

## APLICACION RADICAL DE BIOXIDO DE CARBONO EN TOMATE DE CASCARA (*Physalis ixocarpa* Brot.)

Soldevilla-Canales, S.; A. Peña-Lomeli; F. Solis-Mendoza;  
T. R. Vásquez-Rojas; M. T. Colinas-León

Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Méx. C. P. 56230.

**RESUMEN:** El experimento se desarrolló entre agosto y diciembre de 1995 bajo invernadero que tuvo 12.7 y 27.8 °C de temperatura promedio mínima y máxima, respectivamente, en el que se cultivó la variedad de tomate de cáscara CHF1 selección 10 en Chapingo, México. Se evaluó la aplicación de diferentes concentraciones de CO<sub>2</sub> disuelto en agua, provenientes de la inyección de CO<sub>2</sub> gaseoso. Los niveles fueron testigo (40 ppm), 300, 600 y 1 200 ppm de CO<sub>2</sub>, las cuales se combinaron con diferentes momentos de aplicación (semillero, primera flor, 10 bolsas de fruto, primer fruto lleno, segunda cosecha y todos los anteriores). Los 24 tratamientos se evaluaron con el diseño en bloques completamente al azar, en arreglo factorial, con cuatro repeticiones por cada tratamiento. La producción de frutos por planta aumentó en 52 y 48% con la adición de 300 y 1 200 ppm con respecto al testigo, respectivamente. El número de frutos por planta, peso de materia seca de raíces, tallos, frutos y total fueron mayores con la aplicación de agua carbonatada, principalmente la materia seca total con la aplicación de 1 200 ppm de CO<sub>2</sub> superó en 45% al testigo. Así mismo, existió mayor crecimiento de las plantas (longitud de entrenudos y altura del primer simpodio) y área foliar con el enriquecimiento radical de bióxido de carbono. La producción de frutos y materia seca en las diferentes partes de las plantas, fueron significativamente afectados por los momentos de aplicación de agua carbonatada, observándose que la aplicación en la fase de 10 bolsas de fruto produjo la mayor cantidad y peso de frutos frescos, en tanto que las aplicaciones en la primera flor, 10 bolsas y primer fruto lleno produjeron la mayor cantidad de materia seca total, y en raíces, tallos y hojas, aunque el alargamiento de las plantas y área foliar no hayan sido modificados. La mayor producción de frutos y materia seca en las plantas de tomate de cáscara fue con la aplicación de 300 y 1 200 ppm de CO<sub>2</sub> durante la fase de 10 bolsas de fruto por planta.

**PALABRAS CLAVE:** Agua carbonatada, CO<sub>2</sub>, tomatillo, ácido carbónico, absorción radical.

## ROOT APPLICATION OF CARBON DIOXIDE IN HUSK TOMATO (*Physalis ixocarpa* Brot.)

**SUMMARY:** The experiment took from august to december 1995 in Chapingo, Mexico in a greenhouse where the average minimum and maximum temperatures were 12.7 and 27.8 °C respectively. The variety used was CHF1, selection 10. Different concentration of gaseous CO<sub>2</sub> dissolved in water were evaluated. The level were: The control (40 ppm), 300, 600 and 1 200 ppm of CO<sub>2</sub>. These concentrations were combined with different moments in the development of the plant (seedling emergence, first flower, 10 bags per plant, first full fruit, second harvest and all the previous ones). The 24 treatments were evaluated under a complete random plot design with a factorial arrangement with 4 replications per treatment. Fruit production increased in 52 and 48% with the addition of 300 and 1 200 ppm compared to the control. The number of fruit per plant, dry weigh of roots, stems, fruits and total were higher with the application of carbonated water, in particular the total dry weight with 1 200 ppm of CO<sub>2</sub> increased 45% compared with the control. There was also more elongation of plants (internode length and height to the first sympodium) and leaf area with the application of CO<sub>2</sub> to the roots. Fruit production and dry weight in the different parts of the plant were significantly affected by the time of application of carbonated water. It was observed that the application at the time of 10 bags of fruit induced higher number and weight of fresh fruit, mean while, the applications in the first flower, 10 bags and first full fruit, induced higher dry weight total and in roots, stems and leaves, but the height of plants were obtained with 300 and 1 200 ppm of CO<sub>2</sub> during the stage of 10 bags of fruit per plant.

**KEY WORDS:** Carbonated water, CO<sub>2</sub>, husk tomato, carbonic acid, root uptake.

## INTRODUCCION

El creciente aumento del contenido de bióxido de carbono en la atmósfera y de las aguas naturales, quienes se encuentran en equilibrio, producen diversos efectos en la vida vegetal del planeta, lo cual puede ser

beneficioso en la producción de alimentos. Entre 1958 y 1990 el contenido de CO<sub>2</sub> del aire creció de 318 a 355 ppm (Rogers y Dehlmán, 1993) y en los próximos 50 años el crecimiento será del orden de 2.3% anual, llegando a tener 600 ppm en el 2 050 (Keepin, citado por Peaman, 1988) con picos de 2 500 ppm, debido a

las actividades antropogénicas (Bacastow, citado por Enoch, 1990). El incremento de la productividad de los cultivos a través de modificación del contenido de  $\text{CO}_2$  del ambiente aéreo ha producido en algunas regiones mayor producción de los cultivos, principalmente hortalizas, donde la técnica está restringida a lugares cerrados como los invernaderos, con el objeto de aumentar la tasa de fotosíntesis, disminuir la fotorrespiración y generar mayor rendimiento económico de los cultivos. Sin embargo, la poca disponibilidad de ambientes cerrados y el limitado efecto benéfico de la aplicación en ambientes abiertos ha permitido la investigación del aumento de la productividad a través de la aplicación radical de bióxido de carbono, tal como lo reportan Overstreet *et al.* (citado por Solís, 1994) en cebada, Graf y Aronof (1985) en cebolla y soya, y Arteca *et al.* (1979) en papa.

En la presente investigación se evaluó el efecto de diversas concentraciones y diferentes momentos de aplicación radical de  $\text{CO}_2$  a través del agua de riego sobre la productividad de los cultivos, mismos que pueden ayudar a predecir las posibles consecuencias del incremento de la concentración de  $\text{CO}_2$ . Este efecto ya fue evaluado por algunos investigadores, donde demostraron que el  $\text{CO}_2$  aplicado en el agua puede ser fijado por la enzima fosfoenolpiruvato carboxilasa (PEP-casa) y ser transformados a ácidos orgánicos (málico, cítrico, aspártico, etc.) en la raíz de la planta, los cuales en este estado o como  $\text{CO}_2$  gaseoso disuelto en la savia del xilema pueden trasladarse a la parte aérea de la planta y ser descarboxilados liberando  $\text{CO}_2$  al medio. Este carbono al ser refijado por la enzima rubisco interviene en el ciclo de Calvin aumentando la producción de azúcares en comparación a plantas no tratadas (Arteca y Poovaiah, 1982). Así mismo, la mayor concentración de  $\text{CO}_2$  en la savia disminuye el pH celular (Espie y Colman, citados por Bown, 1985; Jarvis, citado por Vapaavuori y Pelkonen, 1985) elevando la relación de  $\text{CO}_2:\text{O}_2$  en las hojas lo que provoca la reducción de la fotorrespiración, ya que se mantiene ocupada a la rubisco con la cantidad adicional de  $\text{CO}_2$  en el medio (Arteca y Poovaiah, 1982).

El efecto y mecanismo de la fertilización carbonatada sobre la mayor producción de los cultivos no es totalmente conocido, ya que la respuesta ha sido favorable en algunas especies como papa (Arteca *et al.*, 1979), algodón (Mauney y Hendrix, 1988), tomate (Novero *et al.*, 1991); y negativa en otras como el chícharo y frijol (Stolwijk y Thiman; citados por Solís, 1994), crisantemo (Solís, 1994) y pimiento (Storlie y Heckman, 1996b). En este sentido, Storlie y Heckman (1996a) señalaron que la respuesta a la aplicación de

agua carbonatada está fuertemente influenciada por las condiciones del medio de cultivo como la temperatura, duración del día, frecuencia de riego con agua carbonatada, retención de humedad del sustrato, reacción poder álcali y textura del suelo, presión del  $\text{CO}_2$  en el agua, tipo de cultivo, etc.

La aplicación radical de agua carbonatada puede disminuir el pH del suelo favoreciendo la disponibilidad de ciertos nutrimentos para las plantas, principalmente en suelos de reacción alcalina como lo reportó Novero *et al.* (1991) en tomate, donde la disminución del pH de 7.1 a 5.9 favorece la absorción de Zn, quien aumentó el rendimiento comercial de frutos en 16.4%. Mauney y Hendrix (1988) también reportaron la reducción del pH del suelo de 8.0 a 5.9 determinando mayor absorción y concentración de Mn y Zn en las hojas, las que fortalecen el aparato fotosintético de las plantas y aumentan el rendimiento de fibra de algodón en 70%. Asimismo, el carbono que se absorbe por las raíces puede parcialmente ser derivado para la fotosíntesis (Nakayama y Bucks, 1990; Novero *et al.*, 1991); puede enriquecer el aire del suelo y del dosel de la planta (Baron y Gorski, 1986; Govindarajan y Poovaiah, 1982; Novero *et al.*, 1991; Moresten, citado por Enoch y Olesen, 1993) y a la vez puede disminuir el efecto de los pesticidas sobre los organismos nitrificantes del suelo (Saltzman, citado por Enoch y Olesen, 1993).

## MATERIALES Y METODOS

El experimento se desarrolló entre agosto y diciembre de 1995 en un invernadero de vidrio en la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Chapingo, México, que presentó temperaturas mínimas de 15.4, 14.0, 10.5, 10.7 y 7.5 en los meses de agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre, y temperaturas máximas de 28.5, 27.2, 31.5, 29.1 y 23.1°C para los mismos meses.

El trasplante de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) variedad CHF1 selección 10 producido por el Programa de Mejoramiento Genético en Tomate de Cáscara de la UACH, se realizó a los 28 días después de la siembra (20 de septiembre de 1995) en macetas de 9.8 litros de capacidad. El cultivo fue conducido en hidroponía, utilizando arena de tezontle rojo como sustrato, el cual tuvo 35.7 % del volumen en macroporos, 7.5% de microporos y 0.81  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$  de densidad aparente. La fertilización se realizó con solución nutritiva que tuvo 200, 300, 60, 300, 50, 2, 0.5, 0.5, 0.25, 0.25 ppm de N, K, P, Ca, Mg, Fe, Mn, B, Cu y Zn, respectivamente, que fue usada por Montalvo (1995) y el riego fue

con agua de pozo que presentó 7.5 de pH y 40 ppm de contenido de  $\text{CO}_2$ .

La obtención de agua carbonatada se realizó por inyección (burbujeo) de  $\text{CO}_2$  gaseoso comprimido de un tanque al agua de pozo depositado en envases cerrados que no permitieron el escape del carbono disuelto en el agua. La inyección se realizó en horas de la mañana hasta alcanzar una concentración mayor a 1 200 ppm, del cual se realizaron las diluciones correspondientes a los tratamientos ensayados. La cuantificación del contenido de  $\text{CO}_2$  se realizó por volumetría de neutralización, utilizando NaOH 0.01N como titulante, tal como lo reportó Solís (1994).

El primer factor en estudio fue la concentración de  $\text{CO}_2$  en el agua de riego, que tuvo cuatro niveles: C0=testigo (40 ppm); C1=300, C2=600 y C3=1 200 ppm de  $\text{CO}_2$ ; y el segundo factor fue el momento de aplicación de agua carbonatada con seis niveles: M1=durante el almácigo (20 días después del trasplante), M2=fase de primera flor totalmente abierta, M3=fase de 10 bolsas (frutos en desarrollo), M4=primer fruto lleno, M5=después de la segunda cosecha y M6=en todos los momentos anteriores. De la combinación de ambos factores resultaron 24 tratamientos con cuatro repeticiones que hicieron 96 unidades experimentales, que se analizaron a través del diseño de bloques completos al azar (DBCA) en arreglo factorial.

Las variables respuesta que se midieron fueron el rendimiento, peso y número de frutos por planta, peso de materia seca total (hojas, tallos, raíz, frutos), altura del primer simpodio<sup>1</sup>, longitud de entrenudos<sup>2</sup> y área foliar por planta, al final del experimento.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### 1. Factor concentración de bióxido de carbono

El incremento de la concentración de  $\text{CO}_2$  en el agua de riego incrementó significativamente la producción de frutos de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) (Cuadro 1).

El número de frutos fue significativamente mayor con la adición de agua carbonatada (Cuadro 1). En contraste el peso de un fruto disminuyó con los tratamientos de mayor concentración de  $\text{CO}_2$ , comparado al testigo, debido a la relación inversa del número y peso

de frutos producidos por planta. Del mismo modo, se observó que la aplicación de 1 200 ppm de  $\text{CO}_2$  produjo el mayor peso por fruto en comparación a las aplicaciones de 300 y 600 ppm, debiéndose posiblemente a la mayor área foliar y a la mayor cantidad de azúcares producidos en la fotosíntesis, los cuales se distribuyen o almacenan en los frutos.

La producción de materia seca total (materia seca de tallos, raíces, hojas y frutos) fue significativamente mayor con el enriquecimiento de  $\text{CO}_2$  en el agua de riego. La mayor cantidad de materia seca total se produjo con la aplicación de 1 200 ppm, que superó en 44% al testigo (sin aplicación adicional de  $\text{CO}_2$ ), en 15% a la aplicación con 300 ppm y en 14% al enriquecimiento con 600 ppm (Cuadro 1).

La producción de materia seca de raíces por planta fue estadísticamente superior con la aplicación radical de agua carbonatada en comparación al testigo. No se encontraron diferencias estadísticas del peso de raíces entre los tratamientos que incluyeron  $\text{CO}_2$  adicional en el agua de riego, los cuales produjeron 4.8, 4.3 y 4.0 g.planta<sup>-1</sup> con la aplicación de 600, 1 200 y 300 ppm de  $\text{CO}_2$ , respectivamente, en comparación al testigo que produjo 2.8 g.

La acumulación de materia seca de tallos y frutos inmaduros tuvo el mismo comportamiento donde la adición de 1 200 ppm de  $\text{CO}_2$  superó estadísticamente a lo producido con 300 ppm y el tratamiento testigo, pero fue igual a la producción con 600 ppm. La materia seca de tallos fue 18.2, 16.5, 14.5 y 11.0 g.planta<sup>-1</sup> con 1 200, 600, 300 y 40 ppm (testigo, respectivamente), mientras que la producción de materia seca de los frutos inmaduros fue 19.0, 15.2, 14.4 y 11.0 gramos, respectivamente, para los mismos tratamientos.

La acumulación de materia seca de hojas no mostró diferencias estadísticas con los diferentes tratamientos evaluados. Asimismo, la producción de frutos maduros es directamente proporcional al rendimiento de frutos por planta, en donde se encontró que el peso de la materia seca con 1 200 ppm. (31.6 g.planta<sup>-1</sup>) superó significativamente al tratamiento con 600 ppm (26.0 g.planta<sup>-1</sup>) y al testigo (21.3 g.planta<sup>-1</sup>) pero fue estadísticamente igual al tratamiento de 300 ppm que produjo 29.2 g.planta<sup>-1</sup>.

Los tratamientos de agua carbonatada aumentaron el alargamiento de las plantas de tomate de cáscara, los cuales superaron estadísticamente al tratamiento testigo en las variables altura al primer simpodio y longitud de la rama de primer orden. Se observó que la aplicación de 300 y 1 200 ppm produjeron el mayor

<sup>1</sup> La altura del primer simpodio de las plantas de tomate de cáscara fue medido del cuello de la planta a la primera ramificación del tallo.

<sup>2</sup> La dicotomía original del tallo que presenta el tomate de cáscara se manifiesta con mayor longitud de un entrenudo que el otro en la misma bifurcación de la rama.

CUADRO 1. Efecto de las diferentes concentraciones de CO<sub>2</sub> aplicadas a la raíz sobre la producción de tomate de cáscara

Variable respuesta	Concentración de CO <sub>2</sub> (ppm)			
	Testigo 40	300	600	1 200
Producción de frutos (g-planta <sup>-1</sup> )	275 b <sup>z</sup>	424 a	368 a	409 a
Número de frutos por planta	7 c	14 a	11 b	12 ab
Peso de fruto (g-fruto <sup>-1</sup> )	42.8 a	31.2 b	34.0 b	34.4 b
Materia seca total (g-planta <sup>-1</sup> )	59.7 c	74.4 b	75.1 b	86.5 a
Materia seca de raíces (g-planta <sup>-1</sup> )	2.8 b	4.0 a	4.8 a	4.3 a
Materia seca de tallos (g-planta <sup>-1</sup> )	11.0 c	14.5 b	16.5 ab	18.2 a
Materia seca de hojas (g-planta <sup>-1</sup> )	13.0 a	12.7 a	12.7 a	13.3 a
Materia seca de frutos inmaduros (g-planta <sup>-1</sup> )	11.6 b	14.4 b	15.2 ab	19.0 a
Materia seca de frutos maduros (g-plantas <sup>-1</sup> )	21.3 c	29.2 ab	26.0 bc	31.6 a
Altura de primer simpodio (cm)	12.2 c	17.2 a	15.0 b	16.3 ab
Longitud de entrenudos (cm)	9.2 b	11.5 a	11.0 ab	11.2 ab
Área foliar (cm <sup>2</sup> )	3991 b	4667 ab	4499 ab	4806 a

<sup>z</sup> En cada variable respuesta los tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una  $P \leq 0.05$ .

alargamiento, los que tuvieron 17.3 y 16.2 cm de altura del primer simpodio, en comparación al testigo, que tuvo 12.2 cm. Del mismo modo, la longitud de entrenudos fue 11.5, 11.2, 11.0 y 9.2 cm con la aplicación de 300, 1 200, 600 y testigo, respectivamente. Lo mismo ocurrió con el área foliar por planta, que fue estadísticamente mayor con la adición de agua carbonatada con respecto al testigo (3 991 cm<sup>2</sup> por planta) asimismo, no existieron diferencias significativas del área foliar entre los tratamientos con 300, 600 y 1 200 ppm, que produjeron 4 667, 4 499 y 4 806 cm<sup>2</sup> de área foliar por planta, respectivamente (Cuadro 1).

Las respuestas favorables obtenidas con la aplicación de 300 y 1 200 ppm de CO<sub>2</sub> disuelto en el agua de riego pudo deberse a que las plantas de tomate de cáscara responden favorablemente a bajas concentraciones de CO<sub>2</sub> (300 ppm), ya que el pH del agua disminuye de 7.5 a 6.5, ubicándose dentro del intervalo óptimo para la absorción de la mayoría de nutrientes esenciales para las plantas. Por otro lado, las aplicaciones de elevadas concentraciones de CO<sub>2</sub> (1 200 ppm), a través del agua de riego, pudieron provocar el enriquecimiento del aire circulante al follaje de las plan-

tas, el cual pudo favorecer la tasa de fotosíntesis, de las hojas, principalmente en condiciones de invernadero, donde el nivel de CO<sub>2</sub> presente en el aire, en las horas de mayor temperatura, puede descender a niveles que limiten la actividad fotosintética y favorezca la fijación del oxígeno por la rubisco. La mayor tasa de fotosíntesis con la aplicación de 1 200 ppm y la mayor absorción de nutrientes por la disminución del pH del sustrato con 300 ppm de CO<sub>2</sub> pueden haber provocado la mayor producción de frutos, materia seca, alargamiento de ramas y área foliar, en comparación al testigo y 600 ppm de dióxido de carbono.

## 2. Factor momento de aplicación de agua carbonatada

La mayor producción de frutos (509 g-planta<sup>-1</sup>) se obtuvo cuando la aplicación de CO<sub>2</sub> se realizó en la fase de 10 bolsas (frutos en desarrollo) por planta, misma que fue estadísticamente superior a los demás momentos de aplicación de agua carbonatada (Cuadro 2), los que tuvieron producciones menores a 400 gramos de frutos frescos por planta. El mayor número de frutos maduros por planta se produjo cuando la aplicación de

CUADRO 2. Efecto de los diferentes momentos de aplicación de agua carbonatada a la raíz de tomate de cáscara

VARIABLE RESPUESTA	MOMENTOS DE APLICACION DE CO <sub>2</sub>					
	M1 <sup>z</sup>	M2	M3	M4	M5	M6
Producción de frutos (g-planta <sup>-1</sup> )	317 b <sup>y</sup>	331 b	509 a	363 b	345 b	351 b
Número de frutos por planta	8 c	10 bc	15 a	12 ab	10 bc	11 bc
Peso de fruto (g-fruto <sup>-1</sup> )	41 a	36 ab	36 ab	32 b	35 ab	33 b
Materia seca total (g-planta <sup>-1</sup> )	69.2 bc	77.6 abc	88.3 a	79.2 ab	64.7 c	67.1 bc
Materia seca de raíces (g-planta <sup>-1</sup> )	3.0 b	4.4 ab	4.4 ab	4.9 a	3.6 ab	3.4 b
Materia seca de tallos (g-planta <sup>-1</sup> )	14.0 b	18.3 a	16.1 ab	15.7 ab	13.0 b	13.1 b
Materia seca de hojas (g-planta <sup>-1</sup> )	12.7 ab	13.1 ab	14.4 a	14.0 a	11.5 b	11.9 b
Materia seca de frutos inmaduros (g-planta <sup>-1</sup> )	15.5 a	16.7 a	15.8 a	17.2 a	12.1 a	13.0 a
Materia seca de frutos maduros (g-planta <sup>-1</sup> )	23.8 b	24.9 b	35.7 a	27.5 b	24.6 b	25.7 b
Altura de primer simpodio (cm)	14.9 a	15.9 a	16.4 a	14.7 a	14.6 a	14.4 a
Longitud de entrenudos (cm)	11.0 a	10.6 a	11.4 a	10.6 a	10.6 a	9.9 a
Area foliar (cm <sup>2</sup> )	4306 a	4507 a	4717 a	4810 a	4220 a	4384 a

<sup>z</sup>M1=Aplicación de CO<sub>2</sub> en el semillero, M2=Aplicación de CO<sub>2</sub> a la primera flor, M3=Aplicación de CO<sub>2</sub> en la etapa de 10 bolsas de fruto, M4=Aplicación de CO<sub>2</sub> en la etapa del primer fruto lleno, M5=Aplicación de CO<sub>2</sub> después del primer corte, M6=Aplicación de CO<sub>2</sub> en todos los momentos anteriores.

<sup>y</sup> En cada variable respuesta los tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una  $P \leq 0.05$ .

CO<sub>2</sub> se realizó en las fases de 10 bolsas y primer fruto lleno, quienes son estadísticamente iguales y superaron a los demás tratamientos (Cuadro 2). Sin embargo, el mayor peso de fruto se obtuvo con la aplicación durante la fase de semillero (41 g-fruto<sup>-1</sup>), el cual no presentó diferencias estadísticas con las aplicaciones en los momentos M2, M3 y M5. Asimismo, el mayor peso de fruto se debe a la relación inversa que presenta el número y el peso de frutos producidos por una planta.

La mayor producción de materia seca total de tomate de cáscara se obtuvo cuando el CO<sub>2</sub> se aplicó en la fase de primera flor, 10 bolsas de fruto y primer fruto lleno; pero la mayor producción de materia seca total (86.3 g-planta<sup>-1</sup>) se dio cuando la aplicación fue en la fase de 10 bolsas, el cual superó estadísticamente a las aplicaciones en los momentos M1, M5 y M6 (Cuadro 2).

El comportamiento de la producción de materia seca de raíces, tallos, hojas y frutos inmaduros fueron similares, en los cuales produjeron mayor cantidad de materia seca con la aplicación de CO<sub>2</sub> en las fases de primera flor, 10 bolsas y primer fruto lleno, mientras que la tendencia de producción de materia seca de frutos maduros coincidió con la producción de frutos frescos. El mayor peso seco de frutos maduros (35.7 g-planta<sup>-1</sup>)

se obtuvo cuando se aplicó el CO<sub>2</sub> en la fase de 10 bolsas de fruto por planta, mismo que superó estadísticamente a los demás momentos de aplicación.

Los diferentes momentos de aplicación de agua carbonatada no tuvieron efectos sobre el alargamiento (altura del primer simpodio y longitud de ramas de primer orden) y el área foliar de tomate de cáscara; sin embargo, la mayor altura del primer simpodio fue cuando la aplicación se realizó durante las fases de primera flor y 10 bolsas de fruto, mientras que la mayor longitud de entrenudos se determinó con la aplicación durante la fase de 10 bolsas. El mayor área foliar (4810 cm<sup>2</sup>) se produjo cuando la adición de CO<sub>2</sub> se realizó en la fase de primer fruto lleno y la presencia de 10 bolsas (4717 cm<sup>2</sup>) (Cuadro 2).

Las mejores respuestas del momento de aplicación de bióxido de carbono se obtuvieron cuando se aplicaron en los momentos M2, M3 y M4; sin embargo, la tendencia de mayor producción y acumulación de biomasa ocurrió cuando el carbono se aplicó en la fase de 10 bolsas de fruto por planta, en donde, según Cartujano (1984), es la fase de mayor formación de órganos florales y fructíferos en la planta, los cuales demandan cantidades importantes de elementos nutrimentales y fotoasimilados.



### 3. Combinación de niveles

La mayor producción de frutos por planta fue obtenido con los tratamientos C3M3, C1M3, C2M3 y C1M6 en donde se produjeron 627, 590, 534 y 507 gramos de peso de fruto fresco por planta, mismos que no presentaron diferencias estadísticas entre los cuatro tratamientos (Cuadro 3) y donde la mayor producción se debe principalmente al mayor número de frutos. Asimismo, la menor producción de frutos fue con los tratamientos sin aplicación adicional de CO<sub>2</sub> a las raíces de

las plantas (Cuadro 3). La mayor acumulación de materia seca total fue con los tratamientos C3M3, C3M4, C3M2, C2M3 y C1M1, los cuales produjeron 106.4, 103.8, 95.1, 94.8 y 85.4 g.planta<sup>-1</sup>, respectivamente, y entre los cuales no existieron diferencias significativas; sin embargo, el área foliar y el alargamiento de las plantas medido como la longitud de entrenudos no presentaron diferencias significativas en los 24 tratamientos evaluados (Cuadro 3).

CUADRO 3. Resultados de la aplicación radical de CO<sub>2</sub> sobre la producción de tomate de cáscara

Producción (g.planta <sup>-1</sup> )			Materia seca total (g.planta <sup>-1</sup> )			Longitud de entrenudos			Area foliar (cm <sup>2</sup> )		
Trat.	g	Grupo	Trat.	g	Grupo	Trat.	cm	Grupo	Trat.	cm <sup>2</sup>	Grupo
C3M3	627	a <sup>2</sup>	C3M3	106.4	a	C1M1	12.9	a	C3M4	5597	a
C1M3	590	ab	C3M4	103.8	ab	C2M3	12.8	a	C3M3	5317	a
C2M3	534	abc	C3M2	95.1	abc	C1M3	12.1	a	C3M2	5272	a
C1M6	507	abcd	C2M3	94.8	abc	C1M6	12.1	a	C1M1	5126	a
C3M4	468	bcde	C1M1	85.4	abcd	C2M2	12.1	a	C2M4	4855	a
C1M5	406	cdef	C1M3	82.7	bcde	C3M4	12.0	a	C1M2	4711	a
C1M2	402	cdef	C2M2	82.6	bcde	C1M4	11.3	a	C2M6	4711	a
C2M4	367	def	C2M4	82.2	bcde	C3M1	11.3	a	C2M3	4688	a
C3M2	360	def	C3M6	80.7	cdef	C3M3	11.3	a	C1M3	4621	a
C2M5	354	def	C3M1	76.3	cdefg	C3M2	11.0	a	C1M4	4579	a
C3M1	352	ef	C1M2	74.1	cdefg	C3M6	10.8	a	C2M5	4552	a
C2M1	343	ef	C1M5	72.5	defg	C2M6	10.6	a	C1M5	4486	a
C3M5	342	ef	C1M4	70.9	defg	C1M5	10.4	a	C1M6	4477	a
C1M4	340	ef	C2M5	70.2	defg	C3M5	10.0	a	C3M1	4383	a
C2M6	315	ef	C2M6	65.1	defg	C2M5	10.0	a	C3M6	4255	a
C3M6	306	f	C1M6	62.9	efg	C0M2	9.8	a	C0M3	4241	a
C1M1	299	f	C0M3	61.4	efg	C2M1	9.8	a	C0M4	4210	a
C2M2	296	f	C0M4	60.1	fg	C2M4	9.6	a	C2M1	4177	a
C0M3	284	f	C0M6	59.6	fg	C1M2	9.5	a	C0M6	4092	a
C0M5	277	f	C0M5	59.6	fg	C0M1	9.3	a	C0M2	4037	a
C0M4	276	f	C0M1	59.2	fg	C0M3	9.3	a	C3M5	4012	a
C0M6	275	f	C0M2	58.5	g	C0M4	9.0	a	C2M2	4010	a
C0M1	274	f	C3M5	56.5	g	C0M6	9.0	a	C0M5	3830	a
C0M2	266	f	C2M1	55.9	g	C0M1	8.8	a	C0M1	3537	a
C.V.	13.7		C.V.	9.7		C.V.	22.1		C.V.	18.5	
DMS	154.23		DMS	21.84		DMS	7.24		DMS	2542.7	

<sup>2</sup> Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba a una  $P \leq 0.05$ . C0=Sin aplicación adicional de CO<sub>2</sub>. C1=Aplicación de 300 ppm de CO<sub>2</sub>. C2=Aplicación de 600 ppm de CO<sub>2</sub>. C3=Aplicación de 1 200 ppm de CO<sub>2</sub>. M1=Aplicación de CO<sub>2</sub> en el semillero. M2=Aplicación de CO<sub>2</sub> a la primera flor. M3=Aplicación de CO<sub>2</sub> en la etapa de 10 bolsas de fruto. M4=Aplicación de CO<sub>2</sub> en la etapa del primer fruto lleno. M5=Aplicación de CO<sub>2</sub> después del primer corte. M6=Aplicación de CO<sub>2</sub> en todos los momentos anteriores. C.V. = Coeficiente de variación, DMS = Diferencia mínima significativa.

## CONCLUSIONES

El mayor rendimiento de frutos de tomate de cáscara y biomasa se obtuvo cuando la aplicación de CO<sub>2</sub> se realizó durante la fase de 10 bolsas (fruto en desarrollo) por planta con 300 y 1 200 ppm CO<sub>2</sub> disuelto en el agua de riego, lo cual se debe principalmente al mayor número de frutos por planta.

La mayor producción de materia seca total por planta fue cuando se adicionó 1 200 ppm de CO<sub>2</sub> durante la primera flor, 10 bolsas y primer fruto lleno, los cuales produjeron 106.4, 103.8 y 95.1 g-planta<sup>-1</sup>, respectivamente.

El alargamiento de las plantas (altura del primer simpodio y longitud de entrenudos) fue modificado únicamente por la concentración de CO<sub>2</sub> en el agua de riego y no por el momento de aplicación del agua carbonatada.

## LITERATURA CITADA

- ARTECA, R. N.; B.W. POOVAIAH; O.E. SMITH. 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.; B.W. POOVAIAH. 1982. Absorption of CO<sub>2</sub> by potato roots and its subsequent translocation. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107(3):398-401.
- BARON, J.J.; S. F. GORSKI. 1986. Response of eggplant to a roots environment enriched with CO<sub>2</sub>. *HortScience* 21:495-498.
- BROWN, A. W. 1985. CO<sub>2</sub> and intracellular pH. *Plant, Cell and Environment* 8:459-465.
- CARTUJANO E., F. 1984. Desarrollo y fenología del tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) variedad Rendidora en la región de Zacatepec, Morelos. Tesis de Licenciatura, Departamento de Fitotecnia. Chapingo, Estado de México. 149 p.
- ENOCH, H. Z. 1990. Crop responses to aerial carbon dioxide. *Acta Hort.* 268:17-29.
- ENOCH, H.Z.; J. M. OLESEN. 1993. Plant response to irrigation with water enriched with carbon dioxide. *New Phytologist* 125:249-258.
- GOVINDARAJAN, A. G.; B.W. POOVAIAH. 1982. Effect of root zone carbon dioxide enrichment on ethylene inhibition of carbon assimilation in potato plants. *Physiol. Plant.* 55:465-469.
- GRAF, G. E.; S. ARONFF. 1985. Carbon dioxide fixation by roots. *Science* 121:211-212.
- MAUNEY, J. R.; D. L. HENDRIX. 1988. Responses of glasshouse grown cotton to irrigation with carbon dioxide-saturated water. *Crop Sci.* 28(5):835-838.
- MONTALVO H., D. 1995. Nutrición y clorosis en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 181 p.
- NAKAYAMA F., S.; D. A. BUCKS. 1980. Using subsurface tricle system for carbon dioxide enrichment. *Proc. 15th. National Agricultural Plastic Congress. Tucson, Arizona, USA.* 13-17 April. pp. 13-18.
- NOVERO, R.; D. H. SMITH; F. D. MOORE; J.F. SHANAHAN; R. D'ANDRIA. 1991. Field-grown tomato response to carbonated water application. *Agronomy Journal* 83:911-916.
- PEARMAN G., I. 1988. Greenhouse planning for climate change. *Australia.* p. 752.
- PEÑA I., A.; S. F. MARQUEZ. 1990. Mejoramiento genético de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo* 71-72: 84-88.
- ROGERS, H. H.; R. C. DEHLMAN. 1993. Crop responses to CO<sub>2</sub> enrichment pp. 117-131. *In: CO<sub>2</sub> and Biosphere.* Roze-ma J. H. Lambers, S. C. Van de Geijn, and M. L. Cambridge (eds.). London, England
- SOLIS M., F. 1994. Respuestas fisiológicas del crisantemo (*Chrysanthemum morifolium* Ramat) a la fertilización con CO<sub>2</sub> y nitrógeno. Tesis Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. México. 121 p.
- STORLIE, C. A.; J. R. HECKMAN. 1996a. Soil, plant and canopy responses to carbonated irrigation water. *HortTechnology* 6(2): 11-114.
- STORLIE, C. A.; J. R. HECKMAN. 1996b. Bell pepper yield response to carbonated irrigation water. *Plant Nutrition* 19 (10-11): 1477-1484.
- VAPAAVUORI, E. M.; P. PELKONEN. 1985. HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> uptake through the roots and its effect on the productivity of willow cuttings. *Plant, Cell and Environment* 8:531-534.