

Influencia de la Temperatura sobre Procesos Fisiológicos en Postcosecha de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.)

Homero Ramírez*, Lucia Imelda Encina-Rodríguez, Adalberto Benavides-Mendoza, Valentín Robledo-Torres, José Hernández-Dávila y Saret Alonso-Corona

Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

*Autor responsable e-mail: homeror@terra.com.mx

Abstract. *Temperature influence on physiological processes on tomato postharvest (*Lycopersicon esculentum* Mill.).* With the goal of generating alternatives which may prolong the commercial attractiveness of tomato fruit, different temperatures were evaluated on the postharvest physiology of tomato fruits (*Lycopersicon esculentum* Mill) cv. Floradade during the spring-summer 2001 period. The harvested fruits were stored at room temperature (control), 7 and 9 °C. The evaluations were conducted starting from six days after being under these conditions. The studied variables were: weight, firmness, soluble solids, starch, ethylene, 1-aminocilopropane-1-carboxylic-acid (ACC), poligalacturonase (PG) and days on shelf. Fruits under 7 °C showed higher weight and firmness. Control samples presented higher content of °Brix, and lower concentration of starch. Ethylene, ACC and PG levels were less in similar levels in fruits at temperature of 7 and 9 °C. The shelf life of these fruits was substantially extended when compared with those from control. It is conclude that temperatures of 7 and 9 °C reduce ethylene, ACC, and PG. These conditions extended for several days the shelf life of tomato fruits cv. Floradade.

Key words: fruit quality, ethylene, ACC, PG.

Resumen. Con el objetivo de generar alternativas que favorezcan la extensión de vida en anaquel del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) cv. Floradade, se estudiaron los efectos de diferentes temperaturas en el contenido de etileno, PG y ACC, durante el ciclo productivo primavera-verano 2001. Los frutos cosechados se almacenaron a temperatura ambiente (testigo) y a 7 y 9 °C. Las evaluaciones se empezaron a realizar seis días después de estar en esas condiciones. Se estudiaron las variables: peso, firmeza, sólidos solubles, almidón, etileno, cantidad de ácido-1-aminocilopropano-1-carboxílico (ACC), poligalacturonasa (PG) y vida de anaquel. Los frutos que se sometieron a temperatura de 7 °C mostraron mayor peso y firmeza; a temperatura ambiente, los frutos presentaron mayor contenido de °Brix y menor de almidón. La producción de etileno, ACC y PG fue menor en los frutos tratados a temperatura de 7 y 9 °C; su vida de anaquel se prolongó substancialmente al compararlos con los que se conservaron a temperatura ambiente. Se concluyó que las temperaturas de 7 y 9 °C provocaron menor contenido de etileno, ACC y PG, lo cual prolongó por más días la vida de los frutos de tomate cv. Floradade.

Palabras clave: calidad de fruto, etileno, ACC, PG

Introducción

El cultivo de hortalizas representa en México alrededor del 3 al 3.5 % de la superficie agrícola; sin embargo, lo anterior impacta con el 18 % del valor total de la producción nacional y el 50 % del valor de las exportaciones. El país refleja un crecimiento importante en las exportaciones de hortalizas frescas como: tomate, chile bell, pepino,

calabacita, berenjena y chícharo. El estado de Sinaloa es el principal exportador de diversos cultivos vegetales (Ramírez y Benavides, 2003). De la gran diversidad de hortalizas que se explotan, el tomate es la segunda especie hortícola más importante por la superficie sembrada, que es de aproximadamente 78 mil ha, con un volumen de producción que supera los 70 millones de toneladas, por lo

que se considera el producto hortícola de mayor importancia económica (Gutiérrez, 2001).

Por ser un fruto climatérico, el tomate es muy sensible al manejo y condiciones de almacenamiento inapropiados. Las temperaturas adversas contribuyen a una mala calidad del producto y con un rápido deterioro en su fisiología postcosecha (Alía, 2000). Lo anterior justifica el estudio de los procesos físicos, fisiológicos y bioquímicos que caracterizan su proceso de maduración y su relación con la exposición a diversas temperaturas. La maduración del tomate durante el desarrollo de la planta es un proceso muy complejo. Normalmente hay un incremento dramático en la producción de etileno, evento que desencadena una serie de reacciones bioquímicas, lo que origina diferentes características fenotípicas (Zambrano *et al.*, 1995). El objetivo del presente trabajo fue evaluar los efectos de temperatura en frutos de tomate del cv. Floradade respecto al contenido de etileno, PG y ACC, con el propósito de generar alternativas que permitan prolongar su atractivo comercial o vida de anaquel.

Materiales y Métodos

El presente estudio se realizó en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro de Saltillo, Coahuila, México. En la primavera de 2001 se germinaron, a temperatura ambiente, semillas de tomate cv. Floradade; y las plántulas obtenidas se transplantaron a un invernadero de alta tecnología, en bolsas de plástico con sustrato de peat moss y arena (1:1). El cultivo se manejó de acuerdo al paquete tecnológico que se utiliza en el Departamento de Horticultura (Benavides, 2002). El material experimental consistió en frutos que fueron cosechados entre el 9 de agosto y el 4 de septiembre. En total se evaluaron cinco cortes. Los frutos seleccionados, al momento del corte mostraron, aproximadamente, un 40% de pigmentación de antocianinas.

Los frutos de cada corte se trasladaron al laboratorio del Departamento de Horticultura y se organizaron en tres grupos con seis repeticiones cada uno, que luego se conservaron de acuerdo a los siguientes tratamientos de temperatura: ambiente de 27 °C (testigo), de 7 y de 9 °C. La humedad relativa en el testigo y en el resto de los tratamientos no se modificó. A partir del tercer día bajo esas condiciones, se evaluó su fisiología poscosecha. Se utilizó un diseño estadístico de covarianza completamente al azar; se incluyó una variable concomitante, que fue los días a evaluación (3,6,9,12); y la variable de respuesta, que representó los parámetros evaluados, los cuales fueron: peso, firmeza, sólidos solubles, porcentaje de almidón, etileno, ácido-1-aminociclopropano-1-carboxílico, poligalacturonasa y días de anaquel.

El peso, la firmeza y los sólidos solubles se determinaron utilizando la técnica reportada por Trevor y Cantwell (2000). El contenido de almidón se midió con la metodología de AOAC (1980), la cual se caracteriza por liofilizar el fruto congelado, para luego extraer, purificar y acondicionar el compuesto referido. La producción de etileno se evaluó utilizando el método estático de espacio vacío descrito por Alía (2000). Se colocó el fruto en un recipiente con volumen conocido por una hora y, posteriormente, con una jeringa hipodérmica se tomó 1 ml del espacio vacío, el cual se inyectó y midió en una cromatografía de gases Hewlett Packard 5890 Serie II.

El ácido-1-aminociclopropano-1-carboxílico se determinó en base a su ACC sintasa. El proceso de laboratorio que se utilizó fue el reportado por Mathooko y Suttle (1993). Las muestras del fruto fueron homogenizadas en dos volúmenes de 2 ml, en una solución buffer con 0.5 M fosfato-K, 5 mM fosfato de piridoxal (PLP), 5 mM ditioneitol (DTT) y pH 8.5 con 5% de polivinilpirrolidona. Las muestras se centrifugaron y filtraron a través de un filtro de membrana (DISMIC-25cs, Toyo Roshi, Tokio). El filtrado se desalinizó al pasar la muestra a través de una columna sephadex G-25, la cual fue previamente estabilizada con una solución buffer (0.1 mM fosfato-K, 5 mM PLP, 5 mM DTT, pH 8.5). La actividad de la ACC sintasa se midió en una reacción de 2 ml de extracto y 1 ml de 500 mM SAM, y el ACC formado se determinó por el método de Lizada y Yang (1979).

La actividad de la enzima PG se midió con la técnica de Tucker *et al.* (1980). En este análisis se destaca la electroforesis del gel poliácridamida obtenida en las muestras de tomate. Se tomaron alícuotas de 2 ml del dializado correspondiente y se ajustaron a una concentración final del 10 % con ácido tricloroacético, que al someterlas a 0 °C originaron la precipitación de la proteína correspondiente. El precipitado se obtuvo por centrifugación y, posteriormente, se disolvió con 2 ml de una solución de 50 mM, compuesta por 2-amino-2-(hidroximetil)-1,3-propanadiol (Tris)-HCL, con un pH de 8.5 % de sulfato de sodio, 15 % de sacarosa y 5 % de mercaptoetanol. Enseguida, la muestra se fijó y tiñó con 0.5 ml de una solución de 40 % de metanol, 7 % de ácido acético y azul comasico al 1 %; posteriormente se destiñó con una solución de 30 % metanol, 7 % ácido acético, e inmediatamente se fotografió. El peso molecular de la poligalacturonasa se estableció y definió al comparar previamente el peso molecular conocido (46,000) con la movilidad que tuvo la proteína estándar (Tucker *et al.*, 1980 y Tucker y Grierson, 1982). La vida del fruto en anaquel se evaluó con base a los días que mantuvo su atractivo comercial para el consumidor: color, aroma y consistencia.

Resultados y Discusión

Las temperaturas que se utilizaron en los frutos de tomate no mostraron un efecto significativo en su peso final, durante dos fechas evaluadas (Cuadro 1); sin embargo, es importante destacar que los frutos sometidos a temperatura de 7 y 9 °C reflejan una tendencia de mayor peso. La Figura 1 muestra la influencia de la temperatura en la firmeza de los frutos evaluados. La temperatura de 7 °C permitió que las muestras bajo esa condición presentaran, en la mayoría de las fechas evaluadas, una firmeza superior al resto de los tratamientos, con significancia en las fechas 9 de agosto y 4 de septiembre.

presencia de almidón en los frutos evaluados también fue evidente. Los frutos conservados a temperatura de 7 °C mostraron, en las primeras fechas, un porcentaje mayor al compararse con el resto de los tratamientos, aunque fue significativo solamente en la fecha del 20 de agosto. Una tendencia similar se observó a 9 °C, aunque sin presentar una significancia estadística (Figura 3).

La maduración del fruto de tomate es el resultado de una serie de cambios físico-químicos que se han ilustrado ampliamente en años recientes (Gómez, 1999). Las condiciones de temperatura contribuyen a modificar la fisiología poscosecha del tomate. Las bajas temperaturas, de alguna manera retrasan el proceso del deterioro del

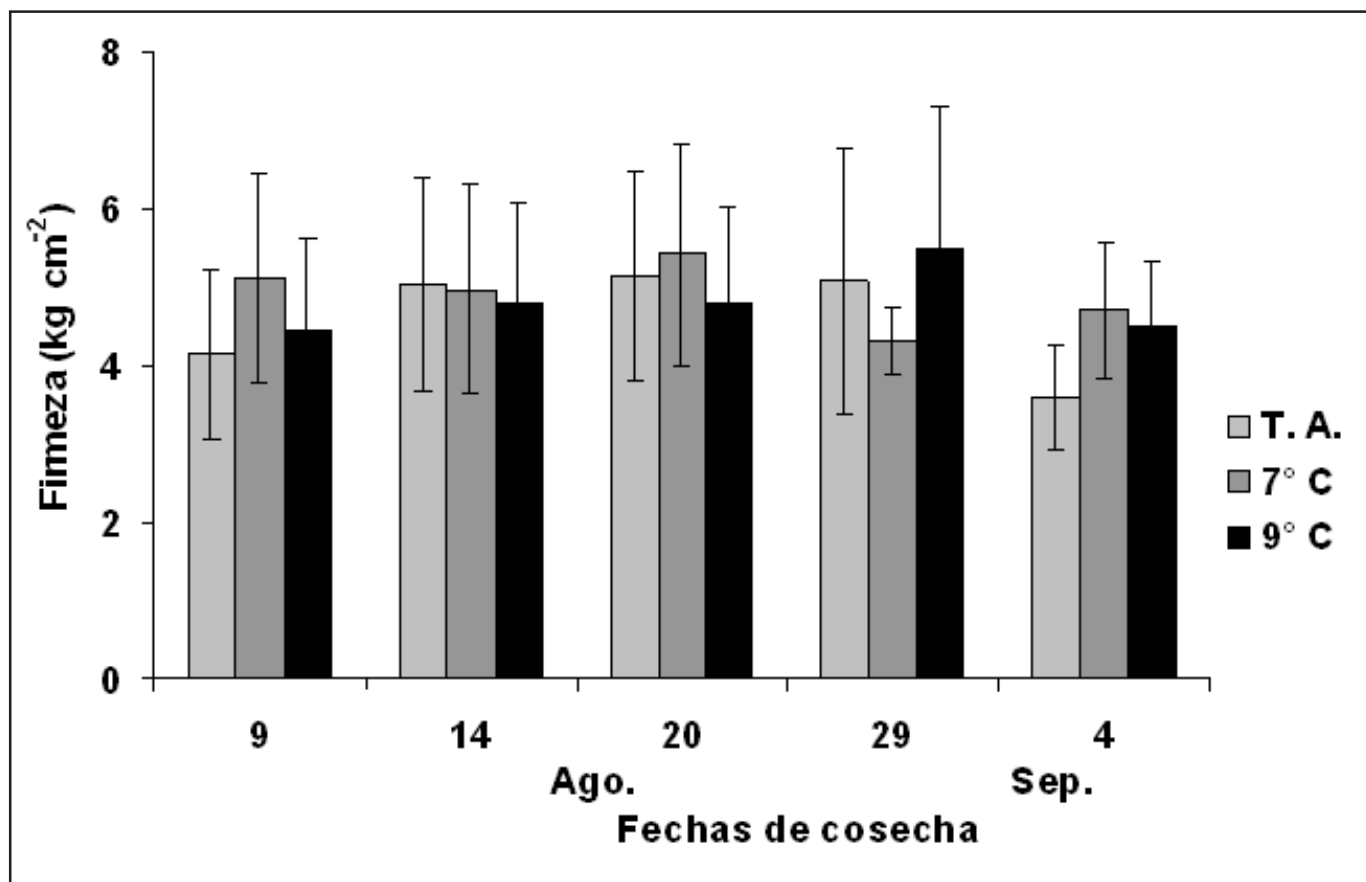


Figura 1. Nivel de firmeza en frutos de tomate cv. Floradade al sexto día, bajo diferentes temperaturas. Cada punto representa el promedio de seis repeticiones ± error estándar. * Con prueba de DMS a una P£0.05.

La temperatura de 9 °C también indujo firmeza significativa, superior al testigo, en la fecha del 4 de septiembre. El contenido de sólidos solubles (°Brix) de los frutos del testigo mostró una tendencia superior, comparado con aquéllos que estuvieron bajo condiciones de 7 y 9 °C. Este efecto se observó en la mayoría de las fechas evaluadas, aunque la diferencia fue significativa solamente en la fecha del 9 de agosto (Figura 2). La

fruto (Trevor y Cantwell, 2000). En este trabajo se observó una tendencia a que el fruto tenga mayor peso a las temperaturas de 7 y 9 °C, en comparación con la temperatura ambiente, en la cual presenta una sustancial reducción de agua en el tejido, como reporta Díaz *et al.* 2000.

Alía (2000), menciona que la conservación del peso del fruto puede estar directamente ligada a una mayor

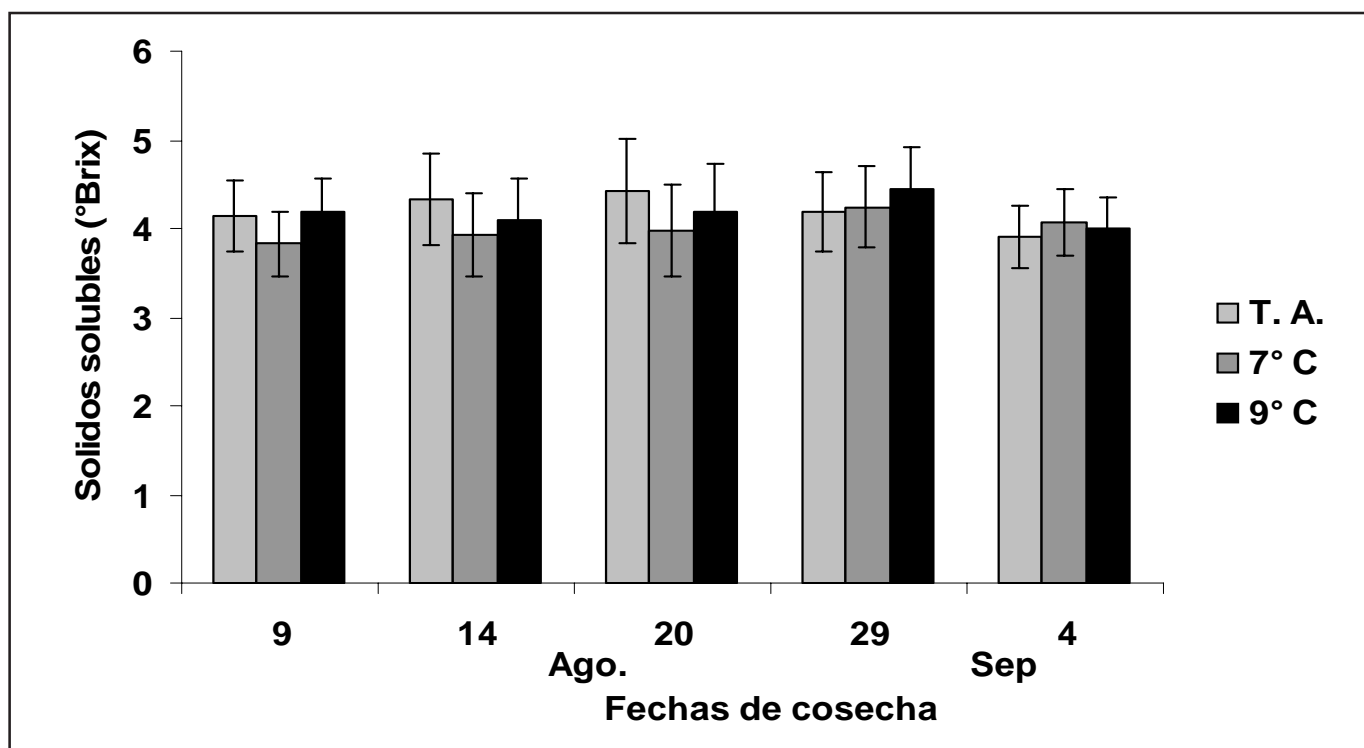


Figura 2. Contenido de sólidos solubles en frutos de tomate cv. Floradade al día 6, a diferentes temperaturas. Cada punto representa el promedio de 6 repeticiones \pm error estándar. * Con prueba de DMS a una $P \leq 0.05$.

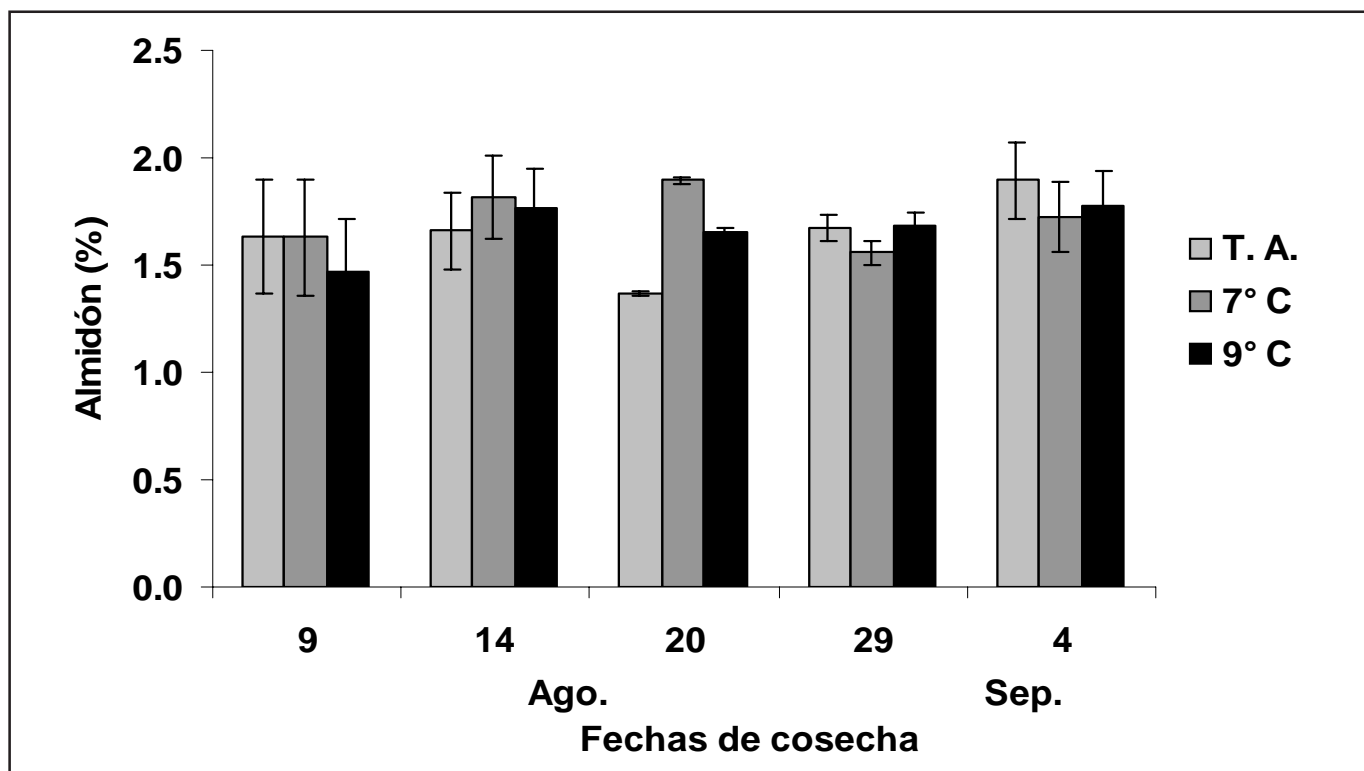


Figura 3. Contenido de almidón en frutos de tomate cv. Floradade al sexto día, bajo diferentes temperaturas. Cada punto representa el promedio de seis repeticiones \pm error estándar. * Con prueba de DMS a una $P \leq 0.05$.

firmeza, a un menor contenido de sólidos solubles y a un mayor contenido de almidón. Los resultados observados en esos parámetros en la presente investigación, corroboran lo descrito anteriormente.

La producción de etileno en los frutos evaluados en este trabajo se ilustra en la Figura 4. El contenido de esta hormona endógena fue superior en el tratamiento testigo durante todo el periodo de evaluación; esta diferencia mostró significancia el 9 y 20 de agosto, y el 4 de septiembre, al compararla con las temperaturas de 7 y 9 °C. La concentración de ácido-1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC), al compararse con el resto de los tratamientos, también fue mayor en los frutos del testigo durante todo el periodo evaluado. Esta diferencia mostró significancia el 9 y 20 de agosto (Figura 5). La presencia de poligalacturonasa (PG) reflejó una concentración también mayor en los frutos conservados a temperatura ambiente, que fue estadísticamente diferente de aquéllos sometidos a 7 y 9 °C, en las fechas del 9 de agosto y 4 de septiembre (Figura 6). El metabolismo de maduración en el fruto de tomate es un proceso climatérico que involucra, con un rol principal, al etileno (Yang y Hoffman, 1984).

En el presente trabajo se observó que el etileno aumentó en los frutos testigo (Figura 4). Estos resultados son

ampliamente apoyados por los reportes de Gómez (1999), quien demostró incrementos sustanciales en los niveles de etileno en tomates cuando, después de cosecharlos, se dejaron a temperatura ambiente por varios días. Lo anterior no se presentó en las muestras de tomate conservadas a 7 y 9 °C (Figura 4). La producción de etileno es consistentemente menor cuando un fruto climatérico se almacena a temperaturas similares a las aplicadas en el presente estudio (Alía, 2000).

La evolución de etileno en el tejido de tomate se ha reportado como una reacción resultante de la acción previa de ACC. La figura 5 ilustra que este producto, en efecto, aparece en el testigo en niveles superiores. Esta reacción está directamente ligada a la producción de etileno (Figura 4), como sugieren Grierson y Tucker (1986), quienes demostraron que bajo condiciones ambientales de temperatura, los frutos de tomate aumentan sus niveles de ACC, e inmediatamente después se detecta la producción de etileno. Este proceso se reduce si la temperatura ambiente se sustituye por una temperatura de 7 °C. Este efecto se observó en el presente trabajo (Figuras 4 y 5). Resultados similares se reportaron en tomate cv. Floradade por Salveit y Morris (1990), quienes observaron una relación directa entre la baja producción

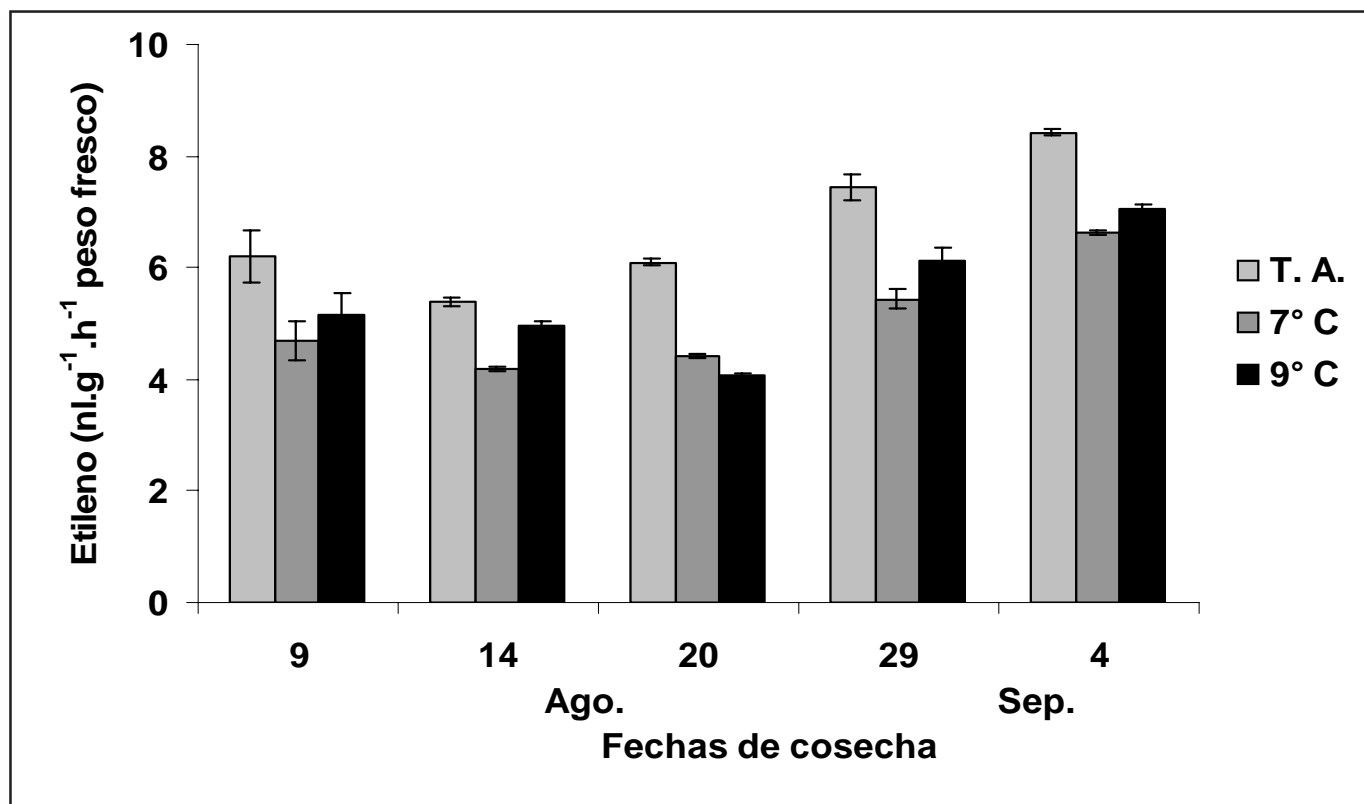


Figura 4. Producción de etileno en frutos de tomate cv. Floradade al sexto día, bajo diferentes temperaturas. Cada punto representa el promedio de seis repeticiones ± error estándar. * Con prueba de DMS a una $P \leq 0.05$

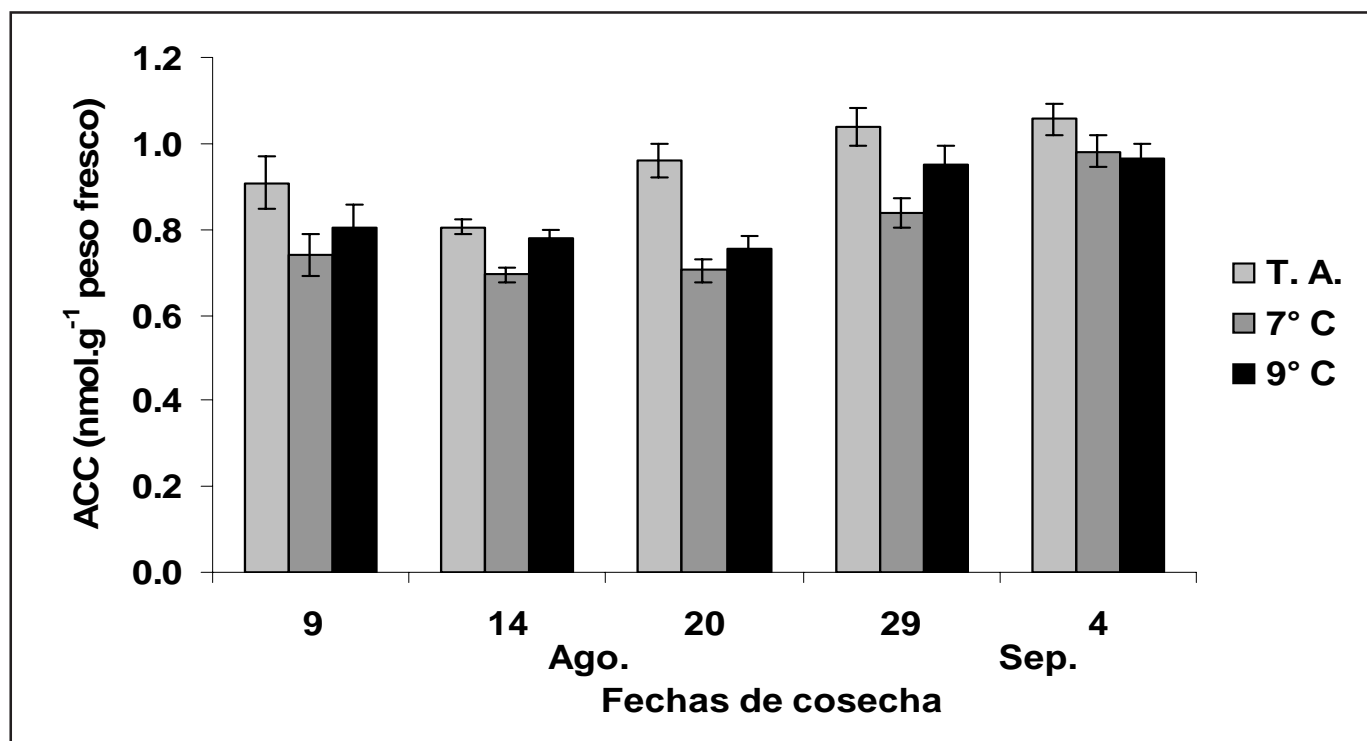


Figura 5. Producción de ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) en frutos de tomate cv. Floradade al sexto día, bajo diferentes temperaturas. Cada punto representa el promedio de seis repeticiones \pm error estándar. * Con prueba de DMS a una $P \leq 0.05$.

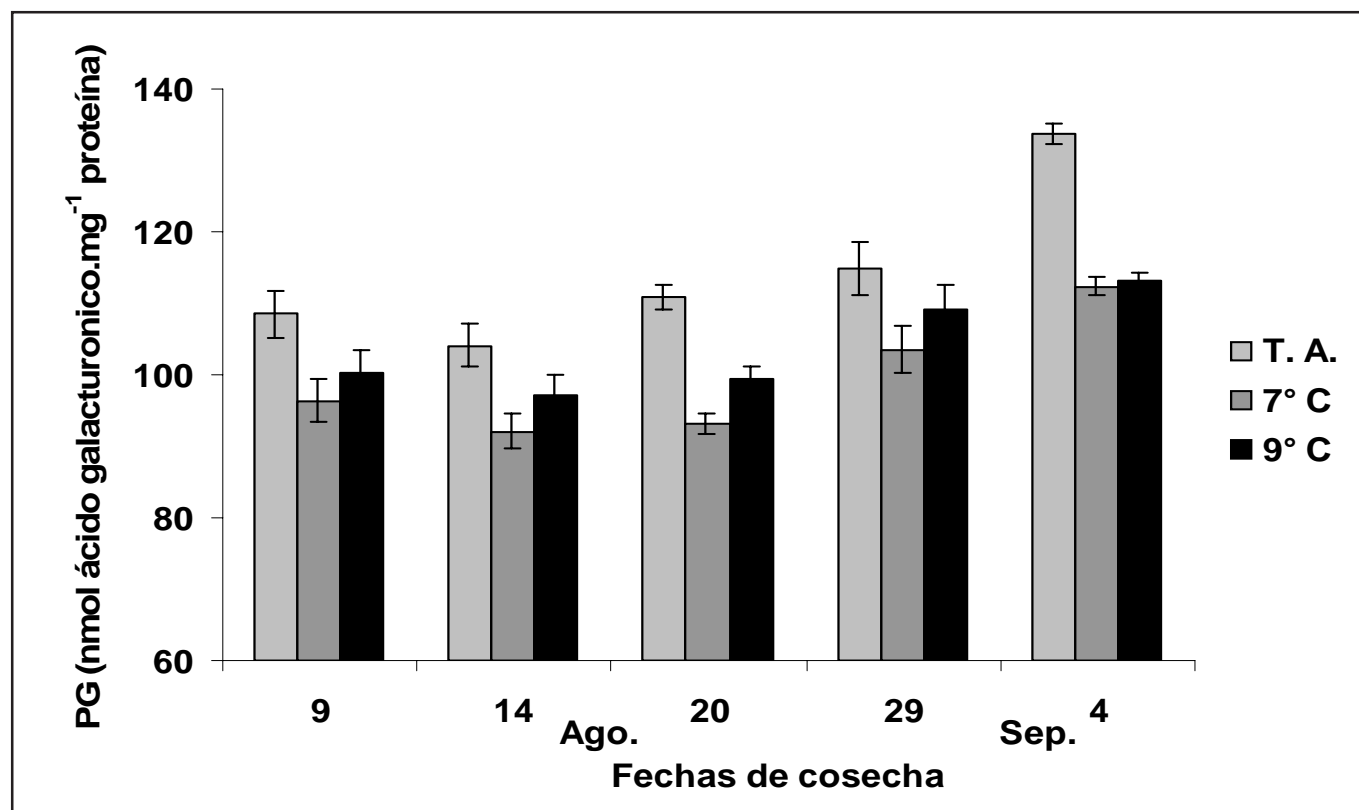


Figura 6. Contenido de la enzima poligalacturonasa en frutos de tomate cv. Floradade al sexto día, bajo diferentes temperaturas. Cada punto representa el promedio de seis repeticiones \pm error estándar. * Con prueba de DMS a una $P \leq 0.05$.

de etileno y un cambio mínimo en la producción de ACC.

La síntesis y el rol de la PG, durante la maduración de tomate, también se influyen por los efectos de temperatura (Tucker *et al.*, 1980; Tucker y Grierson, 1982). Es común encontrar que temperaturas ambiente de 18-27 °C originaran un incremento de PG y un aumento posterior de etileno como factores importantes en la maduración de tomate (Zambrano *et al.*, 1995). Las Figuras 4 y 6 ilustran claramente lo anterior. Sin embargo, este resultado no ocurrió cuando los frutos de tomate se conservaron a temperatura de 7 y 9° C. Vioque y Castellanos (1999) también observaron estos efectos en tomate bajo temperatura de 8° C.

Lo anterior permite observar que, como resultado de menos síntesis de ACC (Figura 5) y PG (Figura 6), las temperaturas de 7 y 9° C provocaron menor producción de etileno en los frutos de tomate *cv.* Floradade (Figura 4). Esta condición bioquímica se ve reflejada en los frutos de mayor peso (Cuadro 1), mayor firmeza (Figura 1), menor contenido de sólidos solubles (Figura 2) y almidón (Figura 3) Vendrell y Palomar (1997). Cuando esto ocurre, los frutos alargan su vida de anaquel, como se puede observar en el cuadro 2, en el cual se muestra que los frutos de tomate bajo 7 y 9° C duplican su tiempo en anaquel al compararlos con el testigo. Lo anterior está relacionado con los indicadores de anaquel reportados por Trevor y Cantwell (2000).

Conclusiones

Con base en a los resultados obtenidos y bajo las condiciones utilizadas, se concluye que los frutos de tomate *cv.* Floradade conservados a temperatura de 7 y 9° C reducen sus niveles de etileno, PG y ACC, y obtienen una mayor firmeza y menor contenido de sólidos solubles. Estas condiciones son ideales para prolongar la vida en anaquel.

Literatura Citada

- Alía, T.I. 2000. Temperaturas de almacenamiento y maduración en frutos de mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. More & Stearn). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 6:73- 77.
- AOAC. 1980. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C. E.U.A pp. 145,153,944.
- Benavides, A. 2002 Ecofisiología y bioquímica del estrés en plantas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro .pp. 16-17.
- Díaz, P.J.C., S. Bautista, y R. Villanueva, 2000. Quality changes in sapote mamey fruit during ripening and storage. *Postharvest Biology and Technology* 18: 67-73
- Gómez, M.A. 1999. Physiology and molecular biology of fruit ripening. In "Plant Biotechnology for food production". Technomic Publishing Co. London 303-342 pp.
- Grierson, D. y G.A. Tucker 1986. Timing of ethylene and polygalacturonase synthesis in relation to the control of tomato fruit ripening. *Planta* 157: 174-179.
- Gutierrez, C.M. 2001. Efecto del ácido salicílico en frutos de tomate con tratamientos precosecha con K/Ca para alargar su vida postcosecha. Congreso: IX SOMECH, XXLVII HIST, VII AMEHOAC. Morelos, México p.14.
- Lizada, M.C. y S.F. Yang, 1979. A simple and sensitive assay for 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid. *Anal Biochem* 100:140-145.
- Mathooko, A.K. y J.C. Suttle, 1993. Regulation by carbon dioxide of wound-induced ethylene biosynthesis in tomato pericarp and winter squash mesocarp tissues. *Postharvest Biology Technology* 3:27-38.
- Ramírez, H y A. Benavides, 2003. Horticultural science and industry in Mexico an overview. *Chronica Horticulturae* 43 (3): 20-25
- Salveit, M.E. y L.L. Morris, 1990. Overview on chilling injury of horticultural crops. In *Chilling Injury of Horticultural crops* Wang, C. Y. ed. CRC Press, Inc. Boca Raton Florida, U. S. A. pp. 3-15 p.
- Tucker, G.A. y D. Grierson, 1982. Purification and changes in activities of tomato pectinesterase isoenzymes. *Food Agric.* 33: 396-400.
- Tucker, G.A., N.G Robertson y D. Grierson, 1980. Changes in poligalacturonase isoenzymes during the ripening of normal and mutant tomato fruit. *Biochem.* 112: 119-124.
- Trevor, V.S. y M. Cantwel, 2000. Indicadores básicos del manejo postcosecha de tomate. Department of Vegetable Crops, University of California, Davis, California 1-5 pp.
- Vendrell, M.; X. Palomar. 1997. Hormonal control of fruit ripening in climateric fruits. *Acta Horticulturae* 463: 325-330.
- Vioque, B. y J.M. Castellanos, 1999. Actividad ACC oxidasa de frutos de tomate transformados genéticamente para sobreproducir auxinas. XIII Reunión Nacional de la Sociedad Española de Fisiología Vegetal. pp23
- Yang, S.F. y N.E.Hoffman, 1984. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. *Plan Physiology* 35: 155-189.
- Zambrano, J., J. Moyeja, L. Pacheco 1995. Efecto del estado de madurez en la composición y calidad de frutos de tomate. *Agronomía Tropical* 46: 61-72.