

# EFFECTO DEL ETILENO EXÓGENO SOBRE LA DESVERDIZACIÓN DEL CHILE 'POBLANO' EN POSCOSECHA

E. Montalvo-González<sup>1</sup>; N. G. González-Espinoza<sup>1</sup>;  
H. S. García-Galindo<sup>2</sup>; B. Tovar-Gómez<sup>1</sup>;  
M. Mata-Montes de Oca<sup>1¶</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio Integral de Investigación en Alimentos (LIIA),  
Instituto Tecnológico de Tepic, Av. Tecnológico 2595 Tepic, Nayarit,  
C. P. 63175, MÉXICO. Tel. & Fax: (311) 2119400 Ext. 328.  
Correo-e: miguema2006@gmail.com (<sup>¶</sup>Autor responsable).

<sup>2</sup>UNIDA, Instituto Tecnológico de Veracruz, M. A. de Quevedo 2779,  
Veracruz, Veracruz, C. P. 91897, MÉXICO.

## RESUMEN

En México, el chile 'Poblano' (*Capsicum annuum* L) tiene una gran importancia económica y cultural tanto fresco como deshidratado. Un problema en la producción de chile rojo deshidratado también conocido como chile 'Ancho', es que se requieren de 10 a 15 días después de la cosecha para que se desarrolle el color rojo. En este trabajo se estudió el efecto del etileno exógeno sobre la fisiología y desverdización del chile 'Poblano' en poscosecha. Las frutas fueron cosechadas en dos estados de madurez (100 % color verde y verde con áreas rojas  $\leq 50$  %), se lavaron y trataron con etileno exógeno a 100, 500 y 1,000  $\mu\text{l}\cdot\text{litro}^{-1}$  en cámaras selladas por 24 h a  $25 \pm 1$  °C;  $85 \pm 5$  % de HR, se tuvieron dos testigos. Las variables evaluadas fueron: velocidad de respiración y producción de etileno, sólidos solubles totales, acidez titulable, pH, humedad y color de los frutos. El etileno exógeno aumentó la velocidad de respiración y producción de etileno de los chiles verdes; pero no se desverdizaron. El mejor tratamiento fue la aplicación 1,000  $\mu\text{l}\cdot\text{litro}^{-1}$  de etileno exógeno en los frutos cosechados de color verde con áreas rojas  $\leq 50$  %, ya que se tuvo el 100 % de los frutos rojos, a los dos días después de la aplicación de etileno. En los frutos verdes, cuando se aplicó 500  $\mu\text{l}\cdot\text{litro}^{-1}$  a los nueve días de almacenamiento, se obtuvo el 20 % de frutos rojos. Los cambios fisicoquímicos no se vieron afectados por el etileno durante el almacenamiento.

**PALABRAS CLAVE ADICIONALES:** *Capsicum annuum* L, Chile 'Poblano', fisiología, desverdización, etileno exógeno.

## EFFECT OF EXOGENOUS ETHYLENE ON DEGREENING OF 'POBLANO' PEPPER POSTHARVEST ABSTRACT

### ABSTRACT

In México, the 'Poblano' pepper (*Capsicum annuum* L) has economic and cultural importance both fresh and dried. To produce dried red pepper also known as 'Ancho', is a problem because they require 10 to 15 days after harvest to develop the red color. In this work, we studied the effect of exogenous ethylene in 'Poblano' pepper on physiology and degreening 'Poblano' pepper postharvest. The fruits were harvested in two stage maturity (100 % green color and green with red areas  $\leq 50$  %), fruits were washed and treated with exogenous ethylene at 100, 500 and 1,000  $\mu\text{l}\cdot\text{liters}^{-1}$  in sealed chambers for 24 h at  $25 \pm 1$  °C, 85-90 % RH, two lots of fruits were not treated with exogenous ethylene (Controls). The variables evaluated were: respiration rate and ethylene production, total soluble solids, titratable acidity, pH, moisture and external color. Exogenous ethylene increased the respiration rate and ethylene production of green pepper, but it not degreened. The best treatment was the application of 1,000  $\mu\text{l}\cdot\text{liter}^{-1}$  of exogenous ethylene in fruits harvested green with red areas ( $\leq 50$  %), which were 100% red fruit at two days after of application ethylene. In the green fruits when applied, 500  $\mu\text{l}\cdot\text{liter}^{-1}$  of ethylene, for nine days of storage, were 20 % red fruits. Physicochemical changes were not affected by ethylene during storage.

**ADDITIONAL KEY WORDS:** *Capsicum annuum* L, 'Poblano' pepper, physiology, degreening, exogenous ethylene.

## INTRODUCCIÓN

El cultivo del chile 'Poblano' en México está íntimamente ligado a la cultura mexicana. Su consumo es principalmente en fresco o seco para la preparación de ensaladas, salsas, encurtidos y una gran variedad de platillos mexicanos (Guzmán y Paredes, 1998). La comercialización del chile 'Poblano' es principalmente en fresco (70-80 %); sin embargo, se utiliza entre el 20 y 30 % de la producción total para deshidratar, de esta forma se le conoce como chile 'Ancho'. Para obtener este producto, el chile se puede dejar madurar en la planta o se cosecha verde con coloraciones rojas y se coloca al sol para lograr la maduración (color rojo); esto puede llevarse de 10 a 15 días después de la cosecha y posteriormente se somete al proceso de secado; en invierno el tiempo necesario para lograr la coloración puede ser todavía mayor (SAGARPA, 2007); de este modo una alternativa interesante sería reducir los tiempos de permanencia de los frutos en la planta.

El gas etileno puede ejercer cambios poscosecha en frutos climatéricos y no climatéricos (Medlicott *et al.*, 1997). Se ha demostrado que el etileno acelera la degradación de clorofila e induce la síntesis de carotenoides (Salveit, 1999). Este efecto se ha aprovechado en el uso del etileno exógeno para acelerar la maduración en frutos climatéricos y provocar la desverdización en los frutos no climatéricos tal es el caso de las naranjas, cerezas, manzanas y algunas variedades de chile en pre y poscosecha (Cantliffe, 1975; Cooksey *et al.*, 1994; Salveit, 1999; Cerqueira-Pereira *et al.*, 2007). La aplicación de etileno exógeno en chile puede dar respuestas diferentes ya que depende de la dosis, de la variedad y del estado de madurez del fruto (Molinari *et al.*, 1999). El ácido-2-cloroetilfosfónico (etefón) se utilizó en precosecha, para desverdizar chile 'Paprika' y se obtuvo un incremento en la producción de chile rojo; pero causó abscisión y defoliación (Cooksey *et al.*, 1994). Por otro lado, el aumento en el contenido de carotenoides en el chile pimiento dulce tratado con etileno exógeno en poscosecha, también fue observado por Cerqueira-Pereira *et al.* (2007). Para el caso del chile 'Poblano' existen muy pocas investigaciones sobre su fisiología poscosecha; por lo anterior, en este trabajo se estudió el efecto del etileno exógeno sobre la fisiología del chile 'Poblano' y su desverdización en poscosecha.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó chile (*Capsicum annum* L) 'Poblano' con dos estados de madurez: frutos con color 100 % verde (FV) y verdes con áreas rojas  $\leq$  50 % (FVR), procedentes de Fresnillo, Zacatecas de la temporada 2008. Los frutos fueron lavados, inmersos por 5 min en una solución de 2-(4-tiazolil)-1H-bencimidazol (20 mg·litro<sup>-1</sup>) para prevenir el crecimiento de hongos, se dejaron secar y enseguida se les aplicó etileno exógeno en tres dosis (100, 500 y 1,000  $\mu$ l·litro<sup>-1</sup>);

se mantuvo un testigo sin aplicación de etileno para cada estado de madurez. El etileno exógeno se aplicó por 24 h a  $25 \pm 1$  °C y 85-90 % de humedad relativa (HR), en cámaras experimentales herméticas de 0.225 m<sup>3</sup>. Dentro de cada cámara se colocó solución de NaOH saturado, como absorbedor del CO<sub>2</sub> y un ventilador para homogeneizar el aire de la atmósfera de la cámara. Se utilizó gas etileno en aire sintético (Etil-5<sup>®</sup> Praxair, México S. A. de C. V.). Se midieron velocidad de respiración y producción de etileno, sólidos solubles totales, humedad, acidez titulable, pH y color durante el almacenamiento a  $25 \pm 1$  °C y 85-90 % de humedad relativa (HR) hasta la senescencia.

Para la determinación de la velocidad de respiración ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ , VR) y producción de etileno ( $\mu\text{l}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ , VPE), se empleó el método descrito por Tovar *et al.* (2001); frutos individuales se colocaron en recipientes herméticos por 2 h y después se tomó 1 ml del espacio de cabeza y se analizó utilizando un cromatógrafo de gases marca HP modelo 6890 provisto de una columna HP-plot (15 m x 0.53 mm y 40  $\mu$ m de espesor de película). Se usó N<sub>2</sub> como gas acarreador con un flujo de 7 mL·min<sup>-1</sup>. La cámara de inyección y los detectores se mantuvieron a 250 °C, el horno se mantuvo a 50 °C por 30 segundo y posteriormente se aplicó una rampa de 30 °C·min<sup>-1</sup> hasta alcanzar 80 °C, la velocidad de flujo del aire fue de 400 mL·min<sup>-1</sup> y del H<sub>2</sub> de 30 mL·min<sup>-1</sup>. Los sólidos solubles totales (°Brix) se analizaron por medio de un refractómetro digital marca Atago con corrección por temperatura calibrado con agua destilada (AOAC, 1984). La humedad de la pulpa se determinó por diferencia de peso en estufa a 70 °C y se expresó como porcentaje de humedad en base húmeda (AOAC, 1984). La acidez titulable se determinó mediante el método de la AOAC (1984) y se expresó en meq·100<sup>-1</sup>·g<sup>-1</sup>. El pH se midió con un potenciómetro marca Jenco (AOAC, 1984). El color se evaluó de manera subjetiva siguiendo la metodología reportada para chile pimiento por Meir *et al.* (1995), se utilizó un lote de 30 frutos para cada tratamiento, 10 frutos como repetición y se observó diariamente el cambio de color; los resultados se reportan como el porcentaje de frutos rojos para cada día de almacenamiento. Todas las variables excepto velocidad de respiración, producción de etileno y color, fueron analizadas en frutos diferentes ya que estas mediciones fueron destructivas y diariamente hasta la senescencia.

Los datos se analizaron con un diseño experimental completamente al azar, usando un arreglo factorial 2x4 incluyendo los días de almacenamiento. Los factores fueron el estado de madurez (con dos niveles), el tratamiento de etileno exógeno (con cuatro niveles) y los días en que se almacenaron los frutos. Se realizaron tres repeticiones, mediante el modelo general lineal (GLM) del SAS (The SAS System for Windows™. Version 6.11) y se realizó una prueba de medias con el método de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Velocidad de respiración (VR) y producción de etileno (VPE)

Se observó efecto altamente significativo ( $P \leq 0.01$ ) para la VR debido al estado de madurez, a la aplicación de etileno y a su interacción (Cuadro 1). Los chiles de los tratamientos FVR presentaron valores más altos de la VR en relación a los chiles de los tratamientos FV durante los primeros cinco días; esto debido al estado de madurez más avanzado. En los chiles de los tratamientos FV el etileno causó la elevación de la respiración en los días 7, 6, 6 y 9 para FV0, FV100, FV500 y FV1,000, respectivamente; mientras que en los chiles de los tratamientos FVR, aunque se observan diferencias entre los tratamientos, la VR desciende en todos los tratamientos y esto pudo deberse a que ya entraron en la etapa de senescencia. La evolución de la VR en poscosecha varía dependiendo del cultivar de chile; pero es claro que en el chile 'Poblano' en estado de madurez verde, tiende a ser climatérica. En los frutos de los tratamientos FV (100 y 500 ml·litro<sup>-1</sup>) se adelantó un día la aparición de la VR máxima (ver Cuadro 1) ya que en el día seis se encontraron 37.32 y 31.85 ml·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> respectivamente; mientras que en los chiles FV0 la VR fue de 29.10 ml·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> en el día siete. En los chiles tratados a 1,000 µl·litro<sup>-1</sup> la VR máxima se retrasó dos días (25.75 ml·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> en el día nueve). Este comportamiento se atribuye a que el etileno exógeno produjo un efecto importante en la actividad enzimática del ciclo respiratorio, regulando la expresión genética y aumentando la actividad metabólica (Lelièvre *et al.*, 1997). Day y Copeland (1996) reportaron que en la glucólisis existe una regulación fitohormonal muy controlada; entre las fitohormonas que intervienen está el etileno,

el cual puede ser un estimulador y controlador del proceso respiratorio. Existe así la posibilidad de que la aplicación de etileno exógeno a 100 y 500 µl·litro<sup>-1</sup> aumente la actividad de algunas enzimas que intervienen en la vía respiratoria del chile 'Poblano' verde. En el segundo caso, la VR baja para los frutos de FV1,000 probablemente está relacionada con la autoinhibición de la producción de etileno autocatalítico ya que se retrasó la aparición de la VR máxima y en general los valores promedio fueron menores en relación con los otros tratamientos para los FV1,000 en esos mismos días (dos al seis). Este mismo comportamiento se ha observado para frutos climatéricos y no climatéricos cuando se aplican dosis de etileno exógeno de 1,000 a 1,500 µl·litro<sup>-1</sup> (Riov y Yang, 1982; Katz, *et al.*, 2005; Stitt *et al.*, 1986). El comportamiento de la VR de esta variedad de chile coincide con lo reportado en chile 'Maor', cosechados en color verde, concluyendo que esta variedad presentó una tendencia de respiración climatérica durante el almacenamiento poscosecha (Lurie *et al.*, 1986; Villavicencio *et al.*, 2001). Es importante mencionar que sólo se midió la VR en FV0 hasta el día ocho, ya que los días posteriores los frutos presentaron deshidratación evidente.

Para los chiles de FVR (ver Cuadro 1) en todos los casos se observó un descenso de la VR con los días de almacenamiento, debido a que éstos se cosecharon en estado de madurez avanzado y existe la posibilidad de que la máxima VR se halla presentado mientras los chiles estaban aún en la planta. Se observaron diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) en las medias de VR, entre los tratamientos con este estado de madurez; sin embargo, no queda claro si esas diferencias se atribuyen a la aplicación de etileno exógeno. En los chiles FVR0 la VR

**CUADRO 1. Velocidad de respiración del chile 'Poblano' verde (FV) y verde con áreas rojas  $\leq 50$  % (FVR) sin y con etileno exógeno, almacenado de 1 a 10 días a 25  $\pm$  1 °C y 85-90 % HR. Valores promedios de tres repeticiones.**

Factores	Velocidad de respiración (ml·kg <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> )									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Madurez</b>	**	**	**	**	**	-	-	-	-	-
<b>Etileno</b>	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
<b>CV (%)</b>	0.50	0.95	0.89	0.53	0.75	0.56	0.64	0.44	0.70	0.29
<b>Madurez X Etileno</b>	**	**	**	**	**	-	-	-	-	-
Comparación de medias										
FV0	18.84 ev <sup>2</sup>	20.15 ft	15.15 fw	19.10 ev	19.5 du	26.66 cs	29.10 aq	28.55 ar		
FV100	18.99 ew	23.70 dt	25.6 bs	20.10 dv	21.80 bu	37.32 aq	26.2 br	25.80 bs	26.15 bs	21.65 cu
FV500	21.60 dw	22.20 ev	16.7 8ey	13.80 fz	18.75 ex	31.85 bq	26.25 bt	25.65 bu	29.90 ar	27.45 as
FV1000	18.00 fv	20.40 ft	16.45 ew	13.40 gx	9.40 fz	11.75 dy	19.40 cu	21.20 cs	25.75 bq	23.15 br
FVR0	39.90 aq	24.65 cr	24.74 cr	24.85 br	20.85 cs					
FVR100	38.95 bq	23.45 dr	23.41 dr	23.45 cr	23.35 ar					
FVR500	29.50 cq	29.70 bq	26.25 ar	25.50 as	20.70 ct					
FVR1000	39.95 aq	30.30 ar	24.90 cs	23.65 ct	23.35 au					

NS, \*\*: No significativo y significativo a una  $P \leq 0.01$ .

CV: coeficiente de variación.

<sup>2</sup>Valores con la misma letra (a, b, c, d, e, f, g) dentro de columnas y (q, r, s, t, u, v, w, x, y, z), dentro de renglones, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una  $P \leq 0.05$ .

inició con  $39.90 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  y disminuyó a  $20.85 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  el día cinco. Para los FVR tratados a 100, 500 y  $1,000 \mu\text{l}\cdot\text{litró}^{-1}$  se encontró una VR de 23.35, 20.70 y  $23.35\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$ , respectivamente; al final del almacenamiento. Se ha reportado, que para que el etileno exógeno estimule los cambios de maduración en los frutos, es necesario que la producción de etileno endógeno se encuentre en el estado basal (Sistema I); ya que si la producción de etileno endógeno es autocatalítica (Sistema II), el efecto del etileno exógeno no será significativo debido a que los frutos responderán al etileno sintetizado por el mismo tejido, más que al aplicado de manera exógena (Salveit, 1999; Abeles *et al.*, 1992). De acuerdo a lo anterior, es posible que esto ocurra en el chile 'Poblano' cosechado en estado de madurez verde con áreas rojas ( $\leq 50\%$ ), ya que los frutos no aumentaron la VR de manera significativa cuando se aplicó etileno exógeno. Los resultados de este experimento, coinciden con otras variedades de chile tratadas con etileno exógeno. En el chile 'Yolo Wonder' (Villavicencio *et al.*, 2001), 'Nuevo México' (Biles *et al.*, 1993) y 'Changjiao' (Lu *et al.*, 1990), se encontró una disminución de la producción de  $\text{CO}_2$  y etileno cuando se cosecharon en estado de madurez verde-maduro y no respondieron a la aplicación de etileno exógeno.

Para la VPE también se observó efecto altamente significativo ( $P\leq 0.01$ ) tanto por la madurez, concentración de etileno aplicada y la interacción de ambos factores, excepto el día uno para la madurez (Cuadro 2). En todos los tratamientos la VPE se elevó durante los días de almacenamiento. Es claro que entre los dos estados de madurez estudiados y sin tratamiento con etileno (FV0 y

FVR0) existe una apreciable diferencia en la VPE. En los primeros cuatro días presentaron valores más altos los chiles FVR0 ( $0.55 \mu\text{l}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  etileno, en el día cuatro); sin embargo, los frutos FV0 al día cinco ya tenían una mayor VPE ( $0.68 \mu\text{l}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  etileno) con respecto a FVR0 ( $0.61 \mu\text{l}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  etileno). Este aumento en la VPE para FV0 a partir del día cinco provoca el aumento en la VR (ver Cuadro 1) lo cual como ya se comentó presenta su valor máximo el día siete. Se ha reportado que el tratamiento de etileno exógeno en frutos no climatéricos y climatéricos, aumenta la VR y VPE, pero depende del estado de madurez; ya que la respuesta al etileno exógeno es mayor cuando se tiene una etapa temprana de la maduración y puede no observarse este efecto cuando los frutos tienen un estado de madurez avanzado, debido a que ha iniciado la producción autocatalítica del etileno de los frutos, antes de la adición del etileno exógeno (Leshem *et al.*, 1986, Salveit, 1999; Abeles *et al.*, 1992). Es probable entonces que cuando el chile 'Poblano' se cosechó en una madurez más avanzada, el etileno exógeno no afectó la respiración ni la producción de etileno, ya que el fruto ha iniciado la etapa de maduración. Namesny (1999) reporta que la tasa de producción de etileno en chile va desde  $0.1$  a  $1 \mu\text{l}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  a  $20^\circ\text{C}$ ; en nuestro experimento muchos datos están en ese rango pero se almacenó a  $25^\circ\text{C}$ . Para los chiles de FV100 la VPE aumentó hasta llegar a  $2.51 \mu\text{l}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  de etileno (día 6) y en los chiles FV500 fue de  $2.02 \mu\text{l}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  de etileno (día 7), posteriormente disminuye y al final se eleva (día 10), en los dos tratamientos. Esta elevación de la VPE en los últimos dos días de almacenamiento se atribuye a la presencia de microorganismos en los frutos; ya que existen hongos que pueden producir este gas hasta alcanzar niveles

**CUADRO 2. Velocidad de producción de etileno del chile 'Poblano' verde (FV) y verde con áreas rojas  $\leq 50\%$  (FVR) sin y con etileno exógeno, almacenado de 1 a 10 días a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  y  $85-90\%$  HR. Valores promedio de tres repeticiones.**

Factores	Velocidad de producción de etileno ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ )									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Madurez</b>	*	**	**	**	**	-	-	-	-	-
<b>Etileno</b>	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
<b>CV</b>	5.56	2.21	4.09	4.22	0.48	0.39	1.70	0.72	1.98	0.26
<b>Mad X Etileno</b>	**	**	**	**	**	-	-	-	-	-
Comparación de medias										
FV0	0.04 ft <sup>2</sup>	0.03et	0.03 dt	0.03 et	0.68 cs	0.76 br	0.69 cs	1.81 bq		
FV100	0.13 dz	0.22 cy	0.42 bx	1.04 aw	2.08 au	2.51 as	1.87 bv	2.45 at	2.93 ar	3.45 aq
FV500	0.52 av	0.29 ax	0.46 aw	0.46 dw	0.89 bt	0.76 bu	2.02 aq	1.61 cr	1.34 bs	1.62 br
FV1000	0.08 ev	0.03 ew	0.03 dw	0.03 ew	0.43 gs	0.16 cu	0.43 ds	0.31 dt	0.72 cr	1.36 bq
FVR0	0.24 bt	0.22 cu	0.31 cs	0.55 cr	0.61 eq					
FVR100	0.16 cs	0.19 ds	0.31 cr	0.64 bq	0.64 dq					
FVR500	0.16 cu	0.26 bt	0.43 abs	0.64 br	0.68 cq					
FVR1000	0.16 cu	0.19 dt	0.29 cs	0.44 dr	0.45 fq					

NS, \*, \*\*, No significativo y significativo a una  $P\leq 0.05$  y  $0.01$ , respectivamente.

CV: coeficiente de variación.

<sup>2</sup>Valores con la misma letra (a, b, c, d, e, f, g) dentro de columnas y (q, r, s, t, u, v, w, x, y, z), dentro de renglones, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una  $P\leq 0.05$ .

fisiológicamente activos (Kader, 1992; Wills *et al.*, 1984). Para ambos estados de madurez se encuentra relación entre la elevación de la VPE y la VR. Cuando se aplicó  $1,000 \mu\text{l}\cdot\text{litro}^{-1}$  en los frutos verdes, el aumento de la VPE fue lento y en menor concentración, elevándose la VPE sólo hasta el día nueve con  $0.72 \mu\text{l}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  cuando los chiles ya mostraron crecimiento de microorganismos. Así, el efecto del etileno en el aumento de la VPE fue muy claro para los frutos de chile 'Poblano' cosechados verdes; los chiles de FV100 y FV500 son los que presentaron mayor producción de este gas, esto se atribuye a que el etileno exógeno incrementó la producción autocatalítica del etileno posiblemente por la inducción de la actividad de las enzimas ACC oxidasa y ACC sintasa. Existen reportes que demuestran que el etileno exógeno induce la expresión de los genes de la ACC sintasa y ACC oxidasa, enzimas que regulan la biosíntesis del etileno, en frutos climatéricos y no climatéricos cuando se cosechan en estado de madurez verde (Riov y Yang, 1982; Barry *et al.*, 2000); al mismo tiempo se ha reportado que este tratamiento poscosecha, aumenta la actividad catalítica de las enzimas y por lo tanto se presenta un aumento en la síntesis de la hormona (Agar *et al.*, 1999; Atunes y Sfakiotakis, 2000). En frutos de chile, existen muy pocos estudios sobre la actividad de las enzimas que intervienen en la síntesis del etileno; sin embargo, en otros frutos no climatéricos el etileno exógeno puede promover la producción (autocatálisis) del etileno endógeno o inhibirla (autoinhibición) (Riov y Yang, 1982); de acuerdo con esto, en los frutos de FV100 y FV500 se pudo estimular la biosíntesis de esta hormona; mientras que para los frutos de FV1000 posiblemente se causó una autoinhibición. Esta ocurre en el sistema I y retrasa el cambio al sistema II, de acuerdo a lo descrito por Katz, *et al.* (2005).

Se observó diferencia altamente significativa ( $P\leq 0.01$ ) de la VPE entre los diferentes niveles de etileno exógeno aplicados a FVR (Cuadro 2). En los frutos tratados con  $1,000 \mu\text{l}\cdot\text{litro}^{-1}$  (FVR1000) de etileno, el ascenso de la VPE fue más lento y presentaron menor VPE en el día cinco ( $0.45 \mu\text{l}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  de etileno); comportamiento debido posiblemente a la autoinhibición en la producción autocatalítica del etileno endógeno mencionada anteriormente. Los resultados obtenidos en todos los tratamientos de FVR coinciden con lo investigado por Gross *et al.* (1986) que reporta para chiles 'Choorahong' una tasa de producción de etileno de  $0.7-1 \mu\text{l}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ , en frutos con 30 al 40 % de color rojo; resultados similares reportó Lurie *et al.* (1986) para chiles variedad Maor y en los chiles 'Nuevo México' que mostraron un ligero aumento en la producción de etileno cuando los frutos se cosecharon verde-maduro y totalmente rojos (Biles *et al.*, 1993). Los chiles FVR se evaluaron sólo cinco días debido a que en este tiempo los frutos ya eran senescentes.

### Parámetros fisicoquímicos

En los sólidos solubles totales se encontró efecto altamente significativo ( $P\leq 0.01$ ) por la madurez y la

aplicación de etileno; además de ser también altamente significativo el efecto de la interacción de estos dos factores (Cuadro 3). Los sólidos solubles fueron ligeramente mayores, en los chiles de FVR en comparación con los chiles de FV, esto debido al diferente estado de madurez en que se encontraban las muestras. En todos los tratamientos de los chiles FV se encontró un descenso en los sólidos solubles al final del almacenamiento, siendo éste atribuido a la mayor VR que presentaron estas muestras (Cuadro 1) lo que posiblemente causó una disminución de los sustratos de la respiración. La tendencia de los sólidos solubles fue a aumentar ligeramente en los chiles de FVR (Cuadro 3), esto seguramente podría deberse a la síntesis de otros sustratos distintos a los que se emplean en la respiración y que contribuyen a este parámetro (Day y Copeland, 1996). Sin embargo, también pueden atribuirse al diferente contenido de humedad (ver Cuadro 3) ya que en los chiles FV se encontró una humedad mayor y estadísticamente distinta a los chiles FVR.

Al final del almacenamiento para los chiles de los tratamientos FVR (día cinco) se encontraron diferencias altamente significativas ( $P\leq 0.01$ ) en los sólidos solubles entre FVR0 y los FVR tratados con etileno ( $500$  y  $1,000 \mu\text{l}\cdot\text{litro}^{-1}$ ), lo cual indica que podría existir un efecto muy leve por la aplicación de etileno exógeno en éste parámetro.

La humedad del chile 'Poblano' presentó efecto altamente significativo ( $P\leq 0.01$ ) por los dos factores y su interacción, excepto en el día uno en donde no se encontró efecto de la aplicación de etileno y la interacción de los factores (ver Cuadro 3). Los chiles de los tratamientos FV presentaron en general, un mayor contenido de humedad después de ser almacenados cinco días en comparación a las muestras de FVR. Las principales razones de la disminución de humedad durante el almacenamiento de los vegetales son: diferencia en las presiones de vapor del agua del medio ambiente y la parte interna del producto, la variabilidad de la humedad relativa, además de la temperatura (Wills *et al.*, 1984). La temperatura de almacenamiento que se utilizó ( $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ ) se considera una temperatura óptima en la cual existe una mayor actividad enzimática y por lo tanto una mayor cantidad de reacciones de hidrólisis como es el caso de la respiración; lo que genera la liberación de moléculas de agua. En los chiles de FVR, la mayor pérdida de agua en menor tiempo se atribuye además de la transpiración, al estado de madurez en el que se cosecharon los frutos, ya que conforme avanza la senescencia de las muestras hay una hidrólisis de la pared celular y la facilidad de pérdida de humedad es mayor. Una alternativa para evitar la pérdida de humedad es que se controle de forma cuidadosa la humedad relativa en el cuarto de almacenamiento (Wills *et al.*, 1984).

En el Cuadro 4 se muestran los cambios en la acidez titulable y pH. Para ambos parámetros se encontró efecto altamente significativo ( $P\leq 0.01$ ) por los dos factores y su

**CUADRO 3. Sólidos solubles totales y Humedad del chile 'Poblano' verde (FV) y verde con áreas rojas ≤ 50 % (FVR) sin y con etileno exógeno, almacenado de 1 a 10 días a 25 ± 1 °C y 85-90 % HR. Valores promedio de tres repeticiones.**

Factores	Sólidos solubles totales (°Brix)					Humedad (%)				
	1	3	5	7	9	1	3	5	7	9
<b>Madurez</b>	**	**	**	-	-	**	**	**	-	-
<b>Etileno</b>	**	**	**	**	**	NS	**	**	**	**
<b>CV (%)</b>	0.46	0.29	0.44	0.47	0.21	0.31	0.19	1.04	0.03	0.02
<b>Madurez X etileno</b>	**	**	**	-	-	NS	**	**	-	-
Comparación de medias										
FV0	5.60 ew <sup>z</sup>	5.91 ev	5.23 ey	5.34 cx	5.11 dz	92.65 abv	92.03 bvw	91.39 avw	90.36 dwx	88.74 dx
FV100	5.66 dy	5.82 fw	5.92 dv	5.72 ax	5.61 az	92.56 abv	92.81 av	91.58 aw	90.53 cx	89.94 cy
FV500	5.80 cv	5.81 fv	5.23 ew	5.21 dwx	5.17 cx	92.33 bw	92.93 av	92.53 aw	91.32 bx	90.53 ay
FV1000	5.50 fw	6.01 dv	5.20 ez	5.40 dx	5.31 by	92.85 av	92.63 avw	92.43 aw	91.84 ax	90.12 by
FVR0	6.66 bx	7.31 bw	7.52 bv			90.73 cv	90.56 cw	88.13 bx		
FVR100	6.83 ax	7.35 av	7.31 cw			90.26 cv	89.24 dw	88.86 bx		
FVR500	6.86 aw	6.63 cx	7.74 av			90.36 cv	90.32 cv	88.82 bw		
FVR1000	6.66 bx	7.31 bw	7.74 av			90.57 cv	89.55 dw	89.13 bx		

NS, \*\*: No significativo y significativo a una  $P \leq 0.01$ .

CV: coeficiente de variación

<sup>z</sup>Valores con la misma letra (a, b, c, d, e, f) dentro de columnas y (v, w, x, y, z), dentro de renglones, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una  $P \leq 0.05$ .**CUADRO 4. Acidez titulable y pH del chile 'Poblano' verde (FV) y verde con áreas rojas ≤ 50 % (FVR) sin y con etileno exógeno, almacenado de 1 a 10 días a 25 ± 1 °C y 85-90 % HR. Valores promedio de tres repeticiones.**

Factores	Acidez titulable (meq 100-g <sup>-1</sup> )					pH				
	1	3	5	7	9	1	3	5	7	9
<b>Madurez</b>	**	**	**	-	-	**	**	**	-	-
<b>Etileno</b>	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
<b>CV (%)</b>	1.73	1.81	1.43	1.22	1.01	0.34	0.25	0.17	0.14	0.42
<b>Madurez X etileno</b>	**	**	**	-	-	**	**	**	-	-
Comparación de medias										
FV0	2.21 bv	1.81 dw	1.68 ex	1.52 by	1.43 bz	6.62 ay <sup>z</sup>	6.91 aw	6.92 bw	6.96 bv	6.71 dx
FV100	2.20 bv	1.91 cw	1.61 fx	1.61 ax	1.42 by	6.51 ay	6.60 bx	6.71 dw	6.68 dw	6.77 cv
FV500	2.21 bv	1.81 dw	1.81 dw	1.50 bx	1.40 by	5.91 dz	6.61 by	6.96 ax	7.02 aw	7.04 av
FV1000	2.30 av	1.81 dw	1.62 fx	1.51 by	1.55 ay	6.11 cz	6.45 cy	6.75 cx	6.81 cw	6.91 bv
FVR0	2.08 cw	2.10 bw	3.58 av			5.46 ew	5.65 ev	5.34 gx		
FVR100	1.54 ex	2.52 aw	2.76 bv			5.41 fx	5.62 efv	5.47 ew		
FVR500	1.93 dv	1.67 ex	1.81 dw			5.41 fx	5.92 dv	5.45 fw		
FVR1000	2.08 cw	1.22 fx	2.36 cv			5.31 gw	5.61 fv	5.32 hw		

NS, \*\*: No significativo y significativo a una  $P \leq 0.01$ .

CV: coeficiente de variación.

<sup>z</sup>Valores con la misma letra (a, b, c, d, e, f) dentro de columnas y (v, w, x, y, z), dentro de renglones, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una  $P \leq 0.05$ .

interacción. Es obvio que tanto el comportamiento de la acidez titulable como del pH para los chiles FV es distinto con respecto al mostrado en los chiles FVR debido a que se encuentran en diferente estado de madurez. Mientras que en los chiles FV se muestra un descenso gradual de la acidez titulable y un aumento del pH; no existe un patrón de comportamiento similar en las muestras FVR. Aunque los ácidos orgánicos se pueden utilizar en la respiración; se ha reportado que la acidez titulable en los frutos de chile 'Poblano' se atribuye principalmente al contenido de ácido

ascórbico por ser un fruto rico en Vitamina C y a medida que el fruto se vuelve senescente sin presentar cambios de color, la degradación de este ácido es mayor (Dürüst *et al.*, 1997). Es posible que la aparición de los pigmentos proteja al ácido ascórbico al evitar su oxidación, ya que la función de los pigmentos puede ser de antioxidante. Así, el mayor valor promedio de la acidez titulable en los chiles FVR posiblemente se deba a este efecto, aunado a que los ácidos orgánicos son también sustratos de las reacciones de la respiración y para estos frutos la VR fue más baja que en

los chiles FV (Cuadro 1). Por otro lado, el pH se comporta de acuerdo a la variación en la acidez titulable, ya que aumenta cuando la acidez titulable desciende y viceversa; lo cual ha sido reportado para algunas frutas (Tucker, 1993). La disminución o aumento del pH en los frutos, se atribuye al menor o mayor contenido de ácidos orgánicos presentes en forma ionizada en el tejido vegetal (Salisbury y Ross, 1994). En los chiles de FVR500 y FVR1,000 se observó mayor variabilidad en la acidez titulable y el pH; esto se atribuye a que no se pudo controlar de manera exacta el estado de madurez de todos los frutos y no al efecto del etileno exógeno. Salveit *et al.* (1999) mencionan que para lograr una máxima calidad de consumo en los frutos no climatéricos, como el caso del chile, los cambios de composición durante la maduración, deben llevarse a cabo cuando los frutos se encuentran todavía en la planta.

En frutos no climatéricos el etileno regula menos reacciones en el proceso de maduración (Pretel *et al.*, 1995); sin embargo, se ha comprobado que esta hormona aplicada de manera exógena a frutos no climatéricos, puede aumentar la velocidad de respiración, producción de etileno endógeno y síntesis de carotenoides; debido a que regula y controla la síntesis y actividades de las enzimas que intervienen en estos metabolismos, pero otros procesos de maduración no son regulados por el etileno (Pretel *et al.*, 1995; Reid, 1985). En este sentido el chile 'Poblano' se comporta como no climatérico al que el etileno puede afectar en su velocidad de respiración; pero el efecto en los parámetros fisicoquímicos no es contundente. Existen reportes de otros cultivares de chile ('Prador R', 'Rubia R' y 'Robusta') tratados con etileno exógeno y cosechados en diferentes estados de madurez en donde tampoco se observó efecto del etileno exógeno en los sólidos solubles totales y acidez titulable (Cerqueira-Pereira *et al.*, 2007; Fox *et al.*, 2005); coincidiendo estos resultados con los obtenidos en nuestro experimento.

En el Cuadro 5 sólo se muestra el efecto del etileno en el cambio de color para los chiles de FVR; debido a que en los chiles de FV a pesar de que el etileno aumentó la VR y VPE, no se desverdzaron. Únicamente hasta el día nueve se encontraron en los tratamientos de FV500 y FV1,000 el 10 % de los frutos para cada tratamiento completamente rojos. Fox *et al.* (2005) mencionan que el efecto del etileno en el desarrollo de color rojo depende del estado de madurez al cual se cosechan los chiles y el efecto es significativo cuando los chiles se cosechan maduro-verde. El control del metabolismo de los carotenoides por el etileno aún no ha sido completamente aclarado (Mustilli *et al.* 1999); sin embargo, Lois *et al.* (2000) reportaron que es necesario la presencia del metiliteritol fosfato, compuesto que se encuentra en los plastidios de las células vegetales, ya que actúa como precursor del inicio de la biosíntesis de carotenoides y en coordinación con los precursores de la misma biosíntesis de carotenoides existe la regulación de este metabolismo; este compuesto se encuentra en pequeñas concentraciones cuando el tejido

**CUADRO 5. Porcentaje de frutos de color rojo de chile 'Poblano' verde (FV) y verde con áreas rojas  $\leq$  50% (FVR) sin y con etileno exógeno, almacenado de 1 a 5 días a  $25 \pm 1$  °C y 85-90 % HR.**

Factores	Porcentaje de frutos rojos(%)		
	1	3	5
<b>Madurez</b>	-	-	-
<b>Etileno</b>	**	**	**
<b>CV (%)</b>	2.10	1.38	0.83
<b>Madurez X etileno</b>	-	-	-
Comparación de medias			
FVR0	10 dz <sup>z</sup>	30 dy	50 cx
FVR100	40 cz	50 cy	90 bx
FVR500	60 bz	70 by	100 ax
FVR1000	80 ay	100 ax	100 ax

\*\* : significativo a una  $P \leq 0.01$ .

CV: coeficiente de variación.

<sup>z</sup>Valores con la misma letra (a, b, c, d) dentro de columnas y (x, y, z), dentro de renglones, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una  $P \leq 0.05$ .

vegetal está inmaduro. Así, es posible que aunque la expresión de los genes de las enzimas que intervienen en el ciclo respiratorio y de etileno responden al etileno exógeno en los primeros días del almacenamiento en los chiles FV, para el inicio del metabolismo de los carotenoides probablemente se requiere de la presencia de algún precursor y éste quizá no se haya sintetizado cuando los frutos de chile se cosechan con color verde. Por otro lado, en los chiles de FVR se encontraron cambios de color desde el día dos aún en FVR0 que no recibió tratamiento con etileno. Así, la aplicación de etileno exógeno aceleró los cambios de color ya que en los chiles de FVR1000 después de las 24 h de aplicación de etileno, se observó el 80 % de frutos completamente rojos; dos días después de la aplicación de etileno (día 3) se presentó el 100 % de los chiles rojos; siendo así la concentración de 1,000  $\mu\text{l}\cdot\text{litro}^{-1}$  de etileno exógeno la mejor para desverdzar los chiles en este estado de madurez. Se ha comprobado que el etileno exógeno puede aumentar la actividad de las clorofilasas y degradar la clorofila de los chiles, naranjas y limones y además aumentar la síntesis de carotenoides (Salveit, 1999). Armitage (1989) reportó que la maduración de chiles 'Fire ball' y 'Red Missile' en la planta, fue acelerada por la aplicación de ethephon a las concentraciones de 150 y 300  $\mu\text{l}\cdot\text{litro}^{-1}$  y fueron eficientes, independientemente del cultivar ya que se obtuvieron el 80 % de frutos con coloración roja. El chile pimienta 'Robusta' fue cosechado en cinco etapas de maduración desde el 10 % rojo hasta rojo, almacenados a 20 °C y se les aplicó continuamente etileno exógeno a una concentración de 100  $\mu\text{l}\cdot\text{litro}^{-1}$  a 90 % RH; el tiempo de maduración (color rojo) fue más rápido en las frutas tratadas comparadas con el control pero dependió del estado de madurez (Fox *et al.*, 2005). Esto significa que para que el etileno exógeno tenga un efecto en este chile 'Poblano' es necesario que se coseche cuando ya se inició la síntesis de carotenoides; probablemente porque sólo en este estado de madurez el etileno exógeno pueda promover la expresión

enzimática del metabolismo de los carotenoides y su desverdización (Marty *et al.*, 2005).

### CONCLUSIONES

El etileno exógeno a las concentraciones de 100 y 500  $\mu\text{l}\cdot\text{litro}^{-1}$  aumenta la velocidad de respiración y producción de etileno en el chile 'Poblano' verde y la concentración de 1,000  $\mu\text{l}\cdot\text{litro}^{-1}$ , presentó un efecto negativo en la velocidad de respiración y producción de etileno; pero ningún tratamiento promovió la desverdización.

El mejor estado de madurez para desverdizar el chile 'Poblano' fue el que presentó color verde con áreas rojas de 50 %, y la mejor concentración de etileno exógeno fue la de 1,000  $\mu\text{l}\cdot\text{litro}^{-1}$  aplicada por 24 h a  $25 \pm 1$  °C y 85-90 % de humedad relativa (HR) y su posterior almacenamiento bajo las mismas condiciones; con la interacción de estos factores se obtuvo el 100 % de frutos rojos en tres días sin alterar los cambios fisicoquímicos.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento otorgado por la DGEST con Núm. de proyecto 317.06 y a CONACYT a través de la beca Núm. 208679 para la realización de este trabajo.

### LITERATURA CITADA

- ABELES, F. B.; MORGAN, P. W.; SALVEIT, M. E. 1992. Ethylene in Plant Biology. Second Edition. Academic Press. San Diego, USA. 226 p.
- AGAR, T. ; BIASI, W. V.; MITCHAM, J. E. 1999. Exogenous ethylene accelerates ripening responses in 'Bartlett' pears regardless of maturity or growing region. *Postharvest Biology and Technology* 17:67-78.
- AOAC, 1984. Official Methods of Analysis, 13th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC. 1141p.
- ATUNES M. D. C.; SFAKIOTAKIS, E. M. 2000. Effect of high temperature stress on ethylene biosynthesis respiration and ripening of 'Hayward' kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology* 20:251-259.
- ARMITAGE, A. M. 1989. Promotion of fruit ripening of ornamental peppers by ethephon. *Hortscience* 24(6): 962-964.
- BARRY, C. S.; LLOP-TOUS, M.; GRIERSON, D. 2000. The regulation of aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase gene expression during the transduction from system-1 to system-2 ethylene synthesis in tomato. *Plant Physiology* 123: 979-986.
- BILES, CH. I.; WALL, M.; BLACKSTONE, K. 1993. Morphological and physiological changes during maturation of New Mexican types peppers. *Journal of American Society for Horticultural Science* 118: 476-480.
- CANTLIFFE, D. J.; GOODWIN, P. 1975. Red color enhancement of pepper fruits by multiple applications of ethephon. *Journal of American Society for Horticultural Science* 100: 157-161.

- CERQUEIRA-PEREIRA E. C.; PEREIRA M. A.; MELLO, S. C.; JACOMINO, A. P.; TREVISAN, M. J.; DIAS, C. T. 2007. Efeito da aplicação de etileno na qualidade pós-colheita de frutos de pimentão vermelhos e amarelos. *Horticultura Brasileira* 25: 590-583.
- COOKSEY, J. R.; KAHN, B. A.; MOTES, J. E.; 1994. Calcium and ethephon effects of paprika pepper fruit retention and fruit color development. *Hortscience* 29(7): 792-794.
- DAY, D. A.; COPELAND, L. 1996. Fotosíntesis y respiración. pp. 173-191. *In: Fisiología y Bioquímica Vegetal*. AZCON-BIETO, J.; TALON, M. (eds.). Editorial Interamericana-McGraw Hill. Printed in Spain.
- DÜRÜST, N.; SÜMENGEN, D.; DÜRÜST, Y. 1997. Ascorbic acid and minerals contents in pepper. *Journal Agricultural Food Chemistry*. 45:2085-2087.
- FOXA, J.; POZO-INSFRAN D. D.; LEE J. H.; STEVEN A. S.; TALCOTT T. S. 2005. Ripening induced chemical and antioxidant changes in bell peppers as affected by harvest maturity and postharvest ethylene exposure. *Hortscience* 40: 732-736.
- GROSS, K. C.; WATADA, A. E.; KANG, M. S.; KIM, K. ; LEE; S. W. 1986. Biochemical changes associated with the ripening of hot pepper fruit. *Plant Physiology* 66: 31-36.
- GUZMAN-MALDONADO, S. H.; PAREDES-LÓPEZ, O. 1998. Functional products of plant indigenous to Latin America: amaranth, quinoa, common beans and botanical, pp. 293-328. *In: Functional Foods-Biochemical & Processing Aspects*. MAZZA, G. (ed.). Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, PA.
- KADER, A. A. 1992. Postharvest Biology and Technology: An Overview, pp. 15-100. *In: "Technology of Horticultural Crops"*. KADER, A.A. (ed.). California, USA.
- KATZ, E.; RIOV, J.; WEISS, D.; GODLSCHMITH, E. E. 2005. The climacteric-like behaviour of young, mature and wounded citrus leaves. *Journal of Experimental Botany* 56(415): 1359-1367.
- LELIÈVRE, J. M.; LATCHÉ, A.; JONES, B.; BOUZAYEN, M.; PECH, J. C. 1997. Ethylene and fruit ripening. *Plant Physiology* 101: 727-739.
- LESHEM, Y. Y.; HALEVY, A. H.; FRENKEL, C. 1986. Fruit ripening, pp.162-199. *In: Process and Control of Plant Senescence*. LESHEM, Y. Y.; HALEVY, A. H.; FRENKEL, C. (eds). Elsevier, Amsterdam.
- LOIS, L. M.; RODRÍGUEZ-CONCEPCION, M.; GALLEGOS, F.; CAMPOS, N.; BORONAT, A. 2000. Carotenoid biosynthesis during fruit development: regulatory role of 1-deoxy-D-xylulose 5-phosphate synthase. *Journal of Plant Physiology* 22(6): 503-513.
- LU, G.; YANG, C.; LIAG, H.; LU, Z. 1990. 'Changjiao' hot peppers are non-climacteric. *Hortscience* 25: 807.
- LURIE, S.; BEN-YEHOSHUA, S. 1986. Changes in membrane properties and abscisic acid during senescence of harvested bell pepper fruit. *Journal of American Society for Horticultural Science* 111: 880-885.
- MARTY, I.; BUREAU, S.; SARKISSIAN, G.; GOUBLE, B.; AUDERGON, J. M.; ALBAGNAC, G. 2005. Ethylene regulation of carotenoid accumulation and carotenogenic gene expression in colour-contrasted apricot varieties (*Prunus armeniaca*). *Journal Experimental of Botany* 56 (417): 1877-1886.
- MEDLICOTT, A. P.; SIGRIST, J. M.; REYNOLDS, S. B.; THOMPSON, A. K. 1997. Effects of ethylene and acetylene on mango fruit ripening. *Annual Apply Biology* 111: 439-444.
- MEIR, S.; ROSENBERGER, I. Z.; GRINBERG, A. S.; FALLIK, E. 1995. Improvement of the postharvest keeping quality and colour

- development of bell pepper (cv. 'Maor') by packaging with polyethylene bags at a reduced temperature. *Postharvest Biology and Technology* 5: 303-309.
- MOLINARI, A. F.; CASTRO, L. R.; ANTONIALI, S.; PORNCHALOEMPONG, P.; FOX, A. J.; SARGENT, S. A. 1999. The potential for bell pepper harvest prior to full color development. *Horticultural Society* 112: 143-146.
- MUSTILLI, A. C.; FENZI, F.; CILIENTO, R.; ALFANO, F.; BOWLER, C. 1999. Phenotype of the tomato high pigment-2 mutant is caused by a mutation in tomato homolog of DEETIOLATED1. *Plant Cell* 1: 145-157.
- NAMESNY, A. 1999. Posrecolección de hortalizas. III Hortalizas de fruto. Ediciones de Horticultura S. L. España. pp. 302-303.
- PRETEL, M. T.; SERRANO M.; ARNOROS, A.; RIQUELME, F.; ROMOJARO, F. 1995. Non-involvement of ACC and ACC oxidase activity in pepper fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology* 5 (1995) 295-302.
- REID, M. S. 1985. Ethylene and abscission. *Hortscience* 20:45-50.
- RIOV, J; YANG, S. F. 1982. Autoinhibition of ethylene production in citrus discs. *Plant Physiology* 69:687-690.
- SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. 1994. "Fisiología Vegetal". Grupo editorial Iberoamericana S. A. de C. V. México pp 71-441.
- SAGARPA, 2007. Centro de Estadísticas Agropecuarias. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Subdelegación Agropecuaria, Tepic, Nayarit. México.
- SALVEIT, M. E. 1999. Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology* 15: 279-292.
- STITT, M.; CSEKE, C.; BUCHANAN, B. 1986. Ethylene-induced increase in fructose-2,6-biphosphate in plant storage tissues. *Plant Physiology* 80:246-248.
- TOVAR, B.; GARCIA, H. S.; MATA, M. 2001. Physiology of pre-cut mango. II Evolution of organics acids. *Food Research International* 34(8): 705-714.
- TUCKER, G. A. 1993. Biochemistry of fruit ripening. Editorial Chapman and Hall. USA pp. 1-15.
- VILLAVICENCIO, L. C.; BLANKENSHIP, S. M.; SANDERS, D. C.; SWALLOW, W. H. 2001. Ethylene and carbon dioxide concentration in attached fruits of pepper cultivars during ripening. *Scientia Horticulturae* 91: 17-24.
- WILLS, R. H. H.; LEE, T. ; HALL, E. G.; MCGLASSON, W. B. 1984. "Fisiología y Manipulación de Frutas y Hortalizas Post-recolección". Editorial Acribia. Zaragoza, España. pp. 2-93.