parra Terraza, Manuel Villarreal Romero, Pedro Sánchez Peña, José L. Corrales Madrid and Sergio Hernández Verdugo

SUMMARY

Blossom-end rot (BER), a physical common disorder in tomato production, is caused by many factors and the control measures are not well defined. In order to study the effects of Ca concentration and osmotic potential (Ψ_s) of the nutrient solution (NS), and their interaction, on the number of fruits with blossom-end rot (NFBER), nutrient contents and yield in two tomato hybrids, B-52 ball type and Anibal 'saladette' type, two experiments were carried out under net house conditions at the Culiacan Valley, Sinaloa, México. In experiment 1, nine treatments resulting from the combination of varying Ca concentrations (4.5, 6.75

and 9.0 meq·l⁻¹) and Ψ_s in the NS (-0.047, -0.072 and -0.097 MPa) were evaluated. In experiment 2 other concentrations of Ca (7, 9 and 11 meq·l⁻¹) and different Ψ_s (-0.036, -0.048 and -0.072 MPa) were tested. In experiment 1, increasing levels of Ca in NS significantly reduced NFBER, while decreasing levels of Ψ_s increased it. In experiment 2 the fruits with BER had significantly lower contents of Ca and P, and higher Mg as compared to the fruits without BER. No significant effects in tomato fruit yield were obtained with the Ca and Ψ_s factors in the two experiments; thus, it is possible to reduce by 50% the investment in fertilizer.

Introducción

La pudrición apical (BER, por sus siglas en inglés, de blossom end-rot) es un desorden fisiológico común que afecta la calidad y el valor comercial de los frutos de tomate, chile, berenjena y sandía

(Frost y Kretchman, 1989). La BER en el fruto de tomate ha sido reportada a nivel mundial ocasionando pérdidas hasta del 50% de la producción (Taylor y Locascio, 2004). El síntoma característico de la BER aparece en forma externa como una área pequeña y

húmeda alrededor de la base del fruto, cercana al estilo de la flor, que gradualmente se oscurece, aumenta de tamaño y se contrae a medida que los tejidos infectados pierden agua (Geraldson, 1975). Debido a que los frutos con BER tienen significativamente

menos Ca que los frutos normales, se ha considerado que el origen principal de la BER es una inadecuada cantidad de Ca en el fruto (Shear, 1975). Sin embargo, otros estudios han mostrado que la BER no es causada por un solo factor sino por una combinación de

PALABRAS CLAVE / Calcio / Casa Sombra / Hidroponia / Pudrición Apical / Tomate /

Recibido: 19/11/2007. Modificado: 06/05/2008. Aceptado: 09/05/2008.

Saúl Parra Terraza. Doctor en Ciencias en Edafología, Colegio de Postgraduados (COLPOS), México. Profesor-Investigador, Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS), México. Dirección: Facultad de Agronomía. Carretera Culiacán-Eldorado Km. 17.5. Apartado Postal 726,

Culiacán, Sinaloa, México. e-mail: psaul@uasnet.mx
Manuel Villarreal Romero. Doctor en Ciencias en Edafología, COLPOS, México. Profesor-Investigador, UAS, México. e-mail: virm5212@yahoo.com.mx

Pedro Sánchez Peña. Doctor en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Profesor-Investigador, UAS, México. e-mail: spenap@hotmail.com
José Luis Corrales Madrid. Doctor en Ciencias Programa en Entomología, COLPOS,

México. Profesor-Investigador, UAS, México. e-mail: jlcma-drid@yahoo.com.mx
Sergio Hernández Verdugo. Doctor en Ciencias en Ecología, UNAM, México. Profesor-Investigador, UAS, México. e-mail: sergioh2002mx@yahoo.com.mx

EFEITO DO CALCIO E POTENCIAL OSMÓTICO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA NA PODRIDÃO APICAL, COMPOSIÇÃO MINERAL E RENDIMENTO DE TOMATE

Saúl Parra Terraza, Manuel Villarreal Romero, Pedro Sánchez Peña, José L. Corrales Madrid e Sergio Hernández Verdugo

RESUMO

A podridão apical (BER, por suas siglas em inglês, de blossom end-rot), uma desordem física comum na produção de tomate, é causada por diversos fatores e as medidas para seu controle não estão bem definidas. Realizaram-se dois estudos em instalação tipo casa sombra no Valle de Culiacán, Sinaloa, México, para conhecer os efeitos da concentração de Ca, do potencial osmótico (Ψ_s) da solução nutritiva (SN) e sua interação sobre número de frutos com podridão apical (NFBER), o conteúdo de nutrientes e o rendimento de frutos de dois híbridos de tomate, B-52 tipo bola e Aníbal tipo 'saladette'. No experimento 1 se avaliaram nove tratamentos resultantes da combinação de variar a concentração de Ca (4,5; 6,75 e

9,0 meq·l⁻¹) e o Ψ_s (-0,047; -0,072 e -0,097 MPa) da SN. No experimento 2 se avaliaram outras concentrações de Ca (7, 9 e 11 meq·l⁻¹) e diferentes Ψ_s (-0,036; -0,048 e -0,072 MPa). No experimento 1 o incremento de Ca na solução diminuiu significativamente o NFBER, enquanto que níveis decrescentes de Ψ_s o aumentaram. No experimento 2 os frutos com BER tiveram conteúdos significativamente menores de Ca e P e maiores de Mg, comparados com os frutos sem BER. Não houve diferenças significativas no rendimento de frutos comerciais devido aos fatores Ca e Ψ_s nos dois estudos, pelo que é possível reduzir até em 50% a inversão em fertilizantes.

factores tales como alta humedad relativa (Adams y Holder, 1992), desequilibrio de nutrientes (Gunes *et al.*, 1998) o relación alta amonio:nitrato (Sandoval *et al.*, 2001) en la solución nutritiva (SN), condiciones ambientales desfavorables (Marcelis y Ho, 1999), crecimiento acelerado del fruto (Saure, 2001), inadecuado suministro de Ca (Adams y Ho, 1993; Wien, 1999), y alta salinidad o estrés osmótico (Ehret y Ho, 1986).

Dos de los factores mencionados han sido poco estudiados en forma conjunta, el potencial osmótico (Ψ_s) de la SN y la concentración de Ca en la misma. La importancia del Ψ_s en una SN es que al disminuir su valor, debido al incremento en el contenido de nutrientes, disminuye la energía libre del agua (Sallisbury y Ross, 2000); por consiguiente, la absorción de agua y de algunos nutrientes por la planta puede ser afectada (Schwarz, 1995; Steiner, 1984). Por su parte, el Ca es uno de los elementos esenciales para el crecimiento de las plantas y el desarrollo de los frutos (McLaughlin y Wimmer, 1999) y sus funciones en la nutrición de las plantas están bien documentadas (Mengel y Kirkby, 1987; Marschner, 1995; Saure, 2001; Taylor y Locascio, 2004; Villegas *et al.*, 2005).

A pesar de algunos progresos obtenidos al estudiar la BER, las causas que la origi-

nan y las medidas de su control no están bien entendidas (Kinet y Peet, 1997) debido a ello los productores de tomate en sistemas protegidos (casa sombra e invernadero) de Sinaloa, México, emplean dosis de Ca superiores a los requerimientos del cultivo y soluciones nutritivas concentradas o desequilibradas en sus nutrientes que pueden ser perjudiciales al ambiente, ya que la producción intensiva de hortalizas en sistemas abiertos (sin recirculación de drenaje) genera contaminación al verter al suelo las fracciones de lavado. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de diferentes concentraciones de Ca y potenciales osmóticos de la SN y su interacción sobre la pudrición apical, la composición mineral y el rendimiento de dos híbridos de tomate cultivados en casa sombra.

Materiales y Métodos

Experimento 1

Este primer experimento se llevó a cabo durante el ciclo agrícola 2004-2005 en casa sombra con malla al 50% (porcentaje de luz que bloquea la malla) en la Facultad de Agronomía en Culiacán, Sinaloa, México. Se utilizó tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), híbrido B-52, tipo bola, de crecimiento indeterminado, el cual se trasplantó a bolsas de plástico bicolor (exterior blanco e interior negro) que contenían como sustrato 10kg de lava volcánica expandida (tezontle) con una granulometría de 0,5-13mm de diámetro. La separación entre plantas fue de 0,5m y entre las hileras fue de 1,80m. Los tratamientos evaluados consistieron en nueve SNs (Tabla I) resultantes de la combinación

de dos factores: concentración de Ca (4,5; 6,75 y 9,0 meq·l⁻¹) y potencial osmótico (Ψ_s) de la solución (-0,047; -0,072 y -0,097 MPa). Los tratamientos se diseñaron a partir de la solución nutritiva universal de Steiner (1984), en la cual la concentración (meq·l⁻¹) de NO₃⁻, H₂PO₄⁻, SO₄²⁻, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ es de 12, 1, 7, 7, 9 y 4, respectivamente, lo que genera una concentración iónica total de 30mg de iones por litro y una presión osmótica de 0,72atm (30×0,024atm). Debido a que una solución aislada no ejerce presión sino que tiene el potencial para ejercerla cuando se coloca en un osmómetro (Hopkins, 1995), en este estudio se considera que la SN tiene un potencial osmótico definido como el negativo de la presión osmótica, ya que ambos conceptos son de magnitud igual pero de fuerzas opuestas. La solución

TABLA I
COMPOSICIÓN Y POTENCIAL OSMÓTICO DE LAS SOLUCIONES NUTRITIVAS UTILIZADAS EN EL EXPERIMENTO 1

Solución [†]	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Ψ_s
	meq·l ⁻¹						MPa
1	7,48	0,62	4,37	6,14	2,81	3,51	-0,047
2	7,65	0,63	4,46	5,37	4,31	3,07	-0,047
3	7,83	0,65	4,57	4,57	5,87	2,61	-0,047
4	11,45	0,95	6,68	9,41	4,29	5,38	-0,072
5	11,72	0,98	6,84	8,23	6,60	4,71	-0,072
6	12,00	1,00	7,00	7,00	9,00	4,00	-0,072
7	15,42	1,29	9,00	12,67	5,78	7,24	-0,097
8	15,79	1,32	9,21	11,10	8,88	6,34	-0,097
9	16,16	1,35	9,43	9,43	12,12	5,39	-0,097

[†] La concentración de los nutrientes y el potencial osmótico de las soluciones se determinaron según Steiner (1984). El pH se ajustó a 6,0 ± 0,5 con H₂SO₄ o NaOH.

TABLA II
COMPOSICIÓN Y POTENCIAL OSMÓTICO DE LAS SOLUCIONES
NUTRITIVAS UTILIZADAS EN EL EXPERIMENTO 2

Solución [†]	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Ψs
			meq·l ⁻¹				MPa
1	5,9	0,49	3,43	4,05	3,43	2,31	-0,036
2	6,0	0,50	3,50	3,50	4,50	2,00	-0,036
3	6,1	0,51	3,58	2,92	5,62	1,68	-0,036
4	7,8	0,65	4,58	5,41	4,58	3,10	-0,048
5	8,0	0,67	4,67	4,67	6,00	2,67	-0,048
6	8,2	0,68	4,76	3,90	7,48	2,23	-0,048
7	11,8	0,98	6,86	8,10	6,86	4,63	-0,072
8	12,0	1,00	7,00	7,00	9,00	4,00	-0,072
9	12,3	1,02	7,15	5,86	11,24	3,34	-0,072

[†] La concentración de los nutrientes y el potencial osmótico de las soluciones se determinaron según Steiner (1984). El pH se ajustó a 6,0 ±0,5 con H₂SO₄ o con NaOH.

universal de Steiner tiene una concentración total de aniones y de cationes de 20meq·l⁻¹ cada grupo; del total de aniones, el NO₃⁻ representa 60%, H₂PO₄²⁻ el 5% y SO₄²⁻ el 35%, mientras que del total de cationes, el K⁺ representa 35%, Ca²⁺ el 45% y Mg²⁺ el 20%. El procedimiento utilizado para modificar la solución universal de Steiner y obtener las concentraciones de nutrientes y sus respectivos potenciales osmóticos de las SN fue el propuesto por Steiner (1984) y descrito por Villegas *et al.* (2005). Las SNs se formularon con fertilizantes y se ajustaron a un pH de 6,0 ±0,5

con H₂SO₄ 1N o NaOH 1N. A las nueve SN se les añadió una mezcla de micronutrientes con las siguientes concentraciones (mg·l⁻¹): Fe (5), Mn (1,6), Zn (0,023), Cu (0,011) y B (0,865). Las soluciones fueron colocadas en nueve depósitos de plástico de 200 litros de capacidad, con un manejo en circuito abierto, distribuyéndolas a las unidades experimentales por medio de nueve bombas de 1HP y manguera plástica de 16mm de diámetro en las que se colocaron goteros con un gasto individual de 4 litros por hora (un gotero por bolsa). Las plantas se regaron diariamente

entre las 8:00 y las 16:00, con intervalos de riego de 30min y tiempos de riego que variaron en función del desarrollo de la planta, condiciones climáticas y acumulación de sales en el sustrato. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con un arreglo de tratamientos factorial completo 3² con cuatro repeticiones por tratamiento.

La cosecha de frutos se inició el 03/02/2005 y con intervalos de 4 y 7 días se realizaron 10 evaluaciones (45 días de cosecha). Las variables analizadas fueron número de frutos afectados con BER, contenidos de nutrientes en hojas, tallos y frutos, y rendimiento de frutos comerciales (kg por planta). En el último corte de frutos las plantas se cosecharon y separaron en hojas, tallos y frutos; estos órganos fueron secados en estufa con circulación forzada de aire a 70°C durante 72h, fueron molidos en un molino eléctrico y pasados por un tamiz con malla 40. A este material resultante se le realizó una digestión seca en una mufla a 550°C durante 5h y se determinaron las concentraciones de P, K, Ca y Mg. El N se determinó por el procedimiento semi-micro Kjeldahl (Bremner, 1965) modificado para incluir nitratos. El P se cuantificó por el método vanadato molibdato (Rodríguez y Rodríguez, 2002), el K por flamometría (Alcántara y Sandoval, 1999), y Ca y Mg por titulación con EDTA (Chavira

y Castellanos, 1987). El análisis estadístico se realizó con el programa SAS (1999) ver. 8, para un diseño factorial completo en el cual se estudió los factores principales, así como su interacción. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey (α≤0,05).

Experimento 2

El segundo experimento se realizó en la misma localidad, durante el ciclo 2005-2006. Se utilizó tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), híbrido Anibal, tipo 'saladette' de crecimiento indeterminado. Las condiciones de crecimiento de las plantas, de preparación de las SNs y de análisis fueron similares a las indicadas en el Experimento 1, variando únicamente el híbrido de tomate, los niveles de los factores Ca y potencial osmótico de la SN. En el análisis estadístico se incluyó una prueba 't' de dos muestras. Los tratamientos evaluados consistieron en nueve SN (Tabla II) resultantes de la combinación de dos factores: concentración de Ca (7, 9 y 11meq·l⁻¹) y Ψs (-0,036; -0,048 y -0,072MPa). El arreglo de tratamientos utilizado fue factorial completo 3² con ocho repeticiones por tratamiento y el diseño experimental fue de bloques al azar. Se cuantificó las variables siguientes: número de frutos con pudrición apical a los 160 días después del trasplante, rendimiento comercial de fruto (kg por planta) durante un periodo de dos meses (seis cortes); en el último corte de frutos las plantas se cosecharon y separaron en hojas, tallos y frutos (sin y con BER) y se les determinó los contenidos de P, K, Ca y Mg.

Resultados y Discusión

Frutos de tomate afectados por pudrición apical (BER)

En el experimento 1 los factores Ca y Ψs de la SN, así como su interacción, afectaron de forma estadísticamente significativa (Tabla III)

TABLA III
EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE CA Y
EL POTENCIAL OSMÓTICO DE LA SOLUCIÓN
NUTRITIVA EN EL NÚMERO DE FRUTOS CON BER

Experimento	Factor	Frutos por planta	
1	Calcio	meq·l ⁻¹	
		4,50	3,3 a [†]
		6,75	1,3 b
	9,00	0,4 b	
	Ψs	MPa	
		-0,047	0,30 b
-0,072		0,87 b	
Calcio×Ψs		4,00 a	
2	Calcio	meq·l ⁻¹	
		7	4,8 a [†]
		9	6,2 a
	11	5,6 a	
	Ψs	MPa	
		-0,036	5,2 a
-0,048		4,1 a	
Calcio×Ψs		6,6 a	
		ns	

[†] Medias con letras iguales dentro de cada columna y cada factor son iguales (Tukey; P≤0,05). ns: No significativo. *: Significativo. (Tukey; P≤0,05).

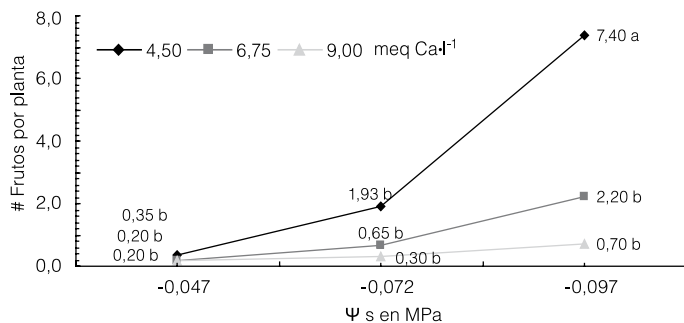


Figura 1. Interacción de la concentración de Ca en la SN en relación con el potencial osmótico y el número de frutos afectados por BER. Puntos con la misma letra son iguales (Tukey; $P \leq 0,05$).

el número de frutos con BER por planta (NFBER). El mayor NFBER (3,3) se obtuvo con una concentración de Ca en la SN de $4,5 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1}$ y al incrementar la concentración de Ca a $6,75$ y $9,0 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1}$ el NFBER se redujo a 1,3 y 0,4 respectivamente, lo que refleja una relación inversa entre el Ca en la SN y el NFBER. Este resultado coincide con lo reportado por Tadesse *et al.* (1999) quienes encontraron que los frutos de tomate y de chile provenientes de plantas desarrolladas con concentraciones bajas de Ca produjeron un mayor NFBER comparado con plantas suministradas con mayores concentraciones de Ca. De igual forma, Bar-Tal y Pressman (1996) y Paiva *et al.* (1998) mencionan que incrementos de Ca en la SN a un cierto nivel ocasionaron una reducción en el número de frutos de tomate afectados con BER.

El factor Ψ_s de la SN afectó en forma significativa el NFBER, ya que el mayor NFBER (4,0 por planta; Tabla III) se obtuvo con la SN cuya concentración absoluta de nutrientes fue la más concentrada o de menor Ψ_s ($-0,097 \text{ MPa}$), mientras que el menor NFBER (0,30 por planta) fue obtenido con la SN con el Ψ_s más alto ($-0,047 \text{ MPa}$), es decir, con la concentración menor de nutrientes, la cual fue estadísticamente igual a la SN de $-0,072 \text{ MPa}$. El análisis de estos datos se basa en que el origen principal de la pudrición apical de los frutos es una inadecuada

cantidad de Ca en el fruto (Taylor y Locascio, 2004). Se ha demostrado que el Ca se moviliza hacia las raíces de las plantas principalmente por flujo de masas (Fageria *et al.*, 1997) y en soluciones con altos potenciales osmóticos (diluidas) existe una mayor disponibilidad de agua, por tener un potencial hídrico mayor (Salisbury y Ross, 2000) comparado con soluciones con bajos potenciales osmóticos (concentradas), por tanto con $0,047 \text{ MPa}$ se esperaría mayor consumo de agua y en consecuencia de Ca; mientras que con la SN de $-0,097 \text{ MPa}$ ocurre lo contrario, coincidiendo con lo obtenido en el presente estudio.

De igual manera, Adams y Ho (1993) mencionan que un estrés hídrico provocado por un menor Ψ_s de la SN reduce la absorción de Ca y es el origen más común de la pudrición apical, mientras que Franco *et al.* (1999) sostienen que un efecto osmótico ocasionado por una mayor concentración de sales puede disminuir la absorción de agua y de Ca, aún cuando su concentración sea suficiente para satisfacer las necesidades de la planta.

La interacción entre los factores concentración de Ca y Ψ_s de la SN tuvo efecto significativo en el NFBER como se aprecia en la Figura 1, donde se observa la respuesta de la variable dependiente (NFBER) a las variables independientes (Ψ_s y Ca) con sus diferentes niveles. Este análisis indica que con un Ψ_s de $-0,047 \text{ MPa}$



Figura 2. Interacción del potencial osmótico de la SN en relación con la concentración de Ca y el número de frutos afectados por BER. Puntos con la misma letra son iguales (Tukey; $P \leq 0,05$).

en la solución el NFBER es estadísticamente igual para las tres concentraciones de Ca. Al cambiar de un alto Ψ_s ($-0,047 \text{ MPa}$) a un Ψ_s intermedio ($-0,072 \text{ MPa}$) el NFBER por planta se incrementó en forma no significativa en las tres concentraciones de Ca evaluadas ($4,5$; $6,75$ y $9,0 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1}$) a valores de 1,9; 0,65 y 0,30 frutos con BER, respectivamente. Con un Ψ_s intermedio a bajo ($-0,097 \text{ MPa}$) el NFBER aumentó significativamente a 7,4 cuando la concentración de Ca era de $4,5 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1}$ comparado con $6,75$ y $9,0 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1}$, cuyos NFBER fueron significativamente menores (2,2 y 0,7). La concentración de Ca de $9,0 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1}$ produjo el mejor resultado, si se busca un menor número de frutos con pudrición apical en los tres valores de Ψ_s estudiados.

En la Figura 2 se observa que con una concentración de Ca de $4,5 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1}$ el NFBER es estadísticamente similar para los Ψ_s de $-0,047$ y $-0,072 \text{ MPa}$, y que para $-0,097 \text{ MPa}$ es significativamente mayor, lo cual puede explicarse considerando que la disponibilidad del agua y de Ca es menor en la SN con $-0,097 \text{ MPa}$ por su menor potencial hídrico comparado con las otras dos SN y considerando que la absorción de Ca es proporcional a la de agua (Ho *et al.*, 1995; Adams y Ho, 1992). Si la disponibilidad del agua es la misma para las tres soluciones con $-0,097 \text{ MPa}$ y el mayor NFBER se obtuvo con Ca de $4,5 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1}$ es

posible que esta concentración no cubrió la demanda de Ca para el fruto, lo cual coincide con lo señalado por Paiva *et al.*, (1998), que Ca en concentración de $5,0 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1}$ en la SN provocó daños de BER en frutos de tomate. Al incrementar el Ca de $4,5$ a $6,75 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1}$ el NFBER disminuyó sin diferencias estadísticas en el conjunto de las tres soluciones con diferente Ψ_s . Al aumentar la concentración de Ca de $6,75$ a $9,0 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1}$ el NFBER disminuyó en las SN de $-0,097$ y $-0,072 \text{ MPa}$ y permaneció sin cambio con $-0,047 \text{ MPa}$. Con $-0,047$ y $-0,072 \text{ MPa}$ se produjeron los menores NFBER al variar la concentración de Ca.

En el experimento 2 (tomate 'saladette') aunque hubo un mayor número de frutos afectados con BER comparado con el Experimento 1, los factores Ca y Ψ_s de la SN, así como su interacción, no afectaron estadísticamente esta variable (Tabla III). Las diferencias en ambos estudios posiblemente se deban a variaciones en los genotipos utilizados, ya que la susceptibilidad a BER varía entre los cultivares de tomate (Ho *et al.*, 1995; Sperry *et al.*, 1996); a variaciones en el tamaño del fruto y tasa de alargamiento celular, así como insuficiencia del sistema vascular para transportar rápidamente al Ca a la parte distal del fruto (Brown y Ho, 1993); a la interacción de factores ambientales, genéticos y anatómicos que determina la presencia o ausencia de frutos con BER (Ho *et al.*, 1993); a

TABLA IV
EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE CA Y EL Ψ_s DE LA SOLUCIÓN
NUTRITIVA SOBRE LOS CONTENIDOS DE NUTRIENTES
EN HOJAS, TALLOS Y FRUTOS (EXPERIMENTO 1)

Factor	N		P		Ca		Mg		K		
	g/100g										
	H	T	F	H	F	H	F	H	F	F	
Ca meq·l ⁻¹	4,50	3,2 a	2,0 a	1,4 a	0,21 a	0,19 a	1,2 b	0,16a	0,6 a	0,04 a	2,2 a
	6,75	3,1 a	1,9 a	1,6 a	0,28 a	0,22 a	1,4 b	0,14 a	0,6 a	0,04 a	2,2 a
	9,00	3,3 a	1,9 a	1,5 a	0,29 a	0,16 a	2,1 a	0,13 a	0,5 a	0,05 a	2,2 a
Ψ_s MPa	-0,047	3,0 b	1,7 b	1,4 a	0,23 a	0,26 a	1,8 a	0,15 a	0,5 a	0,04 a	2,0 b
	-0,072	3,2 ab	1,8 b	1,5 a	0,29 a	0,14 b	1,6 ab	0,14 a	0,6 a	0,05 a	2,4 a
	-0,097	3,4 a	2,2 a	1,6 a	0,24 a	0,16 b	1,3 b	0,14 a	0,5 a	0,05 a	2,3 a
Ca $\times\Psi_s$	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

H: hoja, T: tallo, F: fruto. † Medias con letras iguales dentro de cada columna y cada factor son iguales (Tukey; $P \leq 0,05$). ns: No significativo. (Tukey; $P \leq 0,05$).

variaciones en las condiciones ambientales (Adams y Ho, 1993) prevalecientes en ambos estudios; o a los niveles de los factores evaluados.

Concentración de nutrientes en plantas de tomate

Experimento 1. Los contenidos de N, P, Mg y K en hojas, tallos y frutos no fueron afectados estadísticamente por la concentración de Ca en la SN, mientras que el contenido de Ca en hojas aumentó significativamente al aplicar 9meq·l⁻¹ comparado con 4,5 y 6,75 meq·l⁻¹ (Tabla IV). Este incremento de Ca en las hojas se asocia con el aumento en la concentración de Ca en la solución, ya que el acceso de este nutriente a la raíz es por flujo de masas, por lo que la cantidad de Ca que se acumula en la raíz depende, entre otros factores, de su concentración en la solución y del coeficiente de transpiración del cultivo (Alcántar y Trejo, 2007; Fageria *et al.*, 1997). A mayor concentración de Ca en la solución mayor es la cantidad que se acumula en la zona radical, facilitando el proceso de su absorción por la planta, ya que el transporte hacia la raíz es el primer paso de una serie dinámica de procesos que continúan con la absorción, translocación y utilización del Ca en procesos metabólicos (Fageria *et al.*, 1997), lo que explicaría el aumento significativo

del contenido de Ca en las hojas al utilizar 9meq·l⁻¹ en la solución. Este resultado coincide con lo reportado por Villegas *et al.* (2005) quienes mencionan un aumento significativo en la concentración de Ca en las hojas de plántulas de tomate, híbrido Gabriela, cuando la concentración de Ca en la solución nutritiva, respecto al total de cationes, es del 60% (12meq·l⁻¹) comparado con 45% (9meq·l⁻¹) y 30% (6meq·l⁻¹). En el presente estudio las concentraciones de Ca respecto al total de cationes (Tabla I) son de 22,5; 33,8 y 45%. Aunado a lo anterior, la producción de materia seca de hojas y tallos (datos no presentados) no fue modificada por la concentración de Ca en la solución nutritiva, lo que descartaría un efecto de dilución de Ca en las hojas producto de una mayor producción de materia seca en los tratamientos de 4,5 y 6,75meq·l⁻¹.

Las concentraciones de N en hojas y tallos, de P en frutos, de Ca en hojas y de K en frutos fueron estadísticamente afectadas por el Ψ_s de la SN (Tabla IV). En el caso del N las mayores concentraciones en hojas y tallos (3,4 y 2,2g/100g) se obtuvieron con la SN con el menor Ψ_s (-0,097MPa), es decir, la más concentrada en cuanto a N y nutrientes (Tabla I), lo que coincide con lo reportado por Steiner (1973) quien menciona que las plantas de tomate

desarrolladas en SN con un Ψ_s bajo absorben preferentemente a los nitratos, afectando la absorción de sulfatos. La mayor concentración de P (0,26g/100g) en frutos se obtuvo con la SN de -0,047MPa y la menor con -0,072MPa, resultado cuya explicación es incierta ya que no coincide con lo indicado por Steiner (1973) quien menciona que la absorción de P por el cultivo de tomate se favorece cuando el valor del Ψ_s de la SN es menor. La discrepancia en ambos resultados posiblemente se deba a que Steiner reportó la concentración de P en la planta de tomate incluyendo hojas, tallos, frutos verdes y maduros. La mayor concentración de Ca en hojas (1,8g/100g) fue obtenida con -0,047MPa y la menor (1,3g/100g) con -0,097MPa, lo que se explica con lo indicado por Steiner (1973) quien menciona que cuando el Ψ_s de una SN es mayor a lo requerido por un cultivo en una determinada condición ambiental, los nutrientes que son transportados a la raíz por flujo de masas, como el Ca, son absorbidos en mayor proporción. Además, es necesario considerar que la SN de -0,097MPa comparada con la solución de -0,047MPa tiene un menor potencial hídrico, lo que reduce la energía libre del agua y limita su absorción, siendo la absorción de Ca reducida proporcionalmente (Tan y Dhanvantari, 1985; Ho, 1989).

Con relación al contenido de K en frutos, el menor valor fue 2,0g/100g, obtenido con la SN de -0,047MPa y el mayor 2,4g/100g con -0,072MPa, siendo estadísticamente igual al obtenido con -0,097MPa (2,3g/100g). Esto se explica, de acuerdo con Steiner (1973), porque cuando la presión osmótica de una SN es menor a la óptima para un cultivo en una condición ambiental dada, aquellos nutrientes como K y P, cuyo acceso a la raíz es principalmente por difusión (Fageria *et al.*, 1997), son absorbidos en menor proporción por la planta, lo que significa que el aporte de K por difusión en la solución de -0,047MPa fue menor, aunque suficiente para cumplir con la demanda para el fruto, considerando que no hubo diferencias significativas en el rendimiento entre las tres soluciones con diferentes valores de Ψ_s (Tabla VIII), mientras que con -0,072 y -0,097MPa posiblemente se generó un mayor gradiente de concentración y el K se movilizó en mayor cantidad hacia la raíz, ocasionando un consumo de lujo y provocando mayor concentración de K en el fruto sin afectar el rendimiento.

Experimento 2. Los contenidos de Ca en hojas y de P en frutos sin BER aumentaron con la concentración de Ca en la SN (Tabla V). Con 7meq·l⁻¹ la concentración de Ca en hojas fue de 2,0g/100g y la de P en frutos fue de 0,40g/100g. Al aumentar el Ca en la SN a 11meq·l⁻¹ las concentraciones de Ca y de P se incrementaron significativamente, en 35 y 20%. La explicación del aumento del Ca fue mencionada en el experimento 1, y en el caso del P posiblemente se relacione con un efecto de dilución originado por un mayor rendimiento de fruto obtenido con 7meq·l⁻¹ de Ca (4,15kg por planta), lo que diluyó el P en el fruto en 20% (0,40g/100g), comparado con el rendimiento obtenido con 11meq·l⁻¹ de Ca (3,68kg/planta) y una concentración de P de 0,48g/100g, lo que explica-

TABLA V
EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE CA Y EL Ψ_s DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA SOBRE LOS CONTENIDOS DE P, CA, MG Y K EN HOJAS, TALLOS Y FRUTOS SIN BER (EXPERIMENTO 2)

Factor	P			Ca			Mg			K		
	H	T	F	H	T	F	H	T	F	H	T	F
Ca	g/100g											
meq·l ⁻¹												
7	0,20 a	0,53 a	0,40 b	2,0 b	0,28 a	0,14 a	0,9 a	0,49 a	0,09 a	3,3 a	3,3 a	2,7 a
9	0,25 a	0,50 a	0,42 ab	2,2 b	0,32 a	0,14 a	1,1 a	0,51 a	0,08 a	3,1 a	3,3 a	2,8 a
11	0,20 a	0,52 a	0,48 a	2,7 a	0,35 a	0,13 a	1,0 a	0,53 a	0,08 a	3,1 a	3,4 a	2,6 a
Ψ_s	MPa											
-0,036	0,20 a	0,49 b	0,32 c	2,5 a	0,33 a	0,13 b	0,9 a	0,50 a	0,08 a	3,0 a	3,3 a	2,8 a
-0,048	0,23 a	0,48 b	0,45 b	2,4 ab	0,31 a	0,15 a	1,0 a	0,50 a	0,08 a	3,2 a	3,5 a	2,7 a
-0,072	0,21 a	0,58 a	0,54 a	2,1 b	0,31 a	0,14 ab	1,0 a	0,52 a	0,09 a	3,4 a	3,2 a	2,6 a
Ca× Ψ_s	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns

H: hoja, T: tallo, F: fruto. † Medias con letras iguales dentro de cada columna y cada factor son iguales (Tukey; $P \leq 0,05$). ns: No significativo. *: Significativo. (Tukey; $P \leq 0,05$).

ría la mayor concentración de P (Tablas V y VIII).

El Ψ_s de la SN afectó significativamente los contenidos de P en tallos y frutos, y de Ca en hojas y frutos. Con un Ψ_s de -0,072MPa el contenido de P en tallos y frutos aumentó 15,52 y 40,7% comparado con -0,036MPa, lo que coincide con Steiner (1973), quien indicó que cuando el Ψ_s de

una SN es menor al requerido por un cultivo los nutrientes como el P, cuyo transporte a la raíz es principalmente por difusión, son absorbidos en mayor cantidad.

Resultados similares en incrementos de la absorción de P se han obtenido también en trigo y en melón (Hu y Schmidhalter, 1997; Preciado *et al.*, 2003). Por otra parte, el

contenido de Ca en las hojas tuvo una disminución significativa de 16% cuando el Ψ_s fue de -0,072MPa comparado con -0,036 MPa (Tabla V), lo cual coincide con el resultado obtenido en el experimento 1. La interacción de los factores concentración de Ca y Ψ_s de la SN, tuvo efecto significativo en el contenido de P en el fruto (Figura 3). Con un Ψ_s de -0,036MPa en la solución el P en el fruto fue estadísticamente igual para las tres concentraciones de Ca. Al cambiar de un Ψ_s alto (-0,036MPa) a uno intermedio (-0,048) el contenido de P aumentó para concentraciones de Ca de 7 y 9meq·l⁻¹ y permaneció relativamente sin cambio en 11meq·l⁻¹. Con un Ψ_s intermedio a bajo (-0,072MPa) el contenido de P aumentó con la concentración de Ca de 7 y 11meq·l⁻¹, mientras que con 9meq·l⁻¹ disminuyó, aunque en forma no significativa. La combinación de alto Ca y un Ψ_s de -0,072MPa resultó en el mayor contenido

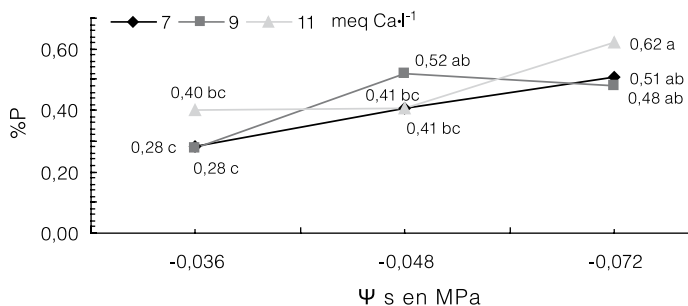


Figura 3. Interacción de la concentración de Ca en la SN en relación con el potencial osmótico de la SN y el contenido de P en el fruto. Puntos con la misma letra en cada línea y en cada valor de potencial son iguales (Tukey; $P \leq 0,05$).

de P (0,62%), estadísticamente igual para 7 y 9meq·l⁻¹, con P de 0,51 y 0,48%, respectivamente, y la menor concentración de P (0,28%) se obtuvo al combinar 7 o 9meq·l⁻¹ y -0,036MPa.

Los factores Ca y Ψ_s de la SN no afectaron significativamente los contenidos de P, Ca, Mg y K en los frutos afectados con BER (Tabla VI). Con el fin de comparar los contenidos mencionados en frutos sin y con BER se realizó una prueba de 't' de dos muestras (Tabla VII) encontrando que los frutos con BER tuvieron contenidos significativamente menores de Ca y de P comparados con los frutos sin BER, lo cual coincide, para el caso de Ca, con los resultados de Tadesse *et al.* (1999) y Wada *et al.* (1996), quienes mencionan que los frutos con BER contienen menos Ca que los frutos sin BER, y para P con lo reportado por Morard *et al.* (1996). En cuanto al Mg, el contenido fue estadísticamente mayor en los frutos con BER que en los frutos sin BER, lo que refleja un antagonismo entre Ca y Mg (Morard *et al.*, 1996). No se encontraron diferencias significativas en el contenido de K en frutos sin y con BER.

Rendimiento de frutos

Los factores Ca y Ψ_s de la SN no afectaron en forma significativa el rendimiento de frutos comerciales (Tabla VIII). En el Experimento 1 el rendimiento de frutos aumentó linealmente con la concentración de Ca en la SN, aunque sin ser significativo, mientras que en el experimento

TABLA VI
EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE CA Y EL Ψ_s DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA SOBRE LOS CONTENIDOS DE P, CA, MG Y K EN FRUTOS DE TOMATE CON PUDRICIÓN APICAL (EXPERIMENTO 2)

Factor	P		Ca		Mg	K
	g/100g					
Ca	meq·l ⁻¹					
7	0,31 a†	0,09 a	0,10 a	0,10 a	2,9 a	2,8 a
9	0,37 a	0,08 a	0,10 a	0,10 a	2,8 a	2,8 a
11	0,35 a	0,09 a	0,10 a	0,10 a	2,8 a	2,8 a
Ψ_s	MPa					
-0,036	0,34 a	0,08 a	0,10 a	0,10 a	2,7 a	2,7 a
-0,048	0,31 a	0,09 a	0,09 a	0,09 a	2,7 a	2,7 a
-0,072	0,36 a	0,09 a	0,12 a	0,12 a	2,9 a	2,9 a
Ca× Ψ_s	ns	ns	ns	ns	ns	ns

† Medias con letras iguales dentro de cada columna y cada factor son iguales (Tukey; $P \leq 0,05$). ns: No significativo. (Tukey; $P \leq 0,05$).

TABLA VII
COMPARACIÓN DE LAS MEDIAS† DE LOS CONTENIDOS DE P, CA, MG Y K EN FRUTOS DE TOMATE CON Y SIN BER (EXPERIMENTO 2)

Frutos de tomate	Contenidos			
	P	Ca	Mg	K
	g/100g			
Sin BER	0,4382	0,1376	0,0818	2,7057
Con BER	0,3399	0,0858	0,1063	2,8155
ANAVA: P>t	0,0004	0,0001	0,0004	0,2435

† Prueba 't' ($P \leq 0,05$).

TABLA VIII
EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE CA Y EL POTENCIAL OSMÓTICO (Ψ_s) DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA SOBRE EL RENDIMIENTO COMERCIAL DE FRUTOS DE TOMATE*

Factor		Rendimiento (kg/planta)
Experimento 1		
Calcio	meq·l ⁻¹	
	4,50	2,96 a [†]
	6,75	3,13 a
	9,00	3,25 a
Ψ_s	MPa	
	-0,047	3,18 a
	-0,072	3,24 a
	-0,097	2,92 a
Calcio× Ψ_s		ns
Experimento 2		
Calcio	meq·l ⁻¹	
	7,00	4,15 a
	9,00	3,90 a
	11,00	3,68 a
Ψ_s	MPa	
	-0,036	4,10 a
	-0,048	4,02 a
	-0,072	3,53 a
Calcio× Ψ_s		ns

* 45 días de cosecha en experimento 1 y 60 días de cosecha en experimento 2.

† Medias con letras iguales dentro de cada columna y cada factor son iguales (Tukey; P≤0,05). ns: No significativo. (Tukey; P≤0,05).

2 el rendimiento de frutos disminuyó linealmente con el aumento de Ca en la SN, con diferencias que tampoco fueron significativas. Lo anterior puede atribuirse a la respuesta diferencial de híbridos de una misma especie a los requerimientos de Ca. Por otra parte, tampoco se encontraron diferencias significativas en el rendimiento por efecto del Ψ_s de la SN. En el primer estudio con un Ψ_s de -0,047MPa el rendimiento de tomate por planta fue de 3,18kg y al incrementar las cantidades de fertilizantes en un 34,7% para generar un Ψ_s de -0,072MPa el rendimiento fue 3,24kg, mientras que en el segundo estudio el mayor rendimiento de tomate fue de 4,10kg por planta, obtenido con -0,036MPa y al incrementar las cantidades de fertilizantes en un 50% para generar un Ψ_s de -0,072MPa el rendimiento fue de 3,53kg. De acuerdo con

Steiner (1984) el Ψ_s más adecuado para la producción de tomate y para la mayoría de las especies hortícolas es de -0,072MPa; sin embargo, para los híbridos B-52, tipo bola y Anibal, tipo 'saladette' podría utilizarse SN con Ψ_s de -0,047 y -0,036MPa, respectivamente, ya que en la presente evaluación los efectos de un Ψ_s menor no fueron significativos. Esto puede tener implicaciones importantes para el productor, porque le permitiría reducir hasta un 50% la inversión en compra de fertilizantes, sin disminución del rendimiento. Aunado a ello, también reduciría la contaminación ambiental, ya que la producción intensiva de hortalizas en sistemas abiertos contribuye a ella (Walle y Sevenster, 1998; López-Gálvez y Naredo, 1996), debido a que las fracciones de lavado utilizadas para mantener en un nivel aceptable la conductividad eléctrica de la solución en el sustrato pueden ser del 20% al 70% de los volúmenes de SN aplicados, los cuales son vertidos al suelo y lo contaminan (Martínez y García, 1993). En tomate, estas fracciones de lavado pueden provocar pérdidas de fertilizantes de 700kg de nitratos por ha (Ramos, 1993) y en casos extremos hasta de 1700kg de nitratos (Morard, 1995).

Conclusiones

– No hubo diferencias significativas en el rendimiento de frutos de tomate híbrido B-52 tipo bola e híbrido Anibal tipo 'saladette' debido a los niveles de Ca y potencial osmótico de la solución nutritiva, por lo que es posible reducir hasta en un 50% el gasto en la compra de fertilizantes y disminuir la contaminación de

suelo y agua debida al exceso de fertilizantes.

– El híbrido B-52 presentó el mayor número de frutos con pudrición apical cuando la concentración de Ca en la solución nutritiva fue de 4,5meq·l⁻¹ y el potencial osmótico de -0,097MPa, mientras que en el híbrido Anibal el número de frutos con pudrición apical no fue afectado estadísticamente por los niveles evaluados de Ca y potencial de la solución nutritiva.

– En los híbridos de tomate evaluados, el aumento de la concentración de Ca en la solución nutritiva incrementó únicamente el contenido de Ca en hojas, pero no en tallos ni en frutos. Por el contrario, disminuciones en el potencial osmótico de la solución nutritiva ocasionaron una reducción significativa en el contenido de Ca en hojas y un incremento en el contenido de Ca y P en los frutos de tomate tipo 'saladette' y de K en los frutos de tomate tipo bola.

– Los frutos de tomate tipo 'saladette' con pudrición apical presentaron contenidos estadísticamente menores de Ca y P comparados con los frutos sin pudrición. En contraste, el contenido de Mg fue significativamente mayor.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero de la Universidad Autónoma de Sinaloa, México, a través del Programa de Fortalecimiento y Apoyo a Proyectos de Investigación (PROFAPI-2006).

REFERENCIAS

- Adams P, Ho LC (1992) The susceptibility of modern tomato cultivars to blossom-end rot in relation to salinity. *J. Hort. Sci.* 67: 827-839.
- Adams P, Ho LC (1993) Effects of environment on the uptake and distribution of calcium in tomato and the incidence of blossom-end rot. *Plant Soil* 154: 127-132.
- Adams P, Holder R (1992) Effects of humidity, Ca and salinity on the accumulation of dry matter and Ca by the leaves and fruit

of tomato. *J. Hort. Sci.* 68: 557-564.

- Alcántar G, Sandoval M (1999) *Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal*. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México. 125 pp.
- Alcántar GG, Trejo TLI (2007) *Nutrición de Cultivos*. Mundi Prensa México - Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México, México. 452 pp.
- Bar-Tal A, Pressman E (1996) Root restriction and potassium and calcium solution concentration affect dry-matter production, cation uptake and blossom-end rot in greenhouse tomato. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 121: 649-655.
- Bremner JM (1965) Total nitrogen. En Black CA (Ed.) *Methods of Soil Analysis* (Part 2) (Agronomy 9). American Society of Agronomy. Madison, WI, EEUU. pp. 1149-1178.
- Brown MM, Ho LC (1993) Factors affecting calcium transport and basipetal IAA movement in tomato fruit in relation to blossom-end rot. *J. Exp. Bot.* 44: 1111-1117.
- Chavira J, Castellanos J (1987) Sales solubles. En Aguilar S, Etchevers AJD, Castellanos JZR (Eds.) *Análisis Químico para Evaluar la Fertilidad del Suelo*. Publicación Especial N° 1. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. pp. 109-124.
- Ehret L, Ho LC (1986) Translocation of calcium in relation to tomato fruit growth. *Ann. Bot.* 58: 679-688.
- Fageria NK, Baligar VC, Jones CA (1997) *Growth and Mineral Nutrition of Field Crops*. 2nd ed. Dekker. Nueva York, NY, EEUU. 624 pp.
- Franco A, Pérez-Saura P, Fernández J, Parra M, García A (1999) Effect of two irrigation rates on yield, incidence of blossom-end rot, mineral content, and free amino acid levels in tomato cultivated under drip irrigation using saline water. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 74: 430-435.
- Frost J, Kretchman W (1989) Calcium deficiency reduces cucumber fruit and seed quality. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 114: 552-556.
- Geraldson M (1975) The use of calcium for control of blossom-end rot of tomatoes. *Proc. Fla. St. Hort. Soc.* 68: 197-202.
- Gunes A, Alpaslan M, Inal A (1998) Critical nutrient concentrations and antagonistic and synergistic relationships among the nutrients of NFT-

- grown young tomato plants. *J. Plant Nutr.* 21: 2035-2047.
- Ho LC (1989) Environmental effects on the diurnal accumulation of ⁴⁵Ca by young fruit and leaves of tomato plants. *Ann. Bot.* 63: 281-288.
- Ho LC, Belda R, Brown M, Andrews J y Adams P (1993) Uptake and transport of calcium and the possible causes of blossom-end rot in tomato. *J. Exp. Bot.* 44: 509-518.
- Ho LC, Adams P, Li XC, Shen H, Andrews J, Xu ZH (1995) Response of calcium-inefficient tomato cultivars to salinity in plant growth, calcium accumulation and blossom-end rot. *J. Hort. Sci.* 70: 909-918.
- Hopkins WG (1995) *Introduction to Plant Physiology*. Wiley. London, Ontario, Canadá. pp. 23-40.
- Hu Y, Schmidhalter U (1997) Interactive effects of salinity and macronutrient level on wheat. II. Composition. *J. Plant Nutr.* 20: 1169-1182.
- Kinet J, Peet M (1997) Tomato. En Wien HC (Ed.) *The Physiology of Vegetable Crops*. CABI. Wallingford, RU. pp. 207-258.
- López-Gálvez J, Naredo J (1996) *Sistema de Producciones e Incidencia Ambiental del Cultivo en Suelo Enarenado y en Sustratos*. Fundación Argentina - Visor. Madrid, España. 294 pp.
- Marcelis M, Ho LC (1999) Blossom-end rot in relation to growth rate and calcium contents in fruits of sweet pepper (*Capsicum Nahum* L.). *J. Exp. Bot.* 50: 357-363.
- Marschner H (1995) *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd ed. Academic Press. San Diego, CA, EEUU. 889 pp.
- Martínez E, García M (1993) *Cultivos sin Suelo: Hortalizas en Clima Mediterráneo*. Ediciones de Horticultura. Reus, Catalunya España. 123 pp.
- McLaughlin S, Wimmer R (1999) Review N° 104. Calcium physiology and terrestrial ecosystem processes. *New. Phytol.* 142: 373-417.
- Mengel K, Kirkby E (1987) *Principios de Nutrición Vegetal*. Trad. 4^a ed. por Melgar RJ, Ruiz M. Internacional Potash Institute. Basilea, Suiza. 692 pp.
- Morard P (1995) *Les Cultures Végétales Hors Sol*. SARL Publications Agricoles. Agen, Francia. 304 pp.
- Morard P, Pujos A, Bernadac A, Bertoni G (1996) Effect of temporary calcium deficiency on tomato growth and mineral composition. *J. Plant Nutr.* 19: 115-127.
- Paiva EA, Aampaio R, Martínez H (1998) Composition and quality of tomato fruit cultivated in nutrient solutions containing different calcium concentrations. *J. Plant Nutr.* 21: 2653-2661.
- Preciado RP, Baca CGA, Tirado TJL, Kohashi SJ, Tijerina CL, Martínez GA (2003) Presión osmótica de la solución nutritiva y la producción de plántulas de melón. *Terra* 21: 461-470.
- Ramos C (1993) La hidroponía y el medio ambiente. En Cánovas Martínez F, Díaz Álvarez JR (Eds.) *Cultivos sin Suelo*. Instituto de Estudios Almeriense - FIAPA. Almería, España. pp. 363-372.
- Rodríguez H, Rodríguez J (2002) *Métodos de Análisis de Suelos y Plantas: Criterios de Interpretación*. Trillas-UANL. México. 196 pp.
- Salisbury F, Ross C (2000) *Fisiología de las Plantas 1. Células: Agua, Soluciones y Superficies*. Trad. por Alonso JM. Thomson Internat. Madrid, España. 304 pp.
- Sandoval M, Guertal E, Word C (2001) Greenhouse tomato response to low ammonium-nitrogen concentrations and duration of ammonium-nitrogen supply. *J. Plant Nutr.* 24: 1787-1798.
- SAS (1999) *User's guide*. Ver. 8. SAS Institute Inc. Cary, NC, EEUU.
- Saure MC (2001) Review: blossom-end rot of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) a calcium or a stress-related disorder. *Sci. Hort.* 90: 193-208.
- Schwarz M (1995) *Soilless Culture Management*. Springer. Berlín, Alemania. 197 pp.
- Shear B (1975) Calcium-related disorders of fruits and vegetables. *HortScience* 10: 361-365.
- Sperry G, Davis J, Sanders D (1996) Soil moisture and cultivar influencing cracking, blossom-end rot, zippers and yield of staked fresh market tomatoes. *Hort. Technol.* 6: 21-23.
- Steiner A (1973) The selective capacity of tomato plants for ions in a nutrient solution. *Proc. 3rd Int. Cong. Soilless Culture*. ISOSC. Sassari, Italia. pp. 43-53.
- Steiner A (1984) The universal nutrient solution. *Proc. 6th Int. Cong. Soilless Culture*. ISOSC. Lunteren, Holanda. pp: 633-649.
- Tadesse T, Nichols M, Fisher K (1999) Nutrient conduction effects on sweet pepper plants grown using a nutrient film technique. 2. Blossom-end rot and fruit mineral status. *New Zeal. J. Crop Hort. Sci.* 27: 239-247.
- Tan CS, Dhanvantary BN (1985) Effect of irrigation and plant population on yield, fruit speck and blossom-end rot of processing tomatoes. *Can. J. Plant Sci.* 65: 1011-1018
- Taylor MD, Locascio J (2004) Blossom-end rot: A calcium deficiency. *J. Plant Nutr.* 27: 123-139.
- Villegas TOG, Sánchez GP, Baca CGA, Rodríguez MMN, Trejo C, Sandoval VM, Cárdenas SE (2005) Crecimiento y estado nutricional de plántulas de tomate en soluciones nutritivas con diferente concentración de calcio y potencial osmótico. *Terra Latinoam.* 23: 49-56
- Wada T, Ikeda H, Ikeda M, Furukawa H (1996) Effects of foliar applications of calcium solution on the incidence of blossom-end rot of tomato fruit. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 65: 553-558.
- Walle FB, Sevenster J (1998) *Agriculture and the Environment*. Kluwer. Dordrecht, Holanda. 211 pp.
- Wien HC (1999) *The physiology of vegetable crops*. CABI Publishing. New York, USA. pp. 227-229.