

HORTICULTURA

Efecto de distintas secuencias de tratamientos de biofumigación sobre parámetros fisicoquímicos y biológicos del suelo, el rendimiento y la salinidad de cultivos de tomate y lechuga bajo cubierta

M. Mitidieri¹; V. Brambilla¹; V. Saliva¹; E. Piris¹; M. Piris¹; R. Celié¹; C. Pereyra¹; K. Del Pardo¹; E. Chaves² y J. González¹

¹INTA EEA San Pedro. Ruta 9 km 170. CC 43. San Pedro, Buenos Aires. ²Laboratorio de Nematología EEA INTA Balcarce. mmariel@correo.inta.gov.ar

Recibido: 15/01/08

Aceptado: 9/11/09

Resumen

Mitidieri, M.; Brambilla, V.; Saliva, V.; Piris, E.; Piris, M.; Celié, R.; Pereyra, C.; Del Pardo, K.; Chaves, E. y González, J. 2009. Efecto de distintas secuencias de tratamientos de biofumigación sobre parámetros fisicoquímicos y biológicos del suelo, el rendimiento y la salinidad de cultivos de tomate y lechuga bajo cubierta. *Horticultura Argentina* 28(67): 5-17

En los últimos años, investigadores de distintos países han concentrado esfuerzos en desarrollar técnicas no contaminantes de desinfección del suelo. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de distintas secuencias de solarización y/o biofumigación (BIO). Los tratamientos evaluados consistieron en la combinación de dos desinfecciones realizadas en la primavera 2003 y 2005. Estos fueron 1. Testigo/Testigo, 2. Solarización/Solarización, 3. BIO con Estiércol/BIO con Brócoli, 4. BIO con Colza/BIO con Brócoli. Se observó control de nematodos en los 10 primeros cm del suelo, en el muestreo realizado inmediatamente después de la biofumigación, realizada en noviembre de 2005. Las diferencias entre tratamientos y el testigo se mantuvieron pa-

ra esta especie ($P \leq 5\%$) hasta febrero del 2007. El porcentaje de colonias de *Sclerotium rolfsii* recuperadas de esclerocios fue siempre mayor en el testigo sin tratar, pero a 35 cm el efecto de los tratamientos fue menor. *Fusarium solani* fue encontrado solamente en el testigo a 10 cm de profundidad, pero en todos los tratamientos a 35 cm. En noviembre de 2006 se trasplantó un cultivo de tomate. El número de plantas muertas al final del ciclo fue significativamente mayor en el testigo sin tratar. Se obtuvieron diferencias altamente significativas entre tratamientos ($P \leq 1\%$) para rendimiento y descarte total, descarte por pequeño y podredumbre apical. El testigo sin tratar mostró los menores rendimientos y mayores porcentajes de descartes. Después de la cosecha se observaron diferencias significativas para el número de agallas y porcentaje de raíces con síntomas de podredumbres en tomate. Los patógenos aislados de las raíces con síntomas de podredumbres fueron *Pyrenochaeta lycopersici* y *Fusarium solani*.

Palabras clave adicionales: nematodos, brásicas, podredumbres radiculares, *Sclerotium rolfsii*, *Fusarium* spp.

Abstract

Mitidieri, M.; Brambilla, V.; Saliva, V.; Piris, E.; Piris, M.; Celié, R.; Pereyra, C.; Del Pardo, K.; Chaves, E. and González, J. 2009. Effect of different biofumigation treatment sequences on physicochemical and biological soil parameters, yield and salinity tomato and lettuce crop under cover. *Horticultura Argentina* 28(67): 5-17

In the last years, researchers from different countries have made efforts to develop environmentally responsible soil disinfection techniques. The objective of this work was to evaluate the effect of different sequences of soil solarization and/or biofumigation (BIO). The treatments evaluated were the combination of two disinfections performed on spring 2003 and 2005. The sequences evaluated were: 1. Control/Control, 2. Solarization/Solarization, 3. BIO with Chicken manure/BIO with Broccoli, 4. BIO with *Brassica napus*/BIO with Broccoli. Nematode control was observed at the first 10 cm of soil, immediately after BIO treatments, perfor-

med at november 2005, differences ($P \leq 5\%$) between treatments and control were observed for *Nacobbus aberrans* until february 2007. Percentage of *Sclerotium rolfsii* colonies obtained from sclerotia was always higher at control plots, but at 35 cm the treatment effect was lower. *Fusarium solani* was obtained only at control plots at 10 cm but in all treatments at 35 cm. In november 2006 a tomato crop was planted. The number of dead plants at the end of the cycle was significantly higher at control plots. Significant differences ($P \leq 1\%$) between treatments were obtained for total yield, yield losses, and losses percentage due to small fruits and blossom end rot. Control plots showed lower yields and higher commercial yield losses. After harvest significant differences were observed for gall number and percentage of root rots caused by *Pyrenochaeta lycopersici* and *Fusarium solani*.

Additional keywords: nematodes, brassicae, soil borne diseases, *Sclerotium rolfsii*, *Fusarium* spp.

1. Introducción

En los últimos años, investigadores de distintos países han concentrado esfuerzos en desarrollar téc-

nicas no contaminantes de desinfección del suelo. La biofumigación es el control de plagas y patógenos del suelo por medio de la liberación de compuestos originados naturalmente, como consecuencia de la

descomposición de residuos orgánicos (Gimsing & Kirkegaard, 2006). Cuando los materiales incorporados al suelo para biofumigar son tejidos de *Brassicas*, entre los productos de la degradación de los mismos se liberan compuestos denominados glucosinolatos. Los isotiocianatos, y otros compuestos volátiles derivados de los glucosinolatos, juegan un papel muy importante en la supresión rápida de patógenos (Brown & Morra, 1993; Borek *et al.*, 1994; Riegel & Noe, 2000; Brown & Morra, 1997; Bending & Lincoln, 2000; Bending & Lincoln, 2000).

La incorporación de enmiendas orgánicas en forma de abonos verdes tiene efectos benéficos sobre el desarrollo de los cultivos subsiguientes, ya que aumenta el contenido de materia orgánica del suelo, mejorando la estructura y la penetración del agua en el mismo (Kirkegaard & Matthiessen, 2004; Pung, 2003). Por otra parte antes de realizar estos tratamientos será necesario conocer el contenido de materia orgánica y arcilla del mismo ya que solamente los suelos neutros favorecen la producción de isotiocianatos (Rosa & Rodrigues, 1999). Existen numerosos antecedentes del efecto de los residuos de *Brassicas*, sorgo, estiércol y rastrojo de pimiento en el control de nematodos. La incorporación de plantas de este grupo redujo significativamente la incidencia de hongos patógenos como *Sclerotinia minor* en cultivos de lechuga (Daugovish, 2003), y nematodos en distintos cultivos y malezas, pero no fue muy efectiva para reducir la población de *Fusarium* spp. (Rosa & Rodrigues, 1999; Harding, 2001; Pung, 2002; Kirkegaard, 2004; Díaz Hernández *et al.*, 2004; Zasada *et al.*, 2003; Daugovish & Downer, 2006; Piedra Buena *et al.*, 2007; Kirkegaard & Matthiessen, 2004; Matthiessen, 1996). Particularmente, el brócoli resultó ser una de las brásicas menos susceptibles a *Meloidogyne* incógnita pero más eficientes en reducir la población de *Meloidogyne javanica*, *Meloidogyne incognita*, *Ralstonia solanacearum* (Kirkegaard, 2004; Pattison *et al.*, 2003) y *Pythium sulcatum* (Davison & McKay, 2003). Existen estudios de laboratorio que determinaron que patógenos como *Phytophthora*, *Pythium*, *Rhizoctonia* y *Sclerotium rolfsii* son más sensibles a los glucosinolatos que *Verticillium dahliae* y *Trichoderma* spp. (Matthiessen, 2000; Smith, 2001). También se observó que su aplicación redujo los daños causados por *Verticillium dahliae* de la misma manera que el bromuro de metilo + cloropicrina o el metam sodio (Rosa & Rodrigues, 1999). En otros ensayos la adición de brásicas, incluido el brócoli, redujo la población de *Fusarium* spp. pero no la de

Aspergillus spp. y *Penicillium* spp. que aumentó; el agregado de repollo redujo la presencia de *Sclerotium rolfsii* y *Pythium* (Rosa & Rodrigues, 1999).

En Uruguay se han realizado numerosos ensayos de biofumigación en cultivos hortícolas en distintas zonas del país, en el marco de un proyecto implementado por la Organización de las Naciones Unidas para el desarrollo de técnicas alternativas al bromuro de metilo (INIA, 2001). En Argentina, el proyecto Tierra Sana, financiado por ONUDI, ha realizado ensayos de biofumigación. En el marco de los mismos, se ha observado disminución de muerte de plántulas en almácigos de especies hortícolas solarizadas o biofumigados con guano de pollo solo o en combinación con otros residuos orgánicos. En cultivo de tomate bajo cubierta se obtuvo 100 % de control de nematodos, combinando la solarización con biofumigantes como hojarasca de pino, pasto de jardín, mantillo, repollo, estiércol de pollo, pimiento y brócoli picados y sorgo aplicados antes de solarizar. También se determinó un aumento de nematodos saprófitos y omnívoros y mayores rendimientos (INTA-ONUDI, 2004; Colombo *et al.*, 2005).

En el INTA San Pedro (Mitidieri *et al.*, 2004; Mitidieri *et al.*, 2005) se realizó un ensayo donde se evaluaron distintos tratamientos de suelo: solarización + estiércol, solarización + colza, solarización sin aporte de enmienda orgánica y testigo sin tratar. En un cultivo de tomate trasplantado después, los tres tratamientos difirieron del testigo sin tratar para porcentaje de plantas muertas al final del ciclo y porcentaje de plantas con síntomas aéreos; en cambio, la solarización + estiércol aumentó significativamente el rendimiento total. Las parcelas del testigo mostraron mayor número de nematodos en 100 cc de suelo a los 90 días del trasplante y mayor número de agallas por g·materia⁻¹ seca de raíz en bioensayos realizados sobre muestras extraídas en distintos momentos del cultivo. Los tres tratamientos difirieron significativamente del testigo sin tratar en lo que respecta al número de agallas y porcentaje de tejido radical afectado por podredumbres. En un cultivo de lechuga trasplantado posteriormente, los tres tratamientos también difirieron del testigo en lo que respecta al número de agallas, mientras la solarización sin enmiendas presentó el menor porcentaje de podredumbre radical.

La combinación de solarización y biofumigación es efectiva, ya que las altas temperaturas acentúan el efecto de la biofumigación al aumentar la liberación de sustancias volátiles (Ploeg *et al.*, 2001). Algunas bacterias y hongos resultaron muy toleran-

tes a los isotiocianatos, entre ellos se encuentran distintas especies de *Trichoderma*, dentro de las cuales se encuentran antagonistas de patógenos (Rodríguez-Kabana *et al.*, 1987). Otras bacterias pueden ser afectadas por la liberación de isotiocianatos, como se observó con bacterias nitrificantes en suelos arcillosos (Bending & Lincoln, 2000). Esto sugiere que la biofumigación puede provocar un cambio en la composición de la microflora del suelo y aumentar la proporción de antagonistas. La aplicación reiterada de esta técnica puede ocasionar el incremento de bacterias que degradan los isotiocianatos, reduciendo la vida de estos compuestos en el suelo aún de aquellos liberados por compuestos químicos como el metam sodio (Pattison *et al.*, 2003).

La implantación de ensayos a largo plazo que repitan los tratamientos sobre las mismas parcelas podrá brindar información sobre los beneficios y desventajas de la aplicación de la solarización y biofumigación.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de distintas secuencias de tratamientos de solarización y/o biofumigación sobre parámetros físicos y químicos del suelo, la población de nematodos y patógenos del suelo, la sanidad y el rendimiento de los cultivos.

2. Materiales y métodos

Se implantó un ensayo en la EEA INTA San Pedro, provincia de Buenos Aires (33° 41' S; 59° 41' O), donde se evaluaron distintas secuencias de tratamientos del suelo. Los tratamientos de solarización y biofumigación se realizaron en la primavera de los años 2003 y 2005. Las secuencias evaluadas fueron: 1. Testigo/Testigo; 2. Solarización/Solarización; 3. Biofumigación con estiércol/Biofumigación con brócoli; 4. Biofumigación con colza/Biofumigación con brócoli.

Se utilizó un diseño en parcelas divididas con los tratamientos de suelo en la parcela principal y las variedades en la secundaria. Cada tratamiento de suelo constó de cuatro repeticiones en bloques completos al azar. Los tratamientos se realizaron en un invernadero tipo túnel (8 x 50 m). En la primavera de 2003 se realizaron los primeros tratamientos de biofumigación. El segundo tratamiento se realizó en el año 2005; para ello se incorporó el brócoli que se cosechó en octubre de ese año. Luego de los tratamientos se implantó un cultivo de lechuga en enero de 2006, que fue cosechado en marzo de ese año. En noviembre de 2006 se trasplantó toma-

te en las mismas parcelas. Este cultivo se mantuvo hasta febrero de 2007 (Tabla 1).

En el año 2003 las parcelas (16 m²) se aislaron entre sí por medio de zanjas de 40 cm de profundidad revestidas con polietileno negro de 200 micrones. Previo a la implantación del ensayo, se realizó un aporte por parcela de 7 kg de tierra conteniendo raíces con agallas de plantas que fueron mantenidas en terrinas con tierra extraída al levantar un cultivo de tomate donde se registró alta infestación con nemátodos. Se aplicaron por parcela 1,71 kg peso seco por m² de estiércol de ave (62 % materia seca) y 0,49 kg peso seco por m² de colza (10 % materia seca). El día 14/11/03 las parcelas se taparon con polietileno cristal de 50 micrones, se mantuvieron en ese estado hasta el 19/12/03. La colza utilizada fue cultivada en otro invernadero; los tallos se cortaron cuando las plantas estaban en plena floración. Se pesaron y distribuyeron en el invernadero donde se hizo el ensayo. Luego de esos tratamientos se plantaron dos cultivos de tomate, híbrido Superman en enero de 2004 y de 2005 y dos de lechuga en enero de 2004 y junio de 2005. En el segundo año se aplicaron por parcela de 2,43 kg peso seco por m² de rastrojo de brócoli, 2,33 kg correspondientes a hojas, tallos e inflorescencias y 0,20 kg por m² de raíces (17,70 % y 16,29 % materia seca para biomasa aérea y raíces, respectivamente). El brócoli fue cortado y aplicado con rotovactor. El día 25/11/05 las parcelas se taparon con polietileno cristal de 50 micrones, se mantuvieron en ese estado hasta el 26/12/05. En ambos casos, el tratamiento solarizado consistió en tapar la parcela con plástico sin agregar materia orgánica previamente. El testigo fue una serie de parcelas donde no se agregó ninguna enmienda orgánica, ni se tapó con plástico.

Antes y después de los tratamientos realizados

Tabla 1. Secuencias de tratamientos y cultivos desde 2003 a 2007.

| Tratamientos y cultivos | Meses | Año |
|-------------------------|---------------------|--------|
| Biofumigación | Noviembre-Diciembre | 2003 |
| Tomate | Enero-Junio | 2004 |
| Lechuga | Agosto-October | 2004 |
| Tomate | Enero-Junio | 2005 |
| Lechuga | Junio-Julio | 2005 |
| Brócoli | Agosto-October | 2005 |
| Biofumigación | Noviembre-Diciembre | 2005 |
| Lechuga | Enero-Marzo | 2006 |
| Tomate | Noviembre-Febrero | 2006/7 |

en 2005, se muestreó el suelo para realizar análisis físicoquímicos del mismo, nematodos, hongos y bacterias. Se tomaron muestras en el horizonte superficial (0-12 cm) y determinando: pH potenciométrico, relación suelo extractante 1:2,5; conductividad eléctrica en el extracto; carbono orgánico (Walkley y Black); nitrógeno total (semimicro kjeldalh); fósforo, método Bray 1 modificado (INTA, 1989).

En el centro de cada parcela principal se colocó antes de los tratamientos una estaca con un orificio a 10 cm y otro a 35 cm de la superficie del suelo. A cada uno de estos se sujetaron bolsas de gasa conteniendo 1 kg de suelo a 10 y 35 cm de profundidad (Zasada *et al.*, 2003). De cada parcela se sacó una muestra que fue enviada al laboratorio de Nematología del INTA Balcarce, también fueron utilizadas para realizar bioensayos, suspensiones y siembras en medio de cultivo, para estudiar los cambios sufridos en la población de bacterias y hongos del suelo. Se colocaron bolsas de gasa conteniendo 100 g de tierra estéril con conidios de *Pyrenochaeta lycopersici* y *Fusarium solani* (concentración $9,63 \times 10^5$ y $3,45 \times 10^4$, respectivamente) y esclerocios de *Sclerotinia sclerotiorum* y *Sclerotium rolfsii* (6 y 40, respectivamente). Luego de los tratamientos los esclerocios y las diluciones de tierra 10^{-4} fueron sembrados en agar papa glucosado al 2 % (APG) y con las muestras de tierra se preparó una dilución que se sembró en el mismo medio de cultivo. Se sembró una dilución de tierra 10^{-3} para *Fusarium solani* y 10^{-5} para *Pyrenochaeta lycopersici*. Se hizo el recuento de unidades formadoras de colonias (UFC) de bacterias en APG sin antibiótico a los 3

días de la siembra y de hongos a los 7 días de la siembra en APG con antibiótico (Downer *et al.*, 2001). Los nematodos se separaron de una alícuota de 100 cm³ de suelo de cada muestra previa homogeneización, mediante la técnica de centrifugación (Caveness & Jensen, 1955).

Cada 30 días desde el trasplante se extrajeron muestras de los primeros 10 cm de suelo de cada parcela, las mismas se utilizaron para realizar determinaciones de la presencia de nematodos en laboratorio y para realizar bioensayos. Se utilizaron como plantas indicadoras tres plantines de tomate (híbrido Superman) por muestra; estos se trasplantaron cuando tenían tres hojas verdaderas, a macetas de 1 L conteniendo una mezcla de 1 parte de tierra problema y 2 partes de un sustrato estéril. A los 45 días del trasplante se analizó el número de agallas por g de peso seco de raíz.

El cultivo de tomate, híbrido Superman, se trasplantó en surcos dobles a 50 cm entre sí y una distancia entre planta de 40 cm. Se evaluaron parámetros de rendimiento como rendimiento total y comercial, descartes por podredumbre apical o pequeño (fruto menor a 100 g) y tamaño de fruto, o sea los porcentajes de frutos comerciales chico (100-150 g), mediano (150-200 g) y grande (> 200 g). Se hizo un recuento de plantas muertas a los 30 días del trasplante y, al final del cultivo, se observaron las raíces luego de los tratamientos y se hizo una evaluación del número de agallas y el porcentaje de raíces con síntomas de podredumbres radiculares. Las variedades de lechuga evaluadas fueron dos experimentales (40 y 41) de origen italiano de ciclo

Tabla 2. Análisis de variancia para los parámetros pH, CE, MO, Ntot y Pasim, muestras extraídas antes de los tratamientos campaña 2005.

| FV | pH | CE (mS·cm ⁻¹) | MO (%) | Ntot (%) | Pasim (ppm) |
|-----------------------------|-------------|---------------------------|-------------|--------------|----------------|
| Tratamientos | 0,45 NS | 0,62 NS | 1,20 NS | 0,69 NS | 1,79 NS |
| Repetición | 1,07 NS | 0,52 NS | 1,07 NS | 0,44 NS | 0,61 NS |
| R ² | 0,33 | 0,28 | 0,43 | 0,27 | 0,44 |
| CV | 1,51 | 62,43 | 4,67 | 13,27 | 9,91 |
| Media | 8,42 | 1,07 | 2,75 | 0,180 | 174,94 |
| Tratamientos | | | | | |
| 1 Testigo/Testigo | 8,37 ± 0,11 | 0,75 ± 0,10 | 2,70 ± 0,03 | 0,175 ± 0,01 | 160,75 ± 4,75 |
| 2 Solarización/Solarización | 8,42 ± 0,04 | 0,96 ± 0,29 | 2,68 ± 0,10 | 0,168 ± 0,01 | 176,50 ± 13,05 |
| 3 Estiércol/Brócoli | 8,48 ± 0,04 | 1,31 ± 0,36 | 2,77 ± 0,07 | 0,190 ± 0,01 | 189,00 ± 7,14 |
| 4 Colza/Brócoli | 8,42 ± 0,05 | 1,26 ± 0,42 | 2,84 ± 0,04 | 0,173 ± 0,01 | 173,50 ± 5,27 |

FV = Fuente de variación; R² = Coeficiente de determinación; CV = Coeficiente de variación; NS = no significativo; pH = pH potenciométrico; CE = conductividad eléctrica en el extracto; MO = materia orgánica; Ntot = nitrógeno total; Pasim = fósforo asimilable.

Tabla 3. Análisis de variancia para los parámetros pH, CE, MO, Ntot y Pasim, muestras extraídas después de los tratamientos campaña 2005.

| FV | pH | CE (mS·cm ⁻¹) | MO (%) | Ntot (%) | Pasim (ppm) |
|-----------------------------|---------------|---------------------------|-------------|--------------|------------------|
| Tratamientos | 7,92 ** | 4,65 * | 1,67 NS | 2,34 NS | 5,71 * |
| Repetición | 0,09 NS | 0,91 NS | 7,55 ** | 0,56 NS | 0,71 NS |
| R ² | 0,73 | 0,65 | 0,75 | 0,49 | 0,68 |
| CV | 1,60 | 45,57 | 18,06 | 13,58 | 7,30 |
| Media | 8,30 | 1,72 | 2,21 | 0,172 | 174,94 |
| Tratamientos | | | | | |
| 1 Testigo/Testigo | 8,49 ± 0,03 A | 1,12 ± 0,30 B | 1,98 ± 0,30 | 0,153 ± 0,01 | 164,25 ± 6,41 B |
| 2 Solarización/Solarización | 8,43 ± 0,07 A | 0,86 ± 0,15 B | 2,08 ± 0,30 | 0,163 ± 0,01 | 162,25 ± 4,29 B |
| 3 Estiércol/Brócoli | 8,11 ± 0,05 B | 2,44 ± 0,41 A | 2,21 ± 0,39 | 0,193 ± 0,01 | 195,25 ± 7,91 A |
| 4 Colza/Brócoli | 8,16 ± 0,07 B | 2,45 ± 0,56 A | 2,57 ± 0,30 | 0,180 ± 0,01 | 178,00 ± 5,40 AB |

FV = Fuente de variación; R² = Coeficiente de determinación; CV = Coeficiente de variación; F = valor de F; ** = Significativo con P < 0,01; * = Significativo con P < 0,05; NS = no significativo; pH = pH potenciométrico; CE = conductividad eléctrica en el extracto; MO = materia orgánica; Ntot = nitrógeno total; Pasim = fósforo asimilable.

primavero-estival, Jumbis ciclo de otoño-invierno y primavera, resistente a *Bremia* razas 1-24, virus del mosaico de la lechuga y *Nazorobia* y dos experimentales de origen holandés (46 y 47) de ciclo otoño-invernal. Todos los materiales fueron proporcionados por Semillas Emilio S.A.

Los datos obtenidos fueron sometidos al análisis de la variancia. Para eso se utilizó el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS (SAS, 1993).

3. Resultados y discusión

3.1 Cambios en parámetros físico-químicos del suelo

3.1.1 Muestras extraídas antes de los tratamientos en la campaña 2005

No hubo diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en los parámetros analiza-

dos (Tabla 2). Los valores de materia orgánica del suelo y nitrógeno total se consideran normales para suelos en condiciones protegidas con regadío. Los valores de fósforo Bray 1 son elevados pero frecuentes, en cultivos en que se aplican dosis importantes de estiércol de aves con alto contenido en este elemento. Los valores de conductividad eléctrica son adecuados para los cultivos implantados (tomate y lechuga).

3.1.2 Muestras extraídas después de los tratamientos en la campaña 2005

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos en los contenidos de materia orgánica y nitrógeno total (Tabla 3). Los valores de conductividad eléctrica fueron significativamente superiores en las parcelas en que se incorporó estiércol de ave y rastrojo de brócoli y rastrojo de colza y bró-

Tabla 4. Análisis de variancia para individuos de nematodos·100 cm⁻³ de suelo observados en laboratorio y agallas por gramos de materia seca en raíces de plantas de tomate sometidas a bioensayo. Muestras extraídas inmediatamente después de la biofumigación, diciembre 2005.

| FV | <i>Nacobbus</i> | <i>Helicotylenchus</i> | <i>Criconemella</i> | Bacteriófagos | Agallas·g raíz ⁻¹ |
|----------------|-----------------|------------------------|---------------------|---------------|------------------------------|
| Tratamientos | 2,55 NS | 16,47 ** | 4,08 * | 14,78 ** | 5,06 ** |
| Profundidad | 2,75 NS | 0,64 NS | 0,01 NS | 1,74 NS | 3,22 NS |
| Trat * Prof | 1,11 NS | 2,31 NS | 0,21 NS | 3,84 * | 3,20 * |
| Repetición | 1,49 NS | 1,43 NS | 1,01 NS | 1,85 NS | 2,44 NS |
| R ² | 0,46 | 0,74 | 0,43 | 0,75 | 0,64 |
| CV | 5,17 | 5,82 | 17,91 | 16,16 | 22,02 |
| Media | 3,24 | 3,34 | 3,58 | 4,45 | 3,76 |

FV = Fuente de variación; R² = Coeficiente de determinación; CV = Coeficiente de variación; ** = Significativo con P < 0,01; * = Significativo con P < 0,05; NS = no significativo.

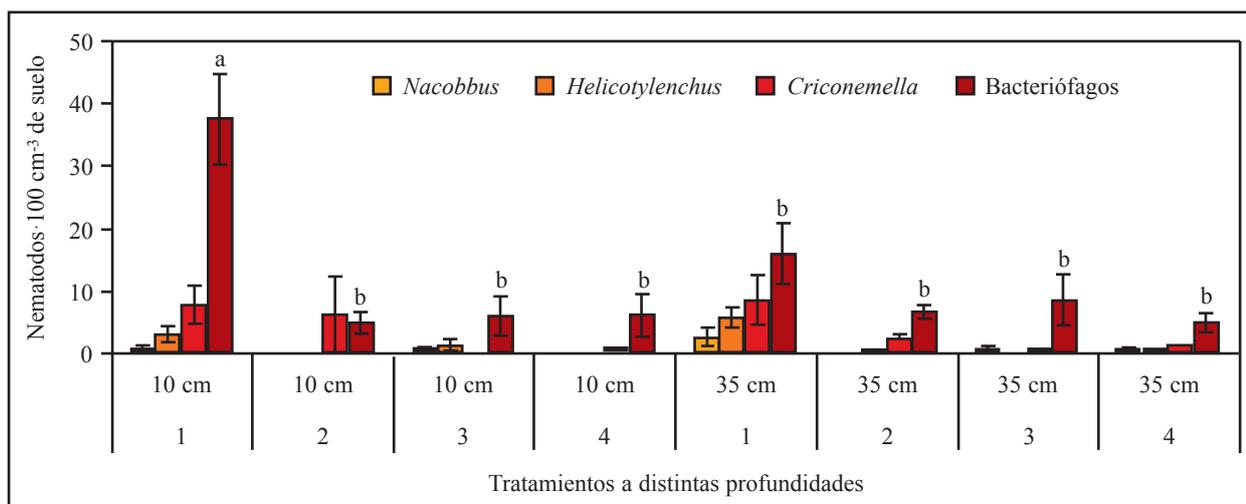


Figura 1. Individuos de nematodos 100-cm^{-3} de suelo observados en laboratorio. Muestras extraídas inmediatamente después de la biofumigación, diciembre 2005. Tratamientos: 1. Testigo/Testigo; 2. Solarización/Solarización; 3. Estiércol/Brócoli y 4. Colza/ Brócoli. Test de comparación de medias múltiples de Duncan realizado sobre las medias de cada tratamiento en cada profundidad. Medias con letras iguales no se diferencian al 5 % de probabilidad.

coli (tratamientos 3 y 4). Se observaron diferencias significativas ($P \leq 5\%$) en los contenidos de fósforo Bray 1.

Las parcelas biofumigadas presentan los mayores valores de CE pero no de pH, esto puede deberse a un aumento de nutrientes (Ntot y Pasim). También se observa mayor porcentaje de MO, aunque no fue estadísticamente significativa la diferencia. Estos resultados coinciden con los obtenidos por otros autores (Kierkegaard & Matthiessen, 2004).

3.2.1 Cambios en la población de nematodos

En las muestras extraídas inmediatamente después de la biofumigación se encontraron diferencias altamente significativas ($P \leq 1\%$) entre trata-

mientos y significativas ($P \leq 5\%$) para los nematodos ectoparásitos *Helicotylenchus*, *Criconemella* y para los nematodos bacteriófagos; si bien *Nacobbus aberrans* no mostró diferencias significativas, se detectó mayor cantidad de individuos en el testigo, a 35 cm de profundidad (Tabla 4, Figura 1). En el bioensayo, la interacción tratamiento por profundidad fue estadísticamente significativa ($P \leq 5\%$). Se detectaron daños causados por nematodos en todos los tratamientos, a 35 cm de profundidad (Tabla 4, Figura 2). En los análisis realizados a más de 24 meses de realizada la biofumigación, se detectaron diferencias significativas ($P \leq 5\%$) en la población de *Nacobbus aberrans* (Tabla 5).

Los resultados coinciden con los obtenidos por

Tabla 5. Análisis de variancia para individuos de nematodos $\cdot 100\text{ cm}^{-3}$ de suelo para muestras extraídas en febrero de 2007.

| FV | Nacobbus | Helicotylenchus | Criconemella | Bacteriófagos |
|-----------------------------|----------------|-----------------|--------------|----------------|
| Tratamientos | 3,88 * | 2,37 NS | 1,00 NS | 4,54 ** |
| Repetición | 1,00 NS | 1,00 NS | 1,00 NS | 0,63 NS |
| R ² | 0,62 | 0,53 | 0,40 | 0,63 |
| CV | 24,67 | 51,25 | 1,22 | 20,93 |
| Media | 3,60 | 3,94 | 3,17 | 4,34 |
| Tratamientos | | | | |
| 1 Testigo/Testigo | 16,5 ± 10,22 A | 41,5 ± 31,45 | 0,25 ± 0,25 | 22,5 ± 6,54 A |
| 2 Solarización/Solarización | 0 B | 0 | 0 | 0,75 ± 0,48 B |
| 3 Estiércol/Brócoli | 0 B | 0 | 0 | 7,50 ± 4,21 AB |
| 4 Colza/Brócoli | 0 B | 0 | 0 | 9,50 ± 3,59 AB |

FV = Fuente de variación; R² = Coeficiente de determinación; CV = Coeficiente de variación; ** = Significativo con $P < 0,01$; * = Significativo con $P < 0,05$; NS = no significativo.

otros autores que observaron que la adición de brócoli u otras brásicas puede reducir la población de nematodos (Colombo *et al.*, 2005; INTA-ONUDI, 2004; Kierkegaard, 2004; Mitidieri *et al.*, 2004; Mitidieri *et al.*, 2005; Pattison *et al.*, 2003). El brócoli es efectivo para lograr este efecto a pesar de que es susceptible a *Meloidogyne incognita* en las primeras etapas del desarrollo (Kierkegaard, 2004; Pattison *et al.*, 2003). Este efecto coincide con observaciones realizadas por otros autores sobre la combinación de la aplicación de brócoli y altas temperaturas para el control de nematodos (Ploeg *et al.*, 2001).

3.2.2 Cambios en la población de microorganismos del suelo

Se obtuvieron diferencias significativas ($P \leq 1\%$) entre tratamientos para el número unidades formadoras (UFC) de colonias de bacterias por placa de Petri. La población de las mismas se ve disminuida en los tratamientos con brócoli y en todos los tratamientos a 35 cm de profundidad (Figura 3).

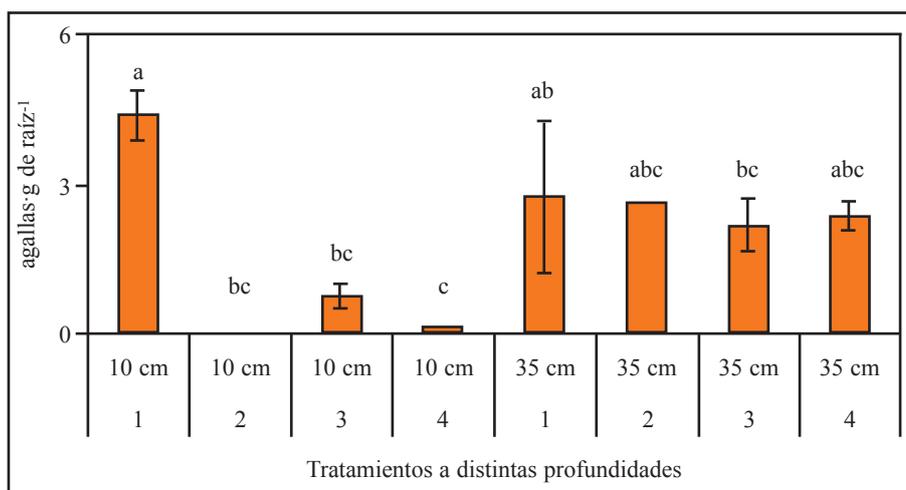


Figura 2. Agallas por gramos de materia seca en raíces de plantas de tomate sometidas a bioensayo. Muestras extraídas inmediatamente después de la biofumigación, diciembre 2005. Tratamientos: 1. Testigo/Testigo; 2. Solarización/Solarización; 3. Estiércol/Brócoli y 4. Colza/ Brócoli. Test de comparación de medias múltiples de Duncan realizado sobre las medias de cada tratamiento en cada profundidad. Medias con letras iguales no se diferencian al 5 % de probabilidad.

La reducción de la población de bacterias por efecto de la adición de brócoli, podría ser una limitante al reducir la microflora del suelo, existen antecedentes de la reducción de la población de bacterias nitrificantes luego de la adición de brócoli al suelo (Bending & Lincoln, 2000).

3.2.3 Efecto de los tratamientos sobre las supervivencia de esclerocios de *Sclerotium rolfii*

La interacción tratamiento por profundidad fue altamente significativa ($P \leq 1\%$), para el porcenta-

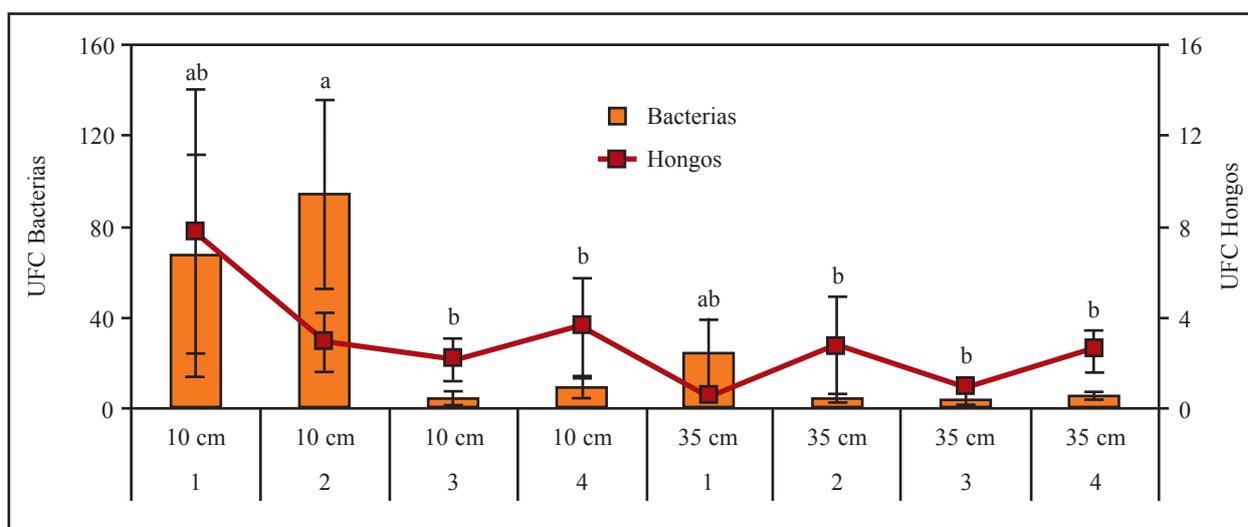


Figura 3. UFC de bacterias y hongos en diluciones de muestras de suelo sembradas en APG, luego de la biofumigación. Tratamientos: 1. Testigo/Testigo; 2. Solarización/Solarización; 3. Estiércol/Brócoli y 4. Colza/ Brócoli. Test de comparación de medias múltiples de Duncan realizado sobre las medias de cada tratamiento en cada profundidad. Medias con letras iguales no se diferencian al 5 % de probabilidad.

Tabla 6. Análisis de variancia para porcentaje de colonias de *Sclerotium rolfsii*, *Fusarium* spp., *Aspergillus* spp., *Trichoderma* spp. y *Penicillium* spp. desarrolladas sobre esclerocios de *Sclerotium rolfsii* recuperados inmediatamente después de la biofumigación.

| FV | <i>Sclerotium rolfsii</i> | <i>Fusarium</i> spp. | <i>Aspergillus</i> spp. | <i>Trichoderma</i> spp. | <i>Penicillium</i> spp. | |
|----------------|---------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------|
| Tratamiento | 24,29 ** | 8,07 ** | 22,62 ** | 11,01 ** | 8,39 ** | |
| Profundidad | 0,81 NS | 60,13 ** | 23,91 ** | 10,9 ** | 7,70 ** | |
| Trat * Prof | 11,44 ** | 8,04 ** | 11,50 ** | 1,55 NS | 7,39 ** | |
| Repetición | 30,75 ** | 0,38 NS | 7,56 ** | 16,40 ** | 7,39 ** | |
| R ² | 0,50 | 0,34 | 0,42 | 0,32 | 0,27 | |
| CV | 92,27 | 102,90 | 72,47 | 109,41 | 68,09 | |
| Media | 1,41 | 1,26 | 2,12 | 1,00 | 0,66 | |
| Trat | Prof | | | | | |
| | | 52,9 ± 9,1 A | 0 C | 0,7 ± 0,7 D | 11,9 ± 6,2 B | 8,9 ± 3,6 A |
| 2 | 10 cm | 1,5 ± 1,5 C | 0 C | 58,2 ± 8,3 A | 0 B | 0 B |
| 3 | | 0 C | 0 C | 45,0 ± 6,7 A | 0 B | 0 B |
| 4 | | 0,7 ± 0,7 C | 0 C | 31,3 ± 6,8 B | 0 B | 0 B |
| | | 26 ± 7,9 B | 22 ± 6,4 B | 0,7 ± 0,7 D | 24,8 ± 6,5 A | 0 B |
| 2 | 35 cm | 11,1 ± 4,7 BC | 0 C | 8,9 ± 3,4 CD | 11,1 ± 6,2 B | 0 B |
| 3 | | 22,7 ± 7,2 B | 26,8 ± 7 B | 14,5 ± 4,3 C | 8,3 ± 4,2 B | 0 B |
| 4 | | 0,8 ± 0,8 C | 39,8 ± 8,1 A | 38,4 ± 7,4 AB | 0 B | 0 B |

FV = Fuente de variación; R² = Coeficiente de determinación; CV = Coeficiente de variación; ** = Significativo con P ≤ 1 %; * = Significativo con P ≤ 5 %; NS = no significativo. Tratamientos: 1. Testigo/Testigo, 2. Solarización/Solarización, 3. Estiércol/Brócoli y 4. Colza/Brócoli. Test de comparación de medias múltiples de Duncan realizado sobre las medias de cada tratamiento en cada profundidad. Medias con letras iguales no se diferencian al 5 % de probabilidad.

je de colonias de *Sclerotium rolfsii*, *Fusarium* spp., *Aspergillus* spp. y *Penicillium* spp. recuperadas a partir de los esclerocios sembrados. El porcentaje de colonias de *Sclerotium rolfsii* recuperadas fue siempre mayor en el testigo sin tratar, pero a 35 cm el efecto de los tratamientos fue menor. No se recuperaron colonias de *Fusarium* a 10 cm, pero sí a 35 cm, salvo en el tratamiento de solarización. *Aspergillus* estuvo presente en todos los tratamientos y casi ausente en el testigo sin tratar, posiblemente debido a la competencia ejercida por los otros hongos que sobrevivieron en el testigo. *Penicillium* sólo estuvo presente en el testigo a 10 cm. *Trichoderma* spp. estuvo presente en el testigo sin tratar y en los tratamientos a 35 cm, a excepción de la sucesión colza/brócoli (Tabla 6).

3.2.4 Efecto de los tratamientos sobre la supervivencia de esclerocios de *Sclerotinia sclerotiorum*

Si bien las diferencias no fueron estadísticamente significativas, el número de esclerocios de *Sclerotinia sclerotiorum* enterrados y recuperados después de los tratamientos fue mayor en el testigo sin tratar. Sobre los esclerocios sembrados en APG, se

observaron colonias de *Fusarium* spp., en el testigo sin tratar y en los tratamientos a 35 cm de profundidad. En los tratamientos de solarización o biofumigación se observaron colonias de *Aspergillus* spp. a 10 cm de profundidad.

3.2.5 Efecto de los tratamientos sobre la supervivencia de conidios de *Pyrenochaeta lycopersici* y *Fusarium solani*

No se recuperaron colonias de *Pyrenochaeta lycopersici*. De las muestras sembradas sólo se obtuvieron colonias de *Aspergillus* spp., se observó un efecto altamente significativo (P ≤ 1 %) en la interacción tratamiento por profundidad (R² = 0,30; CV = 11,08). Para *Fusarium solani* se obtuvieron diferencias altamente significativas (P ≤ 5 %) para la interacción tratamiento por profundidad (R² = 0,14; CV = 23,88). Este patógeno fue encontrado solamente en el testigo a 10 cm, pero en todos los tratamientos a 35 cm (Figura 4).

Se observó un adecuado control de *Sclerotium rolfsii* en los primeros 10 cm del suelo y la presencia de distintas especies de *Aspergillus*. *Trichoderma* y *Fusarium* aparecieron a los 35 cm de profun-

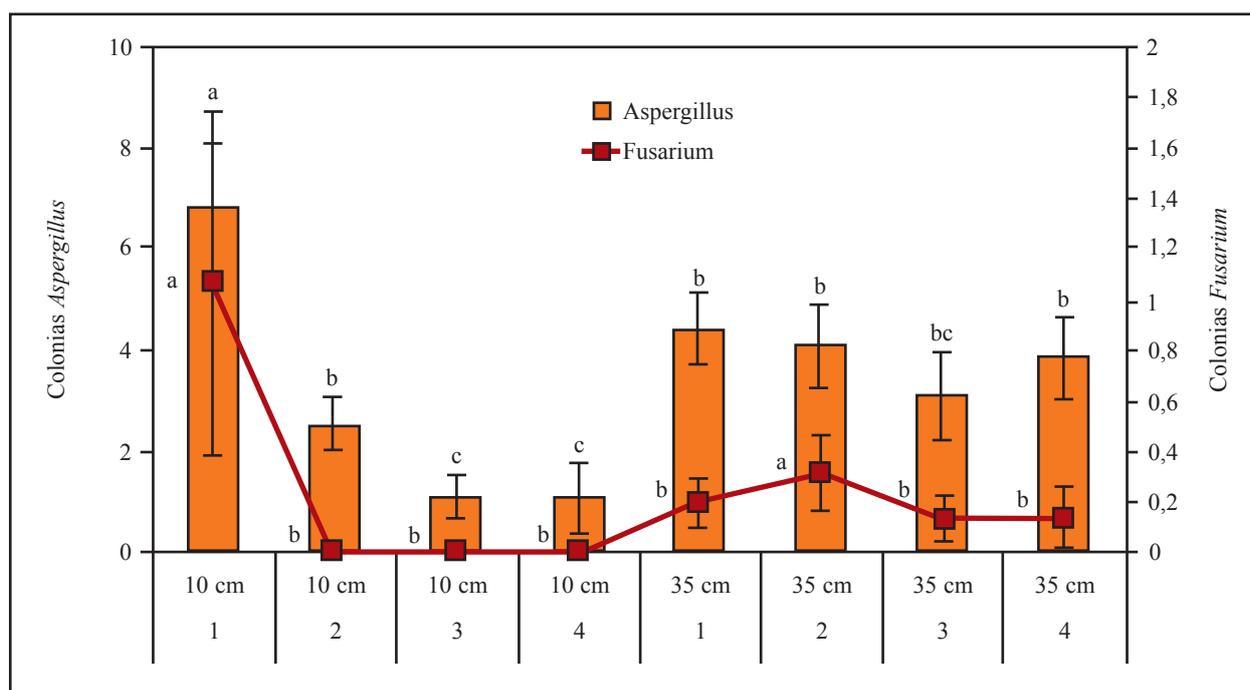


Figura 4. Colonias *Fusarium solani* o *Aspergillus* spp. Por placa de Petri desarrolladas luego de la siembra en APG de diluciones de tierra conteniendo conidios de *Fusarium solani* o *Pyrenochaeta lycopersici*, respectivamente. Tratamientos: 1. Testigo/Testigo; 2. Solarización/Solarización; 3. Estiércol/Brócoli y 4. Colza/ Brócoli. Test de comparación de medias múltiples de Duncan realizado sobre las medias de cada tratamiento en cada profundidad. Medias con letras iguales no se diferencian al 5 % de probabilidad.

didad, en coincidencia con otros autores que detectaron que estos géneros no son tan afectados por la biofumigación (Matthiessen, 2000; Smith, 2001). Los resultados obtenidos coinciden en parte con autores que hayaron que la incorporación de *Brassicas* redujo significativamente la incidencia de hongos patógenos como *Sclerotinia minor* en cultivos de lechuga (Daugovish, 2003), o *Verticillium dahliae* en tomate, pero no fue muy efectiva para reducir la población de *Fusarium* spp. (Rosa & Rodrigues, 1999; Harding, 2001; Pung, 2002; Kierkegaard, 2004; Díaz Hernández *et al.*, 2004; Zasada *et al.*, 2003; Daugovish & Downer, 2006; Piedra Buena *et al.*, 2007; Kierkegaard & Matthiessen, 2004; Matthiessen, 1996; Matthiessen, 2000). En otros ensayos, la adición de brásicas, incluido el brócoli, redujo la población de *Fusarium* spp. pero no la de *Aspergillus* spp. y *Penicillium* spp. que aumentó; el agregado de repollo redujo la presencia de *Sclerotium rolfii* y *Pythium* (Rosa & Rodrigues, 1999).

3.3 Efecto de los tratamientos sobre la muerte de plantas e incidencia de podredumbres radiculares

En las raíces de lechuga no se obtuvieron diferencias significativas entre tratamientos para el número

de agallas por gramo de materia seca, peso seco de raíz y porcentaje de podredumbre radicular. En las raíces de tomate se obtuvieron diferencias altamente significativas ($P \leq 1\%$) para plantas muertas a final de ciclo, agallas por g de raíz y porcentaje de raíces con podredumbres. Los patógenos aislados de las mismas fueron *Pyrenochaeta lycopersici* y *Fusarium solani*. Si bien no se obtuvieron diferencias estadísticas entre tratamientos, *Pyrenochaeta lycopersici* estuvo presente con mayor frecuencia en el testigo sin tratar. El número de plantas muertas al final del ciclo fue mucho mayor en el testigo sin tratar. Este efecto se observó a los 30 días del trasplante aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas.

3.4 Efectos sobre el rendimiento

3.4.1 Efectos sobre el rendimiento del cultivo de lechuga

Se obtuvieron diferencias altamente significativas ($P \leq 1\%$) entre tratamientos para el rendimiento total y comercial ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) y peso medio por planta (Figura 5) (R^2 : 0,38; 0,43 y 0,52; CV: 41,65, 46,28 y 19,14 para las tres variables, respectivamente). Se obtuvieron diferencias significativas entre variedades ($P \leq 5\%$) para el porcentaje de des-

Tabla 7. Análisis de variancia para plantas muertas a los 30 días del trasplante y al final del ciclo, agallas por g materia seca de raíz y porcentaje de raíces afectadas por podredumbres radiculares. Híbrido de tomate Superman.

| FV | Muertas 30 días | Muertas totales | Agallas | Podredumbres |
|-----------------------------|-----------------|-----------------|---------------|----------------|
| Tratamientos | 0,47 NS | 11,79 ** | 12,97 ** | 3,66 ** |
| Repetición | 0,17 NS | 0,60 NS | 9,40 ** | 0,39 NS |
| R ² | 0,16 | 0,50 | 0,40 | 0,20 |
| CV | 67,23 | 54,99 | 35,77 | 31,11 |
| Media | 1,40 | 2,29 | | 30,93 |
| Tratamientos | | | | |
| 1 Testigo/Testigo | 10,80 ± 2,90 | 59,10 ± 9,80 A | 3,04 ± 0,98 A | 62,05 ± 20,9 A |
| 2 Solarización/Solarización | 6,00 ± 2,30 | 13,80 ± 6,40 B | 0,09 ± 0,05 B | 4,05 ± 1,74 B |
| 3 Estiércol/Brócoli | 5,50 ± 1,70 | 7,60 ± 1,50 B | 0,09 ± 0,04 B | 3,15 ± 1,15 B |
| 4 Colza/Brócoli | 8,10 ± 2,80 | 12,60 ± 3,10 B | 0,24 ± 0,08 B | 5,64 ± 1,98 B |

FV = Fuente de variación; R² = Coeficiente de determinación; CV = Coeficiente de variación; ** = Significativo con P ≤ 1 %; * = Significativo con P ≤ 5 %; NS = no significativo. Test de comparación de medias múltiples de Duncan realizado sobre las medias de cada tratamiento en cada profundidad. Medias con letras iguales no se diferencian al 5 % de probabilidad.

carte y quemadura de los bordes, siendo la más susceptible la N° 40 (20,7 % descarte y 20,3 % quemadura de los bordes). Las demás variedades no se diferenciaron entre sí y mostraron medias entre 8,3 y 1,7 % para ambas variables. Los mayores valores se obtuvieron en las parcelas tratadas con brócoli, a pesar de los altos valores de conductividad eléctrica registrados en esas parcelas. La principal causa de descarte fue la quemadura de los bordes; si bien las diferencias no son estadísticamente significativas los mayores valores se dieron en los tratamientos 2 y 3 (11,94 y 9,16 %, respectivamente), seguidos por el 4 (6,34 %) y los menores valores en el tratamiento 1 (0,32 %). Aunque los valores fueron despreciables solamente se registró descarte por

Sclerotinia sclerotiorum y *Sclerotium rolfsii* en las parcelas testigo (0,88 y 0,72 %, respectivamente).

Si bien no se observaron problemas sanitarios en las raíces de lechuga, los tratamientos de biofumigación mostraron mayores rendimientos. Esto puede explicarse debido al aporte de nutrientes como nitrógeno y fósforo y al aumento en la materia orgánica y coincide con resultados obtenidos por otros autores, quienes observaron aumentos en el rendimiento de cultivo (Daugovish, 2003), luego de aplicar enmiendas de brásicas (Kierkegaard & Matthiessen, 2004), a pesar de no observar reducción en la viabilidad de esclerocios (Pung, 2003).

3.4.2 Efectos sobre el rendimiento del cultivo de tomate

Se obtuvieron diferencias altamente significativas entre tratamientos (P < 1 %) para rendimiento total, descarte total, descarte por pequeño y podredumbre apical (Tabla 8). El testigo sin tratar mostró los menores rendimientos y mayores porcentajes de descarte total y descarte por pequeño.

Se obtuvieron diferencias significativas entre tratamientos para el porcentaje de frutos comerciales chicos, medianos y gran-

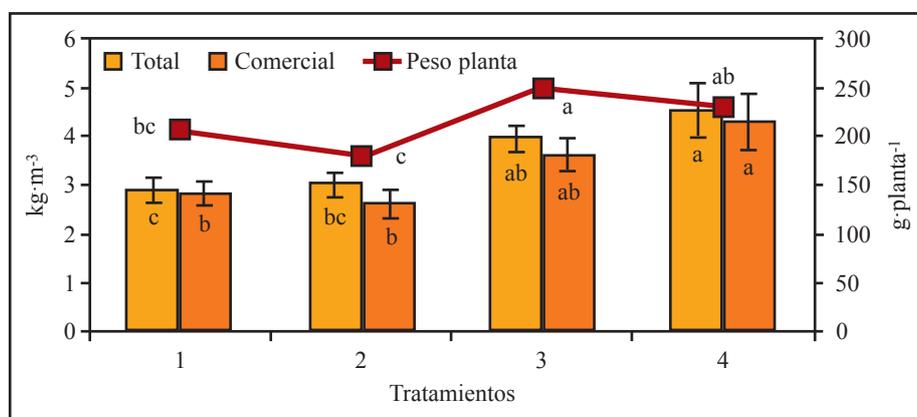


Figura 5. Rendimiento total y comercial para un cultivo de lechuga mantecosa trasplantada después de los tratamientos de biofumigación de 2005. Tratamientos: 1. Testigo/Testigo; 2. Solarización/Solarización; 3. Estiércol/Brócoli y 4. Colza/ Brócoli. Medias con letras iguales no difieren estadísticamente al 5 % para el test de medias múltiples de Duncan.

Tabla 8. Análisis de variancia para rendimiento total (kg·m⁻²) (Total), porcentaje de descarte total (descarte), porcentaje de descarte por pequeño (pequeño, fruto < a 100 g) y porcentaje de descarte por podredumbre apical (pod apical). Cultivo de tomate Superman.

| FV | Total | Descarte | Pequeño | Pod apical | Chico | Mediano | Grande |
|-------------------------------|--------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| Tratamiento | 25,06 ** | 4,73 ** | 17,06 ** | 8,04 ** | 12,86 ** | 3,27 ** | 22,03 ** |
| Repetición | 7,42 ** | 3,54 * | 3,14 * | 0,70 NS | 4,99 ** | 1,19 NS | 6,26 ** |
| R ² | 0,74 | 0,47 | 0,65 | 0,45 | 0,61 | 0,44 | 0,64 |
| CV | 30,96 | 16,11 | 23,00 | 63,50 | 23,97 | 25,65 | 34,90 |
| Media | 6,99 | 37,26 | 24,20 | 5,84 | 41,42 | 38,33 | 21,78 |
| Tratamiento | | | | | | | |
| Testigo/Testigo | 2,59 ± 0,4 C | 45,72 ± 3,9 A | 31,56 ± 4,4 A | 0,61 ± 0,3 B | 65,76 ± 5,8 A | 30,27 ± 5,9 B | 3,96 ± 1,3 B |
| Solarización/ Solarización | 7,14 ± 0,9 B | 35,71 ± 3,2 B | 15,67 ± 2,4 B | 0,90 ± 0,2 B | 40,43 ± 4,5 B | 42,27 ± 3,4 A | 17,30 ± 2,0 A |
| Estiércol/Brócoli | 8,89 ± 0,9 A | 37,81 ± 3,5 B | 13,13 ± 2,0 B | 2,73 ± 0,8 A | 35,79 ± 4,5 B | 40,07 ± 3,3 A | 24,14 ± 3,2 A |
| Colza/Brócoli | 9,25 ± 0,7 A | 31,03 ± 1,3 B | 12,40 ± 0,8 B | 2,38 ± 0,3 A | 32,77 ± 2,8 B | 45,59 ± 2,8 A | 21,64 ± 2,6 A |

FV = Fuente de variación; R² = Coeficiente de determinación; CV = Coeficiente de variación; ** = Significativo con P ≤ 1 %; * = Significativo con P ≤ 5 %; NS = no significativo. Test de comparación de medias múltiples de Duncan realizado sobre las medias de cada tratamiento en cada profundidad. Medias con letras iguales no se diferencian al 5 % de probabilidad.

des (Tabla 8). El testigo sin tratar mostró frutos de menor tamaño; esto puede ser una consecuencia de una mayor incidencia de problemas radiculares como podredumbre y daño por nematodos.

4. Conclusiones

A pesar de que la eficacia en el control de nematodos y patógenos como *Fusarium solani* se limitó a los primeros 10 cm del suelo, los tratamientos aplicados permitieron obtener un cultivo de lechuga y otro de tomate con rendimientos satisfactorios. A más de 24 meses de realizada la biofumigación, aún se detectaron diferencias significativas entre el número de plantas muertas al final del ciclo y la población de nematodos. Estas experiencias sugieren que la biofumigación realizada entre noviembre y diciembre podría ser una alternativa válida ya que si se inserta en un plan de rotaciones no interfiere en la producción de tomate bajo cubierta, permitiendo realizar un cultivo tardío y otro temprano de tomate y, al menos, dos cultivos más de lechuga cada 2 años. Si bien los valores de conductividad eléctrica, fueron significativamente superiores en las parcelas en que se incorporó estiércol de ave y rastrojo de brócoli y rastrojo de colza y brócoli, se obtuvieron mayores rendimientos, mostrando una ventaja de la biofumigación sobre la solarización sin aporte de materia orgánica. Estas secuencias de tratamientos seguirán siendo evaluadas en futuros ensayos.

5. Bibliografía

- Borek, V.; Morra, M.J.; Brown, P.D. & McCaffrey, J.P. 1994. Allelochemicals produced during sinigrin decomposition in soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42:1030-1034.
- Brown, P.D. & Morra, M.J. 1993. Fate of ionic thiocyanate (SCN⁻) in soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 41:978-982.
- Caveness, F.E. & Jensen, H.J. 1955. Modification of the centrifugal-flotation technique for the isolation and concentration of nematodes and their eggs from soil and plant tissue. *Proceedings of the Helminthological Society of Washington* 22: 87-89.
- Colombo, M.H.; Gauna, P.; Lenscak, M.P. 2005. Desinfección de suelos por biofumigación. XIII Congreso Latinoamericano de Fitopatología. 19-22 de abril de 2005. Villa Carlos Paz, Córdoba, Argentina. Libro de Resúmenes, pag. 519.
- Daugovish, O. & Downer, J. 2006. Exploring brassicae-derived biofumigation for soilborne pest management. ASAE Meeting, 2006. Paper number 067020.
- Díaz Hernández, S.; Rodríguez Pérez, A.; Domínguez Correa, P. & Gallo Llobet, L. 2004. Solar heating, biofumigation and conventional chemical treatments for the control of corky root in tomato. *ISHA Acta Horticulturae* 698: VI International Symposium on Chemical

- and non-Chemical Soil and substrate disinfection.
- Gimsing, A.L. & Kirkegaard, J.A. 2006. Glucosinolate and isothiocyanate concentration in soil following incorporation of *Brassica* biofumigants. *Soil Biology and Biochemistry*. Vol 38, Issue 8 pags: 2255-2264.
- Harding, R. 2001. In vitro suppression of potato pathogens by volatiles released from *Brassicaceae* residues. *Biofumigation Update*. No. 14. November 2001.
- INIA, 2001. Taller final de evaluación de alternativas al bromuro de metilo en el sector hortícola de Uruguay. INIA, ONUDI. Salto, 2-3 de Octubre de 2001. Serie Actividades de Difusión N° 267.
- INTA-ONUDI. 2004. Seminario Avances en la sustitución/eliminación del bromuro de metilo en la desinfección de suelos y sustratos. Proyecto MP/ARG/00/033/INTA-ONUDI.
- INTA, 1989. Análisis químico de suelos y aguas. CIRN Castelar, 104 pags.
- Kirkegaard, J.A. 2004. Evaluating biofumigation for soil-borne disease management in tropical vegetable production. ACIAR Review Report LWR2/2000/114.
- Kirkegaard, J.A. & Matthiessen, J.N. 2004. Developing and refining the biofumigation concept. Proceedings 1st International Symposium on Biofumigation, 31 March - 1 April 2004, Florence, Italy.
- Ploeg, A.T.; Riverside, U.C.; Stapleton, J.J. 2001. The effects of temperature, time, and amendment of soil with broccoli residues on the infestation of melon (*Cucumis melo* L.) by two root-knot nematode species. *UC Plant Protection Quarterly*. On line: www.uckac.edu/ppq
- Matthiessen, J. 1996. Glucosinolate analysis of *Brassica* collection completed. *Biofumigation Update*. No. 4. Junio 1996.
- Mitidieri, M.S.; Brambilla, M.V.; Polack, A.L.; Del Pardo, K.C.; Constantino, A.; Chaves, E.; Curá, A.J.; Ribaudó, C.M.; Sarti, G.C.; Maldonado, L. & Amma, A.T. 2004. Aumentos en el rendimiento como consecuencia de la aplicación de solarización y biofumigación en cultivo de tomate bajo cubierta. XXVII Congreso Argentino de Horticultura. ISBN-950-609-036-X. Merlo, San Luis, Septiembre 2004.
- Mitidieri, M.S.; Brambilla, M.V.; Gabilondo, J.; Saliva, V. & Piris, M. 2005. Efectos de la solarización y biofumigación sobre la incidencia de podredumbres radiculares en cultivo de tomate bajo cubierta. XIII Congreso Latinoamericano de Fitopatología. 19-22 de abril de 2005. Villa Carlos Paz, Córdoba, Argentina. Libro de Resúmenes, pag. 519.
- Pattison, T.; Martin, T.; Akiew, S.; Versteeg, C. & Kirkegaard, J. 2003. Can *Brassicaceae* be used to manage root-knot nematode in tropical vegetable production? *Australasian Nematology Newsletter*. 14(2): 16-19.
- Piedra Buena, A.; García-Alvárez, A.; Díez-Rojo, M.A.; Ros, C.; Fernández, P.; Lacasa, A. & Bello, A. 2007. Use of pepper crop residues for the control of root-knot nematodes. *Bioresource Technology* Vol 98, Issue 15, pags: 2846-2851.
- Pung, H. 2002. Successful use of biofumigant green manure crops for soil-borne disease control. *Biofumigation Update*. No. 16, Noviembre 2002.
- Morra, M.J. & Kirkegaard, J.A. 2002. Isothiocyanate release from soil-incorporated *Brassica* tissues. *Soil Biology & Biochemistry* 34: 1683-1690.
- Riegel, C. & Noe, J.P. 2000. Chicken litter soil amendment effects on soilborne microbes and *Meloidogyne incognita* on cotton. *Plant Dis.* 84:1275-1281.
- Rodríguez-Kabana, R.; Morgan-Jones, G. & Chet, I. 1987. Biological control of nematodes: soil amendments and microbial antagonists. *Plant and Soil*: 237-247.
- Rosa, E.A.S. & Rodrigues, P.M.F. 1999. Towards a more sustainable agriculture system: the effect of glucosinolates on the control of soilborne diseases. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 74 (6) 667-674.
- Zasada, I.A.; Ferris, H.; Elmore, C.L.; Roncoroni, J.A.; Mac Donald, J.D.; Bolkan, L.R. & Yakabe, L.E. 2003. Field application of brassicaceous amendments for control of soilborne pests and pathogens. *Online Plant Health Progress* doi:10.1094/PHP-2003-1120-01RS.
- Downer, A.J.; Menge, J.A. & Pond, E. 2001. Association of cellulolytic enzyme activities in Eucalyptus mulches with biological control of *Phytophthora cinnamomi*. 2001. *Phytopathology*. Vol. 91 No. 9:847-855.
- SAS Institute Inc. 1993. SAS/STAT Users' guide, Release 6.03 Edition.
- Brown, P. & Morra, M.J. 1997. Control of soil-

- borne plant pests using glucosinolate-containing plants. *Advances in agronomy*. Vol 6: 167-231.
- Davison, E.M. & McKay, A.G. 2003. Host range of *Pythium sulcatum* and the effects of rotation on *Pythium* diseases of carrots. 2003. *Australasian Plant Pathology*. 32: 339-346.
- Bending, G.D & Lincoln, S.D. 2000. Inhibition of soil nitrifying bacteria communities and their activities by glucosinolate hydrolysis products. *Soil Biology & Biochemistry* 32: 1261-1269.
- Bending, G.D. & Lincoln, S.D. 1999. Characterisation of volatile sulphur-containing compounds produced during decomposition of *Brassica juncea* tissues in soil. *Soil Biology and Biochemistry* 31: 695-703.
- Pung, H. 2003. Brassica green manure crops appear to improve soil properties. *Biofumigation update*. No 18:1.
- Daugovish, O. 2003. Exploring biofumigation potential of mustards. *Biofumigation update*. N°18:2.
- Matthiessen, J. 2000. Soil borne pathogen control. *Biofumigation update*. N° 12:2.
- Smith, B. 2001. A complex mode of action for biofumigation? *Biofumigation update*. No 13:1.