

# APLICACIÓN AL SUELO DE CO<sub>2</sub>, USO DE ACOLCHADOS PLÁSTICOS Y SISTEMAS DE MANEJO EN TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot.)

S. Soldevilla-Canales<sup>1</sup>, S.; A. Peña-Lomeli<sup>2</sup>; F. Solís-Mendoza<sup>2</sup>;  
T. R. Vásquez-Rojas<sup>2</sup>; M. T. Colinas-León<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Egresado del Posgrado en Horticultura, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. México.

<sup>2</sup>Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. México. Correo-e: lomeli@taurus1.chapingo.mx (<sup>\*</sup>Autor responsable).

## RESUMEN

El estudio se realizó durante el ciclo primavera-verano de 1996 en Chapingo, México. Se estudiaron los factores siguientes: aplicación de CO<sub>2</sub> al suelo, disuelto en agua, en concentraciones de 0 (testigo), 300 y 1200 mg-litro<sup>-1</sup> uso de acolchados plásticos que incluyó: plástico transparente, blanco-negro y sin plástico (testigo); y sistema de conducción con y sin espaldera (testigo). Los resultados indicaron que la aplicación al suelo de CO<sub>2</sub> disuelto en agua aumentó significativamente el área foliar, peso de materia seca de hojas y tallos, y rendimiento en la última cosecha, principalmente con 1200 mg-litro<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, el rendimiento inicial y total; peso, número y volumen de frutos; longitud de ramas; acidez total de hojas; porcentaje de CO<sub>2</sub> en el suelo y tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> no fueron significativamente afectados, por lo que posiblemente el CO<sub>2</sub> no fue absorbido por las raíces ni hubo formación adicional de ácidos orgánicos. Asimismo, el pH del suelo disminuyó ligeramente con 1200 mg-litro<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>. El uso de acolchados plásticos modificó significativamente la morfología de las plantas, principalmente el de color transparente, provocando el aumento del diámetro de tallo, número de hojas y flores, altura de planta, longitud de ramas, área foliar, materia seca, peso del fruto, rendimiento inicial y total (73.8 t-ha<sup>-1</sup>) y temperatura del suelo. El mayor rendimiento total se obtuvo con acolchado blanco-negro (78.7 t-ha<sup>-1</sup>) y el menor con el testigo (44.9 t-ha<sup>-1</sup>). El manejo en espalderas produjo mayor rendimiento total (67.73 t-ha<sup>-1</sup>) que el manejo tradicional en piso (63.87 t-ha<sup>-1</sup>), el cual modificó el patrón inicial de traslocación de asimilados en la planta, aumentando la materia seca de tallos y hojas en detrimento del rendimiento inicial de frutos. El mayor rendimiento total se obtuvo mediante la conducción en espaldera con acolchado blanco-negro y 1200 mg-litro<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> (83.8 t-ha<sup>-1</sup>) y presentó una relación beneficio/costo (B/C) de 0.52. La mayor relación B/C (1.08) se logró con el manejo sin espalderas con acolchado blanco-negro y sin CO<sub>2</sub>, que produjo 75.6 t-ha<sup>-1</sup>. El tratamiento testigo (sin CO<sub>2</sub>, sin acolchado, sin espaldera) rindió 42.8 t-ha<sup>-1</sup> y presentó 0.55 de relación B/C.

**PALABRAS CLAVE ADICIONALES:** bióxido de carbono, dióxido de carbono, agua carbonatada, espalderas, tutoro, cubiertas plásticas, tomatillo, ácido carbónico.

## APPLICATION OF CO<sub>2</sub> TO SOIL, USE OF PLASTIC MULCHES, AND MANAGEMENT SYSTEMS FOR HUSK TOMATOES (*Physalis ixocarpa* Brot.)

### SUMMARY

This study was conducted during the spring-summer cycle 1996 in Chapingo, Mexico. The following factors were studied: soil application of CO<sub>2</sub> dissolved in water at concentrations of 0 (control), 300 and 1200 mg-liter<sup>-1</sup>; use of plastic mulches, which included transparent plastic, white-on-black plastic, and a control without plastic mulch; and a training system with and without (control) trellis. The results indicated that soil application of CO<sub>2</sub> dissolved in water, especially the treatment with 1200 mg-liter<sup>-1</sup>, significantly increased the leaf area, weight of leaf and stem dry matter, and yield in the last harvest. However, initial and total yield, fruit weight, number and volume, branch length, total leaf acidity, percentage of CO<sub>2</sub> in the soil and CO<sub>2</sub> assimilation rate were not significantly affected, possibly because CO<sub>2</sub> was not absorbed by the roots and neither was there additional formation of organic acids. Also, soil pH decreased slightly with 1200 mg-liter<sup>-1</sup> of CO<sub>2</sub>. The use of plastic mulches, principally the transparent mulch, significantly modified the morphology of the plants: increase in stem diameter, number of leaves and flowers, plant height, branch length, leaf area, dry matter, fruit weight, initial and total (73.8 t-ha<sup>-1</sup>) weight, and soil temperatures. The highest total yield was obtained with white-on-black mulch (78.7 t-ha<sup>-1</sup>) and the lowest with the control (44.9 t-ha<sup>-1</sup>). Management on trellises produced a higher total yield (67.73 t-ha<sup>-1</sup>) than traditional management on the ground (63.87 t-ha<sup>-1</sup>), which modified the initial pattern of translocation of assimilates in the plant, increasing the dry matter in stems and leaves at the expense of initial fruit yield. The highest total yield was obtained with trellis training with white-on-black mulch and 1200 mg-liter<sup>-1</sup> of CO<sub>2</sub> (83.3 t-ha<sup>-1</sup>); this treatment had a benefit/cost ratio (B/C) of 0.52. The highest B/C ratio resulted from the treatment without trellises with white-on-black mulch and without CO<sub>2</sub>, producing 75.6 t-ha<sup>-1</sup>. The control treatment (without CO<sub>2</sub>, without mulch, and without trellis) yielded 42.8 t-ha<sup>-1</sup> with a 0.55 B/C ratio.

**ADDITIONAL KEY WORDS:** Carbon dioxide, carbonated water, trellises, training, plastic covers, tomatillo, carbonic acid.

## INTRODUCCIÓN

El aumento en 1,250 % del consumo *per capita* de tomate de cáscara en México entre la década de los años cincuenta y noventa, el incremento de la superficie cultivada en 64 %, del volumen de producción en 131 % entre 1980 y 1993, y la alta demanda de mano de obra (88 jornales por hectárea), ha ubicado a esta especie entre las principales cinco hortalizas del país, con un rendimiento promedio de 11.2 t·ha<sup>-1</sup> (Peña y Santiaguillo, 1998). Con estas características y dada la creciente limitación de los recursos naturales (suelo y agua, entre otros), condiciones climáticas restringidas (baja temperatura, exceso o déficit de lluvias) y el escaso incremento de la superficie agrícola, permiten que los sistemas intensivos de producción, a través de la adaptación o mejoramiento de técnicas de cultivo, se posicionen como una de las alternativas para mejorar la competitividad, calidad del producto, producción estacional o consistente en respuesta a la necesidad de mejorar la relación beneficio/costo de los productores y favorecer la penetración y posicionamiento del mercado interno y externo.

El bajo rendimiento nacional de tomate de cáscara y la baja rentabilidad obtenida crea la necesidad de investigaciones que permitan elevar el rendimiento y mejorar los ingresos netos. En este contexto, se considera que la aplicación de bióxido de carbono al suelo en contacto con el sistema radical de las plantas puede aumentar el rendimiento del cultivo, tal como lo reportó Arteca *et al.* (1979) en papa, donde la producción de materia seca por planta aumentó 18 % y la producción de tubérculos en 116 % cuando fueron tratados con la aplicación al medio de cultivo de gas que contenía 45 % de CO<sub>2</sub>, 21 % de O<sub>2</sub> y 34 % de N<sub>2</sub>, en donde parte del aumento del rendimiento se debió al CO<sub>2</sub> absorbido por las raíces. Arteca y Poovaiah (1982) sugieren que el CO<sub>2</sub> captado por la enzima fosfoenol piruvato carboxilasa (PEP-asa) en las raíces de las plantas pueden formar malato y trasladarse a las hojas, siendo descarboxilados por enzimas, lo cual aumenta la concentración de CO<sub>2</sub> en la savia y puede ser refijado por la enzima RUBISCO y favorecer la fotosíntesis. Por otro lado, el carbono puede disminuir el pH de la célula y de la savia, incrementando la relación CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> que permite la disminución de la fotorrespiración, principalmente en plantas C<sub>3</sub> en las que este proceso es importante.

Respuestas similares, de mayor rendimiento han sido obtenidas por Mauney y Hendrix (1988) en algodón donde la aplicación de 1500 a 1800 mg·litro<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> a 32 a 30 °C, a plantas bajo invernadero aumentó 70 % el rendimiento comercial, debido probablemente a la mayor absorción de micronutrientes por el cultivo y no directamente al agua carbonatada aplicada como tal. El mecanismo de acción del agua carbonatada es aún desconocido por los investigadores, y al parecer la respuesta depende en gran

parte de las condiciones del ambiente en el cultivo (Storlie y Heckman, 1996a). Mauney y Hendrix (1988) reportaron resultados favorables en el algodón bajo condiciones alcalinas de cultivo (pH = 8.0); Novero *et al.* (1991) encontraron respuestas positivas en tomate en suelos alcalinos (pH = 7.5). Sin embargo, Storlie y Heckman (1996b) reportaron que el agua carbonatada no aumentó el rendimiento comercial en pimiento bajo condiciones ideales de cultivo.

El incremento de la productividad por la aplicación radical de bióxido de carbono en los cultivos puede ser causada por la mayor absorción y disponibilidad de nutrientes para las plantas (Basile *et al.*, 1993; Enoch y Olesen, 1993); la modificación temporal del pH, mismo que favorece el intercambio iónico de algunos elementos (Bialczyk *et al.*, 1994); el aumento del carbono presente en el suelo, el cual puede ingresar a la raíz y movilizarse fomentando mayor tasa de fotosíntesis bruta de las hojas (Arteca y Poovaiah, 1982); el enriquecimiento del dosel de las plantas, dado la gran volatilidad del bióxido de carbono (Novero *et al.*, 1991); la capacidad de amortiguamiento del bióxido de carbono sobre la actividad de los pesticidas, lo que disminuye la mortalidad de los organismos nitrificantes del suelo (Enoch y Olesen, 1993).

El acolchado plástico del suelo es considerado un elemento indispensable de ciertas técnicas de producción, principalmente hortícolas, donde aumenta la producción y la calidad de los mismos y mejoran la relación beneficio/costo de los productores. Los acolchados plásticos tienen influencia sobre la temperatura del suelo, aumentándola o conservándola de acuerdo a las propiedades ópticas de la cubierta (Ham *et al.*, 1993; Lamont, 1993); generalmente ésta aumenta en la fase inicial de los cultivos (Tindall *et al.*, 1991; Csizinky *et al.*, 1995; Soltani *et al.*, 1995). La temperatura del suelo con acolchado plástico de color negro puede aumentar 1.7 °C a 10 cm de profundidad y de 4.4 a 7.8 °C a 5 cm de profundidad con acolchado transparente (Lamont, 1993). Los acolchados plásticos reducen la superficie de evaporación del suelo y conservan la humedad del mismo, lo que favorece el crecimiento de los cultivos (Robledo y Martin, 1988; Hanada, 1991; Lamont, 1991); sin embargo, el mayor tiempo de retención de humedad ocurre con el acolchado plástico negro (Salman y Gorski, 1988; Hanada, 1991).

Los acolchados plásticos favorecen la descomposición de la materia orgánica del suelo aumentando la fertilidad de éste y la nutrición de los cultivos (Wien y Minotti, 1988; Robledo y Martin, 1989; Hyo-Duk, 1991; Jensen y Malter, 1995); disminuyen el crecimiento de malas hierbas; modifican el crecimiento y la morfogénesis de los cultivos (Decoteau *et al.*, 1988; Orozco *et al.*, 1995); disminuyen el efecto de plagas y enfermedades

modificando la respuesta anemotáctica de algunos insectos (Costello, 1994; Orozco *et al.*, 1995); modifican o conservan las propiedades físicas del suelo (Robledo y Martín, 1988; Adetunji, 1994); y mejoran la relación beneficio/costo de los cultivos (Orozco *et al.*, 1995; Teasdale y Abdul-Baki, 1995).

La conducción de plantas en espaldera permite un mejor aprovechamiento del espacio, con el consecuente incremento de la densidad de plantación; ampliación de los periodos vegetativo y reproductivo de la planta, lo cual eleva el rendimiento y la calidad de fruto por la eliminación del contacto del follaje con el suelo, principalmente en zonas y periodos lluviosos; favorece la eficiencia de los productos químicos aplicados y generan condiciones adversas para la proliferación de plagas y enfermedades. Gutiérrez (1986) reportó que el uso de espalderas en tomate de cáscara no tiene influencia sobre el desarrollo fisiológico ni el rendimiento del cultivo, pero la calidad de frutos es mayor. Asimismo, Castillo *et al.* (1991) reportó mayor rendimiento total y comercial y mejor calidad de frutos con el uso de espalderas, aunque menor rentabilidad del cultivo.

Los objetivos de la investigación fueron: evaluar el efecto de la aplicación radical de CO<sub>2</sub> disuelto en agua; medir las respuestas del uso de acolchados plásticos; evaluar la respuesta agronómica bajo los sistemas de manejo convencional (piso) y con espaldera; y determinar la factibilidad económica del cultivo bajo los diferentes factores y tratamientos en consideración.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se desarrolló entre febrero y julio de 1996 en el campo experimental de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Chapingo, Estado de México, localizado a 19° 29' latitud norte y 2250 msnm, con temperatura media mensual de 19.3 °C, 49 % de humedad relativa y 29.5 mm de precipitación en los meses de desarrollo del cultivo.

El trasplante de la variedad CHF1-Chapingo, generada por el Programa de Mejoramiento Genético de Tomate de Cáscara de la UACH, se realizó a los 32 días después de la siembra (dds), estableciéndose una planta cada 30 cm, en surcos de 100 cm de ancho, con una densidad de 33,333 planta·ha<sup>-1</sup>. El riego fue aplicado a través de cintas de goteo, usando agua de pozo que contenía 25 mg·ha<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> y pH de 6.75. La fertilización se fraccionó en 17 momentos de aplicación durante el ciclo del cultivo, misma que se aplicó a través de la cintas de goteo con una dosis de 290-150-200-135-65 unidades de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO y MgO por hectárea, respectivamente.

Se estudiaron los tres factores siguientes: Aplicación de CO<sub>2</sub> disuelto en agua, uso de acolchados plásticos y

sistemas de manejo; mismos que se estudiaron en un diseño de tratamientos factorial completo. La aplicación al suelo de CO<sub>2</sub> consideró tres niveles: B1=testigo, B2=300 y B3=1200 mg·litro<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> disuelto en agua mediante burbujeo; uso de acolchados plásticos con tres niveles: A1 = sin plástico, A2 = blanco-negro, A3 = transparente; y sistemas de manejo con dos niveles: S1 = piso y S2 = espaldera. Los 18 tratamientos resultantes de la combinación de tales niveles se establecieron en el campo con cuatro repeticiones, haciendo un total de 72 unidades experimentales que se establecieron bajo el diseño de bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas, donde el sistema de manejo fue asignado a la parcela grande y la combinación de acolchados y CO<sub>2</sub> a la parcela chica, siendo cada unidad experimental de 25 m<sup>2</sup> (cinco surcos de 5 m de largo).

El burbujeo de CO<sub>2</sub> para el enriquecimiento del agua se realizó en el campo y previo a su aplicación manual, se determinó la concentración y el volumen requerido. La aplicación al suelo de CO<sub>2</sub> disuelto en agua resultante del burbujeo se realizó a los 50, 52, 54, 56 y 58 días después del trasplante (ddt). La aplicación fue dirigida a la base de la planta con un total de 300 ml de solución por planta en cada ocasión. La concentración de CO<sub>2</sub> en solución (agua carbonatada) se determinó por volumetría de neutralización utilizando NaOH 0.01N como titulante y se cuantificó el CO<sub>2</sub> disuelto en el agua mediante la fórmula que reportó Solís (1994).

El tutoreo de las plantas en espaldera se realizó a partir de los 38 ddt utilizando soportes de madera y cintas de plástico para la conducción y dirección de las plantas en forma vertical. Los plásticos de polietileno utilizados para el acolchado fueron de calibre 500. Estos se colocaron manualmente sobre el suelo después de la preparación y surcado del terreno, conjuntamente con el establecimiento de las cintas de goteo y antes de realizar el trasplante.

Las variables evaluadas en el experimento fueron: el rendimiento total (t·ha<sup>-1</sup>), que fue la suma de los pesos de los seis cortes o cosechas manuales de frutos maduros realizados entre los 63 y 104 ddt; el rendimiento inicial (t·ha<sup>-1</sup>), que consideró la suma de los dos primeros cortes; la acidez total de hojas y la concentración de CO<sub>2</sub> en la solución de suelo se determinaron por volumetría de neutralización siguiendo la metodología propuesta por Solís (1994). Tanto la acidez como el contenido de CO<sub>2</sub> del suelo se midieron a los 59 ddt, un día después de aplicar la solución carbonatada. La acidez se determinó en hojas maduras, y la concentración de CO<sub>2</sub> en el suelo adyacente al cuello de la planta, que recibió el tratamiento de agua carbonatada. La tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> (μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>) se determinó a los 59 ddt entre las 12:00 y 15:00 h en hojas maduras totalmente expuestas al sol,

utilizando un analizador de gases en infrarrojo (IRGA); el peso de fruto (g) se determinó en una muestra de 1 kg; la altura de planta (cm), de la base al extremo máximo de la rama extendida, se determinó a los 20, 30, 45 y 65 ddt; la longitud de rama (cm), se midió a los 65 ddt, en ramas de tercer orden; el área foliar (cm<sup>2</sup>) de una planta completa por cada unidad experimental se determinó a los 65 ddt utilizando un integrador de área foliar; la materia seca (g) de tallos y hojas por planta también se determinó a los 65 ddt por diferencia de peso; el volumen (ml) de un kg de fruto por unidad experimental se determinó por desplazamiento de agua, en una probeta de 3.0 litros en la que se colocaron los frutos y 1.0 litros de agua. Se midió la temperatura del suelo, en la parte central del surco y a 15 cm de profundidad, a los 30, 50 y 75 ddt utilizando un termómetro bimetálico de 0.1 °C de precisión, realizando tres mediciones por fecha: en la mañana (07:00 a 08:00 h), medio día (12:00 h) y tarde (16:00 a 18:00 h). Considerando el rendimiento total, los costos de producción y un precio de venta de \$ 1.00 M. N. por kg, se calculó la relación beneficio/costo de cada tratamiento, como lo indican Perrin *et al.* (1976).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación al suelo de CO<sub>2</sub> no afectó significativamente el rendimiento inicial y total de tomate de cáscara y evidenció cambios de la concentración de éste en el suelo, porcentaje de acidez y tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> en las hojas, peso y volumen de frutos, altura de planta y longitud de rama, lo cual probablemente impidió la modificación del rendimiento (Cuadro 1). Estos resultados

difieren de lo reportado por Soldevilla *et al.* (1997), quienes encontraron que la producción de frutos aumentó en 107 y 121 % con la aplicación de CO<sub>2</sub> disuelto en agua, lo que posiblemente se deba a la disminución del pH del sustrato y del agua de riego. Storlie y Heckman (1996b) también reportaron que el rendimiento comercial, la concentración de nutrimentos en el follaje y pH del suelo no fue afectado por la aplicación al suelo de CO<sub>2</sub> en un suelo con pH de 6.8 en el cultivo de pimiento.

El área foliar por planta, peso de materia seca de tallos y hojas fueron mayores con la aplicación de 1200 mg-litro<sup>-1</sup> con respecto a 300 mg-litro<sup>-1</sup> y testigo. El área foliar a los 65 ddt fue de 7572, 7143 y 6552 cm<sup>2</sup> por planta con la aplicación de 1200, 300 y testigo, respectivamente; del mismo modo, la materia seca de hojas fue de 25.3, 23 y 18.9 g-planta<sup>-1</sup> con 1200, 300 y sin aplicación de CO<sub>2</sub>, respectivamente (Cuadro 1).

La temperatura del suelo a 15 cm de profundidad fue mayor ( $P \leq 0.05$ ) cuando se usó acolchado transparente (20.2 °C), seguido del plástico blanco-negro (18.7 °C) que también superó al testigo (17.2 °C) en los tres momentos de medición (mañana, medio día y tarde). Asimismo, la mayor temperatura del suelo se registró entre las 16:00 y 18:00 h (19.8 °C) en comparación a las 8:00 (17.8 °C) y 12:00 m (18.5 °C), respectivamente; y las menores (17.3 °C) se presentaron a los 75 ddt, cuando el follaje del cultivo cubrió totalmente la superficie acolchada tal como lo reportó Orozco *et al.* (1995).

El mayor rendimiento inicial y total se produjo con el uso de acolchado blanco-negro que superó ( $P \leq 0.05$ ) al

**CUADRO 1. Respuesta a la aplicación de CO<sub>2</sub> al suelo, uso de acolchados plásticos y sistemas de manejo en tomate de cáscara.**

Variable respuesta	Sistemas de manejo		Uso de acolchados plásticos			Aplicación de bióxido de carbono al suelo		
	S1	S2	A1	A2	A3	B1	B2	B3
Rendimiento inicial (t·ha <sup>-1</sup> )	24.3 a <sup>2</sup>	21.1 b	17.4 b	25.4 a	25.2 a	22.9 a	22.3 a	22.8 a
Rendimiento total (t·ha <sup>-1</sup> )	63.9 b	67.7 a	44.9 c	78.7 a	73.8 b	66.6 a	65.3 a	65.5 a
[CO <sub>2</sub> ] del suelo (ppm)	557.0 a	550.0 a	547.0 a	533.0 a	581.0 a	548.0 a	568.0 a	545.0 a
Porcentaje de acidez en hojas (%)	7.6 a	7.9 a	7.5 a	8.2 a	7.5 a	7.7 a	7.5 a	7.9 a
Asimilación de CO <sub>2</sub> (μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	9.4 b	11.1 a	10.7 a	10.0 a	10.1 a	10.8 a	9.5 a	10.5 a
Peso de fruto (g)	32.1 a	32.2 a	29.5 b	34.1 a	32.9 a	32.2 a	32.0 a	32.3 a
Volumen de 1 kg de frutos (ml)	1143.0 a	1146.0 a	1146.0 a	1149.0 a	1139.0 a	1147.0 a	1145.0 a	1141.0 a
Altura de planta 65 ddt (cm)	68.9 b	83.3 a	60.8 c	77.0 b	90.4 a	78.5 a	72.4 b	77.3 ab
Longitud de rama (cm)	8.2 a	8.3 a	7.2 b	8.3 a	9.5 a	8.0 a	8.6 a	8.3 a
Área foliar (cm <sup>2</sup> )	6718.0 b	7461.0 a	6017.0 c	6978.0 b	8272.0 a	6552.0 c	7143.0 b	7572.0 a
Materia seca de tallos (g)	46.8 b	58.0 a	48.9 b	49.4 b	59.0 a	49.4 b	50.5 b	57.4 a
Materia seca de hojas (g)	21.1 b	23.7 a	18.8 c	23.4 b	25.0 a	18.9 c	23.0 b	25.3 a

<sup>2</sup> Letras iguales dentro de cada factor de variación para cada variable respuesta (hileras), son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una  $P \leq 0.05$ . Los niveles de sistemas de manejo son: S1=manejo en piso, S2= manejo en espaldera; los de acolchado plástico son: A1=sin acolchado, A2=acolchado plástico blanco-negro, A3=acolchado plástico transparente; los de aplicación de bióxido de carbono son, B1=testigo, B2=300 mg-litro<sup>-1</sup> y B3=1200 mg-litro<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>.

obtenido por el tratamiento testigo en 75 % y al acolchado transparente en 7 % (Cuadro 1). A la vez produjo mayor número de frutos por hectárea y mayor peso de fruto, ya que el acolchado plástico modificó favorablemente la morfogénesis de las plantas a través de mayor altura de planta, mayor diámetro de tallo, mayor número de flores, mayor número de hojas, mayor longitud de rama, mayor área foliar (Cuadros 1 y 2). Esto puede atribuirse a que el acolchado aumentó la temperatura y conservó por más tiempo la humedad del suelo, lo que modifican el crecimiento de las raíces y favorecen la disponibilidad de elementos nutrimentales del suelo, donde las propiedades fisicoquímicas del mismo se mantienen o mejoran, como ha sido indicado por varios autores (Hanada, 1991; Adetunji, 1994; Lamont, 1994; Jensen y Malter, 1995).

El rendimiento total fue mayor ( $P \leq 0.05$ ) con la conducción en espalderas que superó en  $3.9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  a la conducción en piso. Esta mayor producción se debió a que el manejo en espalderas alarga el período de producción de las plantas, mantiene la tasa de asimilación de  $\text{CO}_2$  de las hojas en  $11.1 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , y evita la caída abrupta de la producción en los últimos tres cortes como consecuencia de la disminución del maltrato mecánico de las plantas, aunque el rendimiento inicial fue menor con respecto a la producción en piso. Sin embargo, el aumento de los costos de producción en 47 % con la conducción en espalderas no justifica su uso, disminuyendo la relación beneficio/costo de 0.55 que presenta el tratamiento testigo a 0.32 con el uso de espalderas. Asimismo, el manejo en espaldera modificó el patrón de crecimiento del cultivo favoreciendo una mayor acumulación de materia seca en hojas y tallos, en detrimento de la traslocación inicial de asimilados a los frutos que son las principales fuentes de demanda (Cuadro 1).

**CUADRO 2. Características morfológicas de las plantas de tomate de cáscara con el uso de acolchados plásticos**

Variable	Testigo	Blanco -negro	Transparente	Diferencia mínima significativa
Altura de planta 20 ddt (cm)	13.3 c <sup>2</sup>	16.2 b	24.6 a	1.52
Altura de planta 25 ddt (cm)	21.5 c	25.7 b	39.4 a	4.11
Altura de planta 30 ddt (cm)	26.8 c	34.3 b	50.1 a	3.49
Altura de planta 45 ddt (cm)	57.2 c	73.5 b	90.0 a	3.34
Diámetro del tallo 20 ddt (mm)	5.2 c	8.3 b	9.9 a	0.79
Diámetro del tallo 25 ddt (mm)	8.4 c	13.3 b	16.0 a	1.06
Número de flores por planta 25 ddt	5.5 b	7.8 a	9.0 a	1.33
Número de hojas/planta 20 ddt	19.5 c	24.5 b	34.0 a	2.33
Relación MS Hoja/MS tallo	0.38	0.47	0.42	

<sup>2</sup> Letras iguales dentro de cada variable respuesta (hileras) son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una  $P \leq 0.05$ . MS: materia seca, ddt: días desués de transporte.

El uso de acolchado plástico transparente aumentó el diámetro de tallo (16 mm), la altura de planta (39.4 cm) y el número de flores (9.0) con respecto a los tratamientos con acolchado blanco-negro y sin acolchar (Cuadro 2); sin embargo, esto no se tradujo en mayor rendimiento del cultivo, el cual se obtuvo con acolchado blanco-negro (Cuadro 1). El número de flores por planta a los 20 y 25 ddt no fue diferente entre los tratamientos con acolchado transparente (9.0) y blanco-negro (7.8), los cuales presentaron precocidad en las cosechas con 25.2 y 25.4  $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , respectivamente, en los dos primeros cortes.

El mayor rendimiento de tomate de cáscara se obtuvo con la combinación de espaldera, acolchado blanco-negro y 1200 ppm de  $\text{CO}_2$  (S2A2B3), que produjo  $83.78 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ; sin embargo, la mejor relación B/C fue con el acolchado plástico blanco-negro, sin  $\text{CO}_2$  y producido en piso (1.08), que rindió  $75.6 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$  y el rendimiento total no fue estadísticamente diferente del tratamiento S2A2B3 (Cuadro 3). El rendimiento total del tratamiento S2A2B3 superó 95 % al obtenido con el testigo (S1A1B1), pero la relación B/C fue menor que la del testigo. Sin embargo, en el manejo comercial donde se mecaniza el proceso de acolchado, tutoro y aplicación de  $\text{CO}_2$ , la relación B/C del tratamiento S2A2B3 puede ser igual o menor al testigo.

**CUADRO 3. Análisis del beneficio/costo (B/C) en el cultivo de tomate de cáscara en Chapingo, México. Ciclo primavera-verano de 1996.**

Tratamiento	Rendimiento ( $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ )	Relación B/C	Tratamiento	Rendimiento ( $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ )	Relación B/C
S1A2B1	75.60 a <sup>2</sup>	1.08	S1A3B3	63.27 b	0.51
S1A3B1	74.06 a	1.04	S2A3B2	78.83 a	0.50
S1A2B2	77.55 a	0.96	S2A2B2	77.59 a	0.48
S1A3B2	76.21 a	0.93	S1A1B2	42.09 de	0.37
S1A2B3	80.30 a	0.91	S2A3B3	74.63 a	0.36
S2A2B1	77.38 a	0.57	S2A1B1	53.47 c	0.32
S1A1B1	42.83 de	0.55	S1A1B3	42.94 de	0.29
S2A3B1	76.02 a	0.54	S2A1B3	48.29 cd	0.04
S2A2B3	83.78 a	0.52	S2A1B2	39.64 e	-0.09

<sup>2</sup> Tratamientos con la misma letra dentro de columnas son iguales, según la prueba de Tukey con  $P \leq 0.05$ , y diferencia mínima significativa = 9.74. Precio por kg de fruto en el mercado: \$ 1.00 pesos mexicanos. Los niveles de sistemas de manejo son: S1=manejo en piso, S2= manejo en espaldera; los de acolchado plástico son: A1=sin acolchado, A2=acolchado plástico blanco-negro, A3=acolchado plástico transparente; los de aplicación de bióxido de carbono son, B1=testigo, B2=300  $\text{mg}\cdot\text{litro}^{-1}$  y B3=1200  $\text{mg}\cdot\text{litro}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$ .

El mayor rendimiento total de frutos fue resultado de la mayor relación de materia seca de hojas y tallos con el acolchado blanco-negro (0.47) en comparación al acolchado transparente (0.42) y testigo (0.38) (Cuadro 2).

La aplicación de agua carbonatada no modificó la concentración de CO<sub>2</sub> del suelo, lo que posiblemente no permitió el ingreso de carbono a las plantas y su respectivo movimiento hacia las hojas, donde no se observó mayor concentración de ácidos orgánicos, que es medido a través del porcentaje de acidez en hojas, ni mayor tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>. Asimismo, la aplicación de agua enriquecida, a la concentración de 1200 mg·litro<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> produjo una ligera disminución del pH del suelo, la cual no fue suficiente para modificar significativamente el rendimiento total. La asimilación de CO<sub>2</sub> no fue afectado por el uso de acolchados plásticos ni por la aplicación radical de bióxido de carbono, los cuales no son directamente proporcionales al rendimiento total de frutos, tal como lo señaló Bansal *et al.* (1993).

### CONCLUSIONES

La aplicación de CO<sub>2</sub> al suelo circundante a la raíz no modificó las principales variables evaluadas ni las que pueden tener relación directa con la aplicación de agua enriquecida con CO<sub>2</sub>, como la acidez del tejido vegetal y concentración de CO<sub>2</sub> en el suelo.

Los acolchados plásticos modificaron la morfología de la planta y componentes del rendimiento del tomate de cáscara.

El mayor rendimiento total se obtuvo con el acolchado blanco-negro y la precocidad del rendimiento fue mayor en acolchado plástico que en no acolchado.

El acolchado plástico transparente aumentó el crecimiento vegetativo, mientras que el acolchado blanco-negro tuvo mayor efecto sobre el rendimiento del cultivo.

La espaldera incrementó la producción total de tomate de cáscara y modificó el patrón de crecimiento, induciendo un aumento en el rendimiento principalmente de las últimas cosechas.

La mayor relación beneficio/costo (B/C=1.08) se obtuvo con el tratamiento sin aplicación de CO<sub>2</sub>, acolchado plástico blanco-negro y manejo sin espaldera.

### LITERATURA CITADA

- ADETUNJI, I. A. 1994. Response of onion to soil solarization and organic mulching in semi-arid tropics. *Scientia Horticulturae* 60: 161-166.
- ARTECA, R. N.; POOVAIAH, B. W.; SMITH, O. E. 1979. Changes in carbon fixation, tuberization, and growth induced by CO<sub>2</sub> applications to the root zone of potato plants. *Science* 205(2): 1279-1280.
- ARTECA, R. N.; POOVAIAH, B. W. 1982. Absorption of CO<sub>2</sub> by potato roots and its subsequent translocation. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107(3): 398-401.
- BANSAL, K. C.; UPRETY, D. C.; ARBOL, Y. P. 1993. Genetic variation in photosynthetic characteristics in wheat: causes and consequences, pp 527-545. *In: Arbol, Y.P.; P. Mohanty and Govindjee (eds.), Photosynthesis : Photoreactions to Plant Productivity.* London, England.
- BASILE, G.; ARIENZO, M.; ZENA, A. 1993. Soil nutrient mobility in response to irrigation with carbon dioxide enriched water. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 24: 1183-1195.
- BIALCZYK, J.; LECHOWSKI, Z.; LIBIK, A. 1994. Growth of tomato seedling under different CO<sub>3</sub> concentrations in the medium. *J. Plant Nutrition* 17(5): 801-816.
- CASTILLO P., I.; PEÑA L., A.; CRUZ G., R. A. 1991. Densidad de población, sistemas de manejo y arreglos topológicos en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo* 73/74: 53-56.
- COSTELLO, M. J. 1994. Broccoli growth, yield and level of aphid infestation in leguminous living mulches. *Biological Agriculture and Horticulture* 10: 207-222.
- CSIZINSZKY, A. A.; SHUSTER, D. J.; KRING, J. B. 1995. Color mulches influence yield and insect pest populations in tomatoes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120(5): 778-784.
- DECOTEAU, D. R.; KASPERBAUER, M. J.; DANIELS, D. D.; HUNT, P. G. 1988. Plastic mulches color effects on reflected light and tomato plant growth. *Scientia Horticulturae* 34: 169-175.
- ENOCH, H. Z.; OLESEN, J. M. 1993. Plant response to irrigation with water enriched with carbon dioxide. *New Phytologist* 125: 249-258.
- GUTIÉRREZ H., M. 1986. Comparación de sistemas de espaldera contra piso bajo cuatro densidades de población de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Tesis de Licenciatura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México, México. 98 p.
- HAM, J. G.; KLUITENBERG, G. J.; LAMONT, W. J. 1993. Optical properties of plastic mulches affect the yield temperature regime. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118: 188-193.
- HANADA, T. 1991. The effect of mulching and rowcover on vegetables production. Food & Fertilizer Technology Center. Extension Bulletin No. 332. Taiwan, China. 22 p.
- HYO-DUK, S. 1991. The use of fertilizers, mulching, and irrigation for vegetables production. II: The temperature zone-Korea. Food & Fertilizer Technology Center. Extension Bulletin No. 334. Taiwan, China. 24 p.
- JENSEN, H. J.; MALTER, A. J. 1995. Protected agriculture. A global review. World Bank Technical Paper. Number 253. Washington D. C., USA. 157 p.
- LAMONT, W. J. 1991. The use of plastic mulches for vegetables production. Food & Fertilizer Technology Center. Extension Bulletin No. 333. Taiwan, China. 7 p.
- LAMONT, W. J. 1993. Plastic mulches for the production of vegetable crops. *HortTechnology* 3(1): 35-39.
- LAMONT, W. J. 1994. Plasticulture vegetable productions Systems-What are the components?. *An American Soc. Hort. Sci. Seminar.* Kentucky, USA. 36 p.
- MAUNEY, J. R.; HENDRIX, D. L. 1988. Responses of glasshouse grown cotton to irrigation with carbon dioxide-saturated water. *Crop Science* 28(5): 835-838.
- NOVERO, R.; SMITH, D. H.; MOORE, F. D.; SHANAHAN, J. F.; D'ANDRIA, R. 1991. Field-grown tomato response to carbonated water application. *Agron. J.* 83: 911-916.

- OROZCO, S. M.; PÉREZ O., Z.; LÓPEZ, O. A. 1995. Effect of transparent mulch on insect populations, virus disease, soil temperature, and yield of cantaloup in a tropical region. *New Zealand J. Crop and Horticultural Sci.* 23: 199-204.
- PEÑA L., A.; SANTIAGUILLO H., J. F. 1998. Variabilidad genética de tomate de cáscara en México. *Boletín Técnico # 2*. Programa Nacional de Investigación en Olericultura Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 26 p.
- PERRIN, R. K., D. L. WINKELMAN, E. R. MOSCARDI, J. R. ANDERSON. 1976. Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos; un manual metodológico de evaluación económica. CIMMYT, Folleto No. 27. México. 54 p.
- ROBLEDO, D. F.; MARTÍN, L. V. 1988. Aplicación de los Plásticos en la Agricultura. Segunda edición. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 573 p.
- SALMAN, H. M.; GORSKI, S. F. 1988. The effect of clear and black polyethylene mulches on the soil environment. *Research Circular No. 288*. Vegetable Crops. The Ohio State University, USA. 9 p.
- SOLDEVILLA C., S.; PEÑA, L. A.; SOLÍS M., F.; VÁSQUEZ R., T. R.; COLINAS L., M. T. 1997. Aplicación radical de bióxido de carbono en plantas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 3(2): 17-23.
- SOLTANI, N.; ANDERSON, J. L.; HAMSON, A. R. 1995. Growth analysis of watermelon plants grown with mulches and rowcovers. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120(6): 1001-1009.
- SOLIS, M. F. 1994. Respuestas fisiológicas del crisantemo (*Chrysanthemum morifolium* RAMAT) a la fertilización con CO<sub>2</sub> y nitrógeno. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 121 p.
- STORLIE, C. A.; HECKMAN, J. R. 1996a. Soil, plant and canopy responses to carbonated irrigation water. *HortTechnology* 6(2): 11-114.
- STORLIE, C. A.; HECKMAN, J. R. 1996b. Bell pepper yield response to carbonated irrigation water. *J. Plant Nutrition.* 19(10/11): 1477-1484.
- TEASDALE, J. R.; ABDUL-BAKI; A. A. 1995. Soil temperature and tomato growth associated with black polyethylene and hairy vetch mulches. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120(5): 848-853.
- TINDALL, J. A.; BEVERLY, R. B.; RADCLIFFE, D. E. 1991. Mulch effect on soil properties and tomato growth using micro-irrigation. *Agron. J.* 83: 1028-1034.
- WIEN, H. C.; MINOTTI, P. L. 1988. Increasing yield of tomatoes with plastic mulch and apex removal. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113(3): 342-347.