

La biofumigación

en el marco del manejo integrado de plagas y
enfermedades en cultivos hortícolas

2005

Esta publicación ha sido rediseñada para facilitar su descarga, los contenidos, aún vigentes, no han sido modificados de su versión publicada en el año 2005.



Secretaría
de Agroindustria



Ministerio de Producción y Trabajo
Presidencia de la Nación

La biofumigación en el marco del manejo integrado de plagas y enfermedades en cultivos hortícolas

Mariel Mitidieri - 2005

Tabla de contenidos

- ¿Qué es la biofumigación?
- ¿Qué son los glucosinolatos?
- ¿Dónde se encuentran los glucosinolatos?
- Algunos experimentos donde se demostró el efecto de las enmiendas sobre el control de patógenos y nemátodos
- ¿Qué factores pueden influenciar la liberación de compuestos tóxicos por parte de las Brassicas?
- Recomendaciones para una eficiente biofumigación
- La incorporación de Brassicas al suelo : ¿Aumenta o disminuye la población de nematodos?
- ¿Cómo afecta la biofumigación a los microorganismos benéficos? –
- Conclusión
- Bibliografía
- Agradecimientos

Materiales adicionales

Accesorios (archivos de ppt): Ensayo de biofumigación en la EEA INTA San Pedro

[1. Tratamientos de biofumigación y solarización](#) . (22Mb)

[2. Resultados sobre el control de nematodos y el rendimiento en cultivo de tomate bajo cubierta](#). (20 Mb)

[3. Análisis de agallas y podredumbres radiculares en cultivo de tomate bajo cubierta y lechuga mantecosa](#). (5 Mb)

En los últimos años investigadores de distintos países han concentrado esfuerzos en desarrollar técnicas no contaminantes de desinfección del suelo, la biofumigación sola o en combinación con solarización ha demostrado un alto potencial para controlar nemátodos y patógenos del suelo. El presente trabajo pretende aclarar algunos aspectos relacionados con esta técnica en el marco del control integrado de plagas y enfermedades de hortalizas.

¿Qué es la biofumigación?

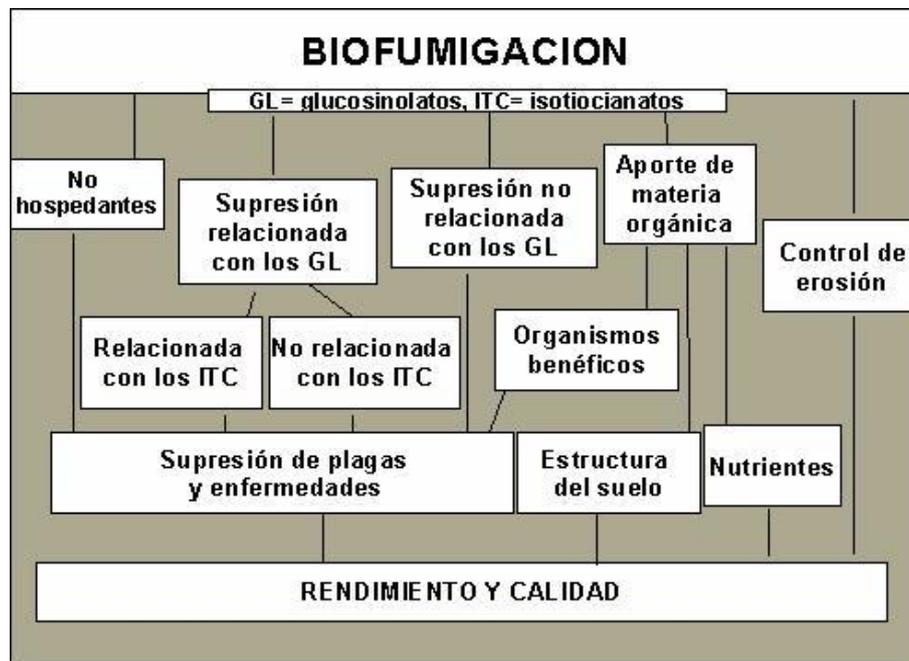
La biofumigación es el control de plagas y patógenos del suelo por medio de la liberación en el suelo de compuestos originados naturalmente de la descomposición de residuos orgánicos. Una amplia gama de residuos orgánicos pueden ser utilizados para biofumigar, desde distintos tipos de estiércoles a residuos de cultivos como batata, papa, sorgo, *Brassicas*, maíz, etc.

Algunos materiales orgánicos tienen efecto, por ejemplo, contra nemátodos a través de la actividad microbiana relacionada con la liberación de amonio. Estos materiales tienen una baja relación C/N con altos contenidos de proteínas y aminos. Las enmiendas con efecto nematicida tienen una relación C/N menor a 20, a relaciones C/N menores a 10 puede haber efectos fitotóxicos. Cuando los materiales incorporados al suelo para biofumigar son tejidos de *Brassicas*, entre los productos de la degradación de los mismos, se liberan unos compuestos denominados glucosinolatos. Los isotiocianatos y otros compuestos volátiles derivados de los glucosinolatos juegan un papel muy importante en la supresión rápida (< 10 días) de patógenos. En diferentes ensayos, enmiendas con residuos de batata, papa, espinaca, tomate y sorgo fueron en algunos casos tan efectivas como los residuos de *Brassicas*, por lo que numerosos autores suponen que el aporte de materia orgánica sobre la comunidad microbiana puede favorecer la aparición de antagonistas y contribuir a reducir la población de patógenos.

En el Cuadro 1 se resumen los efectos de la biofumigación sobre el desarrollo del cultivo y la población de patógenos. La incorporación de enmiendas orgánicas en forma de abonos verdes tendrá efectos benéficos sobre el desarrollo de los cultivos subsiguientes ya que mantendrán el suelo cubierto protegiéndolo de la erosión en cultivos al aire libre, aumentará el contenido de materia orgánica del suelo, mejorando la estructura y la penetración del agua en el mismo. Las *Brassicas* son eficientes en capturar nitrógeno mineral y de esa manera impedir su lixiviación y dejar este elemento disponible para el cultivo siguiente cuando son incorporadas al suelo. Estas especies contribuyen a reducir la población de nemátodos (*Meloidogyne* spp.) al actuar como no hospedantes, por ejemplo si *Raphanus sativus* o *Sinapsis alba* son cultivadas antes que remolacha, los nemátodos colonizan sus raíces pero no pueden reproducirse, disminuyendo así la población al sembrar el cultivo siguiente.

Otros compuestos y mecanismos, no relacionados con los glucosinolatos, como la liberación de compuestos azufrados (metanetiol, dimetil sulfuro, disulfuro de carbono y dimetil disulfuro) o algunos ácidos grasos pueden contribuir a controlar plagas y enfermedades. Además la hidrólisis de los glucosinolatos puede liberar compuestos diferentes a los isotiocianatos como los nitrilos, epinitrilos, y tiocianatos iónicos. La

incorporación de materia orgánica aumenta la población de antagonistas en el suelo. Todos estos eventos en conjunto contribuyen a reducir la población de nemátodos y patógenos del suelo.



Cuadro 1. Efectos de la biofumigación sobre la sanidad y la productividad del cultivo. Adaptado de Kirkegaard, 2004.

¿Qué son los glucosinolatos?

Son un grupo de compuestos azufrados generados naturalmente por plantas de la familia Crucíferas. Aproximadamente 100 diferentes glucosinolatos han sido identificados y descritos. Su hidrólisis por parte de la enzima myrosinasa libera aparte de iones sulfato y glucosa, compuestos biológicamente activos como isotiocianatos, nitrilos y tiocianatos. La formación de isotiocianatos es favorecida en condiciones de pH alcalino o neutro, mientras que a bajo pH se generan nitrilos, que poseen un efecto inhibitor menor que los primeros.

Los isotiocianatos tienen un amplio espectro de acción, su actividad resulta de la interacción inespecífica e irreversible con los grupos sulfidrilos, puentes disulfuro y grupos amino de las proteínas para formar productos estables. Existen numerosos reportes de la acción de estos compuestos sobre patógenos vegetales de origen fúngico y bacteriano y otros microorganismos, así como sobre nemátodos de diferentes especies (Tabla 1). Los cultivos utilizados para biofumigar han sido *Brassica nigra* (mostaza), *Sinapsis alba* (mostaza blanca), *Brassica juncea* (mostaza de la China), *Brassica oleracea* (repollo), *Brassica napus* (nabo), *Brassica oleracea* var. *italica* (brócoli), *Brassica oleracea* var. *botrytis* subvar. *cauliflora* (coliflor), *Raphanus sativus* (rábano); *Eruca sativa* (roqueta), pero también se han obtenido buenos resultados con *Ipomoea batatas* (batata) y *Sorghum* spp. (sorgo).

Tabla 1.

Patógenos vegetales de origen fúngico y bacteriano y otros microorganismos controlados por isotiocianatos

Patógenos de origen fúngico	
<i>Alternaria brassica</i>	<i>Leptosphaeria maculans</i>
<i>Aphanomices euteiches</i>	<i>Monilinia laxa</i>
<i>Aspergillus alliaceus</i>	<i>Mucor piriformis</i>
<i>Aspergillus niger</i>	<i>Mycosphaerella brassicicola</i>
<i>Bipolaris sorokiniana</i>	<i>Penicillium glaucum</i>
<i>Botrytis cinerea</i>	<i>Penicillium cyclopium</i>
<i>Candida albicans</i>	<i>Peronospora parasitica</i>
<i>Colletotrichum circinans</i>	<i>Phytophthora spp.</i>
<i>Colletotrichum coccodes</i>	<i>Pyrenopeziza brassicae</i>
<i>Didymella brionae</i>	<i>Pythium irregulare</i>
<i>Fusarium graminearum</i>	<i>Pythium ultimum</i>
<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Rhizoctonia solani</i>
<i>Fusarium sambucinum</i>	<i>Rhizopus oryzae</i>
<i>Gaeumannomyces graminis var. tritici</i>	<i>Sclerotium rolfsii</i>
<i>Gibberella saubinetii</i>	<i>Thielaviopsis basicola</i>
<i>Gigaspora gigantea</i>	<i>Verticillium albo-atrum</i>
<i>Glomus mosseae</i>	<i>Verticillium dahliae</i>
Patógenos de origen bacteriano	
<i>Enterobacter cloacae</i>	<i>Pseudomonas solanacearum</i>
<i>Escherichia coli</i>	<i>Staphylococcus albus</i>
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>

Se han realizado numerosos estudios sobre la estructura química de los productos de la hidrólisis de los glucosinolatos, se conoce que la capacidad biocida de estos compuestos depende de la estructura química de la cadena lateral que contiene su molécula, la característica común de los compuestos más tóxicos es su hidrofobicidad, que podría estar relacionada con la penetración en la membrana celular de las células. Dentro de los más activos se encuentran los glucosinolatos tio funcionales (glucoiberin, glucocherirolin, glucoerucin, glucoraphenin) los alkenil glucosinolatos (sinigrin, glucocapparin) y los benzyl glucosinolatos (glucotropaeolin, gluconasturtin).

¿Dónde se encuentran los glucosinolatos?

Sobre una colección de más de 100 Brassicas diferentes, cultivadas en diferentes condiciones ambientales, tejidos de tallos y raíces fueron analizados por HPLC. Se encontró que el contenido de glucosinolatos declina hacia la madurez y que puede variar entre e intra especies, entre partes de una misma planta y el estado de desarrollo, así como

también con el ambiente (Tabla 2). Durante el crecimiento y desarrollo de las plantas los glucosinolatos son exudados de las raíces. La canola de invierno mostró mayor contenido en glucosinolatos que la de primavera.

El estudio de las características y concentración de glucosinolatos en distintas especies ha llevado a la selección de variedades para ser usadas como “biofumigantes”, ya que producen altas cantidades de los glucosinolatos más tóxicos para plagas y patógenos, en algunos casos las concentraciones de isotiocianatos liberados al suelo después de la incorporación de estos materiales pueden ser iguales o mayores que las aplicadas con los fumigantes sintéticos (1500 nmoles/g suelo).

Tabla 2.

Rangos de concentración (mmol/g) de diferentes glucosinolatos para Brassicas en floración sembradas en otoño (Adaptado de Matthiessen, 1996)

Especies	Tallos			Raíces	
	Propenyl	Butenyl	Pentenyl	Phenylethyl	OH benzyl
<i>B. napus</i> Aceite	0	0-3	0-8	2-19	0
<i>B. napus</i> Forraje	0	1-9	1-5	7-20	0
<i>B. juncea</i> Aceite	0-19	0-8	0	3-13	0
<i>B. nigra</i>	11-26	0	0	1-3	0
<i>S. alba</i>	0	0	0	0-4	3-4
Nabo silvestre	0	35	1	26	0

Algunos experimentos donde se demostró el efecto de las enmiendas sobre el control de patógenos y nemátodos

En Australia y Filipinas se han realizado experimentos incorporando *Brassicas* para el control de la bacteria *Ralstonia solanacearum*, causante del marchitamiento bacteriano.

Se han realizado ensayos en laboratorio en recipientes cerrados y a campo, enterrando muestras de suelo infestado. Las experiencias de laboratorio mostraron mayor control por parte de las *Brassicas*, comparadas con el sorgo. En los ensayos de campo se observa la misma tendencia, con un efecto más rápido en los materiales más ricos en el glucosinolato 2-propenyl (*B. nigra*, *B. carinata* y *B. juncea*), *B. napus* contiene 3-butenyl y *R. sativus* 4-methylsulbut, en brócoli se han detectado una variedad de glucosinolatos. Batata y tabaco que no contienen glucosinolatos, también controlaron al patógeno. (Gráficos 1 a y b).

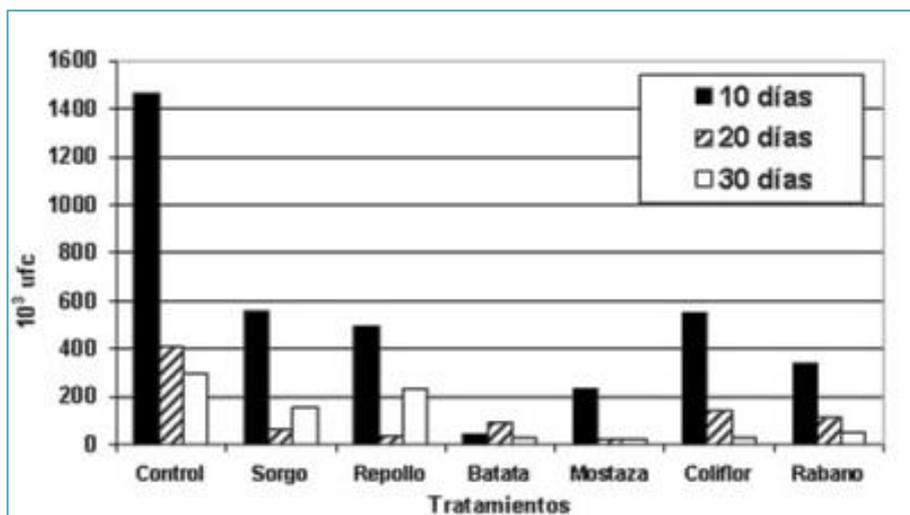


Gráfico 1a. Poblaciones de *Ralstonia solanacearum* (ufc) aisladas del suelo a 10, 20 y 30 días de la incorporación de distintos cultivos. ufc= unidades formadoras de colonias. (Adaptado de Kirkegard, 2004)

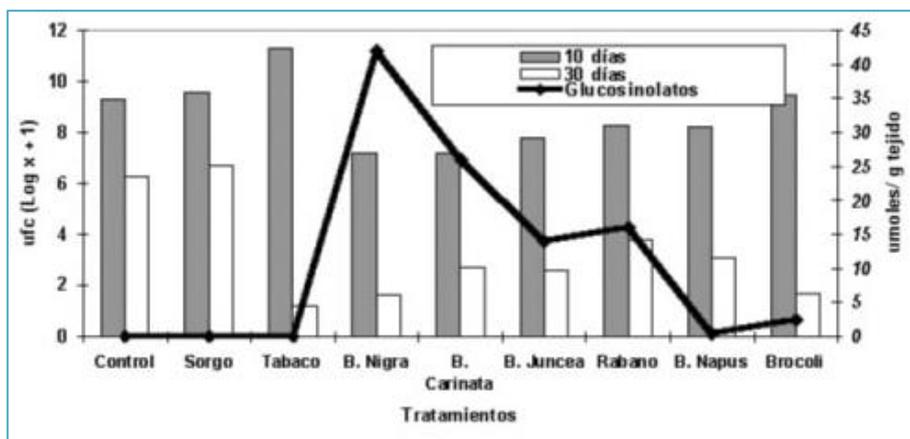


Gráfico 1b. Poblaciones de *Ralstonia solanacearum* (ufc) aisladas del suelo a 10 y 30 días de la incorporación de distintas especies y contenido en glucosinolatos (GL). ufc= unidades formadoras de colonias. (Adaptado de Kirkegard, 2004)

En un ensayo de laboratorio realizado en Australia, donde se colocaron distintas cantidades de hojas congeladas de *Brassicac*s sobre 30 g de suelo conteniendo 1000 huevos de nemátodos, se obtuvieron buenos resultados en algunos casos similares al methyl isotiocianato (Gráfico 2a). En ensayos a campo, agregados de 5 % resultaron más efectivos que 2 %, para reducir el número de nemátodos y la cantidad de agallas en raíces de tomate.

Agregados de tejidos de *Brassicac*s menores al 2% no redujeron el número de nemátodos, mientras que todas las dosis de sorgo fueron efectivas (Gráfico 2b). El contenido en glucosinolatos no parece el único factor involucrado con el control de nemátodos, se ha observado que las *Brassicac*s reducen la población de nemátodos mediante efectos no relacionados con la liberación de glucosinolatos.

En ensayos realizados en Estados Unidos se encontró que a 45 días de la plantación, la población de *M. incognita* en un cultivo de algodón decreció en respuesta a la cantidad de gallinaza (estiércol de pollo + aserrín) aplicada 2 semanas antes y en el momento de la plantación, mientras que los conteos de hongos y bacterias se incrementaban. La mayor supresividad se alcanzó con agregados de 100 toneladas por ha, la acumulación de nitratos fue directamente relacionada con la cantidad de abono de pollo agregado.

En Uruguay se han realizado numerosos ensayos de biofumigación en cultivos hortícolas en distintas zonas del país y en el marco de un proyecto implementado por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) para el desarrollo de técnicas alternativas al bromuro de metilo. Se destacan las siguientes conclusiones generales:

- la cáscara de arroz no controló satisfactoriamente los nemátodos y requirió riegos adicionales al cultivo, pero produjo rendimientos similares a los del bromuro de metilo y una mejora de la estructura del suelo.
- la aplicación de brócoli presentó porcentajes de control de nemátodos y rendimientos similares a los del bromuro de metilo, y una mejora de las condiciones físicas y biológicas del suelo.
- la enmienda orgánica de maíz combinada con solarización se comportó mejor o igual al bromuro de metilo para las variables rendimiento comercial, peso medio de fruta e índice medio de nodulación. Además de esto se observó mayor desarrollo radicular y mejora en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.
- las incorporaciones sucesivas de enmiendas orgánicas con solarización produjo un aumento en la población de bacterias benéficas y una mejora de las propiedades físicas y químicas del suelo.

En Argentina en el marco del proyecto Tierra Sana, financiado por ONUDI, se han realizado ensayos de biofumigación. Algunos resultados se detallan a continuación:

Cinturón Hortícola de Córdoba: disminución de "damping off" en almácigos de especies hortícolas solarizados o biofumigados con guano de pollo solo (6 y 3 kg/m²) o guano de pollo (3 kg/m²) en combinación con otros residuos orgánicos (2 kg de sorgo verde, 1 kg de crucíferas, 3 kg malezas).

Tucumán: en cultivo de frutilla los tratamientos de biofumigación (5 kg/m² de col china, picada y aplicada al bordo en febrero, cubierta con polietileno cristal de 40 micrones durante 54 días, antes de plantar en abril), no superaron al testigo sin tratar.

Bella Vista, Corrientes: se obtuvo buenos resultados en un cultivo de tomate bajo cubierta, combinando la solarización con biofumigantes como hojarasca de pino, pasto de jardín, mantillo, repollo, estiércol de pollo y sorgo aplicados antes de solarizar. En las parcelas biofumigadas se determinó 100 % de control de nemátodos fitófagos y malezas y 0 % de incidencia de enfermedades causadas por patógenos del suelo. También se determinó un aumento de nemátodos saprófitos y omnívoros y mayores rendimientos. En las parcelas testigo se determinó un 8% de plantas muertas por *Sclerotinia sclerotiorum*, *Pythium* spp. y *Pseudomonas corrugata*. También se obtuvo buenos resultados en un

cultivo de pimiento, incorporando pimiento y brócoli picados e incorporados en surcos abiertos que se regaron y cubrieron con tierra antes de tapar con plástico. En ambos casos se taparon con polietileno cristal de 40 micrones y se solarizó durante 60 días de diciembre a febrero.

También en Argentina en el INTA San Pedro, se realizó un ensayo donde se evaluaron distintos tratamientos de suelo: solarización + estiércol de gallina ponedora, solarización + colza, solarización sin aporte de enmienda orgánica y testigo sin tratar (Ver "Materiales Adicionales": [Tratamientos de biofumigación y solarización](#)). En un cultivo de tomate transplantado 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, la solarización + estiércol aumentó significativamente el rendimiento total.

En las parcela donde se aplicó estiércol no se encontraron microorganismos patógenos como *Escherichia coli* o *Salmonella* sp. Las parcelas del testigo mostraron mayor número de nemátodos por 100 cc de suelo a los 90 días del transplante y mayor número de agallas por g/materia seca de raíz en bioensayos realizados sobre muestras extraídas en distintos momentos del cultivo (Ver Materiales Adicionales: [Resultados sobre el control de nemátodos y el rendimiento en cultivo de tomate bajo cubierta](#)); la especie predominante fue *Nacobbus aberrans*, *Meloidogyne* spp. se encontró en mucha menor proporción. Una vez finalizado el cultivo, se observaron las raíces, los tres tratamientos difirieron significativamente del testigo sin tratar en lo que respecta al número de agallas y porcentaje de tejido radicular afectado por podredumbres (Ver "Materiales Adicionales": [Análisis de agallas y podredumbres radiculares en cultivo de tomate bajo cubierta y lechuga mantecosa](#)). Los principales patógenos aislados de las raíces fueron *Fusarium solani* y *Pyrenochaeta lycopersici*. En un cultivo de lechuga transplantado posteriormente, los tres tratamientos difirieron del testigo en lo que respecta al número de agallas, la solarización sin enmiendas presentó el menor porcentaje de podredumbres radiculares.

No se obtuvo diferencias en rendimiento ni en la incidencia de otras enfermedades como *Sclerotinia sclerotiorum*, *Sclerotium rolfsii* y *Botrytis cinerea*. Esta experiencia demuestra que la temperatura tiene un efecto muy importante en el control de plagas y patógenos del suelo y que la solarización realizada en primavera puede ser un método eficaz para el control de nemátodos y patógenos del suelo. En un estudio "in vitro" sobre la inhibición del crecimiento micelial de distintos patógenos de la papa por parte de compuestos volátiles derivados de residuos de *Brassicaceae*, se encontró que *Phytophthora* spp. era el hongo más susceptible y *V. dahliae* el menos susceptible y que los tejidos de *B. juncea* y *B. napus* eran más inhibidores que los de *R. sativus* (Gráfico 3).

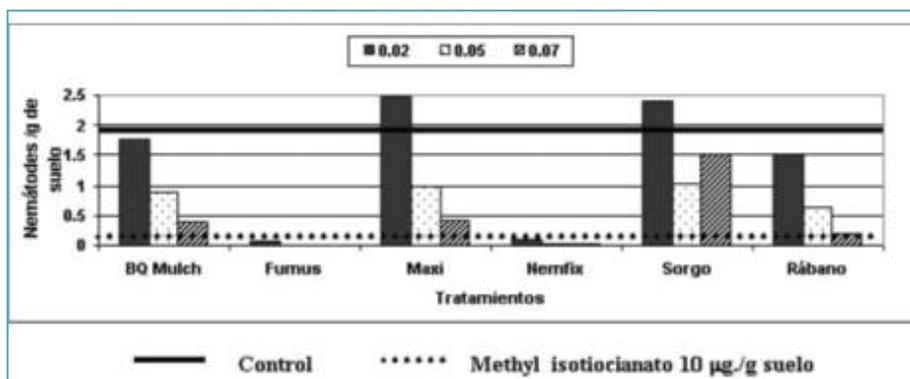


Gráfico 2a. Individuos de *Meloidogyne incognita* después de la incorporación de 0,02, 0,05 y 0,07g hojas/g de suelo de diferentes cultivos (Adaptado de Pattison et al, 2003)

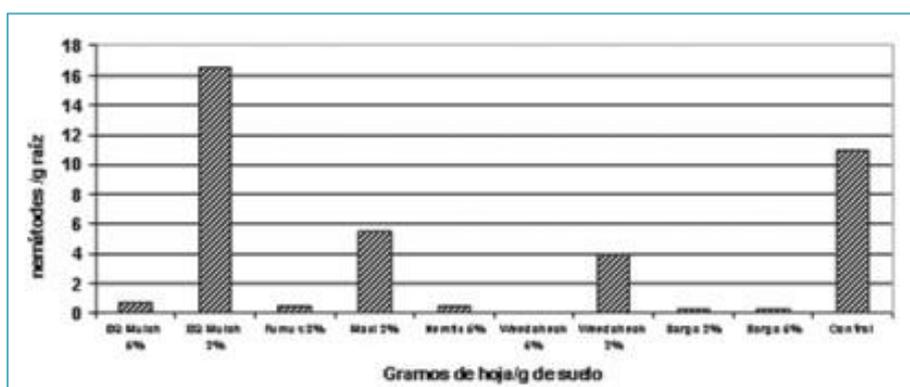


Gráfico 2b. Individuos de *Meloidogyne incognita* recuperados a partir de raíces de tomate cultivadas después de la incorporación de distintas dosis (5-2%) de hojas de diferentes cultivos a un suelo infestado. Weedcheck=*Raphanus sativus*, Nemfix y Fumus: *Brassica juncea*; Maxi: *Sinapsis alba*, BQ Mulch: *B. napus* x *B. campestris* (Adaptado de Pattison et al, 2003).

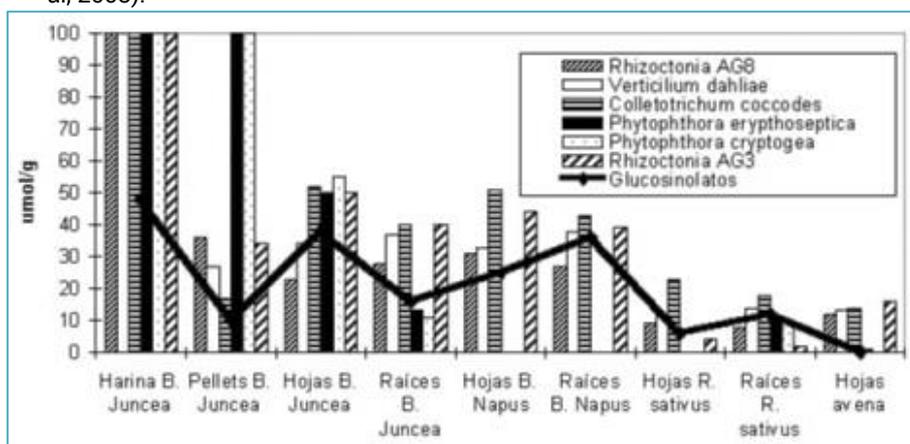


Gráfico 3. Inhibición de crecimiento de micelio de diferentes patógenos después de la exposición a volátiles liberados de 0.1 mg de residuos de *Brassica* y concentración de glucosinolatos generadores de isotiocianatos (umol/g) (Harding, 2001)

La incorporación de dos biofumigantes como Fumus y BQmulch redujo significativamente la incidencia de *Sclerotinia minor* en cultivos de lechuga de Tasmania. BQ mulch demostró ser más efectiva posiblemente debido a contener mayor cantidad de isotiocianatos en las raíces (Gráfico 4). El número y viabilidad de esclerocios del patógeno por gramos de suelo no se redujo, por lo que se piensa que el efecto de la enmienda fue actuar sobre el crecimiento posterior del micelio.

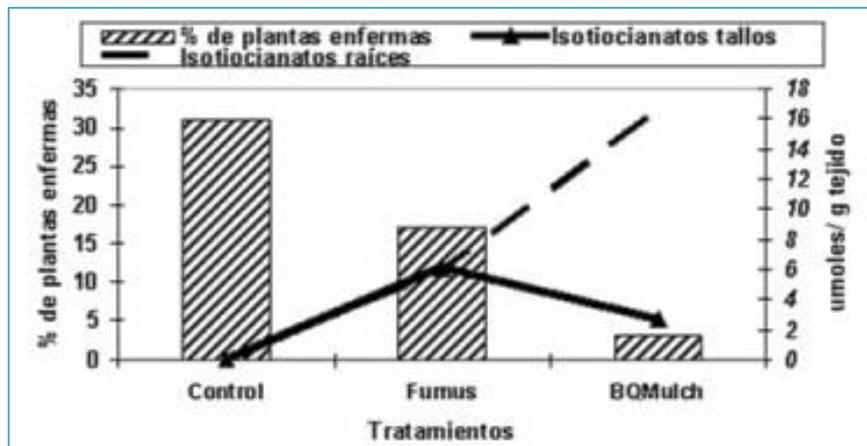


Gráfico 4. Porcentaje de plantas de lechuga afectadas por *Sclerotinia minor* y contenido de isotiocianatos en tallos y raíces de las dos enmiendas aplicadas. (Adaptado de Pung, 2002)

¿Qué factores pueden influenciar la liberación de compuestos tóxicos por parte de las Brassicas?

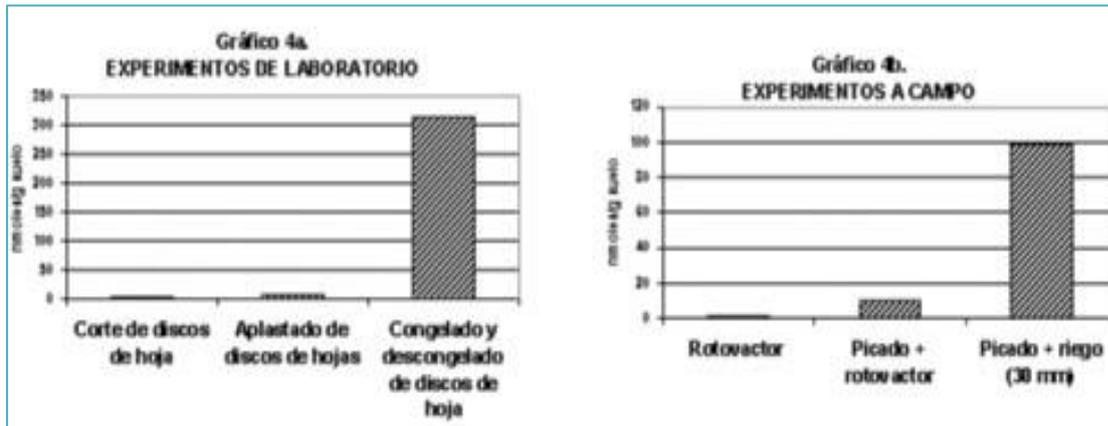
Entre los factores que influyen la efectividad de la biofumigación se encuentran el patógeno a ser controlado, el nivel de infestación, el contenido y tipo de glucosinolatos que contiene la enmienda orgánica aplicada, la preparación de la enmienda (fresca o seca), la cantidad de enmienda aplicada, el método de aplicación y tiempo de exposición.

Estudios recientes indican que el método con que se incorporan las enmiendas orgánicas puede ser el factor más importante para lograr un efecto de control sobre los patógenos. La eficiencia en la liberación de los isotiocianatos puede ser menor al 5%, sino se toman las medidas adecuadas en el momento de la incorporación.

Los residuos de *Brassicas* pueden ser incorporados frescos o después de secos, siempre que se evite el daño e hidrólisis endógena directa por medio de la enzima myrosinasa antes de ser aplicados. La disponibilidad de isotiocianatos en el suelo depende de la naturaleza del mismo, ya que los grupos amino y sulfidrilo de estos compuestos reaccionan de manera irreversible con las partículas de arcilla y de materia orgánica. El alto contenido en glucosinolatos en las raíces puede mejorar el control de algunas enfermedades del suelo, particularmente altos niveles de 2-phenylethyl isotiocianatos.

El efecto tóxico de los isotiocianatos puede ser mayor al permitir la disrupción de los tejidos a nivel celular para permitir la reacción de la enzima myrosinasa y los glucosinolatos .

El picado de los tejidos previo a la incorporación aumentó en 10 veces la liberación de isotiocianatos y su maceración vía la irrigación en 100 veces (Gráficos 4 a y b). La incorporación rápida al suelo y el sellado con plástico para evitar el escape de gases tóxicos aumentó aún más la eficiencia de la técnica.



Gráficos 4 a y b. Concentración de isotiocianatos en el suelo a las 2 horas de la incorporación de hojas de mostaza con distintos tratamientos (Adaptado de Kirkegaard, 2004).

Las altas temperaturas acentúan el efecto de la biofumigación al aumentar la liberación de sustancias volátiles. Esto pudo comprobarse en un ensayo realizado en condiciones controladas en la Universidad de California (Estados Unidos), donde a tierra infestada con una cantidad conocida de individuos de *Meloidogyne incognita*, se agregó una cantidad fija de hojas de brócoli (2 % v/v). Se mantuvo la tierra en presencia del biofumigante a distintos tiempos y temperaturas, el efecto de los tratamientos se evaluó sembrando plantas de melón en la tierra tratada y evaluando las agallas en las raíces de las mismas (Gráfico 4c).

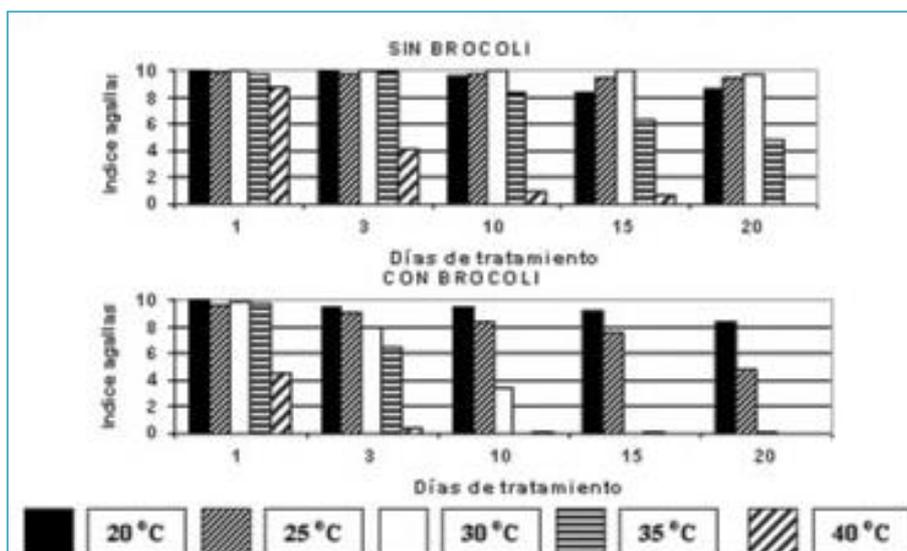


Gráfico 4c. Efecto de la temperatura del suelo, la duración del tratamiento y la aplicación de brócoli (2 % v/v), sobre el índice agallas en plantas de melón cv Durango, en suelo infestado con *Meloidogyne incognita*. (Ploeg et al. 2001)

Recomendaciones para una eficiente biofumigación

- Producir al menos 5 kg de materia fresca/m² antes de incorporar el abono verde.
- Macerar los tejidos antes de incorporarlos.
- Incorporar el abono verde con un motocultivador.
- Regar y tapar o cubrir el suelo con un plástico.
- Dejar por lo menos 10 días antes de transplantar el cultivo

La incorporación de Brassicas al suelo: ¿Aumenta o disminuye la población de nemátodes?

En Australia se realizaron estudios para conocer qué especies de Brassicas eran hospedantes de nemátodes, encontrándose un grado de susceptibilidad intermedio entre el sorgo y el tomate (Gráfico 5) , el rábano resultó ser un hospedante muy pobre.

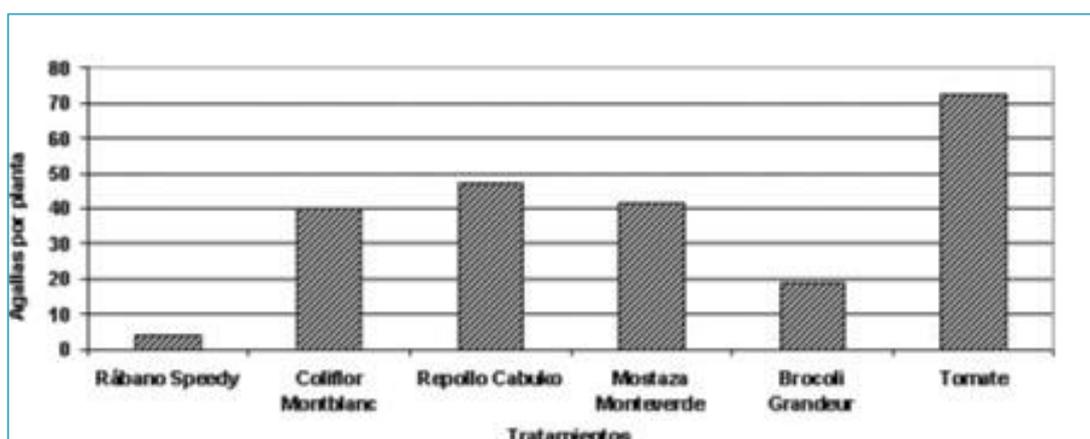


Gráfico 5. Reacción de diferentes crucíferas y el tomate frente a la infección de *Meloidogyne incognita* (Adaptado de Kirkegard, 2004)

Mientras las Brassicas crecen, las raíces no son tóxicas para los nemátodes y bajo condiciones favorables las poblaciones de los mismos podrían aumentar entre 20-60 veces en 6 a 8 semanas. Sin embargo con temperaturas del suelo entre 14- 19 °C se observó que los nemátodes tardaron 3 meses en madurar, por lo que la biofumigación podría realizarse antes de que se completara la primera generación.

¿Cómo afecta la biofumigación a los microorganismos benéficos?

Algunas bacterias y hongos resultaron muy tolerantes a los isotiocyanatos, entre ellos se encuentran distintas especies de *Trichodermas*, dentro de las cuales se encuentran antagonistas de patógenos.

Esto sugiere que la biofumigación puede provocar un cambio en la composición de la microflora del suelo y aumentar la proporción de antagonistas.

Conclusión

La eficiencia de la biofumigación dependerá de una cantidad de factores que se resumen en el siguiente esquema (Cuadro 2), los cuales deberán tenerse en cuenta para decidir la adopción de esta técnica en una zona determinada. La utilización de abonos verdes que liberen glucosinolatos deberá ser planificada en el marco de un trabajo de gestión de la empresa hortícola.

La aplicación reiterada de esta técnica puede ocasionar el incremento en el suelo 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.



Cuadro 2. Factores que afectan la eficiencia de la biofumigación. Adaptado de Morra y Kirkegaard, 2002

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.

Colombo, M. H.; Gauna, P. y Lenscak, M. P. 2005. Desinfección de suelos por biofumigación. En: *XIII Congreso Latinoamericano de Fitopatología*. 19-22 de abril de 2005. Villa Carlos Paz, Córdoba, Argentina. Libro de Resúmenes, p. 519.

- Harding, R. 2001. In vitro suppression of potato pathogens by volatiles released from Brassicas 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; 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.
- 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. In: *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. Disponible en: www.uckac.edu/ppq
- Matthiessen, J. 1996. Glucosinolate analysis of Brassica collection completed. *Biofumigation Update*. No. 4. Junio 1996.
- Matthiessen, J. & Kirkegaard, J. *Biofumigation Update*. [en línea] Disponible en: http://www.ento.csiro.au/research/pestmgmt/biofumigation/newsletter_list.htm
- Mitidieri, M.S.; Brambilla, M.V.; Polack, A.L.; Del Pardo, K.C.; Constantino, A. ; Chaves, E. [et al.]. 2004. Aumentos en el rendimiento como consecuencia de la aplicación de solarización y biofumigación en cultivo de tomate bajo cubierta. En: *XXVII Congreso Argentino de Horticultura*. Merlo, san Luis, Septiembre 2004.
- Mitidieri, M.S.; Brambilla, M.V.; Gabilondo, J.; Saliva, V. y Piris, M. 2005. Efectos de la solarización y biofumigación sobre la incidencia de podredumbres radiculares en cultivo de tomate bajo cubierta. En: *XIII Congreso Latinoamericano de Fitopatología*. 19-22 de abril de 2005. Villa Carlos Paz, Córdoba, Argentina. Libro de Resúmenes, p. 519.
- Pattison, T.; Martin, T.; Akiew, S.; Versteeg, C. & Kirkegaard, J. 2003. Can Brassicas be used to manage root-knot nematode in tropical vegetal production? *Australasian Nematology Newsletter*. 14(2): 16-19.
- Pung, H. 2002. Successful use of biofumigant green manure crops for soil-borne disease control. *Biofumigation Update*. (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 Disease*. 84:1275-1281.

Rodriguez-Kabana, R.; Morgan-Jones G. & Chet, I. 1987. Biological control of nematodes: soil amendments and microbial antagonists. *Plant and Soil*, 10: 237-247.

Rosa, E. A. S. & Rodríguez, P. M. F. 1999. Towards a more sustainable agriculture system: the effect of glucosinolates on the control of soil-borne diseases. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 74:667-674.

Agradecimientos

Agradezco a mis compañeros de trabajo, Estela Piris, Julieta Gabilondo, Valeria Saliva, Martín Barbieri, Silvana Babbitt, Cecilia Pereyra, Raúl Ferrara, Raúl Verón, Armando Constantino, Gonzalo Segade y Andrés Polack por su colaboración y apoyo.

El personal de la EEA INTA San Pedro también cooperó cada uno en su actividad específica para poder realizar los ensayos que se presentan en este trabajo.

Mario Piris y Virginia Brambilla trabajaron activamente durante la realización de todas las tareas.