

EL ÁCIDO BENZOICO Y EL POLIÁCIDO ACRÍLICO-QUITOSÁN EN LA CALIDAD Y EL RENDIMIENTO DEL TOMATE CULTIVADO EN SUELO CALCÁREO

Benzoic Acid and Poly(Acrylic Acid)-Chitosan in Tomato Quality and Yield
in Calcareous Soil

A. Benavides-Mendoza^{1‡}, D. Burgos-Limón¹, H. Ortega-Ortiz² y H. Ramírez¹

RESUMEN

Se documentó el cambio en el crecimiento y la producción de fruto de tomate (*Lycopersicon esculentum*) en suelo calcáreo, al utilizar ácido benzoico (AB) en una concentración 10^{-4} M y el complejo de poliácido acrílico-quitosán (PAA-Q) en una concentración de 0.1%, aplicados con solución nutritiva Douglas utilizada como agua de riego. Estos tratamientos se compararon con un mejorador comercial (Sinerba Líquido Plus) y un testigo absoluto. Las plantas crecieron en macetas de plástico con suelo calcáreo como sustrato. Las aplicaciones de PAA-Q y AB ejercieron un efecto positivo en el número de hojas y el rendimiento, en el cual el PAA-Q fue superior al testigo en poco más de 60%. En lo que respecta a la calidad del fruto, tanto el PAA-Q como el AB produjeron frutos más grandes, mientras que el PAA-Q influyó positivamente en la firmeza y la vida de anaquel. Al comparar la composición inicial del suelo con la obtenida al terminar el experimento, en general, se encontró un aumento para el fósforo, el manganeso y el potasio, mientras que las aplicaciones de AB y PAA-Q se asociaron con un aumento en la concentración de hierro remanente en el suelo.

Palabras clave: *Lycopersicon esculentum*, ácido orgánico, biopolímero, complejos interpoli-electrolíticos.

¹ Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, 25315 Saltillo, Coahuila, México.

[‡] Autor responsable (abenmen@uaan.mx)

² Departamento de Plásticos en la Agricultura, Centro de Investigación en Química Aplicada. Blvd. E. Reyna 140, 25100 Saltillo, Coahuila, México.

Recibido: agosto de 2005. Aceptado: marzo de 2007.

Publicado en Terra Latinoamericana 25: 261-268.

SUMMARY

This study documented changes in growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum*) in calcareous soils, using benzoic acid (AB) at a concentration of 10^{-4} M and the complex of poly(acrylic acid)-chitosan (PAA-Q) at a concentration of 0.1%, mixed with Douglas nutrient solution used as irrigation water. These treatments were compared with a commercial soil amendment (Sinerba Líquido Plus) and an absolute control. Plants were grown in plastic pots with calcareous soil as substrate. The applications of PAA-Q and AB exerted a positive effect on leaf number and yield, in which the PAA-Q treatment was superior to the control by more than 60%. In addition, the treatments with PAA-Q and AB produced larger fruits, while the PAA-Q affected fruit firmness and the shelf life positively. Comparing soil initial composition with that at the end of the experiment, increases in phosphorus, manganese and potassium were found, while the applications of AB and PAA-Q were associated with an increase in the final iron content of the soil.

Index words: *Lycopersicon esculentum*, organic acid, biopolymer, inter(poly)electrolytic complex.

INTRODUCCIÓN

Los suelos calcáreos cubren cerca de un tercio de la superficie terrestre y se presentan predominantemente en regiones que reciben menos de 500 mm de precipitación anual. Las características importantes de un suelo calcáreo son un pH de 7 a 9 y un contenido significativo de carbonatos libres (Gildersleeve y Ocampagh, 1989) que limitan la absorción de algunos nutrientes como hierro (Emery, 1982; Brown y Jolley, 1989), zinc, manganeso y fósforo.

El ácido benzoico es un compuesto que se encuentra de manera natural en las plantas y se clasifica como ácido carboxílico (o específicamente ácido

monocarboxílico). Algunas plantas acumulan ácido benzoico en el suelo, en donde funciona como un aleloquímico (Kaur *et al.*, 2005), es decir, como un compuesto emitido al medio por las plantas y que interfiere con el crecimiento de organismos competidores. Sin embargo, asperjado en baja concentración, el ácido benzoico induce tolerancia al estrés salino en repollo y tomate (Benavides-Mendoza, 2002).

La quitina y su derivado el quitosán [poly(2-amino-2-deoxi-D-glucosa)] o (poli-D-glucosamina) (Saitó y Tabeta, 1987; Rathke y Hudson, 1994) constituyen, después de la celulosa, los polisacáridos más abundantes en la naturaleza. El quitosán es un polímero natural que presenta características importantes desde el punto de vista de su aplicación, entre las que destacan la biocompatibilidad (Ben-Shalom y Pinto, 2003), el alto poder quelante (Kaplan *et al.*, 1989) y la biodegradabilidad (Sawayanagi *et al.*, 1982). Se puede utilizar para múltiples fines prácticos, como son el recubrimiento de frutas, el empaque de alimentos, la purificación de agua, la diálisis, la recuperación de metales preciosos, la fabricación de películas de fotografía y muchas otras aplicaciones de interés en la agricultura, medicina y cosmetología.

Los complejos interpolielectrolíticos no-estequiométricos (CPEN) son compuestos macromoleculares amfifílicos, ya que contienen sitios hidrofóbicos e hidrofílicos (Kabanov y Zezin, 1984). Por la reversibilidad de la formación del CPEN, los sitios hidrofóbicos e hidrofílicos son capaces de intercambiar espontáneamente su localización en los CPEN. Estas peculiaridades de la estructura del CPEN proveen una oportunidad única para las interacciones de los CPEN con partículas coloidales y superficies de naturaleza diferente. Debido a tales propiedades, los CPEN se han aplicado como aglomerantes para prevenir la erosión de los suelos por viento y agua (Kabanov *et al.*, 1991).

Los complejos de poliácido acrílico-quitosán (PAA-Q) son CEPN que, además de poseer las propiedades de éstos, tienen la ventaja de ser solubles en agua y mejorar las propiedades que posee individualmente cada polímero. Pueden aplicarse al suelo o al agua, con el objetivo de quelatar metales, inducir tolerancia al estrés en plantas, aglomerar partículas de suelo, entre otras, sin riesgo de contaminación, ya que son totalmente biodegradables.

El objetivo de este trabajo es determinar el efecto del ácido benzoico y el complejo de PAA-Q aplicados

al suelo sobre la calidad del fruto y el crecimiento de plantas de tomate cultivadas en suelo calcáreo con dos niveles de fertilización férrica.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se llevó a cabo con macetas de polietileno de 30 x 40 cm, con 6 kg de suelo calcáreo cribado como sustrato y 1 kg de grava de 0.5 cm de diámetro para ayudar al drenaje en cada bolsa.

El suelo se analizó antes del trasplante y, al finalizar el experimento, en cada uno de los tratamientos. Los métodos empleados para el análisis del suelo fueron los requeridos por la NOM-021-SEMARNAT-2002 (SEMARNAT, 2002). Los análisis se realizaron en el Laboratorio del Patronato para la Investigación Agrícola del Estado de Coahuila, para lo cual se tomó 1 kg de suelo de cinco macetas por cada tratamiento, previo al trasplante y al finalizar el trabajo de investigación. Las sales se determinaron por colorimetría y volumetría, en un equipo Perkin Elmer modelo Lambda 20; la textura se midió por el método de Bouyoucos; la materia orgánica, por digestión en húmedo con dicromato de potasio y ácido sulfúrico; los carbonatos, por ácido clorhídrico. Los microelementos y macroelementos se determinaron por absorción atómica en un equipo Perkin Elmer 2100; el fósforo por el método de Olsen; el azufre se midió por colorimetría y el nitrógeno por el método kjeldahl. Después del análisis del suelo, éste se cribó para luego llenar las bolsas.

El complejo de poliácido acrílico-quitosán (PAA-Q) con una composición igual a 2 y un pH igual a 4.5 se sintetizó en el Centro de Investigación en Química Aplicada, usando poliácido acrílico de peso molecular 200 000 y quitosán (Aldrich®) con peso molecular 65 000, según el procedimiento descrito anteriormente (Ortega-Ortiz *et al.*, 2003).

Se utilizó ácido benzoico grado reactivo (Fisher®). Se usaron semillas de tomate bola de la variedad Jerónimo (De Ruiters Seeds), con hábito de crecimiento indeterminado, las cuales se sembraron en charolas germinadoras de poliestireno expandido con 200 cavidades rellenas con turba canadiense Pro-Mix PGX como sustrato.

El trasplante en las macetas se llevó a cabo 40 días después de la siembra, cuando el suelo se encontraba a capacidad de campo.

Se aplicaron dos tipos de solución nutritiva Douglas (Douglas, 1976) que se diferenciaron en contener 1 ó 2 mg L⁻¹ de sulfato de hierro [(Fe₂(SO₄)₃ H₂O)]. Las concentraciones resultantes de Fe y S fueron 0.13/22.06 y 0.26/22.14 mg L⁻¹, respectivamente. La concentración de los restantes elementos en ambas soluciones fue (mg L⁻¹): N (91.0), P (5.61), K (164.0), Ca (117.0), Mg (2.47), Na (4.17), Mn (0.08), Zn (0.06), B (0.04), Cu (0.013) y Mo (0.0001). Dichas soluciones se aplicaron como agua de riego tres veces por semana en cada tratamiento. En el caso de los tratamientos PAA-Q (0.1%) y AB (10⁻⁴ M), éstos se aplicaron cada 15 días, mezclados con la solución nutritiva antes de aplicarlos al suelo. En total, se realizaron siete aplicaciones de AB y PAA-Q. El producto usado como testigo comercial fue Sinerba Líquido Plus® (SLP), elaborado a base de ácidos húmicos y fúlvicos, nutrimentos y extractos de fermentación, por la compañía Intrakam. Este producto se aplicó en tres ocasiones, la primera inmediatamente antes del trasplante y luego a 15 y 30 días después

del mismo. De acuerdo con las recomendaciones del fabricante, se utilizaron 1, 1.5 y 2 L, respectivamente, por cada 200 L de agua. Los testigos absolutos fueron cada una de las soluciones Douglas sin aplicar algún compuesto o producto mejorador.

Los tratamientos se acomodaron siguiendo un diseño completamente al azar, con 20 repeticiones, tomando una maceta como unidad experimental. Los tratamientos se dividieron con dos niveles de fertilización férrica y se describen en la Figura 1.

Posterior al trasplante, cada 10 días, se tomaron datos del diámetro de tallo con un vernier simple y se contaron el número de hojas de cinco plantas seleccionadas al azar de cada tratamiento.

Se realizaron tres determinaciones de biomasa fresca y seca a los 33, 86 y 105 días después del trasplante (DDT), en la etapa previa a la floración, la floración y el llenado de fruto. En cada muestreo se tomaron dos plantas al azar de cada tratamiento, separando la parte

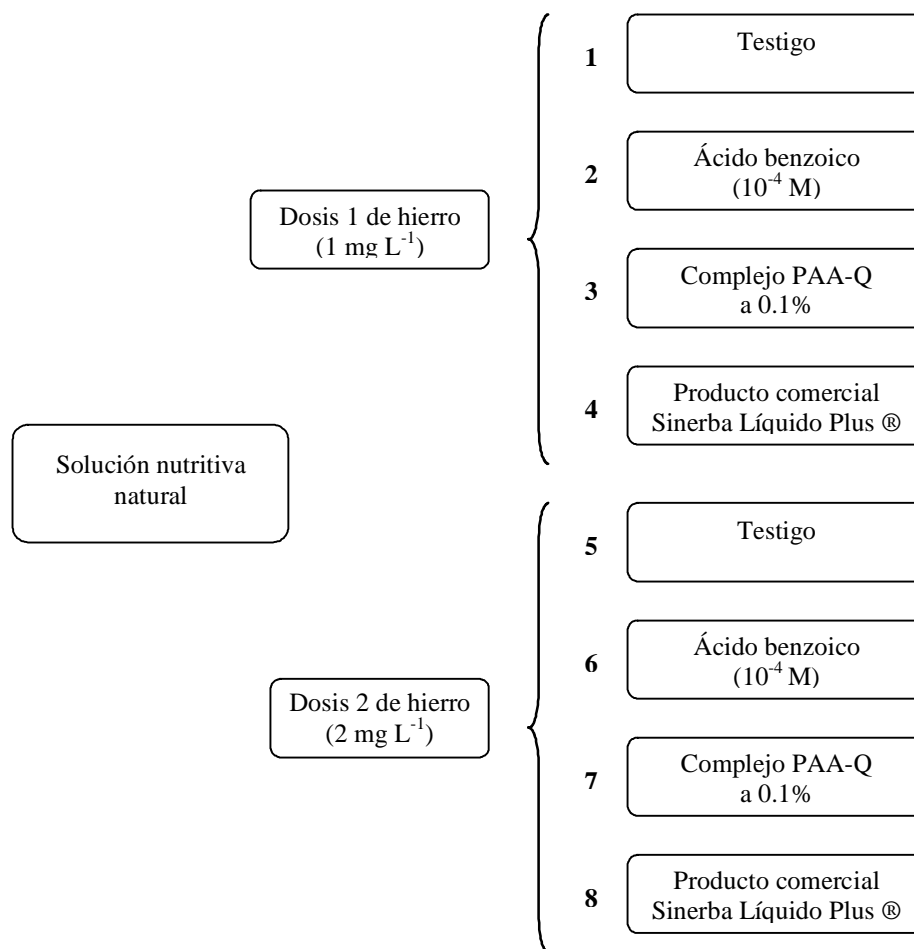


Figura 1. Distribución de los tratamientos para evaluar la aplicación de ácido benzoico (AB) y complejo de poliácido acrílico-quitósán (PAA-Q) en tomate en suelo calcáreo.

aérea de la raíz y lavando los restos de suelo. Para la determinación de biomasa fresca se utilizó una balanza analítica y luego las muestras se colocaron en una estufa, a 60 °C, durante 48 h para obtener la biomasa seca.

Se hicieron seis recolecciones de frutos cuando éstos mostraban de 30 a 60% de la superficie con una coloración rosa o roja, a 93, 96, 99, 102, 107 y 110 DDT, con las cuales se determinó el rendimiento por planta y se eligieron al azar 17 frutos de cada tratamiento para el análisis de calidad. Estos últimos frutos se dividieron en dos grupos: el primero, para medir diámetro polar, diámetro ecuatorial, sólidos solubles y la firmeza en el momento de la cosecha; el segundo, para el análisis del cambio en la firmeza a través del tiempo. Para ello, los frutos se almacenaron a temperatura ambiente y se tomaron al azar tres frutos de cada tratamiento a tres, seis, nueve y doce días después de la cosecha (DDC). El diámetro se midió con un vernier simple. Los sólidos solubles (°Brix) se cuantificaron en un refractómetro manual (ATAGO®) con compensación automática de

temperatura modelo ATC-IE. La firmeza se midió en un penetrómetro manual marca EFFEGI modelo FT327 con una puntilla de 8 mm.

Para cada variable evaluada se analizaron los datos aplicando análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de Suelo

El análisis del suelo previo al trasplante (Cuadro 1) indicó un suelo calcáreo, moderadamente alcalino, ligeramente salino y con niveles medianamente bajos de nutrientes minerales.

Extracto de saturación. Al compararlo con el análisis del suelo previo al trasplante, la aplicación de AB y PAA-Q se asoció con disminución en la conductividad eléctrica (CE), con respecto al resto de los tratamientos. En cuanto al pH del extracto de saturación, ninguno de

Cuadro 1. Análisis de suelos antes del trasplante y después de la cosecha para cada tratamiento.

Análisis	Tratamiento								
	Antes del trasplante	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \text{H}_2\text{O}$ (1 mg L ⁻¹)				$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \text{H}_2\text{O}$ (2 mg L ⁻¹)			
		T1	AB	PAA-Q	SLP	T2	AB	PAA-Q	SLP
Salinidad y sodicidad en extracto de saturación [†]									
CE	2.1	1.7	1.2	1.0	1.7	1.3	1.2	1.4	2.0
pH	8.1	8.0	7.9	7.8	8.1	7.3	7.9	8.2	8.1
Ca ²⁺	9.1	6.8	4.7	3.7	7.7	4.3	5.4	5.0	9.1
Mg ²⁺	5.9	4.9	2.6	1.4	5.4	3.7	2.3	3.0	6.0
Na ⁺	4.3	3.6	2.3	1.9	2.9	3.9	2.4	3.5	3.7
K ⁺	2.1	2.0	2.5	2.8	1.3	1.8	2.3	2.6	1.9
HCO ₃ ⁻	2.3	1.5	1.9	1.8	3.5	1.7	1.7	2.2	3.6
SO ₄ ²⁻	7.2	6.9	2.8	2.8	3.7	4.8	4.6	4.8	7.0
Cl ⁻	11.9	8.6	8.2	5.9	9.7	6.8	5.9	7.6	9.5
Fertilidad (mg kg ⁻¹)									
S	9.3	5.5	6.3	6.3	6.1	5.4	5.4	6.6	5.5
P	3.7	5.0	5.2	4.0	4.2	6.1	4.9	5.0	6.3
Ca	2052.5	1812.5	1860.0	1768.8	1845.0	1872.5	1687.5	1668.7	1802.5
Zn	3.8	3.8	4.0	4.0	4.1	4.0	4.0	3.9	4.1
Cu	0.7	0.6	0.6	0.8	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6
Mn	4.0	4.8	5.0	5.4	4.8	4.7	5.1	4.2	4.3
Fe	2.8	5.2	6.3	6.1	5.9	5.2	5.3	5.6	5.3
Mg	192.5	185.0	188.7	186.2	187.5	185.0	187.5	183.7	190.0
K	191.5	202.5	210.0	203.5	206.0	204.5	205.0	210.5	207.5
N	48.6	33.4	35.8	31.8	42.2	23.9	39.8	27.9	40.6

[†] La concentración de iones en el extracto de saturación se expresa en mmol L⁻¹ (meq L⁻¹). Tratamientos: T1, testigo con 1 mg L⁻¹ de sulfato de hierro; T2, testigo con 2 mg L⁻¹ de sulfato de hierro; AB, ácido benzoico; PAA-Q, complejo de poliácido acrílico-quitosán; SLP, Sinerba Líquido Plus®.

los tratamientos mostró cambios sustanciales, a excepción de la solución con la concentración mayor de hierro.

En general, el aplicar las soluciones nutritivas Douglas se asoció con menor concentración de sales en el extracto de saturación. En los tratamientos con PAA-Q y AB se observó una disminución todavía más amplia en el calcio, magnesio, sodio, sulfatos y cloruros en el extracto de saturación; lo contrario se presentó para el potasio. Las concentraciones de estos elementos evaluados en el suelo se mantienen dentro de los intervalos de moderadamente bajo a medio (Castellanos *et al.*, 2000a).

Aunque no se encontró algún antecedente en la literatura, la disminución observada en la CE y en la concentración de sales tal vez se explica por la capacidad quelatante del AB y del PAA-Q, en combinación con el efecto de lavado del sustrato.

Fertilidad. Al terminar el experimento, el azufre remanente mostró una disminución considerable en todos los tratamientos; en el caso del calcio y el magnesio, la mayor caída en su concentración se asoció con la aplicación de PAA-Q. El SLP mantuvo la concentración de nitrógeno inorgánico más alta que los restantes tratamientos, manteniéndose en los niveles normales, según Tisdale *et al.* (1993).

Para el fósforo, el manganeso y el potasio, todos los tratamientos aumentaron la cantidad remanente de estos elementos, mientras que para el hierro, sólo la aplicación de AB y PAA-Q incrementó el hierro en el suelo, al terminar el experimento. Los valores de concentración de hierro (Cuadro 1) se encontraron en un término medio y moderadamente bajo, según Castellanos *et al.* (2000b). En cuanto al zinc y el cobre, no se observó algún cambio sustancial entre la concentración inicial y la final.

Variabes Morfológicas

El diámetro del tallo y el número de hojas de las plantas tratadas con PAA-Q en las dos soluciones nutritivas fueron superiores al resto de los tratamientos (Cuadro 2). Esto confirma lo obtenido por Hirano y Nagao (1989), quienes comprobaron que las plantas tratadas con quitosán presentaron mayor grosor de tallo. Por otra parte, Hadwiger (1992) desarrolló un método para tratar semillas de cereales con quitosán y comprobó que de las semillas tratadas se obtuvieron plantas con tallos más gruesos y fuertes. Asimismo, Freepons (1987), al aplicar una solución acuosa de quitosán con ácido

glutámico a semillas de cereales, obtuvo un efecto positivo en el crecimiento de la planta. Este efecto positivo del quitosán y sus derivados, aún no totalmente entendido, parece relacionarse con la habilidad de estos compuestos para promover la síntesis de especies activas de oxígeno capaces de activar los genes relacionados con la tolerancia al estrés y la adaptación al ambiente (Lee *et al.*, 1999).

Los valores promedio de biomasa fresca y seca, tanto aérea como de raíces, no mostraron diferencias estadísticamente significativas en ninguno de los tratamientos. Los resultados para la biomasa fresca aérea se encontraron en el intervalo de 123.6 g y 87.86 g, mientras que para el peso fresco de raíces, los valores se encontraron entre 5.24 g y 3.54 g. Para la biomasa seca aérea el intervalo fue de 22.04 g y 14.68 g. Para la biomasa seca de raíces los valores se encontraron entre 0.74 g y 0.43 g; los promedios más altos se observaron en donde se aplicó PAA-Q y el menor valor para el tratamiento comercial SLP. En trabajos realizados con complejos PAA-Q se encontró un efecto positivo de este compuesto sobre la biomasa al someterse las plantas a un déficit de agua o exceso de cloruro de sodio, mientras que en ausencia de estos estímulos negativos el PAA-Q ejerció un efecto negativo sobre la biomasa (Benavides-Mendoza *et al.*, 2004).

Aunque no se tiene una explicación aceptada del efecto o los efectos fisiológicos del quitosán y de los complejos PAA-Q sobre las plantas, es posible que al aplicarse al suelo funcionen como quelatos metálicos

Cuadro 2. Efecto de los tratamientos aplicados al suelo sobre el diámetro del tallo y el número de hojas de plantas de tomate cultivadas en suelo calcáreo.

Tratamiento		Diámetro del tallo	Número de hojas
		cm	
Fe ₂ (SO ₄) ₃ H ₂ O (1 mg L ⁻¹)	T1	0.77 b [†]	14.90 bc
	AB	0.75 b	15.22 bc
	PAA-Q	0.95 a	16.66 ab
	SLP	0.74 b	13.82 c
Fe ₂ (SO ₄) ₃ H ₂ O (2 mg L ⁻¹)	T2	0.78 b	15.24 bc
	AB	0.78 b	15.78 abc
	PAA-Q	0.93 a	17.54 a
	SLP	0.76 b	14.72 c

[†] Valores con la misma letra dentro de las columnas son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ($P = 0.05$). Tratamientos: T1, testigo con 1 mg L⁻¹ de sulfato de hierro; T2, testigo con 2 mg L⁻¹ de sulfato de hierro; AB, ácido benzoico; PAA-Q, complejo de poliácido acrílico-quitosán; SLP, Sinerba Líquido Plus®.

o formadores de complejos con iones esenciales que facilitan su disponibilidad (Kaplan *et al.*, 1989).

Rendimiento

El rendimiento obtenido con la aplicación de PAA-Q en las dos soluciones nutritivas, así como con la aplicación de AB en la dosis más alta de fertilización férrica, mostró ser estadísticamente diferente del resto de los tratamientos (Figura 2). Estos resultados confirman los de Hadwiger *et al.* (1984), quienes indujeron con quitosán un mayor rendimiento en cereales y tomate. En cuanto al AB, se sabe que, de manera natural, las plantas producen ácidos orgánicos que forman complejos con metales y aumentan la tolerancia al estrés (López-Bucio *et al.*, 2000). Los resultados indican la factibilidad de aplicar estos compuestos de manera exógena, como fue demostrado para el ácido cítrico (Benavides-Mendoza *et al.*, 2003), que al añadirlo en la solución nutritiva en concentración 10^{-4} M aumentó la calidad del fruto y el crecimiento de la planta de tomate.

Calidad de Frutos

Tanto para el diámetro polar, como para el ecuatorial del fruto, en los tratamientos con PAA-Q en las dos dosis de fertilización férrica, fueron superiores en relación con el resto de los demás tratamientos y estadísticamente diferentes (Cuadro 3). En cuanto a la determinación de la firmeza de fruto en la cosecha también se encontró un efecto positivo de los tratamientos con PAA-Q, contrastando con el análisis hecho para determinar la vida de anaquel, en el que los mismos tratamientos mostraron menor firmeza a los 3, 6, 9 y 12 DDC (Figura 3).

En la variable de sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix), el tratamiento con AB en la dosis de hierro menor fue superior con relación al resto de los tratamientos y estadísticamente diferente con un nivel de significancia de $P \leq 0.05$. Estos resultados se mantuvieron dentro de los intervalos establecidos para tomate, según Prado (2002), quien comenta que en la mayor parte de las variedades se sitúa entre 4.5 y 5.5 $^{\circ}$ Brix.

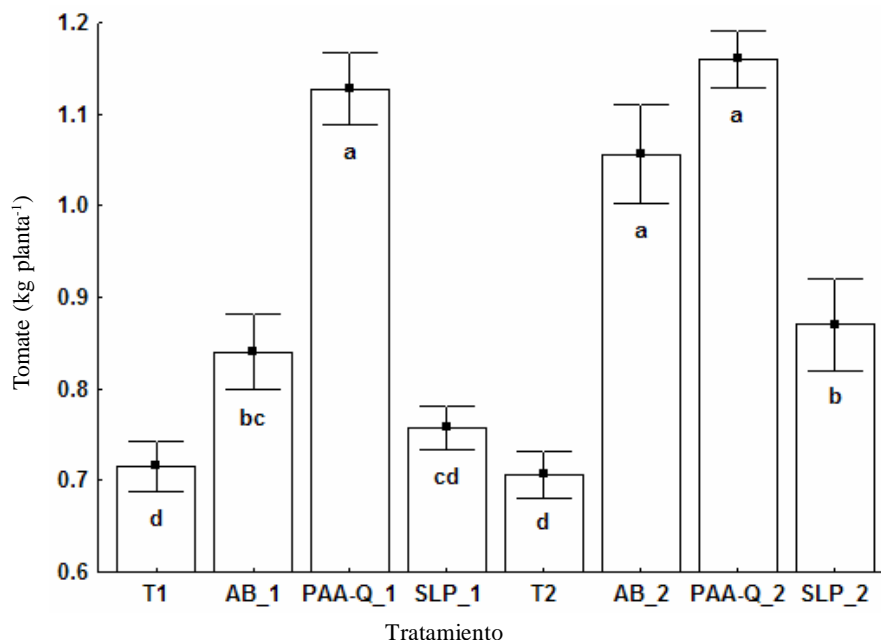


Figura 2. Rendimiento promedio de fruto por planta para los diferentes tratamientos aplicados al suelo. Los valores con la misma letra dentro de las barras son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ($P = 0.05$). Tratamientos: T1, testigo con 1 mg L^{-1} de sulfato de hierro; T2, testigo con 2 mg L^{-1} de sulfato de hierro; AB_1 ácido benzoico en solución T1; PAA-Q_1 complejo de poliácido acrílico-quitosán en solución T1; SLP_1 Sinerba Líquido Plus® en solución T1; AB_2 ácido benzoico en solución T2; PAA-Q_2 complejo de poliácido acrílico-quitosán en solución T2; SLP_2 Sinerba Líquido Plus® en solución T2.

Cuadro 3. Efecto de los tratamientos aplicados como mejoradores del suelo sobre la calidad de frutos de tomate en plantas en suelos calcáreos.

Tratamiento		Diámetro polar	Diámetro ecuatorial	Firmeza	Sólidos solubles
		----- cm -----		kg cm ⁻²	%
Fe ₂ (SO ₄) ₃ H ₂ O (1 mg L ⁻¹)	T1	4.25 bc [†]	5.2 bc	2.09 c	5.53 bc
	AB	4.12 c	4.44 e	2.15 bc	5.95 a
	PAA-Q	4.61 a	5.54 a	2.53 a	5.70 b
	SLP	4.18 bc	4.99 cd	2.29 b	5.48 c
Fe ₂ (SO ₄) ₃ H ₂ O (2 mg L ⁻¹)	T2	4.29 b	5.27 b	2.19 bc	5.24 d
	AB	4.3 b	5.05 bcd	2.3 b	5.56 bc
	PAA-Q	4.62 a	5.28 b	2.64 a	5.27 d
	SLP	4.23 bc	4.8 cd	2.25 bc	5.39 cd

[†]Valores con la misma letra dentro de las columnas son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ($P = 0.05$). Tratamientos: T1, testigo con 1 mg L⁻¹ de sulfato de hierro; T2, testigo con 2 mg L⁻¹ de sulfato de hierro; AB, ácido benzoico; PAA-Q, complejo de poliácido acrílico-quitósán; SLP, Sinerba Líquido Plus®.

Vida de Anaquel, Considerando la Firmeza de los Frutos

Según el ANVA, los tratamientos aplicados como mejoradores al suelo y los días después de la cosecha (DDC) mostraron un efecto estadísticamente significativo ($\alpha = 0.05$) sobre la firmeza del fruto. La prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) indicó que la aplicación de PAA-Q, con ambas concentraciones de hierro, resultó en la mayor firmeza del fruto a los tres y seis DDC.

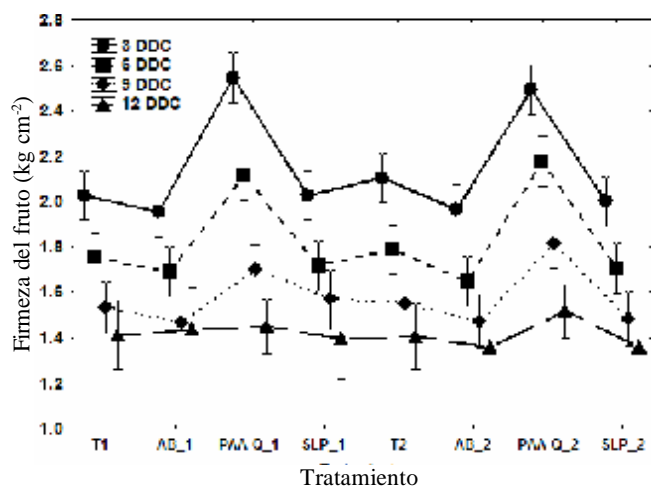


Figura 3. Valores promedio de vida de anaquel considerando la firmeza del fruto a los 3, 6, 9 y 12 días después de la cosecha (DDC). Las barras indican el intervalo de confianza para la media ($P = 0.95$). Tratamientos: T1, testigo con 1 mg L⁻¹ de sulfato de hierro; T2, testigo con 2 mg L⁻¹ de sulfato de hierro; AB_1 ácido benzoico en solución T1; PAA-Q_1 complejo de poliácido acrílico-quitósán en solución T1; SLP_1 Sinerba Líquido Plus® en solución T1; AB_2 ácido benzoico en solución T2; PAA-Q_2 complejo de poliácido acrílico-quitósán en solución T2; SLP_2 Sinerba Líquido Plus® en solución T2.

El resto de los tratamientos no mostró diferencias estadísticamente significativas en ninguno de los tiempos posteriores al corte. Estos resultados se aprecian en la Figura 3. Es evidente que a medida que el fruto avanza en su estado de madurez descende la firmeza del mismo y se sabe que las principales causas de ello son los cambios en la estructura y composición de las paredes celulares (Laguado *et al.*, 1999). Asimismo, Carvalho da Silva (2003) menciona que las causas que condicionan la firmeza del fruto, además de las características genéticas, son la nutrición, la disponibilidad de agua y el estado de maduración.

CONCLUSIONES

Se observó un efecto positivo tanto del complejo de poliácido acrílico-quitósán (PAA-Q) como del ácido benzoico sobre el crecimiento y la producción de fruto. En cuanto a la calidad del fruto, en términos de mantener la firmeza en el transcurso de varios días, los mejores resultados se obtuvieron con el PAA-Q.

LITERATURA CITADA

- Benavides-Mendoza, A. 2002. Ecofisiología y bioquímica del estrés de las plantas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.
- Benavides-Mendoza, A., C. García-Pacheco, L. O. Fuentes-Lara, A. F. Aguilera-Carbó, H. Ramírez, J. Hernández-Dávila y V. Robledo-Torres. 2003. Efecto del ácido cítrico aplicado en soluciones fertilizantes de diferente conductividad eléctrica en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Agrofaz* 3: 321-329.
- Benavides-Mendoza, A., H. Ortega Ortiz, A. Flores Olivas, H. Ramírez Rodríguez, L. Fuentes Lara, J. Hernández Dávila y V. Robledo Torres. 2004. Complejos de poliácido acrílico-

- quitosán como inductores de tolerancia al estrés en tomate, lechuga y cebolla. *Agrofaz* 4: 599-605.
- Ben-Shalom, N. and R. Pinto. 2003. Chitosan metal complexes and method for controlling microbial growth on plants using same. US Patent 6589942.
- Brown, J. C. and V. D. Jolley. 1989. Plant metabolic responses to iron-deficiency stress. *BioScience* 39: 546-551.
- Carvalho da Silva, J. B. 2003. Cultivo de tomate para industrialização. <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial/index.htm>. (Consulta: junio 15, 2005).
- Castellanos, J. Z., B. Hurtado, S. Villalobos, V. Badillo y P. Vargas. 2000a. La calidad del agua subterránea para uso agrícola en Guanajuato. *Campo Experimental Bajío*. INIFAP. SAGAR. Celaya, Guanajuato, México.
- Castellanos, J. Z., J. X. Uvalle Bueno y A. Aguilar-Santelises. 2000b. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. INCAPA. Celaya, Guanajuato, México.
- Douglas, J. S. 1976. *Advanced guide to hydroponics*. Drake Publishers. New York, NY, USA.
- Emery, T. 1982. Iron metabolism in humans and plants. *Am. Scientist* 70: 626-632.
- Freepons, D. E. 1987. Plant growth regulators derived from chitin. US Patent 4964894.
- Gildersleeve, R. R. and W. R. Ocampagh. 1989. Greenhouse evaluation of subterranean clover species for susceptibility to iron-deficiency chlorosis. *Crop Sci.* 29: 949-951.
- Hadwiger, L. A. 1992. Method for treating cereal crop seeds with chitosan to enhance yield root growth, and stem strength. US Patent 5104437.
- Hadwiger, L. A., B. Fristensky, and R. C. Riggleman. 1984. Chitosan, a natural regulator in plant-fungal pathogen interactions, increases crop yields. pp. 291-302. *In: J. P. Zikakis (ed.). Chitin, chitosan, and related enzymes*. Academic Press. Orlando, FL, USA.
- Hirano, S. and N. Nagao. 1989. Effects of chitosan, pectic acid, lysozyme, and chitinase on growth of several phytopathogens. *Agric. Biol. Chem.* 53: 3065-3066.
- Kabanov, V. A. and A. B. Zezin. 1984. Soluble interpolymeric complexes as a new class of synthetic polyelectrolytes. *Pure Appl. Chem.* 56: 343-354.
- Kabanov, V. A., A. B. Zezin, V. A. Kasaikin, A. A. Yaroslavov, and D. A. Topchiev. 1991. Polyelectrolytes for ecology. *Usp. Khim.* 60: 595-601.
- Kaplan L. D., J. Mayer, and S. Lambardi. 1989. Biodegradable polymers for material applications chitosan and pullulan. *Polym. Prep.* 30: 509.
- Kaur, H., Inderjit, and S. Kaushik. 2005. Cellular evidence of allelopathic interference of benzoic acid to mustard (*Brassica juncea* L.) seedling growth. *Plant Physiol. Biochem.* 43:77-81.
- Laguado, N., E. Pérez, C. Alvarado y M. Marín. 1999. Características físico-químicas y fisiológicas de frutos de guayaba de los tipos Criolla Roja y San Miguel procedentes de dos plantaciones comerciales. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 16: 382-397.
- Lee, S., H. Choi, S. Suh, I. Doo, K. Oh, E. J. Choi, A. T. Schroeder-Taylor, P. S. Low, and Y. Lee. 1999. Oligogalacturonic acid and chitosan reduce stomatal aperture by inducing the evolution of reactive oxygen species from guard cells of tomato and *Commelina communis*. *Plant Physiol.* 121: 147-152.
- Lopez-Bucio, J., M. F. Nieto-Jacobo, V. V. Ramírez-Rodríguez, and L. Herrera-Estrella. 2000. Organic acid metabolism in plants: from adaptative physiology to transgenic varieties for cultivation in extreme soils. *Plant Sci.* 160: 1-13.
- Ortega-Ortiz, H., A. Benavides-Mendoza, A. Flores-Olivas, and A. Ledezma-Pérez. 2003. Use of the interpolyelectrolyte complexes of poly(acrylic acid)-chitosan as inductors of tolerance against pathogenic fungi in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. Var. Floradade). *Macromol. Biosci.* 3: 566-570.
- Prado, J. L. 2002. Tipos y especificaciones de calidad en el cultivo del tomate. *Vida Rural IX(148)*: 9-14.
- Rathke, T. D. and S. M. Hudson. 1994. Review of chitin and chitosan as fiber and film formers. *Rev. Makromol. Chem. Phys.* 34C(3): 375.
- Saitó, H. and R. Tabeta. 1987. Resolution Solid-State ¹³C NMR Study of chitosan and its salts with acids: conformational characterization of polymorphs and helical structures as viewed from the conformation-dependent ¹³C chemical shifts. *Macromolecules* 20: 2424.
- Sawayanagi, Y., N. Nambu, and T. Nagai. 1982. Use of chitosan for sustained-release preparations of water-soluble drugs. *Chem. Pharm. Bull.* 30: 4213-4215.
- SEMARNAT. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2002. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación* 31 de diciembre del 2002. México, D. F.
- Tisdale, S. L., W. L. Nelson, J. D. Beaton, and J. H. Havlin. 1993. *Soil fertility and fertilizers*. MacMillan. New York, NY, USA.