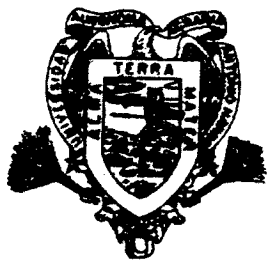


EFFECTOS DE TEMPERATURA SOBRE PROCESOS
FISIOLOGICOS EN POSTCOSECHA DE TOMATE
(*Lycopersicon esculentum* Mill.)

LUCIA IMELDA ENGINA RODRIGUEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
EN HORTICULTURA



Universidad Autónoma Agraria
"Antonio Narro"

PROGRAMA DE GRADUADOS
Buenavista, Saltillo, Coah.
OCTUBRE DE 2002



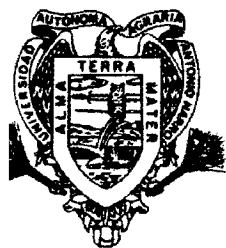
R. I. D. ...

EFFECTOS DE TEMPERATURA SOBRE PROCESOS FISIOLÓGICOS EN POSTCOSECHA DE TOMATE
(Lycopersicon esculentum Mill.)

LUCÍA IMELDA ENCINA RODRÍGUEZ

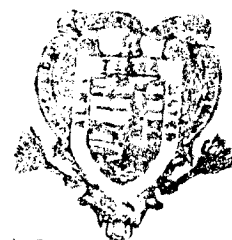
TESIS
Presentada como requisito parcial para
obtener el grado de
Maestro en Ciencias, en
Horticultura

Universidad Autónoma Agraria
Antonio Narro



PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila.
Octubre de 2002



13765

BIBLIOTECA
EGIDIO G. REBÓN
BANCO DE

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

**EFFECTOS DE TEMPERATURA SOBRE PROCESOS
FISIOLÓGICOS EN POSTCOSECHA DE TOMATE
(*Lycopersicon esculentum* Mill.)**

TESIS POR


LUCÍA IMELDA ENCINA RODRÍGUEZ

Elaborada bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y
aprobada como requisito parcial, para optar al grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN HORTICULTURA**

COMITÉ PARTICULAR

Asesor Principal



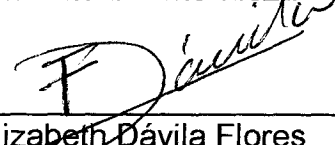
Dr. Homero Ramirez Rodriguez

Asesor

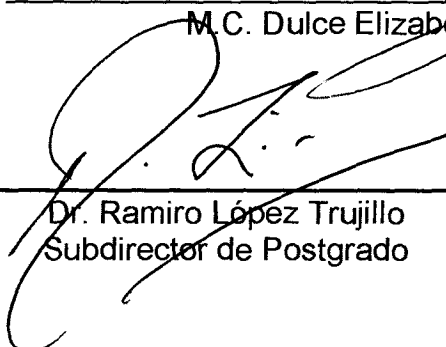


Dr. Adalberto Benavides Mendoza

Asesor



M.C. Dulce Elizabeth Dávila Flores



Dr. Ramiro López Trujillo
Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila. Octubre de 2002

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Por darme la dicha de estar viva y poder disfrutar de todas estas oportunidades que se me brindan para salir adelante, y porque sé que en todo momento especial en mi vida, nunca estoy sola, siempre has estado conmigo.

A mis Padres

Por darme la oportunidad de continuar preparándome profesionalmente, y porque sé que ellos no se miden en sacrificios por mi y mis hermanas. Por lo que su amor merece una justa compensación de parte mía.

A mi Alma Terra Mater

Por abrirme una vez más sus puertas para continuar preparándome profesionalmente, y por el apoyo económico que me brindó durante mi estancia durante el postgrado en la Universidad.

A mis Hermanas y mis cuñados

Lupita, Lorena, Mary, Claudia, Rosy y Heidi. Por que son parte importante e mi vida y por esa comprensión que me tuvieron para que yo pudiera terminar otra de mis meta, obtener el grado y seguir preparándome cada día.

A mis amigos

Rosalba, Lupita, Susy, Xochitl, Gaby, Mildred, Cruz, Estelita, Lulú, Velia, Erasmo, Elios, Luis, Gustavo, Damián, Josué, Alberto, Guillermo, Arturo, y a todas y cada uno de las personas que formaron parte especial en la realización de este trabajo, por lo que ya forman parte de mi vida.

A T.Q.F. Dora Elia Guevara

Con afecto, por el apoyo técnico brindado para la realización del presente trabajo, pero sobre todo, por la amistad brindada durante todo este tiempo.

DEDICATORIA

A Mis Padres

Luciana y Manuel

Por ser las personas que más amo y porque son el principal motivo de que yo siga adelante, y por que sé, que pase lo que pase, siempre voy a contar con ustedes, ya que sin su apoyo no estaría donde estoy.

Al Dr. Homero Ramírez Rodríguez

De forma muy especial, por darme la oportunidad de trabajar a su lado, por su gran profesionalismo y por todo el tiempo brindado, no solo para la realización de esta investigación, sino durante todo el postgrado. Pero sobre todo, por todos esos consejos transmitidos que voy a llevarme por siempre.

Al Dr. Adalberto Benavides Mendoza

Por todo el apoyo brindado desde el inicio de esta investigación y por todos esos conocimientos que transmite siempre con gran entusiasmo.

A la M.C. Dulce Elizabeth Dávila Flores

Por todos sus conocimientos y consejos transmitidos, y por aceptar una vez más formar parte de mi vida profesional.

Al M.C. Jaime Moisés Rodríguez del Ángel

Por el gran apoyo estadístico brindado en la realización de este trabajo.

Al Lic. Victor Manuel López González

Por haber contribuido en la edición de este trabajo, con gran profesionalismo.

A mi equipo inseparable

Julio, Carlos, Humberto y Jorge, porque fuimos los pioneros del mejor equipo de trabajo del Programa de Horticultura, que aunque de una u otra forma han acontecido circunstancias por las que ahora ya no podemos estar juntos, nunca se van a olvidar todas esas experiencias que vivimos juntos.

COMPENDIO

EFFECTOS DE TEMPERATURA SOBRE PROCESOS FISIOLÓGICOS EN POSTCOSECHA DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.)

POR:

LUCÍA IMELDA ENCINA RODRÍGUEZ

MAESTRIA

HORTICULTURA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO

Buenavista, Saltillo, Coahuila. Octubre 2002

Dr. Homero Ramírez Rodríguez. – Asesor

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

Con el propósito de generar alternativas que favorezcan a prolongar el atractivo comercial 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 p-v 2001. Los frutos cosechados se almacenaron a temperatura ambiente (testigo), y en baja temperatura 7 y 9°C. Las evaluaciones se realizaron a partir de seis días después de estar a esas condiciones. Las variables estudiadas fueron: peso, firmeza, sólidos solubles, almidón, etileno, cantidad de ácido-1-aminocilopropano-1-carboxílico (ACC), y poligalacturonasa (PG) y vida de anaquel. Los frutos sometidos a temperatura de 7°C mostraron mayor peso y firmeza. A temperatura ambiente, los frutos presentaron mayor contenido de °Brix, y menor contenido de almidón. La producción de etileno, ACC y PG fue menor en los frutos tratados a temperatura de 7 y 9°C. La vida de anaquel de los frutos se prolongó sustancialmente al compararlos con los que se conservaron a temperatura ambiente. Se concluye 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.

ABSTRACT

**EFFECTS OF TEMPERATURE ON SOME PHYSIOLOGICAL PROCESSES ON
POSTHARVEST OF TOMATO (*Lycopersicon esculentum* Mill.)**

POR:

LUCÍA IMELDA ENCINA RODRÍGUEZ

MAESTRIA

HORTICULTURA

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

Buenavista, Saltillo, Coahuila. October 2002

Dr. Homero Ramírez Rodríguez. – Adviser

KEY WORDS: Fruit quality, ethylene, ACC, PG.

With the purpose to generate 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 concluded that temperatures of 7 and 9°C reduce ethylene, ACC, and PG. These conditions prolong by several days the shelf life of tomato fruits cv. Floradade.

INDICE DE CONTENIDO

	PÁGINA
INDICE DE CUADROS	x
INDICE DE FIGURAS	xi
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo	3
Hipótesis	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Importancia de la fisiología postcosecha	4
Agrupación de productos cosechados en base a su morfología	4
Taxonomía, morfología y fisiología del tomate.....	6
Descripción del fruto de tomate	6
Estructura del fruto de tomate	6
Composición del fruto de tomate	7
Cambios en la composición del fruto.....	8
Cambios fisiológicos y bioquímicos	11
Respiración	11
Producción de etileno	13
Producción de ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico.....	15
Actividad de la poligalacturonasa	15
Manejo postcosecha	17
Temperatura	17
Normas de calidad de tomate en México	19
Color y defectos	19
Peso	21
Diámetro	21
Firmeza	22
Almidón	22
Azúcares.....	23
ARTICULO	25
CONCLUSIONES	42
LITERATURA CITADA	43

INDICE DE CUADROS

No.		PÁGINA
1.	Peso de frutos de tomate cv. Floradade 6 días después de conservarse a diferentes temperaturas seis días después de cosecharse.....	38
2.	Días en anaquel de frutos de tomate cv. Floradade sometidos a diferentes temperaturas, seis días después de cosecharse	38

INDICE DE FIGURAS

No.		PÁGINA
1.	Nivel de firmeza en frutos de tomate cv. Floradade al sexto día, bajo diferentes temperaturas	39
2.	Contenido de sólidos solubles en frutos de tomate cv. Floradade al sexto día, bajo diferentes temperaturas	39
3.	Contenido de almidón en frutos de tomate cv. Floradade al sexto día, bajo diferentes temperaturas.....	40
4.	Producción de etileno en frutos de tomate cv. Floradade al sexto día, bajo diferentes temperaturas.....	40
5.	Producción de ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) en frutos de tomate cv. Floradade al sexto día, bajo diferentes temperaturas	41
6.	Contenido de la enzima poligalacturonasa en frutos de tomate cv. Floradade al sexto día, bajo diferentes temperaturas	41

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), miembro de la familia de las solanáceae, es una planta perenne, que se cultiva como anual. En la actualidad es la hortaliza más cultivada en el mundo. Dependiendo de las condiciones climáticas, el tomate se cultiva en muy diversos ciclos, según las fechas deseadas de producción, cultivares empleados, y destino del fruto (mercado en fresco o industrial) (Chamorro, 1995).

En México, el tomate ocupa un lugar preponderante con relación al desarrollo económico y social de la agricultura en el ámbito mundial; está considerada como la segunda especie hortícola más importante por la superficie sembrada que ocupa, aproximadamente 78 mil ha de riego con un volumen de producción que supera ampliamente los 70 millones de toneladas, por lo que es el producto hortícola de mayor importancia económica (Gutiérrez, 2001).

Las frutas y verduras frescas, así como las plantas ornamentales, son tejidos vivos sujetos a cambios continuos después de la cosecha. Mientras que algunos de estos cambios son deseables, la mayoría de ellos, desde el punto

de vista del consumidor, no lo son. Debido a que la mayoría de las hortalizas son comerciables principalmente en fresco, es de suma importancia elevar su calidad. Se sabe que los cambios postcosecha no pueden ser detenidos, pero pueden ser desacelerados dentro de ciertos límites (Yahia *et al.*, 1992).

La tecnología y las prácticas de manejo empleadas en el período posterior a la cosecha, tienen como finalidad preservar la calidad obtenida en campo y disminuir las posibles pérdidas hasta su consumo final. Las pérdidas de postcosecha tienen importantes implicaciones económicas, pues se trata de alimentos que ya vienen grabados con los costos de producción, de cosecha y del envío al destino final. Las pérdidas en ese lapso alcanzan porcentajes elevados, por tratarse de alimentos altamente perecederos; se estima que pueden llegar de un 5 a un 25 por ciento en países desarrollados, y de un 20 a un 50 por ciento en países en vías de desarrollo. Para reducir estas pérdidas, productores y comerciantes deben: entender los factores ambientales y biológicos que están involucrados en el deterioro, y el uso de la tecnología de postcosecha para mantener el producto en su mejor calidad posible (Hanrdenburg *et al.*, 1998).

Dentro de las condiciones más importantes de almacenamiento para conservar la calidad del fruto, está la temperatura; sin embargo, el principal regulador de su proceso de maduración fisiológica es el etileno, el cual está asociado al deterioro de la calidad del producto y con otros factores que influyen a que esto suceda. Lo anterior nos obliga a estudiar los principales factores que

pueden influir en el mejor desempeño en cuanto a la calidad del fruto, los cuales se manifiestan externamente lo que prolonga su vida útil (Cantwell, 1999).

Considerando la importancia del tomate en México y en el ámbito mundial, y lo complejo de su problemática, se planteó la realización del presente trabajo.

Objetivo

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar los efectos de la temperatura en frutos de tomate de cv. Floradade de consumo fresco en el contenido de etileno, PG y ACC, con el propósito de generar alternativas que permitan a prolongar su atractivo comercial, o vida de anaquel.

Hipótesis

En la medida que el grado de temperatura de almacenamiento del fruto sea mas bajo, la vida de expectativa del fruto en anaquel es mayor, lo que ocasiona menores daños fisiológicos.

REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia de la Fisiología de Postcosecha

El interés por la fisiología de postcosecha radica en los requerimientos prácticos de hacer llegar los productos vegetales perecederos a los consumidores, con la calidad deseada. Uno de los componentes integrales de la cadena para el suministro de alimentos ha sido siempre, el manejo, almacenamiento y mercadeo de las plantas y sus partes. Otro aspecto importante durante el manejo de productos vegetales perecederos es mantenerlos en buenas condiciones (color, firmeza, tamaño, etc.), por lo que no sólo hay que considerar la naturaleza del material vegetal, sino los aspectos bioquímicos asociados, que permiten lleguen los productos al consumidor en condiciones adecuadas (Grain, 2000).

Agrupación de Productos Cosechados en Base a su Morfología

La estructura básica de las plantas o productos de las mismas, determina la forma en que éstas son manejadas después de la cosecha y los cambios que ocurren en ellas durante el periodo postcosecha. Partes de la

planta que funcionan naturalmente como órganos de almacenamiento se comportan muy diferente durante el período postcosecha. Un concepto de gran importancia de la morfología vegetal es que la estructura, tanto de órganos y tejidos no está fija, sino que se encuentra en un estado de transición. Los cambios de estructura son especialmente importantes en los períodos postcosecha, estos cambios pueden destinar al tejido a ser: degradado y reciclado a dióxido de carbono, formar células fibrosas, tener pérdida de cera epicuticular, y degradación o transformación de cloroplastos (Moore, 1996).

El rango de productos de origen vegetal que son cosechados y utilizados es muy vasto y las respuestas características después de la cosecha tan variadas, que es necesario, un sistema de agrupación o clasificación, como las que a continuación se mencionan:

- reunir a los productos con requerimientos ambientales postcosecha similares para mantener su calidad;
- reunir los productos de acuerdo a su susceptibilidad a daño por frío, o por otras causas; y
- según el uso del producto: frutas, vegetales, cereales, etc.

La clasificación de acuerdo a la parte de la planta y su estadio de desarrollo, permite un entendimiento de la naturaleza del producto cosechado y, por lo tanto, una forma de predecir su comportamiento. Se indican tanto características físicas como fisiológicas (Oeller *et al.*, 1991).

Taxonomía, Morfología y Fisiología del Tomate

El tomate (*Lycopersicon sculentum* Mill.) pertenece a la familia de las Solanaceae. Es una planta de porte arbustivo, puede desarrollarse de forma rastrera, semierecta o erecta. Existen variedades de crecimiento determinado y otras de crecimiento indeterminado, se cultiva como anual (Rodríguez *et al.*, 1997).

Descripción del Fruto del Tomate

El fruto del tomate se clasifica como una baya carnosa que se desarrolla a partir de un ovario de 5 a 10 mg; que puede alcanzar un peso en la madurez, que oscila entre 5 y 600 gr. Contiene abundantes semillas, cada una cubierta por una sustancia mucilaginosa llamada placenta, contenida en cavidades o lóculos. El número de lóculos del fruto es variable: desde dos lóculos (bilocular), hasta tres o más (multilocular). Las características conocidas del tomate como: el tamaño, el olor y el sabor, son la expresión de solo el 5 por ciento del fruto, el resto es agua (Chamorro, 1995).

Estructura del Fruto del Tomate

El fruto de tomate está constituido básicamente por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas. El pericarpio lo componen la pared externa, las paredes radiales o septos que separan los lóculos, y la pared interna o

columela. El fruto se origina de la pared del ovario y consta de un exocarpio o piel, un mesocarpio parénquimático con haces vasculares y el endocarpio constituido por una capa unicelular que rodea los lóculos. La columela o pared interna suele estar menos pigmentada que las paredes radiales o externas, y puede incluir grandes espacios de aire que dan al tejido un aspecto blanquecino (Rodríguez *et al.*, 1997).

La piel o exocarpio consta de la capa epidérmica externa, prácticamente sin almidón, la epidermis está cubierta por una fina cutícula que se engrosa a medida que se desarrolla el fruto. Las cavidades locales son huecos en el pericarpio, un fruto normal posee al menos, dos lóculos. Los lóculos contienen las semillas rodeadas por una masa gelatinosa de células de tipo parénquimático que llenan la cavidades locales cuando el fruto está maduro. Este tejido, formado por una excrescencia de la placenta que rodea gradualmente las semillas, aparece tempranamente durante los primeros diez días; en los siguientes llena totalmente la cavidad local y entra en contacto con las paredes externas y radiales de los carpelos, pero no se une a ellas (Archbold *et al.*, 1982).

Composición del Fruto de Tomate

El fruto del tomate es una fuente de vitaminas C, A, B₁ y B₂; abundante en potasio y bajo en energía calorífica. En su madurez el fruto de tomate

contiene porcentajes: 95 de agua y el resto 5 por ciento corresponde a otros compuestos: 2.5 azúcares, 1.0 ácidos, 0.8 sales, 0.5 pigmentos y vitaminas y 0.2 de sólidos insolubles (celulosas y pectina). De este 5 por ciento, el 55 por ciento corresponde a: azúcares, fructosa, glucosa, sucrosa; el 21 a sólidos insolubles: proteínas, celulosa, pectinas, polisacáridos; el 12 a ácidos orgánicos: cítrico, málico, galacturónico, pirilidon carboxílico; el 5 por ciento de carotenoides, ácido ascórbico, compuestos volátiles, aminoácidos, etc., y finalmente, 7 por ciento de compuestos orgánicos (Izquierdo, *et al.*, 1992).

Cambios en la Composición del Fruto

Algunos de los cambios que se producen luego de la cosecha son la continuación de aquéllos que se inician en la planta; otros son específicos de la postcosecha:

- Pérdida de la clorofila (color verde) conjuntamente con la síntesis de pigmentos (carotenoides, antocianinas, etc.).
- Cambios en el contenido y composición de los carbohidratos (almidón ↔ azúcares) y consumo de los mismos durante el proceso respiratorio.
- Descomposición de las pectinas y otros polisacáridos estructurales, con el consiguiente ablandamiento de los tejidos.

- Cambios en los ácidos orgánicos, aminoácidos que pueden influenciar el sabor del producto.
- Cambios en el contenido de vitaminas, etc.
- Pérdida por transpiración.

El período de maduración del fruto varía, dependiendo de las condiciones ambientales y del fenotipo de la variedad, entre 35 y 75 días. Durante la maduración del tomate se incrementa el contenido de azúcares en los frutos, mientras que los ácidos orgánicos tienden a disminuir. La relación azúcares/ácidos orgánicos aumenta en la medida en que el fruto madura. Valores altos en esta relación están directamente asociados con un mejor sabor. El contenido de sacarosa tiende a disminuir con la maduración, mientras que los azúcares reductores aumentan, pero la relación fructosa/glucosa se mantiene constante (Ho *et al.*, 1983).

Con la maduración, también aumenta el contenido de vitamina C, mientras que el almidón disminuye. Durante la maduración, la ruptura y degradación de los carbohidratos estructurales, y las hemicelulosas, debilitan las fuerzas que mantienen la cohesión de los tejidos, por lo cual la firmeza tiende a disminuir. Este proceso inicialmente mejora el sabor, color y ablanda la textura del fruto. Sin embargo, a medida que este proceso continúa se produce la sobremaduración, caracterizada por la desorganización de los tejidos y la

descomposición del producto, esto debido a desordenes fisiológicos (Izquierdo *et al.*, 1992).

Durante el crecimiento del fruto, el contenido de materia seca, referido al peso fresco, disminuye debido a la dilución producida por la rápida incorporación de agua. La pérdida de agua es una de las causas principales del deterioro del fruto, porque esto da como resultados no solamente pérdidas cuantitativas directas (pérdidas de peso vendible), sino también en la apariencia (marchitamiento y deshidratación), en la calidad de la textura (ablandamiento, flacidez, falta pérdida de una textura crujiente y de jugosidad), así como en su valor nutricional. La tasa de transpiración es influenciada por factores internos y externos. Algunos internos son las características morfológicas y anatómicas, la relación entre la superficie y el volumen, y el estado de madurez; los externos son la temperatura, la humedad relativa, el movimiento de aire y la presión atmosférica.

La transpiración (evaporación de agua de los tejidos vegetales) es un proceso físico que puede ser controlado por la aplicación de tratamientos al producto (ceras y otras cubiertas superficiales o envolturas de plástico), o por control del medio ambiente, como mantener una humedad relativa alta y controlar la temperatura y circulación del aire.

Cambios Fisiológicos y Bioquímicos

Respiración

La respiración es el proceso mediante el cual con una liberación de energía, las reservas orgánicas (carbohidratos, proteínas, grasas) se degradan a productos finales simples. En este proceso se usa oxígeno (O_2) y se produce el bióxido de carbono (CO_2). La pérdida de material orgánico durante la respiración, significa:

- Una aceleración de las reservas que mantienen vivo el producto se agota.
- Una reducción en el valor nutritivo (valor energético).
- Pérdidas de la calidad del sabor, especialmente la dulzura.
- Pérdida de peso seco vendible (especialmente productos destinados a la deshidratación).

La energía liberada como calor, afecta las condiciones del uso de la tecnología de postcosecha, así como las estimaciones de los requerimientos de enfriamiento y ventilación (Salisbury y Ross (1994).)

La tasa de deterioro (percecibilidad) de productos cosechados, es generalmente la tasa respiratoria. Los productos hortícolas que se basan en la respiración y la producción de etileno durante su maduración fisiológica y

comercial, pueden ser climatéricos o no climatéricos. Los frutos climatéricos muestran un fuerte aumento en la producción de CO₂ y etileno, lo que coincide con el proceso de maduración comercial; los no climatéricos no muestran estos cambios, y generalmente producen bajo nivel de CO₂ y etileno durante la maduración comercial (Trevor y Cantwell (2000)).

Todos los productos hortícolas respiran aún después de ser cosechados. La respiración consume oxígeno y produce bióxido de carbono y calor, por lo que para su mayor conservación es conveniente considerar que:

- Las tasas respiratorias varían mucho, según el producto de que se trate.
- La tasa respiratoria está relacionada con la vida de anaquel y la calidad del producto.
- Disminuir la temperatura para reducir la respiración y mantener la calidad.

Al iniciarse la maduración, la respiración aumenta hasta alcanzar un máximo llamado climatérico. Recientemente se ha observado que cuando el fruto madura en la planta, no se produce el aumento típico de la respiración, por lo que la respiración climatérica en el tomate podría no ser un requisito para la maduración, sino un artificio producido por la recolección del fruto (Salveit, 1990).

Producción de Etileno.

El etileno, es un gas hormonal que regula una serie de etapas fisiológicas durante el ciclo biológico de la gran mayoría de los cultivos climatéricos (Beyer *et al.*, 1985).

El etileno es el compuesto orgánico más simple que afecta los procesos fisiológicos de la planta. Es un producto natural del metabolismo vegetal que generan los tejidos de las plantas y microorganismos; es una fitohormona, que regula algunos aspectos de su crecimiento, desarrollo y senescencia. Generalmente la tasa de producción de etileno aumenta a medida que el producto se acerca a su madurez, por daños físicos, incidencia de enfermedades, aumento en las temperaturas hasta los 30 °C y estrés de agua (Hamilton *et al.*, 1990).

En la mayoría de los frutos, se produce poco etileno hasta justo antes del climatérico respiratorio que marca el inicio de la maduración, cuando el contenido de este gas en los espacios intercelulares de aire aumenta en forma muy notable desde cantidades casi no detectables hasta aproximadamente 0.1 a 1.0 ppm. Por otro lado, la tasa de producción de etileno de productos frescos se reduce al almacenarlos a bajas temperaturas, al reducir los niveles de O₂ y al aumentar los niveles de CO₂.

La maduración del fruto es un proceso complejo, regulado durante el desarrollo de la planta, en el cual existe un incremento dramático en la biosíntesis del etileno, por lo que se le considera el principal regulador del proceso. Todos estos fenómenos son manifestaciones externas de una serie de eventos bioquímicos que refleja una marcada actividad metabólica. Colectivamente estos fenómenos contribuyen a la modificación del sabor, la firmeza, el olor y otras características que conforman la calidad del fruto (Trevor y Cantwell, 2000).

Aunque la ruta biosintética fue determinada en frutos de manzana (Yang y Hoffman, 1984), se ha demostrado que ésta es similar en otros frutos. Las dos enzimas claves en la ruta son aquéllas que catalizan la conversión de S-Adenosilmetionina (SAM) al ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC), y de ACC a etileno, llamadas ACC sintasa y enzima formadora de etileno (EFE) respectivamente. Los niveles de estas enzimas son muy bajos en frutos preclimatericos, pero se incrementan al aumentar la producción de etileno. En ocasiones el etileno puede inhibir su propia síntesis, lo cual indica que la regulación y acción del etileno en el fruto es compleja. Un aspecto que no se ha estudiado mucho es el de la sensibilidad del fruto al etileno. Se ha observado que al avanzar el climatérico y la maduración, los frutos tardan menos para responder al etileno, mientras que sucede lo opuesto con frutos que aún no completan su desarrollo. Es claro que el etileno juega un papel muy importante en la maduración del fruto, pero es indudable que no es el único factor involucrado (Wilkinson *et al.*, 1997).

Producción de ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC)

Los niveles de ácido -1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC sintasa), al parecer es el factor limitante para la síntesis del etileno Lyons y Morris (1990).

La actividad de la ACC sintasa y la producción de etileno permanecen bajas en tejidos vegetales expuestos a un estrés de frío, sin embargo aumentan rápidamente al pasar a mayores temperaturas (Alía, 2000).

El brusco aumento de la síntesis de etileno durante la crisis climática es consecuencia parcial de un incremento en los niveles de ácido -1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) de la actividad ACC oxidasa (Vioque y Castellanos, 1999).

Existen evidencias que demuestran que el aminoetoxi-vinilglicina (AVG) inhibe la formación de la enzima ACC sintasa, evitando con esto la producción de ACC y por lo tanto de etileno (Kang *et al.*, 2001).

Actividad de la Poligalacturonasa (PG)

Las enzimas son catalizadores biológicos, es decir, proteínas que tienen la capacidad de acelerar ciertas reacciones químicas. En los últimos

años, su utilización como elementos auxiliares del procesamiento de alimentos ha adquirido gran relevancia.

El ablandamiento del fruto es uno de los cambios mas evidentes durante la maduración del tomate. El ablandamiento está enlazado a profundos cambios estructurales en la pared celular e implica la solubilización de las pectinas. En este proceso se atribuye un papel fundamental a las enzimas, y en particular a la poligalacturonasa (PG). La actividad y la expresión de la PG se produce uno o dos días antes de la producción auto catalítica de etileno, que desencadena la maduración. Esto acelera la acumulación del ácido mensajero de la PG.

La actividad de la mayor forma molecular de la PG está estrechamente asociada a las solubilización de las pectinas; también es responsable de la polimerización de la cadena de ácido galacturónico (Della, *et al.*, 1990).

El papel mas importante de la PG es regular normalmente en la maduración el efecto del etileno en la actividad de enzimas proteicas. El efecto inhibitor del de PG durante el almacenamiento a baja temperatura podría ser el resultado extremo para la inhibición de producción de etileno (Dong, *et al.*, 2001).

Manejo Postcosecha

Los tomates destinados al mercado en fresco son cosechados en un estado de madurez acorde con el tiempo, entre cosecha y consumo. Cuanto más largo sea este período, que incluye el transporte, almacenaje y comercialización, más inmaduros deben cosecharse los frutos. En general, para mercados distantes, los frutos se cosechan en estado de verde-maduro. Para mercados más cercanos, los frutos son cosechados en un grado de madurez más avanzado (Kader, 1985).

Temperatura

La temperatura es una expresión que indica el promedio de energía cinética de las moléculas de un cuerpo, siempre en referencia a un estándar. La escala Celsius de temperatura por ejemplo, marca como estándares el punto de congelación y el punto de ebullición del agua (Benavides, 2002).

El enfriamiento en forma rápida e inmediatamente después de la cosecha, es esencial para una óptima calidad de postcosecha. Los tomates verde-maduro, pueden almacenarse a 12.5 °C, por 14 días antes de que maduren, sin que haya reducción significativa de su calidad sensorial y desarrollo de color. Después de alcanzar el estado maduro firme, la vida de anaquel es generalmente de 8 a 10 días, si se aplica una tecnología dentro del

intervalo recomendado. Durante la distribución comercial es posible encontrar que se aplican temperaturas del almacenamiento de corto plazo inferiores a lo recomendado, por lo que es muy probable que, después de algunos días ocurran daños por frío. Las alteraciones en el metabolismo de las frutas han sido reportadas por Salveit y Morris (1990).

El manejo de temperaturas apropiadas es crítico para a la calidad y vida de anaquel. Los tomates son muy sensibles al "daño por frío" por lo que las temperaturas de almacenamiento recomendadas difieren de acuerdo con el grado de madurez de la fruta. La temperatura adecuada para la conservación de los tomates se ubica entre 10 y 15 °C. Las temperaturas más bajas se utilizan para los tomates con un gran grado de madurez más avanzado, y las más altas, para los frutos que apenas inician su desarrollo de color. Temperaturas menores a 10 °C por un período largo, pudieran ocasionar "daño por frío" lo que provoca un rápido deterioro de los frutos. Temperaturas altas pero menores a 30 °C no dañan los frutos, pero tampoco controlan el proceso de maduración y deterioro (Boyette, 1993).

La magnitud del daño por frío depende de la temperatura y del tiempo de exposición. Para el tomate, su susceptibilidad difiere de acuerdo a su grado de madurez. Los frutos verde-maduro son más sensibles, por lo que no se recomienda su almacenamiento a temperaturas inferiores a los 13°C, mientras que los frutos rojo-maduros pueden ser expuestos a temperaturas de 8 a 10°C. Los síntomas del daño por frío son alteraciones en la maduración, incapacidad

para desarrollar buen color, pardeamiento de las semillas, puede iniciarse en el campo, antes de la cosecha (Trevor y Cantwell, 2000).

Los factores primarios que afectan la vida postcosecha de los frutos son: temperatura, agua y etileno (Reid *et al.*, 2002).

Normas de Calidad de Tomate en México

Color y Defectos

Se refiere a la manifestación de color que puede presentar el tomate, tanto interna como externamente, y es el referente para separar los frutos según el grado de madurez que presentan, para así facilitar el empaclado. Los colores considerados son:

- Tomate verde. Cuando la superficie del tomate presenta coloración verde hasta en un 90 por ciento o más.
- Tomate rayado. Cuando la superficie del tomate presenta diversos tonos de rojo hasta en un 40 por ciento.
- Tomate rosado. Cuando la superficie del tomate presenta más del 40 por ciento de color rosa rojizo, pero no más del 90 por ciento de la misma de color rojo.

- Tomate rojo. Cuando la superficie del tomate presenta coloración roja hasta en un 90 por ciento o más.

Los tomates separados de la planta y madurados a temperaturas superiores a 25° C desarrollan un color más amarillo y menos rojo, y son más blandos. Al momento de la cosecha debe asegurarse que los tomates estén en la fase verde-maduro para asegurar una mayor calidad (Cantwell, 1999).

Se consideran defectos menores aquellas deficiencias que afecta la calidad comercial, más no así la comestible: daños por heladas, blandos, deformes, fuera de color, fuera de tamaño. Los defectos mayores son aquéllos que afecten al producto hasta el punto de que su calidad comestible o comercial se vean seriamente dañados: daños mecánicos, entomológicos, rajaduras, plagas, cicatrices (Yahia *et al.*, 1992).

El color rojo del tomate es la consecuencia de la degradación de la clorofila en los cloroplastos y la síntesis de caroteno y licopeno, a medida que estas estructuras son convertidas en cromoplastos. Aproximadamente el 80 por ciento del color rojo proviene del carotenoide licopeno, y el 20 por ciento restante consiste en β -caroteno y xantofilas. El licopeno se sintetiza en el rango de 16-32 °C. Los frutos que maduran fuera de ese rango de temperatura no desarrollan buen color (Swiader *et al.*, 1992).

Peso

De acuerdo con Díaz *et al.*, (2000), las pérdidas de humedad de productos hortícolas a diferentes temperaturas y con la misma humedad relativa, son mayores donde la temperatura es mayor. La pérdida de peso durante el almacenamiento en condiciones de refrigeración y maduración, se incrementan en función del tiempo.

Diámetro

La calidad del tomate estandar se basa principalmente en la uniformidad de la forma y en la ausencia de defectos de crecimiento y manejo. El tamaño no es un factor que defina el gado de calidad, pero puede influir de manera importante en las expectativas de su calidad comercial (Trevor y Cantwell, 2000).

Boyette (1993); menciona que el tamaño no es un factor que defina el grado de calidad, pero puede influir de manera importante en las expectativas de su calidad comercial. La forma depende del tomate (redonda, forma globosa, aplanada u ovalada, etc.), depende del tipo de tomate (bola, saladette). La calidad del tomate estandar se basa, principalmente, en la uniformidad de la forma y en la ausencia de defectos de crecimiento y manejo.

Firmeza

La distinción entre los grados de calidad se basa principalmente en la apariencia externa, firmeza e incidencia de magulladuras (Trevol y Cantwell, 2000).

Tianxia y Abbott (2002); menciona que la firmeza es un aspecto crítico de calidad del tomate fresco, su medida y textura es necesaria para estudios de postcosecha, particularmente el pericarpio.

La maduración de muchos frutos está asociada con cambios en ablandamiento extensivo del tejido. Diversos frutos se pueden ablandar a tasas diferentes y en grados diversos, lo cual refleja probablemente el hecho de que existen diferentes mecanismos operando en el ablandamiento. Aunque puede haber ablandamiento por pérdida de turgencia o por degradación de almidón, es más aceptado que las modificaciones en la pared celular, son las principales causas del ablandamiento (Retamales *et al.*, 1994).

Almidón

El metabolismo de estos compuestos químicos es afectado por bajas temperaturas. La tendencia de aumentar la concentración de azúcares en los

frutos, se debe a la hidrólisis de almidón, almacenado durante el crecimiento del fruto, y a su conservación en sacarosa, fructosa y galactosa (Alía, 2000).

Los tomates inmaduros tienen concentraciones relativamente elevadas de almidón que pueden superar el 1 por ciento del peso fresco, pero descienden a un 0.1 por ciento en los frutos maduros rojos. La acumulación de almidón durante el período de crecimiento rápido, parece tener influencia en el contenido final de sólidos solubles totales. El almidón se acumula, preferentemente, en el tejido locular y placentario. El almidón empieza a hidrolizarse cuando el crecimiento del fruto alcanza el máximo que representa el 1 por ciento de la materia seca en el estadio verde maduro, y el 0.03 por ciento del peso fresco en el fruto maduro. La temperatura del fruto influye en su velocidad de respiración y síntesis de almidón (Pelayo, 1981).

Azúcares.

Los azúcares constituyen la mayoría de los sólidos solubles en las variedades comerciales de tomate, con valores del 1.5 al 4.5 por ciento del peso fresco, lo que equivale al 65 por ciento de los sólidos solubles totales. El contenido de sólidos solubles experimenta un brusco crecimiento cuando el fruto alcanza un color amarillento y aumenta particularmente durante la maduración, por lo que la recolección prematura afecta negativamente el

contenido de azúcares y, por lo tanto, disminuye la calidad del fruto (Chamorro, 1995).

Los azúcares, principalmente la glucosa y la fructosa, representan alrededor de la mitad de la materia seca o el 65 por ciento de los sólidos solubles totales del fruto maduro. El contenido de azúcares oscila entre el 1.7 por ciento y el 4 por ciento del peso fresco del fruto, y los sólidos solubles totales entre el 4 y el 9 por ciento en los cultivares comerciales: el contenido de azúcares es mayor en las paredes que en los lóculos (Ho *et al.*, 1983).

EFFECTOS DE TEMPERATURA SOBRE PROCESOS FISIOLÓGICOS EN POSTCOSECHA DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.)

Lucia Imelda Encina-Rodríguez¹; Homero Ramírez-Rodríguez¹; Adalberto Benavides-Mendoza¹; Jaime Moisés Rodríguez-Del Angel²

¹ Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo Coahuila, México. C.P. 25315. lier0104@att.net.mx

² Departamento de Estadística, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo Coahuila, México. C.P. 25315.

RESUMEN

Con el propósito de generar alternativas que favorezcan a prolongar el atractivo comercial 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 p-v 2001. Los frutos cosechados se almacenaron a temperatura ambiente (testigo), y en baja temperatura 7 y 9°C. Las evaluaciones se realizaron a partir de seis días después de estar a esas condiciones. Las variables estudiadas fueron: peso, firmeza, sólidos solubles, almidón, etileno, cantidad de ácido-1-aminocilopropano-1-carboxílico (ACC), y poligalacturonasa (PG) y vida de anaquel. Los frutos sometidos a temperatura de 7°C mostraron mayor peso y firmeza. A temperatura ambiente, los frutos presentaron mayor contenido de °Brix, y menor contenido de almidón. La producción de etileno, ACC y PG fue menor en los frutos tratados a temperatura de 7 y 9°C. La vida de anaquel de los frutos se prolongó sustancialmente al compararlos con los que se conservaron a temperatura ambiente. Se concluye 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.

EFFECTS OF TEMPERATURE ON SOME PHYSIOLOGICAL PROCESSES ON POSTHARVEST OF TOMATO (*Lycopersicon esculentum* Mill.)

SUMMARY

With the purpose to generate 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-carboxilic-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 concluded that temperatures of 7 and 9°C reduce ethylene, ACC, and PG. These conditions prolong by several days the shelf life of tomato fruits cv. Floradade.

KEY WORDS: Fruit quality, ethylene, ACC, PG.

INTRODUCCIÓN

Las hortalizas representan en el ámbito nacional alrededor del 3 al 3.5% de la superficie agrícola del país; sin embargo, lo anterior impacta con el 18% del valor total de la producción nacional y el 50% del valor de las exportaciones. México muestra un crecimiento importante en las exportaciones de hortalizas frescas como: tomate, chile bell, pepino, calabacita, berenjena y chícharo. Las principales zonas exportadoras son, el Valle de Culiacán, Guasave y los Mochis, Sinaloa (Agroguías, 1999). De la gran diversidad de hortalizas que se explotan a nivel nacional, el tomate está considerado como 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 a las condiciones de almacenamiento inapropiados. Las temperaturas adversas contribuyen a una mala calidad del producto y a 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 posteriormente una serie de reacciones bioquímicos 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 en el contenido de etileno, PG y ACC, con el propósito de generar alternativas que permitan a prolongar su atractivo comercial, o vida de anaquel.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. En la primavera del 2001, semillas de tomate cv. Floradade fueron germinadas a temperatura ambiente 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 fue manejado de acuerdo al paquete tecnológico utilizado en el Departamento de Horticultura (Benavides, 2002). El material experimental consistió en frutos que fueron cosechados entre el 9 de agosto y 4 de septiembre. Se evaluaron cinco cortes en total. Los frutos seleccionados al momento del corte mostraban, aproximadamente, un 40% de pigmentación de antocianinas.

Los frutos de cada corte fueron trasladados al laboratorio del Departamento de Horticultura y organizados en tres grupos con seis repeticiones cada uno, y conservados de acuerdo a los siguientes tratamientos de temperatura: ambiente de 27°C (testigo), 7 y 9°C. La humedad relativa en el testigo y resto de los tratamientos no se modificó. A partir del tercer día bajo esas condiciones, su fisiología postcosecha fue evaluada. Se utilizó un diseño estadístico de

covarianza completamente al azar; se incluyó una variable concomitante, que fueron 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, % de almidón, etileno, ácido-1-aminociclopropano-1-carboxílico, poligalacturonasa y vida 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 durante una hora, y posteriormente, con una jeringa hipodérmica, se tomó 1 ml del espacio vacío, el cual fue inyectado y medido 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 utilizado fue el reportado por Mathooko y Suttle (1993). Las muestras del fruto fueron homogenizadas en dos volúmenes de 2 ml en una solución buffer (0.5 M fosfato-K, 5mM fosfato de piridoxal (PLP), 5mM ditioneitol (DTT), pH 8.5, con 5% de polivinilpirrolidona. Las muestras fueron centrifugadas y filtradas a través de un filtro de membrana (DISMIC-25cs, Toyo Roshi, Tokio). El filtrado fue desalinizado 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, 5mM PLP, 5mM DTT, pH 8.5). La

actividad de la ACC sintasa fue medida en una reacción de 2 ml de extracto y 1 ml de 500 mM SAM, y el ACC formado fue determinado por el método de Lizada y Yang (1979).

La actividad de la enzima poligalacturonasa (PG) se midió utilizando la técnica de Tucker *et al.*, (1980). En este análisis se destaca la electroforesis del gel poliacrilamida, obtenida en las muestras de tomate. Se tomaron alícuotas de 2 ml del dializado correspondiente, y fueron ajustadas a una concentración final del 10% con ácido tricloroacético, lo que originó la precipitación de la proteína correspondiente al someterse a 0°. 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 sucrosa y 5% de mercaptoetanol. En seguida, la muestra fue fijada y teñida 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 fotografiada. El peso molecular de la poligalacturonasa fue establecido y definido al compararse previamente el peso molecular conocido (46,000) con la movilidad que tuvo la proteína estándar (Tucker *et al.*, 1980; Tucker y Grierson, 1982). La vida del fruto en anaquel se evaluó en base a los días que mantuvo su atractivo comercial para el consumidor (color, aroma y consistencia).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las temperaturas utilizadas en 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. La temperatura de 9°C indujo también 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 aquellos 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 presencia de almidón en los frutos evaluados también fue evidente. Los frutos conservados a temperatura de 7°C mostraron, en las primeras fechas, un mayor porcentaje 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 físicos químicos que han sido ampliamente ilustrados en años recientes (Gómez, 1999). Las condiciones de temperatura contribuyen a modificar la fisiología de postcosecha del tomate. Las bajas temperaturas, de

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

Alía (2000); menciona que la conservación del peso del fruto puede estar directamente ligada a una mayor 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 período 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), también fue mayor en los frutos del testigo durante todo el periodo evaluado, al compararse con el resto de los tratamientos. 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 aquellos 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 aumento en los frutos testigo (Figura 4). Estos resultados son ampliamente apoyados por los reportes de Gómez (1999), quien demostró incrementos substanciales en los niveles de etileno en tomates cuando después de cosecharse fueron dejados por varios días a temperatura ambiente. Lo anterior no se presento con las muestras de tomate conservadas a 7 y 9°C (Figura 4). La producción de etileno es consistentemente menor cuando un fruto climatérico es almacenado a temperaturas similares a las aplicadas en el presente estudio (Alía, 2000).

La evolución de etileno en el tejido de tomate se ha reportado que es una reacción resultante de la acción previa de ACC. La figura 5 ilustra que este producto en efecto ocurre en niveles superiores en el testigo. Esta reacción esta directamente ligada a la producción de etileno (Figura 4). Como ha sido sugerido por Grierson y Tucker (1986), quienes demostraron que bajo condiciones ambientales de temperatura, frutos de tomate aumentan sus niveles de ACC e inmediatamente después se detecto la producción de etileno. Este proceso es reducido si la temperatura ambiente es sustituida por una temperatura de 7°C. Este efecto fue observado en el presente trabajo (figura 4 y 5). Resultados similares fueron reportados en tomate cv. Floradade por Salveit y Morris (1990), quienes observaron una relación directa entre la baja producción de etileno y un cambio mínimo en la producción de ACC.

La síntesis y rol de la PG durante la maduración de tomate, también se ve influenciada 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 en etileno como factores importantes en la maduración del 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 fueron conservados a temperatura de 7 y 9°C. Estos efectos también han sido observados previamente en tomate bajo temperatura de 8°C por Vioque y Castellanos (1999).

Lo anterior permite observar que en forma integral las temperaturas de 7 y 9°C provocaron en los frutos de tomate cv. Floradade menor producción de etileno (Figura 4), como resultado de menos síntesis de ACC (Figura 5) y PG (Figura 6). Esta condición bioquímica se ve reflejada en frutos con 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 ocurrió los frutos alargaron su vida de anaquel, como se podrá observar en el Cuadro 2. Aquí se mostró que los frutos de tomate bajo 7 y 9°C duplicaron 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

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

LITERATURA CITADA

- AGROGUÍAS, 1999. Proyecto para la Producción de Hortalizas Bajo Condiciones de Invernadero. pp. 5-6.
- ALIA, 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 Official Analytical Chemist. Washington, D.C. U.S.A. pp. 145,153,944.
- BENAVIDES, M.A. 2002. Ecofisiología y Bioquímica del Estrés en Plantas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. pp. 16-17.
- DÍAZ, P.J.C., Bautista, S.; Villanueva, R. 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. En "plant Biotechnology for food production". Technomic Publishing Co. London pp.303-342.
- GRIERSON, D.; TUCKER G.A. 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.; YANG, S.F. 1979. A simple and sensitive assay for 1 aminocyclopropane-1-carboxylic acid. *Anal Biochem* 100:140-145.
- MATHOOKO, A.K.; SUTTLE, J.C. 1993. Regulation by carbon dioxide of wound induced ethylene biosynthesis in tomato pericarp and winter squash mesocarp tissues. *Postharvest Biology Technology* 3:27-38.
- SALVEIT, M.E. ; MORRIS, L.L. 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.
- TUCKER, G.A.; GRIERSON, D. 1982. Purification and changes in activities of tomato pectinesterase isoenzymes. *Food Agric.* 33: 396-400.
- TUCKER, G.A.; ROBERTSON, N.G.; GRIERSON, D. 1980. Changes in polygalacturonase isoenzymes during the ripening of normal and mutant tomato fruit. *Biochem.* 112: 119-124.
- TREVOR, V.S.; CANTWELL, M. 2000. Indicadores básicos del manejo postcosecha de tomate. Department of Vegetable Crops, University of California, Davis, California pp. 1-5.
- VENDRELL, M.; PALOMAR X. 1997. Hormonal control of fruit ripening in climacteric fruits. *Acta Horticulturae* 463: 325-330.
- VIOQUE, B.; CASTELLANOS, J.M. 1999. Actividad ACC oxidasa de frutos de tomate transformados genéticamente para sobreproducir auxinas. XII Reunión Nacional de la Sociedad Española de Fisiología Vegetal. p.23.
- YANG, S.F.; HOFFMAN, N.E. 1984. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. *Plant Physiology* 35: 155-189.
- ZAMBRANO, J.; MOYEJA, J.; PACHECO L. 1995. Efecto del estado de madurez en la composición y calidad de frutos de tomate. *Agronomía Tropical* 46: 61-72.

CUADRO 1. Peso del fruto de tomate cv. Floradade seis días después d conservarse a diferentes temperaturas. Los valores son el promedio d seis repeticiones de cada uno de los tratamientos, en dos fechas d cosecha.

Tratamiento	Peso del fruto (g)	
	20-agosto-01	29-agosto-01
T. Ambiente	112 a ²	94 a
7° C	119 a	109 a
9° C	116 a	100 a

²Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a l prueba de DMS a una $P \leq 0.05$.

CUADRO 2. Días en anaquel del fruto de tomate cv. Floradade sometidos diferentes temperaturas, seis días después de cosecharse.

Tratamiento	Días de cosecha				
	9/08/01	14/08/01	20/08/01	29/08/01	4/09/01
T. Ambiente	6b ²	3c	3b	3b	3b
7° C	12a	6b	6a	6a	12a
9° c	12a	9a	6a	6a	12a

²Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a l prueba de DMS a una $P \leq 0.05$.

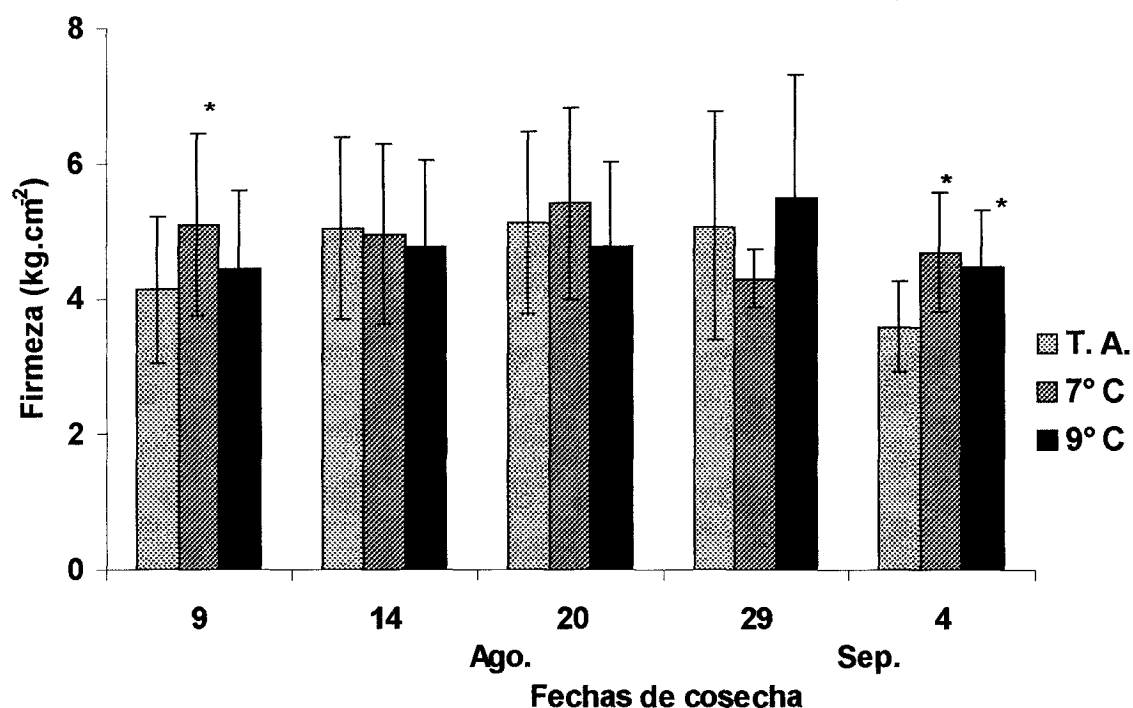


Figura 1. Nivel de firmeza en frutos de tomate cv. Floradade al sexto día, bajo diferentes temperaturas. Cada punto representa el promedio de seis repeticiones \pm error estándar. * Con prueba de DMS a una $P \leq 0.05$.

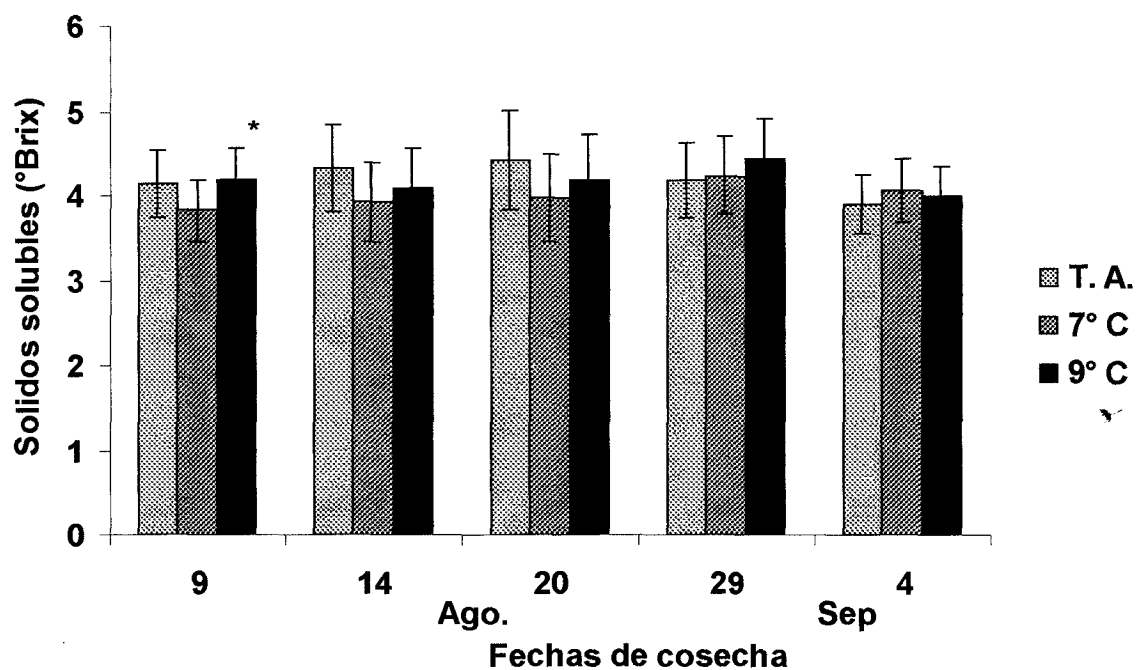


Figura 2. Contenido de sólidos solubles en frutos de tomate cv. Floradade al sexto día, bajo diferentes temperaturas. Cada punto representa el promedio de seis repeticiones \pm error estándar. * Con prueba de DMS a una $P \leq 0.05$.

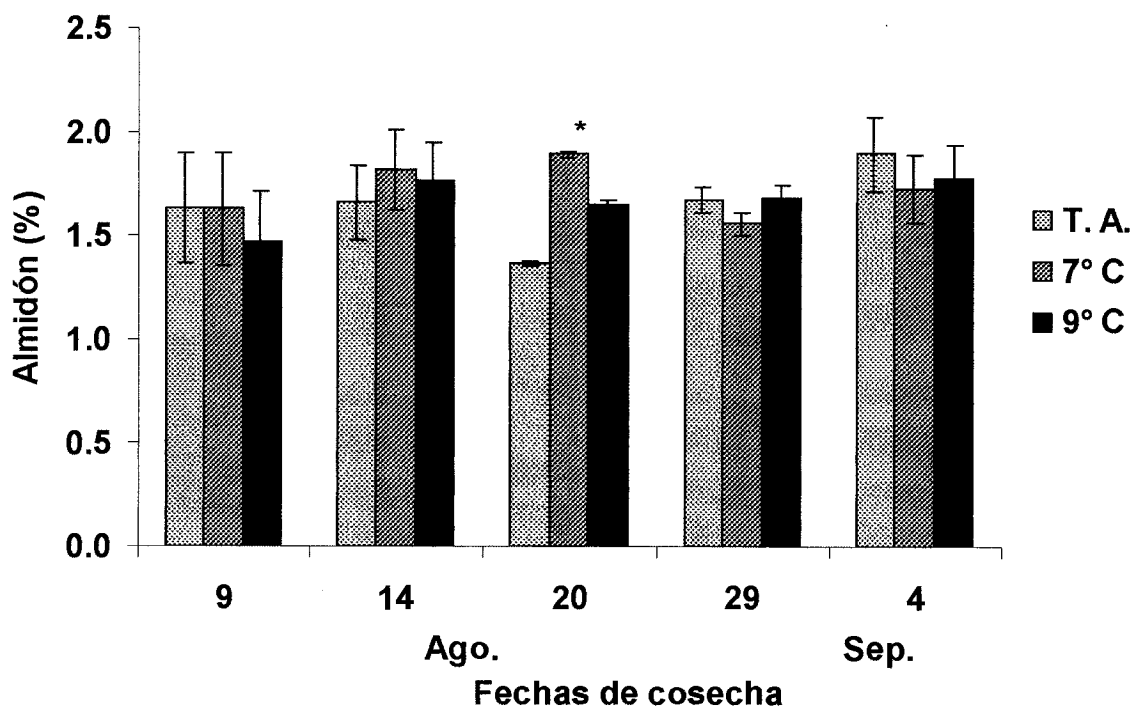


Figura 3. Contenido de almidón en frutos de tomate cv. Floradade al sexto día, bajo diferentes temperaturas. Cada punto representa el promedio de seis repeticiones \pm error estándar. * Con prueba de DMS a una $P \leq 0.05$.

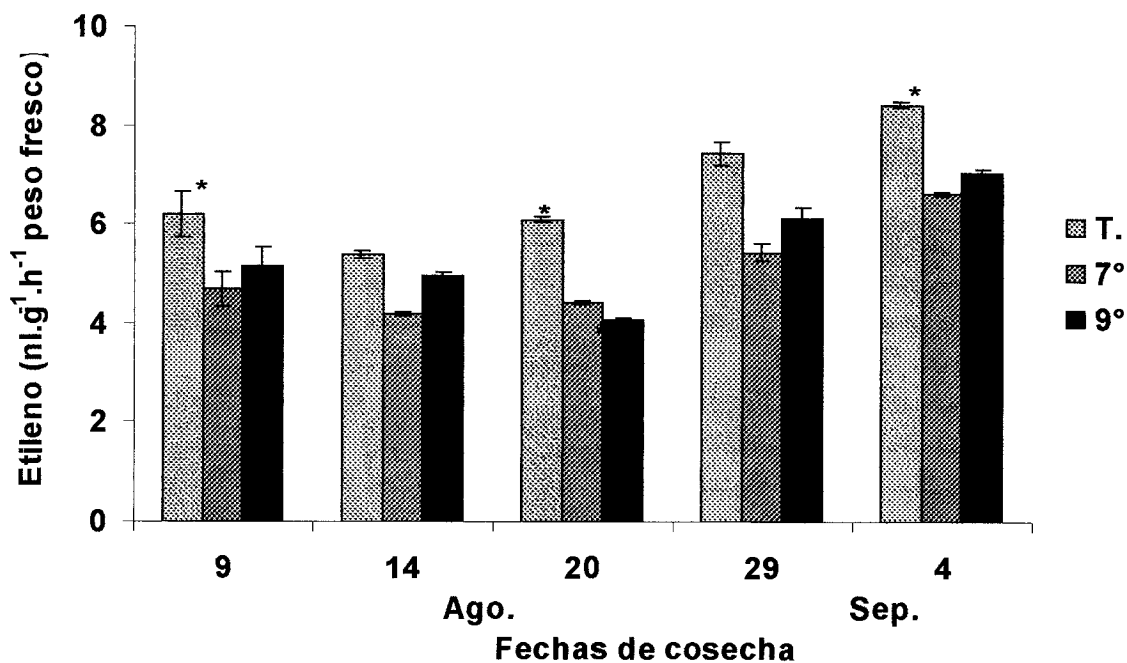


Figura 4. Producción de etileno en frutos de tomate cv. Floradade al sexto día, bajo diferentes temperaturas. Cada punto representa el promedio de seis repeticiones \pm error estándar. * Con prueba de DMS a una $P \leq 0.05$.

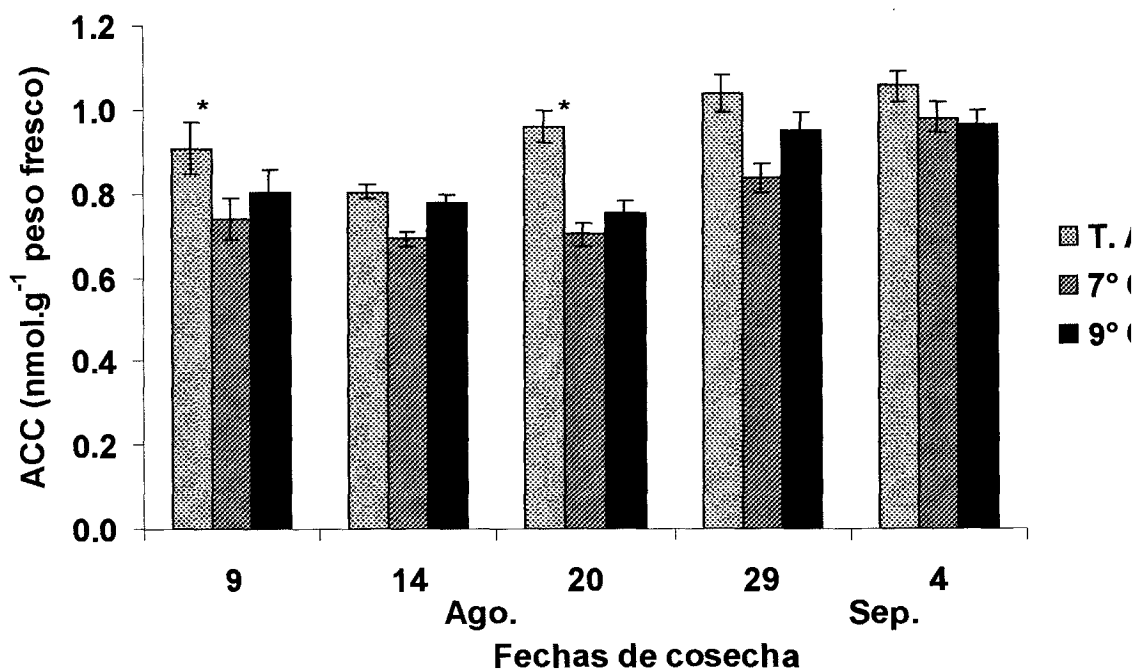


Figura 5. Producción de ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) en frutos de tomate cv. Floradade al sexto día, bajo diferentes temperaturas. Cada punto representa el promedio de seis repeticiones \pm error estándar. * Con prueba de DMS a una $P \leq 0.05$.

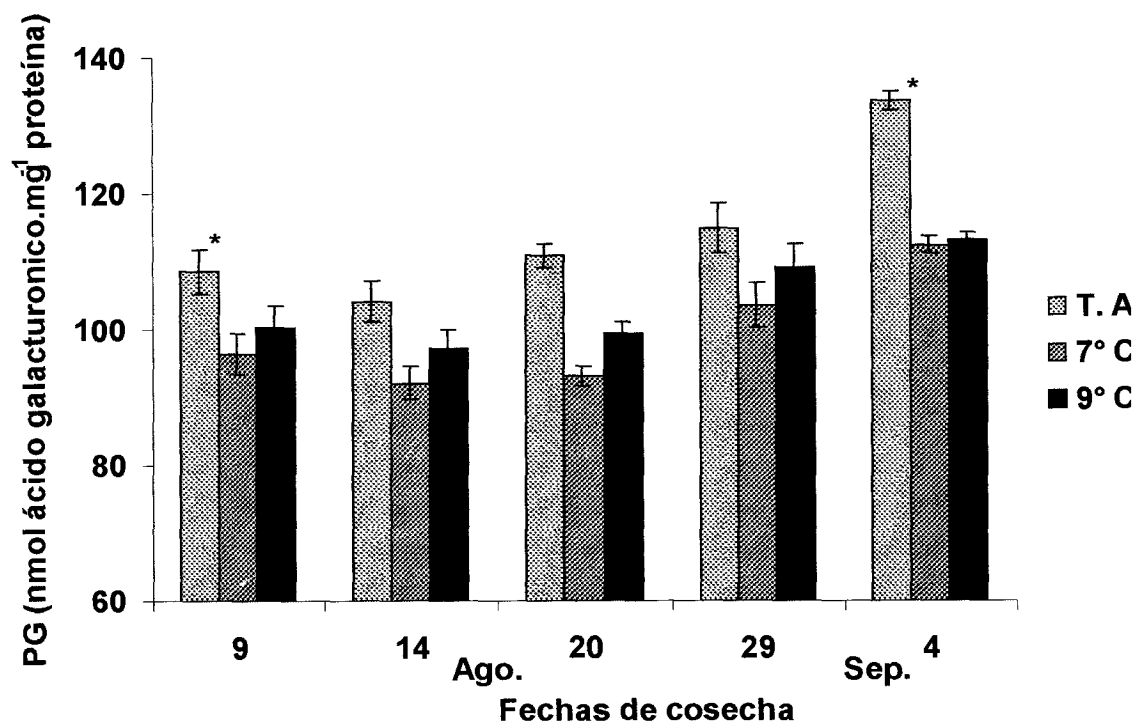


Figura 6. Contenido de la enzima poligalacturonasa en frutos de tomate cv. Floradade al sexto día, bajo diferentes temperaturas. Cada punto representa el promedio de seis repeticiones \pm error estándar. * Con prueba de DMS a una $P \leq 0.05$.

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos y bajo las condiciones utilizadas, se concluye que los frutos de tomate de cv. Floradade conservados a temperatura de 7 y 9° C reducen sus niveles de etileno, PG y ACC.

Los parámetros mencionados llevan a obtener una mayor firmeza y menor contenido de sólidos solubles en el fruto de tomate. Estas condiciones son ideales para prolongar la vida en anaquel.

LITERATURA CITADA

- Agroguías, 1999. Proyecto Para la Producción de Hortalizas Bajo Condición de Invernadero. pp. 5-6.
- Alía, T.I. 2000. Temperaturas de Almacenamiento y Maduración en Frutos Mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. More & Stearn). Revista Chapin Serie Horticultura 6:73-77.
- Archbold, D.D., F.G. Dennis and J.A. Flore 1982. Accumulation of ¹⁴ Labelled Material From Foulers Applied ¹⁴ Sucrose by Tomato Aviarries During Fruit Set and Initial Development. Soc. Hor. Sci. 107: 19-23.
- Benavides, M.A. 2002. Ecofisiología y Bioquímica del Estrés en Plantas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. pp. 16-17.
- Beyer, E.M., P.W. Morgan and S.F. Yang. 1985. Ethylene. Plant Physiology. 83: 111-120.
- Bird C.R., J.A. Ray., J.D. Fletcher., J.M. Bonivell and A.S. Bird. 1991. Use of Antisense RNA to Study Gene Function. Inhibition of Carotenoid Biosynthesis in Transgenic Tomatoes. Nature Biotechnology. 9: 635-639.
- Boyette, A. 1993. Introduction to Proper Postharvest Cooling and Handling Methods. pp. 7-10.
- Brady, J. 1987. Fruit Ripening. Ann. Plant Physiology. 38: 155-178.
- Cantwell, M. 1999. Fresh-Cut Products. Maintaining Quality and Safety. Lett. Dept. Vegetable. University of California, Davis. Series No.10. pp. 530-730.
- Cantwell, M. 2000?
- Chamorro, J. 1995. Anatomía y Fisiología de la Planta. El Cultivo del Tomate. Ed. Mundi. Prensa España. p. 45.

- Della, D.C., Lashbrook, K. Toejenes., J. Giovannoni., R.L. Fisher and A. Bennet. 1990. Polygalacturonase isozymes and pectin depolymerization transgenic rin tomato fruit. *Plant Physiology*. 94: 1882-1886.
- Díaz, P.J.C., Bautista, S. and R. Villanueva. 2000. Quality Changes in Sapot t Mamey Fruit During Ripening and Storage. *Postharvest Biology a Technology*. 18: 67-73.
- Dong, L., Weiz. H., Sanego L., Lers, A. and S. Lourie. 2001. *Postharvest Biolc and Technology*. 23: 105-115.
- Gómez M.A., R. Schwentesius y A. Merino. 1991. La Producción de Hortaliz de México y el T.L.C. con EUA y Canadá. UACH. CIESTAAM. p 17.
- Gómez, M. 2000. Avances Biotecnológicos para Alargar la Vida Comercial Frutas y Hortalizas. Departamento de Ingeniería Genética. CINESTA/ Irapuato. Memorias. II Congreso y Exposición Internacional de Horticult pp. 23-27.
- Gómez, M.A. 1999. *Physiology and Molecular Biology of Fruit Ripening. Plant Biotechnology for Food Production*. Ed. Technomic Publishing (London. pp. 303-342.
- Grain, R. 2000. Los Tomates, el Mundo los Aprecia y las Multinacionales Codician. *Compendio 1997-2000. Biodiversidad*. pp 1-6.
- Gutiérrez, C.M. 2001. Efecto del Ácido Salicílico en Frutos de Tomate c Tratamientos Precosecha con K/Ca Para Alargar su Vida Postcosecl Congreso: IX SOMECH, XXLVII HIST, VII AMEHOAC. Morelos, México 14.
- Hamilton, A.J., Lycett, G.W., and D. Grierson. 1990. Gene that Inhit Synthesis of the Hormone Ethylene in Transgenic Plants. *Nature*. 346: 287.
- Hardenburg, R.E., A.E. Watada y Ch. Wang. 1988. Almacenamiento Comerc de Frutas, legumbres y Existencia de Floristerías y Viveros. *Colección Investigación y Desarrollo*. ICCA. San José, Costa Rica. 96: 150-151.

- Ho, L.C., V. Sjut and G.V. Hoad. 1983. The Effect of Assimilate Supply in Fruit Growth and Hormone Level in Tomato Plants. *Plant Growth Regulation*. 155-171.
- Izquierdo, J., G. Paltrinieri y C. Arias. 1992. Producción, Postcosecha, Procesamiento y Comercialización de Ajo, Cebolla y Tomate. Publicación de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. Primera Ed. Santiago de Chile. p. 413.
- Kader, A.A. 1992. *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. University of California. Publicación 3311.
- Kader, A.A., R.F. Kasmire., F.G. Mitchell., M.S. Red., N.F. Sommer., and T. Thompson. 1985. *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. University of California, Division of Agriculture. p. 192.
- Kang, I., Park, M.Y. and J.K. Byun 2001. Effect of AVG Treatment on Postharvest Drop Fruit color and Quality of Tsugaru Apples. In: *Abst. 9 Int'l. Symp. Seoul, Korea. PBFP*. pp. 104-105.
- Lyons, M. and L.L. Morris. 1990. Chilling Injury in Plants. *Annual Review Plant Physiology* 24:467-492.
- Lizada, M.C. and S.F. Yang. 1979. A Simple and Sensitive Assay for aminocyclopropane-1-carboxylic acid. *Anal. Biochem.* 100: 140-145.
- Moore, J. 1996. Cuidados de Postcosecha. *Tecnologías de Postcosecha. Sistema de enfriamiento. Productores de Hortalizas*. pp. 8-10.
- Murria, R. 2000. Management of Fruit Ripening. *Postharvest Technology Research and Information Center. University of California, Davis Postharvest Horticulture Series 9*: 94-95.
- Oeller, P.W. Wong, L.M., Taylor., L. P., Pike, D.A. and Theologides, A. 1991. Reversible inhibition of Tomato Fruit Senescence by Antisense RNA. *Science*. 254:437-439.
- Pelayo, C. 1981. El papel de la Fisiología y Tecnología Postcosecha en la producción de frutas y Hortalizas de México. *Reporte Preliminar*. pp. 12-

- Reid, M.S., Wollenweber, B. and M. Serek. 2002. Carbon Balance and Ethylene in Postharvest life of Flowering Hibiscus. *Postharvest Biology Technology*. 25: 227-233.
- Retamales, J., Pérez, A. and R. Callejas. 1994. Ethylene Biosíntesis Inhibi Improves Firmness of Kiwi Fruit. *Acta Horticulturae. Plant Bioregulators Horticulture*. 394:159-164.
- Rodríguez, R. R., Tabares, R. J. y J.A. Medina. 1997. *Cultivo Moderno Tomate*. 2a Ed. Madrid, España. Pp. 13-18.
- Salisbury, F.B. y C.W. Roos. 1994. *Fisiología Vegetal*. Ed. Grupo Editor Iberoamerica S.A. de C.V de México D.F. p. 789.
- Salveit, M.E. and 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.
- Segura, B. y V. Caballero. 1992. Aspectos Económicos de la Producción Tomate. *Alimentación, Equipos y Tecnologías*. pp. 127-134.
- Swiader, J.M., G. Ware and J.P. McCollum. 1992. *Producing Vegetable Crops* Fourth Ed. Interstate Publisher. INC. p 35.
- Tianxia, W. and J. A. Abbot. 2002. Firmness and Force Relaxation Characteristics of Tomatoes Stored Intact or as Slices.
- Trevor V., M. Cantwell. 2000. *Indicadores Básicos del Manejo Postcosecha Tomate*. Department of Vegetable Crops, University of California. pp 1-5
- Vargas, A. y B. Bruinsman, 1986. *Tomato en Monselise*, S.R. Ed. Fruit Set and Development. Press Inc. Boca Raton, Florida. p 7.
- Vioque, B. y J.M. Castellanos. 1999. Actividad ACC Oxidasa de Frutos Tomate Transformados Genéticamente para Sobreproducir Auxinas. Reunión Nacional de la Sociedad Española de Fisiología Vegetal. p.23.
- Wilkinson, J.Q., M.B. Lanahan., D.G. Clark., A.B. Bleecker., C. Chang., E. Meyerowitz and H.J. Klee. 1997. A Dominant Mutant Receptor From *Arabidopsis* Confers Ethylene Insensitivity in Heterologous Plants. *Nature Biotechnology*. 15: 444-447.

Wilson, L.A. and C. Sterling, 1976. Estudios on the Cuticle of Tomato Fru
Plant Physiol. 77: 359-371.

Yahia, M., I. Elhadie I. y C. Higuera. 1992. Fisiología y Tecnología Postcosechl
de Productos Hortícolas. Primera Ed. Editorial Limusa. México. p. 303.

Yang, S.F. and N.E. Hoffman. 1984. Ethylene Biosynthesis and its Regulation
Higher Plants. Plan Physiology 35: 155-189.