

Experiencias iniciales con alternativas al bromuro de metilo en tomate

James P. Gilreath¹
Joseph W. Noling²
John P. Jones¹
Amegda J. Overman¹
Bielinski M. Santos¹

RESUMEN. Desde principios de la década de los 90, la Universidad de Florida ha conducido centenares de estudios en búsqueda de alternativas al uso del bromuro de metilo (BrM) en vegetales, frutales y ornamentales. Debido a que el BrM va a usarse restringidamente a partir del año 2005, se condujeron estudios exploratorios para determinar posibles alternativas para reemplazar el BrM en tomate de mesa (*Lycopersicon esculentum*) producido en camas planas con coberturas plásticas (*mulch*). Dichas camas recibieron aplicaciones de fumigantes de suelo para combatir malezas, nematodos y enfermedades de suelo. El estudio examinó la eficacia de cloropicrín (Pic), dazomet, 1,3-dicloropropeno (1,3-D), 1,3-D + Pic (C-17), metam sodio (MNa), C-17 + Pic, C-17 + MNa, y C-17 + pebulato para el control de malezas, nematodos y enfermedades de suelo en tomate de mesa. Los resultados indicaron que la aplicación de C-17 en dosis de 250 kg/ha, combinado con pebulato a 4,5 kg/ha, mantuvo rendimientos similares a los del BrM y redujo consistentemente las densidades de la maleza *Cyperus rotundus*, así como la incidencia del hongo de suelo *Fusarium oxysporium* f. sp. *lycopersici*, y el nematodo *Meloidogyne* spp.

Palabras clave: Fumigantes, herbicidas, 1,3-dicloropropeno, cloropicrín, metam sodio, fostiazato, pebulato.

ABSTRACT. Methyl bromide alternatives in fresh tomato: First experiences. Since the beginning of the 90s, the University of Florida has conducted hundreds of trials searching for methyl bromide (MBr) alternatives in vegetables, ornamentals and fruit crops. Because the use of this fumigant will be restricted in 2005, preliminary studies were conducted to determine possible alternatives to replace MBr in mulched fresh tomato (*Lycopersicon esculentum*). Planting beds were applied with soil fungicides, nematicide and herbicide treatments. The studies examined the efficacy of chloropicrin (Pic), dazomet, 1,3-dichloropropene (1,3-D), 1,3-D + Pic (C-17), metam sodium (MNa), C-17 + Pic, C-17 + MNa, and C-17 + pebulate for weed, nematode, and soilborne disease control. The results indicated that the application of C-17 (250 kg/ha) combined with pebulate (4.5 kg/ha) consistently produced similar yield to that of MBr, and reduced *Cyperus rotundus* densities, and *Fusarium oxysporium* f. sp. *lycopersici* and *Meloidogyne* spp. incidence.

Key words: Soil fumigants, herbicides, 1,3-dichloropropene, chloropicrin, metam sodium, fosthiazate, pebulate.

Introducción

Durante los últimos 35 años, los productores de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), pimiento (*Capsicum annuum* L.), berenjena (*Solanum melongena* L.) y fresas (*Fragaria x ananassa* Duch.) de la Florida, EUA, han dependido casi exclusivamente del bromuro de

metilo (BrM) para el combate de enfermedades del suelo, nematodos y malezas. En 1993, el Protocolo de Montreal clasificó esta molécula como un degradador del ozono clase I. Como resultado, se ordenó su retiro del mercado de los países desarrollados en el año 2005

¹ Gulf Coast Research and Education Center, University of Florida, Bradenton, Florida, EUA. bmsantos@yahoo.com.

² Citrus Research and Education Center, University of Florida, Lake Alfred, Florida, EUA.

(Watson *et al.* 1992). En cumplimiento con lo estipulado en ese Protocolo, durante los últimos diez años se ha impulsado la búsqueda de alternativas al uso de este fumigante (Aerts y Botts 2002).

En la Florida, se han estado realizando esfuerzos para contribuir con la definición de productos y prácticas alternativas al BrM, que tiendan a reducir los daños causados por malezas, enfermedades de suelo y nematodos en vegetales, con un impacto mínimo sobre los ingresos netos de los productores y cuyo uso reduzca los efectos negativos en el medio ambiente. Uno de esos esfuerzos se concentró en la búsqueda inicial de moléculas que pudiesen reemplazar el BrM en campos de tomate de mesa. El tomate de mesa es el principal cultivo hortícola anual de la Florida, con aproximadamente el 45% de la producción comercial de tomates frescos en los EUA. Esta producción está concentrada anualmente en algo más de 100 mil ha (USDA 2002).

Estudios preliminares han demostrado por separado el potencial de funguicidas de suelo y nematocidas de amplio espectro como son el cloropicrín (Pic), dazomet, metam sodio (MNa), fostiazato, 1,3-dicloropropeno (1,3-D) y la combinación de 1,3-D + Pic (C-17) (Jones *et al.* 1995; Locascio *et al.* 1997; Noling y Gilreath 2001). Sin embargo, estos productos proveen un control nulo o muy bajo de malezas como los coquillos (*Cyperus rotundus* L. y *C. esculentus* L.). Por ello, se requiere la aplicación suplementaria de herbicidas (Noling y Gilreath 2001). Uno de los herbicidas más frecuentemente utilizados para combatir coquillos en preemergencia en tomate es el pebulato (Stall y Gilreath 2002). El uso combinado de funguicidas-nematocidas de amplio espectro junto con herbicidas serviría como modelo para las futuras evaluaciones de campo en otros cultivos, como fresas y pimiento.

El Estado de la Florida no es solamente un centro importante de producción de vegetales, sino también una fuente valiosa de intercambio de información y tecnologías con el Caribe, México, América Central y América del Sur. El presente trabajo pretende fortalecer dicho intercambio de información con los usuarios de tecnologías en tomate. Los estudios de campo presentados buscaron identificar alternativas al uso del BrM para el control de malezas, enfermedades de suelo y nematodos en tomate de mesa sembrado con cubiertas plásticas o *mulch*.

Materiales y métodos

Se condujeron dos estudios de campo en el Gulf Coast Research and Education Center de la Universidad de la Florida en Bradenton. Los estudios se establecieron en campos con arena fina serie EauGallie (Alfic Haplaquods) con 1% de materia orgánica y pH 7,3. Se trasplantaron plántulas de tomate 'Solarmar' sobre camas elevadas (30 cm de alto) en campos con un fuerte historial de infecciones por nematodos del nódulo de la raíz (*Meloidogyne* spp.), coquillo (*C. rotundus*) y marchitez vascular (*Fusarium oxysporium* Schlecht f. sp. *lycopersici*). Las camas de siembra se regaron sub-superficialmente, manteniéndose la capa freática a unos 45 cm de la superficie. Antes del establecimiento de los tratamientos, se aplicó fertilizante granulado al voleo sobre las camas (15-0-30 a 285 kg/ha), siguiendo las recomendaciones del análisis de suelo.

Los tratamientos se establecieron con hileras simples de tomate sembrado sobre camas de 15 m de largo por 0,70 m de ancho, en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se utilizaron doce y once combinaciones de fumigantes, nematocidas y herbicidas en dos temporadas de siembra (primavera y otoño), respectivamente (Cuadros 1 y 2). Se aplicó dazomet manualmente, incorporado a 15 cm de profundidad con un cultivador. El herbicida pebulato se asperjó sobre la superficie de las camas con una bomba de tractor equipado con boquillas planas 8004, calibrado a 275 L/ha y 240 kPa, e incorporado a 5 cm. El fumigante MNa se inyectó en el suelo entre 15 y 20 cm de profundidad. El nematocida fostiazato se aplicó sobre la superficie de las camas y se incorporó entre 15 y 20 cm. Los fumigantes Pic, C-17, 1,3-D y BrM se inyectaron con cinceles a 20 cm de profundidad.

Luego de la aplicación de los fumigantes y el herbicida, se procedió a colocar las coberturas plásticas de baja densidad (calibre 0,038 mm). Siguiendo las prácticas locales, se utilizaron coberturas plásticas negras y blancas en las temporadas de primavera y otoño, respectivamente. Este procedimiento buscó regular las temperaturas del suelo durante las épocas frías (primavera) y cálidas (otoño).

Las plántulas de tomate se trasplantaron a 60 cm, tres semanas después de la aplicación de los fumigantes. Se determinó la densidad de coquillo dos veces durante cada temporada de siembra. En el ensayo de primavera, esto se hizo a las 6 y 16 semanas después

del tratamiento (sdt), mientras que en el ensayo de otoño se hizo a las 5 y 14 sdt. La incidencia de marchitez por *Fusarium* se evaluó durante la cosecha final, con base en el número de plantas con síntomas en cada tratamiento, expresado en porcentaje. Asimismo, tras la cosecha final se examinaron las raíces para determinar el índice de severidad del nematodo nodulador (ISN: escala 0-5). Este índice se calculó con la fórmula:

$$\text{ISN} = [(l \times 1) + (m \times 3) + (s \times 5)] / (n_0 + l + m + s);$$

donde s, m, l, y n_0 representan ataques severos, moderados, ligeros, y sin infección, respectivamente. Se realizaron dos cosechas del cultivo a los 12 y 14 sdt en cada experimento. Los frutos fueron separados en comerciales y no comerciales y pesados por categoría. Debido a la falta de normalidad estadística para los valores de poblaciones de coquillo, incidencia de marchitez vascular e ISN, éstos fueron examinados con la prueba no paramétrica de Friedman al 5% de significancia. Los datos de cosecha se analizaron con análisis de varianza. Los tratamientos se separaron con la prueba de Waller-Duncan.

Resultados y discusión

Estudio de primavera

Existió efecto significativo ($P < 0,05$) de los tratamientos sobre el rendimiento de tomate, la densidad de coquillo, la incidencia de marchitez vascular, y la severidad

de nódulos radiculares. Con respecto a las poblaciones de coquillo, BrM y C-17 + pebulato mostraron ser las opciones más efectivas para el control de la maleza, sin diferencias entre ambas opciones a las 6 y 16 sdt (Cuadro 1). Ambos tratamientos suprimieron el crecimiento de *Cyperus* a menos de 11 plantas/m². Sin embargo, los demás fumigantes no difirieron con respecto al testigo en su eficacia a las 16 sdt, registrándose conteos de aproximadamente 130 plantas/m².

En general, la marchitez vascular mostró alta incidencia en el testigo, con un 28% de las plantas afectadas por la enfermedad. Mientras tanto, el patógeno fue controlado eficazmente por todos los fumigantes probados en el estudio, con un máximo de 4% de incidencia (Cuadro 1). En cuanto a la presencia de nódulos radiculares causados por *Meloidogyne*, dazomet a 390 kg/ha presentó los mayores valores de susceptibilidad a daño, seguido por el testigo y Pic a 225 kg/ha. Los demás fumigantes resultaron en valores de severidad inferiores a 1. El rendimiento de tomates frescos fue superior a 60 t/ha en todos los fumigantes probados, incrementando el rendimiento promedio en más de 32% con relación al testigo no tratado. Esta situación indica que los niveles de enmalezamiento por coquillo, combinados con la severidad de ataque del nematodo del nudo de la raíz, no fueron suficientes para causar daño significativo en el rendimiento comercial.

Cuadro 1. Efecto de fumigantes de suelo sobre el rendimiento de tomate, las poblaciones de coquillo, la incidencia de la marchitez vascular y el índice de severidad del nematodo del nódulo de la raíz (ISN). Experimento de primavera^x.

Fumigantes	Dosis (kg/ha)	Rendimiento ^z (t/ha)	Coquillo (plantas/m ²) ^y		Marchitez (%)	ISN
			6 sdt	16 sdt		
Testigo	----	48,5 b	1,6 b	75,3 a	28,0 a	1,7 b
BrM	450	63,2 a	0,0 d	10,8 b	0,0 b	0,1 d
Pic	225	63,2 a	3,6 a	107,6 a	4,0 b	1,6 b
Dazomet	390	67,7 a	1,3 c	75,3 a	4,0 b	3,2 a
1,3-D	210	64,5 a	2,7 b	96,9 a	4,0 b	0,3 d
C-17	260	66,4 a	1,0 c	86,1 a	4,0 b	0,2 d
C-17	420	62,7 a	2,0 b	107,6 a	0,0 b	0,0 d
MNa	360	60,3 a	3,9 a	129,2 a	4,0 b	0,8 c
MNa	720	62,1 a	2,3 b	118,4 a	0,0 b	0,6 c
C-17 + Pic	260 + 170	65,4 a	1,1 c	75,3 a	0,0 b	0,1 d
MNa + Pic	260 + 180	67,4 a	1,3 c	75,3 a	0,0 b	0,0 d
C-17 + pebulato	260 + 4.5	64,6 a	0,0 d	0,0 b	4,0 b	0,1 d

^zMedias separadas dentro de las columnas con la prueba de Waller-Duncan ($P=0,05$).

^yDensidad de coquillo, incidencia de marchitez vascular e ISN analizados con la prueba de Friedman ($P=0,05$).

^xNomenclatura: sdt: semanas después del tratamiento; BrM: bromuro de metilo; Pic: cloropicrín; 1,3-D: 1,3-dicloropropano; C-17: 1,3-dicloropropano + cloropicrín; MNa: metam sodio.

Estudio de otoño

Los tratamientos ejercieron un efecto significativo ($P < 0,05$) sobre el rendimiento comercial, los niveles de enmalezamiento por coquillo, la incidencia de la marchitez vascular, y la severidad de ataque del nematodo. Tanto el testigo no tratado como el fostiazato aplicado solo fallaron en controlar el coquillo, obteniéndose con este último producto niveles de enmalezamiento de 269 plantas/m² a las 14 sdt (Cuadro 2). Todos los tratamientos que recibieron pebulato aumentaron el control de coquillo a las 5 sdt. Sin embargo, solamente C-17 + pebulato en ambas dosis fue comparable con BrM a las 14 sdt.

Los tratamientos que recibieron los fumigantes de suelo redujeron la incidencia de marchitez vascular ($\leq 2\%$ incidencia), y el testigo alcanzó niveles de 79% de presencia de la enfermedad (Cuadro 2). La mayoría de los tratamientos con fumigantes controlaron eficientemente el ataque del nematodo, excepto dazomet a 390 kg/ha. Cuando no se aplicaron fumigantes al suelo, se redujeron severamente los rendimientos comerciales (Cuadro 2). Todos los fumigantes, excepto Pic a 225 kg/ha, MNa a 360 kg/ha y fostiazato a 4,3 kg/ha, resultaron en rendimientos similares al BrM. Esto indica que, al igual que en la temporada de primavera, la densidad de coquillo y los daños por nematodo del nudo de la raíz no fueron suficientes como para reducir significativamente los rendimientos comerciales.

Los resultados presentados sugieren que existen alternativas valiosas para reemplazar el BrM en tomate de mesa. La estrategia de control de marchitez vas-

cular debe estar basada en el uso de productos que actualmente se encuentran en el mercado y que han demostrado que pueden controlar la enfermedad, como dazomet, Pic, MNa y C-17. Sin embargo, en situaciones de enmalezamiento crítico, la aplicación de fumigantes, funguicidas y nematicidas no es suficiente para controlar malezas como el coquillo. Por lo tanto, deben considerarse aplicaciones de herbicidas, como el pebulato, en combinación con fumigantes de suelo.

Literatura citada

- Aerts, M; Botts, D. 2002. The methyl bromide critical use exemption submission for Florida tomatoes 2002. Proceedings of the Florida Tomato Institute. p. 18-20.
- Jones, JP; Gilreath, JP; Overman, AJ. 1995. Control of soil-borne disease of mulched tomato by fumigation. Proceedings of the Florida State Horticultural Society 108:201-203.
- Locascio, SJ; Gilreath, JP; Dickson, DW; Kucharek, TA; Jones, JP; Noling, JW. 1997. Fumigant alternatives to methyl bromide for polyethylene-mulched tomato. HortScience 32:1208-1211.
- Noling, JW; Gilreath, JP. 2001. Methyl bromide, progress and problems: Identifying alternatives to methyl bromide, v. 2. IFAS, University of Florida. Citrus and Veg. Mag. 16 p.
- Stall, WM; Gilreath, JP. 2002. Weed control in tomato. In Stall, WM. ed. Weed management in Florida fruits and vegetables, 2002-2003. Gainesville, FL, IFAS-Univ. of Florida. p. 55-58.
- USDA (United States Department of Agriculture). 2002. Vegetables: Acreage, production and value. Florida agricultural statistics service, Orlando. Consultado 29 oct 2002. Disponible en <http://www.nass.usda.gov>.
- Watson, RT; Albritton, DT; Anderson, SO; Lee-Bapty, S. 1992. Methyl bromide: Its atmospheric science, technology and economics. Nairobi, KE, Montreal Protocol Assessment Suppl. United Nations Environmental Programme on behalf of the contracting parties to the Montreal Protocol. 235 p.

Cuadro 2. Efecto de fumigantes de suelo sobre el rendimiento de tomate, las poblaciones de coquillo, la incidencia de marchitez vascular y el índice de severidad de nematodo del nódulo de la raíz (ISN). Experimento de otoño^x.

Fumigantes	Dosis (kg/ha)	Rendimiento ^z (t/ha)	Coquillo (plantas/m ²) ^y		Marchitez (%)	ISN
			5 sdt	14 sdt		
Testigo	----	40,0 d	129,2 a	107,6 bc	79,0 a	1,3 ab
BrM	450	256,0 a	10,8 c	10,8 e	0,0 b	0,0 c
Pic	225	175,0 bc	64,6 b	129,2 bc	0,0 b	0,4 bc
Dazomet	390	218,0 ab	21,5 bc	62,3 d	2,0 b	2,0 a
Dazomet	500	199,0 abc	10,8 c	64,6 d	0,0 b	0,0 c
MNa	360	178,0 bc	32,3 b	107,6 bc	0,0 b	0,6 bc
C-17 + pebulato	260 + 4,5	228,0 ab	10,8 c	21,5 e	2,0 b	0,0 c
C-17 + pebulato	420 + 4,5	222,0 ab	10,8 c	24,6 e	0,0 b	0,0 c
Fostiazato	4,3	143,0 c	172,2 a	269,1 a	0,0 b	0,0 c
Fostiazato + pebulato	4,3 + 4,5	198,0 abc	53,8 b	172,2 b	2,0 b	0,0 c
Fostiazato + MNa + pebulato	4,3 + 360 + 4,5	222,0 ab	10,8 c	64,6 d	0,0 b	0,0 c

^xMedias separadas dentro de las columnas con la prueba de Waller-Duncan ($P=0,05$).

^yDensidad de coquillo, incidencia de marchitez vascular e ISN analizados con la prueba de Friedman ($P=0,05$).

^zNomenclatura: sdt: semanas después del tratamiento; BrM: bromuro de metilo; Pic: cloropicrín; C-17: 1,3-dicloropropano + cloropicrín; MNa: metam sodio.