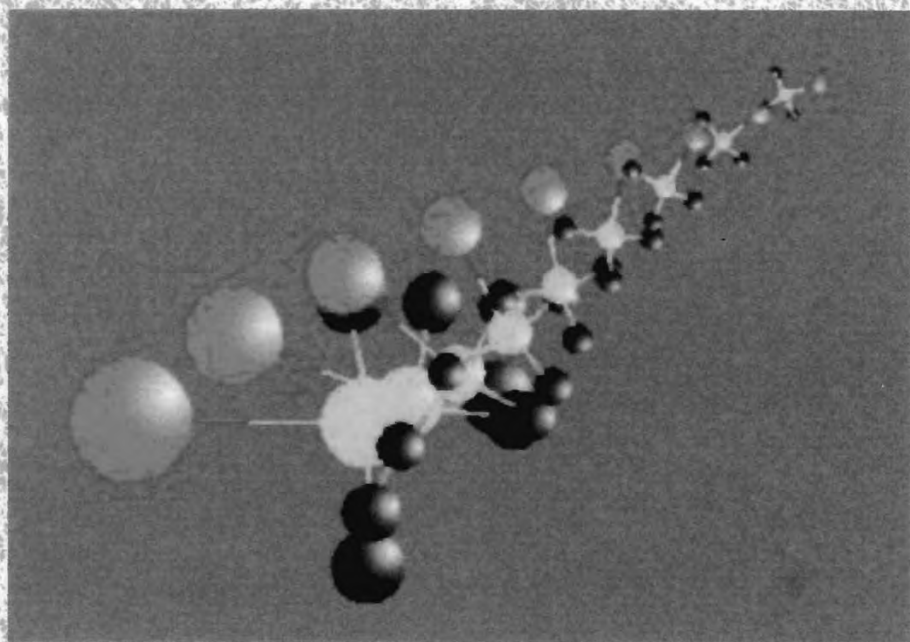


44/97

CONGRESOS Y JORNADAS

ALTERNATIVAS AL BROMURO DE METILO EN AGRICULTURA

Seminario Internacional
29 y 30 de abril de 1996, Almería



**ALTERNATIVAS AL
BROMURO DE METILO
EN AGRICULTURA**
Seminario Internacional
29 y 30 de Abril de 1996, Almería.

© *Edita*: JUNTA DE ANDALUCÍA. Consejería de Agricultura y Pesca.
Publica: DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y FORMACIÓN AGRARIA.
Servicio de Publicaciones y Divulgación.

Colección: CONGRESOS Y JORNADAS, Nº 44/97.

Información elaborada y redactada por:

Departamento de Agroecología del Centro de Ciencias.

Medioambientales (CCMA); CSIC. Madrid.

Centro de Investigación y Formación Agraria, Almería.

Departamento de Producción Vegetal, Biología y Ecología.

ETSIA, Universidad de Almería.

Coordinadores: Antonio Bello, José A. González, Jerónimo Pérez Parra, Javier Tello.

Colabora en los textos en inglés: Joan M. Mart.

Colaboran en la elaboración de la monografía: Alicia Gala y J. Antonio López.

Fotografía e ilustraciones: Autores

I.S.B.N.: 84-89802-24-6

Depósito Legal: SE-493-98

Fotocomposición e Impresión: J. de Haro Artes Gráficas, S. L.

**ALTERNATIVAS AL
BROMURO DE METILO
EN AGRICULTURA**
Seminario Internacional
29 y 30 de Abril de 1996, Almería.

Coordinadores: **Antonio Bello¹**
José A. González¹
Jerónimo Pérez Parra²
Javier Tello³

1. Departamento de Agroecología, CCMA, CSIC. Madrid.
2. Centro de Investigación y Formación Agraria La Mojonera, Almería.
3. Departamento de Biología Vegetal, Producción Vegetal y Ecología.
Universidad de Almería

ÍNDICE

AUTORES	9
INTRODUCCIÓN	11
1. Impacto ambiental del bromuro de metilo B. Thomas	13
2. El bromuro de metilo en la agricultura mediterránea A. Bello, J. Tello	19
I. Alternativas no Químicas	
3. Alternativas no químicas al bromuro de metilo en el control de los patógenos del suelo. Líneas prioritarias de investigación <i>R. Rodríguez-Kábana</i>	31
4. Control biológico de hongos del suelo que afectan a las semillas y plántulas M. R. Gondona, M. R. Hermosa, M. D. Gomis, P. García Benavides, <i>J. García-Acha. E. Monte.</i>	43
5. Mecanismos de defensa en las plantas. Productos naturales bioactivos como alternativa al bromuro de metilo <i>J. G. Luís, J. A. González</i>	55
6. Variedades de hortalizas resistentes como alternativas a tratamientos químicos <i>V. Celada</i>	69
7. El injerto en sandía como alternativa al uso de bromuro de metilo <i>A. de Miguel Gómez</i>	75

8. Solarización y reducción de dosis de bromuro de metilo en la desinfección del suelo
V. Cebolla, J. J. Tuset, M. Guinet, A. Molins, J. L. Mira, C. Hinarejos ... 81

II. Alternativas Químicas

9. Alternativas químicas al uso de bromuro de metilo
S. Pocino 95
10. El metam sodio como alternativa al bromuro de metilo en cultivos hortícolas
J. Laita de la Rica 99
11. Tratamientos con DD como alternativa al bromuro de metilo
D. González Pedreño 103
12. Telone y Sanimul como alternativa al bromuro de metilo
J. I. Aguirre 111

III. Formación y producción integrada

13. Formación y producción integrada en la Comunidad Valenciana
J. L. Porcuna, C. Ocón, A. Jiménez 117
14. El Control de *Olpidium radicale*, vector del virus del cribado del melón (MNSV), en Almería
J. Gómez, J. Tello 131
15. Viñedos de La Mancha, un modelo donde no se utiliza bromuro de metilo
M. Arias, J. Fresno, J. A. López 141
16. Control de nematodos sin bromuro de metilo y producción integrada en España
A. Bello, M. A. Pastrana, J. A. González, M. Escuer, C. Orts 155
17. Alternativas al bromuro de metilo como desinfectante del suelo, con especial referencia a la situación en Italia
M. L. Gullino, G. Minuto 173
18. Producción integrada y alternativas al bromuro de metilo en California
S. Daar 185

AUTORES

- Joaquín I. Aguirre.** Rhône Poulenc Agro S. A., Torre de la Reina. Sevilla.
- María Arias.** Dpto Agroecología, CCMA, CSIC. Madrid.
- Antonio Bello.** Dpto Agroecología, CCMA, CSIC. Madrid.
- Vicente Cebolla.** Inst. Valenciano de Investigaciones Agrarias, Moncada. Valencia.
- Vicente Celada.** S & G Semillas, S.A., El Egido. Almería.
- Sheila Daar.** The Bio-Integral Resource Center (BIRC). Berkeley, California. EE.UU.
- Miguel Escuer.** Dpto Agroecología, CCMA, CSIC. Madrid.
- Jesús Fresno.** Área de Biología Molecular y Virología Vegetal, CIT-INIA. Madrid.
- Isabel García-Acha.** Dpto Microbiología y Genética. CSIC-Univ. Salamanca.
- Pablo García Benavides.** Centro regional de Diagnóstico, Aldearrubia. Salamanca.
- Julio Gómez.** Centro de Investigación y Formación Agraria, La Mojonera. Almería.
- María D. Gomis.** AMC Chemical-Trichodex S. A. San Juan de Aznalfarache. Sevilla.
- José A. González.** Dpto Agroecología, CCMA, CSIC. Madrid.
- Diego González Pedreño.** Cyanamid Ibérica S.A. Madrid.
- Isabel Grondona.** Dpto Microbiología y Genética. CSIC-Univ. Salamanca.
- Max Guinet.** Protection des Vegetaux. Lab. Nac. d'études de Fumigation, Cenon. Francia.
- María L. Gullino.** Dpto Patología vegetal, Univ. Turín. Italia.
- María Rosa Hermosa.** Dpto Microbiología y Genética. CSIC-Univ. Salamanca.
- Concepción Hinarejos.** Inst. Valenciano de Investigaciones Agrarias, Moncada. Valencia.
- Antonio Jiménez.** Servicio de Sanidad y Certificación Vegetal, Silla. Valencia.
- Javier Laita de la Rica.** Plant Protection Consultores. Madrid.
- José A. López.** Dpto Agroecología, CCMA, CSIC. Madrid.

Javier G. Luís. Inst. Univ. Bio-Orgánica "Antonio González", La Laguna. Tenerife.
Alfredo de Miguel Gómez. Consejería de Agricultura, Generalitat Valenciana.
Giovani Minuto. Dpto Patología vegetal, Univ. Turín. Italia.
José L. Mira. Inst. Valenciano de Investigaciones Agrarias, Moncada. Valencia.
Alfredo Molins. Inst. Valenciano de Investigaciones Agrarias, Moncada. Valencia.
Enrique Monte. Dpto Microbiología y Genética. CSIC-Univ. Salamanca.
Carmen Ocón. Servicio de Sanidad y Certificación Vegetal, Silla. Valencia.
Carmen Orts. Cooperativa Valenciana "Unión Protectora de El Perelló". Valencia.
María A. Pastrana. Dpto Agroecología, CCMA, CSIC. Madrid.
Santiago Pocino. FMC Forét S.A. Barcelona.
José L. Porcuna. Servicio de Sanidad y Certificación Vegetal, Silla. Valencia.
Rodrigo Rodríguez-Kábana. Dpto Plant Pathology. Univ. Auburn, Alabama. EE.UU.
Javier Tello. Dpto Biología, Producción Vegetal, y Ecología. E.P.S., Univ. de Almería.
Bill Thomas. U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC. EE.UU.
Juan José Tuset. Inst. Valenciano de Investigaciones Agrarias, Moncada. Valencia.

INTRODUCCIÓN

El "bromurado" del suelo es un término no recogido en los diccionarios de la lengua española, pero desde hace años ha incrementado la riqueza del lenguaje de agrónomos y agricultores de las zonas de horticultura intensiva. Viene a expresarse con él la desinfección del suelo con bromuro de metilo para combatir las plagas y enfermedades de las plantas, eliminar malas hierbas e incrementar el rendimiento de los cultivos. El vocablo viene a ser un exponente de la importancia de este fumigante en la horticultura cuasi industrial de nuestro país, que está bien representada en las Comarcas del Poniente y Levante de Almería. El bromuro de metilo es un gas que ha sido empleado durante años en agricultura, además de para tratar el suelo, para fumigar material vegetal de siembra o de consumo. Su potente acción biocida ha sido el marchamo de su permanencia en el mercado de los fitosanitarios.

Por otra parte, el uso del bromuro de metilo implica riesgos en su aplicación y efectos residuales o contaminantes, que ha llevado a algunos países europeos a replantearse su empleo en agricultura. Pero fue a partir del descubrimiento de su posible acción en la destrucción de la capa de ozono de la estratosfera, cuando se planteó la necesidad de una reducción generalizada de su utilización para el control de plagas y enfermedades de las plantas. El Protocolo de Montreal, que se ocupa de los productos que afectan la capa de ozono, incluyó como tal al bromuro de metilo. Se creó, entonces, un comité internacional, el MBTOC (Methyl Bromide Technical Options Committee), para buscar soluciones alternativas al bromuro de metilo. Soluciones difíciles por cuanto el fumigante cumple una función en la agricultura que algunos consideran insustituible, quizás porque su facilidad de aplicación y eficacia ha impedido buscar otras vías para el control de patógenos. Vías como el control biológico, el injerto, la resistencia varietal, la solarización, las rotaciones culturales, el manejo del suelo, los sistemas de producción integrada, etc., son motivo de nuevos enfoques en investigación, cuyos resultados pueden mostrar una eficacia aparentemente menor, aunque quizás más duradera y menos costosa.

El seminario internacional realizado los días 29 y 30 de abril de 1996 en Almería, cuyas comunicaciones y conclusiones se recogen en esta monografía, sin inhibirse de la polémica entre detractores y partidarios del bromuro de metilo, pretendía reflexionar sobre otras alternativas para el control de patógenos del suelo,

que amplíen la oferta de posibilidades de actuación. Oferta que deberá acercarnos más al origen de los desequilibrios creados por el ser humano, entre los patógenos y las plantas, desde que se hizo agricultor.

Entre las conclusiones del seminario conviene destacar que: "existen numerosas evidencias científicas de la peligrosidad del BM por su efecto destructor de la capa de ozono de la estratosfera. En consecuencia es prudente buscar alternativas adecuadas para solucionar los problemas que hasta el presente viene resolviendo el BM en agricultura. Entre las alternativas estarían la eliminación de emisiones del gas a la atmósfera o la sustitución del fumigante por otros productos o prácticas agrícolas de eficacias equivalentes. Existen varias posibilidades para efectuar la sustitución total o parcial del BM por vías química, físicas y biológicas. El desarrollo de dichas posibilidades, puede y debe acelerarse mediante la movilización de recursos humanos y financieros no disponibles, en los niveles adecuados, en el momento actual".

Capítulo 1

IMPACTO AMBIENTAL DEL BROMURO DE METILO

B.THOMAS

US Environmental Protection Agency (USEPA), Washington DC. EEUU

Introducción

El BM es un plaguicida de amplio espectro, que se usa en el control de hongos, nematodos, malas hierbas, insectos y roedores. En general, este producto se emplea principalmente para controlar los patógenos de origen edáfico (75% del consumo total), pero también contra plagas de granos almacenados y otras mercancías no perecederas (13% de total), en frutas, hortalizas y otras mercancías perecederas para prevenir plagas e infecciones durante su transporte y almacenaje (9%), así como para controlar insectos de las maderas y roedores en edificios, aeronaves, embarcaciones y otras estructuras.

Desde el punto de vista de las ventas en el mundo, Norteamérica representa el mercado más importante con un 41%, seguido por Europa con un 26%, Asia (incluyendo Israel y Oriente Medio) con 23%, y finalmente Africa, Sudamérica y Australia con el 9%. En Norteamérica, el BM se usa principalmente en la fumigación de suelos (87%), pero también en mercancías, tratamientos de cuarentena (8%) y fumigación de estructuras (5%). En EEUU la mayoría del BM se usa en la producción de tomates y fresas.

La mayor parte del BM lo fabrican tres compañías: dos ubicadas en el estado de Arkansas, EEUU (**Great Lakes Chemical y Ethyl/Albemarle**), y una en Israel (**Dead Sea Bromine**). Estas compañías utilizan sales de bromuro que de manera natural se encuentran en los depósitos subterráneos de salmuera (como es el caso de Arkansas), o en superficie en zonas con alta concentración como ocurre en el Mar Muerto. El agua del océano contiene sales de bromo, pero a concentraciones tan bajas, que se necesitaría gran cantidad de energía para utilizarlo como fuente de bromo para la fabricación de BM. El BM se produce frecuentemente como subproducto durante otros procesos industriales que incluyen bromo.

Usos y emisiones de BM

Cuando el BM se usa como fumigante del suelo, antes de poner el cultivo se inyecta a una profundidad de 30 a 60 cm. Esto produce una esterilización eficaz, matando a la mayoría de los organismos del suelo. Inmediatamente después de inyectar el BM, el suelo se cubre con un plástico, que lo retienen en el suelo. Los plásticos se retiran de 24 a 72 horas después de la aplicación. Entre el 50 y 95% del BM inyectado al suelo pasa a la atmósfera.

Cuando se usa para el tratamiento de mercancías, el BM se inyecta en una cámara o bajo una lona que contiene las mercancías y se retiene durante varias horas. Entre las mercancías para las que se utiliza BM como parte de programas de control de plagas en postcosecha se incluyen uvas, pasas, cerezas, frutos secos, y otros productos importados. Algunas mercancías se tratan varias veces durante su almacenaje y transporte. Las mercancías pueden tratarse con BM como parte de los requerimientos de cuarentena de un país importador. Entre el 80 y el 100% del BM usado para tratamientos de mercancía pasa a la atmósfera.

Entre los tratamientos de estructuras con BM para el control de plagas, se incluyen la fumigación de edificios contra termitas, almacenes e instalaciones para el procesamiento de alimentos contra insectos y roedores, aeronaves contra roedores, y barcos (así como también otros vehículos de transporte) contra diversas plagas. Más del 90% del bromuro de metilo usado en estas operaciones generalmente alcanza la atmósfera.

Efecto del BM sobre el ozono estratosférico

Además de ser un plaguicida de amplio uso, el BM es una sustancia eficiente reduciendo el ozono en la estratosfera (*Ozone Depleting Substance*, ODS). En 1994 el Comité Científico para la Evaluación de la Reducción del Ozono (*Science Assessment of Ozone Depletion*), redactó un documento que fue elaborado por unos 300 científicos, de entre los más importantes del mundo, especializados en procesos atmosféricos, que valoró el potencial destructor de ozono (*Ozone Depletion Potential*, ODP) del BM en 0.6, e informó que era improbable que el ODP del BM descendiese por debajo de 0.3. El informe dice claramente que "el bromuro continúa considerándose como un compuesto reductor de ozono". Se están realizando investigaciones adicionales para conocer con más precisión el potencial ODP del BM, que puede resultar finalmente ligeramente superior o inferior a 0.6.

El BM que llega a la estratosfera procede de los usos agrícolas como pesticida, quema de biomasa y combustibles con plomo, y, en menor cantidad, desde los océanos. Los vientos y mezclas atmosféricas llevan este pesticida a la estratosfera. Una vez en la estratosfera, la radiación de alta energía procedente del sol, hace que se libere un átomo de bromo, rompiendo el enlace entre el bromo y el grupo metilo. Este átomo de bromo se encuentra en un estado muy reactivo, y destruye el ozono molecular (O₃). El átomo de bromo reacciona también en la estratosfera con moléculas estables que contienen cloro, liberando el cloro, que también contribuyen a la destrucción de otras moléculas de ozono. Debido a esta "reacción en cadena", el bromo procedente del BM es unas 50 veces más efectivo como destructor del ozono que los átomos de cloro procedentes de los CFCs.

La destrucción de las moléculas de ozono estratosférico repercute en una disminución del grosor de la capa de ozono. Debido a que el ozono bloquea las radiaciones que son nocivas para la vida, la destrucción de esta fina capa dará lugar a un incremento de la radiación que alcanzaría la superficie de la tierra. Esta radiación ultravioleta es nociva para los organismos vivos, incluyendo las plantas cultivadas y los seres humanos. La cantidad del BM producido por las actividades agrícolas

y otras fuentes antropogénicas tiene un impacto considerable sobre el ozono estratosférico, desorganizando el balance natural de la atmósfera y aumentando la cantidad de radiación ultravioleta peligrosa que alcanzan la superficie de la tierra.

Debido a las investigaciones científicas que relacionan las emisiones de BM y la destrucción de la capa de ozono, y como consecuencia con los efectos nocivos de la radiación ultravioleta, es por ello necesario el control de las emisiones de esta sustancia. Esto se logrará mediante acciones reguladoras, estando en marcha numerosos esfuerzos para controlar el uso, emisiones y producción de BM. Las acciones reguladoras pueden ser inicialmente difíciles y crear confusión en aquellos sectores más directamente afectados, pero generalmente conducirán a una mejor forma de proceder. En todo caso, si las emisiones y el uso de BM no se controlan de manera rápida, las emisiones continuarán reduciendo cantidades importantes de ozono, permitiendo que una mayor cantidad de radiaciones alcancen la superficie de la tierra, lo que producirá un gran impacto ambiental.

Acciones reguladoras sobre BM

Ante la evidencia científica del impacto del BM sobre la capa de ozono, es necesario (legal, moral y ambientalmente) realizar acciones para la reducción de este producto. Mientras los aspectos económicos relacionados con la supresión son complejos, especialmente para aquellos que usan o fabrican BM, los riesgos a largo plazo para la salud humana y el ambiente sobrepasan cualquier beneficio económico a corto plazo. **La reducción del ozono es un asunto serio**, con un impacto potencial no solo para la salud humana y el ambiente, sino también para la producción de los cultivos. Es irónico que algunos de los agricultores de hoy sacrifiquen una producción agrícola a largo plazo por utilizar un método de control de plagas atractivo a corto plazo.

En Estados Unidos, las Modificaciones al Acta del Aire Limpio de 1990 (**U.S. Clean Air Act Amendments of 1990, title VI**), obliga a que cualquier sustancia con potencial reductor del ozono (ODP) de 0.2 o mayor debe considerarse como sustancia de categoría I y debe retirarse en el plazo de siete años. Ante esta normativa y la información científica existente, la Agencia de Protección Ambiental de EEUU (**U.S. Environmental Protection Agency, EPA**) inició en 1993 una acción reguladora, para prohibir la producción e importación de bromuro de metilo en los Estados Unidos a partir del 1 de enero del año 2001 (**10 de diciembre de 1993 - 58 FR 65018**). Además, esta norma congeló la producción en 1994 en EEUU a los niveles existentes en 1991. La retirada de BM en EEUU se aplica únicamente a la producción e importaciones pero no restringe su uso antes o después del año 2001.

Parte del esfuerzo regulador en EEUU se centra en asegurar a los agricultores que tendrán nuevos pesticidas disponibles tan pronto como sea posible. Para ello, los Programas sobre Plaguicidas de la EPA han puesto en marcha un proceso acelerado de registro de alternativas al uso del BM. Este programa acelera los trámites y da asesoramiento durante el proceso de registro. Se ha establecido una infraestructura de apoyo para seguir el desarrollo de alternativas y para la gestión de los problemas.

Además de los Estados Unidos, a nivel internacional, el BM se regula en otros países. En Holanda, desde 1992, se ha eliminado el uso de BM para la fumigación de suelo, a causa de la contaminación de las aguas subterráneas. Dinamarca y otros países nórdicos prohibirán el uso agrícola de BM en 1998, y otros países europeos pueden adoptar un plan de actuación similar. Canadá y la Unión Europea reducirán en un 25% el BM para uso agrícola en 1998. Otros países están contemplando la posibilidad de establecer una acción reguladora para la producción y uso de BM.

El Tratado del Protocolo de Montreal (firmado por más de 150 países) controla el comercio y la producción de las sustancias reductoras de la capa de ozono (ODS) en todo el mundo, y está en proceso para la eliminación total de las ODS. En 1992, las partes firmantes del Protocolo de Montreal tuvieron en cuenta la información científica existente sobre el comportamiento del BM, establecieron un ODP para el BM de 0.7, y congelaron su producción en 1995 a los niveles de 1991. En la Reunión de las Partes del Protocolo de Montreal en 1995, se acordó una reducción global progresiva de la producción de BM para los países desarrollados, que requerirá una reducción del 25% para el año 2001, un 50% en el 2005, y su retirada completa en el 2010. Los países en vías de desarrollo acordaron congelarlo en el 2002, tomando como referencia la media de consumo entre los años 1995-98. Este acuerdo será revisado en 1997. La posición de EEUU en estas reuniones fue la de la retirada total para el año 2001.

El Protocolo de Montreal creó un órgano operativo de discusión mediante la armonización de las reglamentaciones a escala global. Sin embargo, con el fin de lograr una protección global del incremento de la radiación y evitar desequilibrios comerciales importantes, es fundamental que todos los países involucrados en la producción y uso de sustancias destructoras de ozono encuentren alternativas a la mayor brevedad posible. Esto es especialmente importante con respecto al BM.

Efectos del BM sobre la salud humana

El BM es tóxico no sólo para las plagas a que va dirigido, sino también para otros organismos. La exposición a concentraciones altas de BM puede afectar al sistema nervioso central y al respiratorio en humanos, así como a efectos deletéreos graves en pulmones, ojos y piel. Los síntomas iniciales más comunes incluyen debilidad, decaimiento, dolor de cabeza, perturbaciones visuales, náuseas y vómitos. Después aparecen síntomas en el sistema nervioso central, produciendo entumecimiento, descoordinación muscular, temblor, espasmos musculares, falta de equilibrio, agitación extrema, convulsiones y coma. En mujeres embarazadas, la exposición al BM puede dar lugar a malformaciones fetales. Dependiendo de la dosis, puede causar incapacidad permanente grave o muerte.

Las personas expuestas a este producto han desarrollado problemas respiratorios, gastrointestinales y neurológicos, incluyendo inflamación de nervios y órganos y degeneración ocular. La exposición relacionada con fumigaciones ha dado lugar a una incidencia significativamente alta de irritación de ojos y garganta, afecciones de piel, apnea, dolor de pecho, náuseas, fatiga, vértigo, entumecimiento y debilidad de las extremidades. La exposición a concentraciones altas ha provocado varias muertes.

Alternativas al BM

Respecto a las alternativas al uso de BM, actualmente existen técnicas para el control de muchos de los organismos patógenos controlados con BM. Las alternativas al BM dependerán del patógeno y del cultivo. No existe una única alternativa para todos los usos del BM, pero hay muchas técnicas de control de plagas que pueden manejar los problemas controlados con BM. No es necesario que los productos alternativos sean idénticos al BM, pero deben regular de forma eficaz y económica las plagas controladas actualmente con BM. Existen numerosos pesticidas químicos y no químicos que controlan eficazmente muchas de las plagas para cuyo control se viene utilizando el BM. Se están realizando investigaciones sobre alternativas al BM y probablemente proveerán de una amplia gama de opciones, dependiendo de la plaga, cultivo y uso de BM. Aunque puedan existir diferencias económicas a corto plazo, las alternativas serán viables a largo plazo.

Las alternativas al BM son frecuentemente específicas para determinadas plagas, y su uso puede reducirlas a niveles económicos viables, cuando se aplican dentro de programas integrados de gestión de plagas. Aunque no todas las alternativas enumeradas aquí están disponibles para ser utilizadas por la industria y la agricultura, todos han mostrado un buen potencial en control de plagas que actualmente se trataban con BM, y probablemente estarán disponibles en o antes del año 2001.

Suelo: Las alternativas químicas incluyen 1,3- dicloropropeno, dazomet, clopicrina y metam sodio, así como insecticidas y herbicidas selectivos de contacto. Las alternativas no químicas incluyen rotación de cultivos, enmiendas orgánicas, vapor de agua, solarización, agentes de control biológico, prácticas culturales, y mejora vegetal.

Mercancías: Las alternativas químicas incluyen fosfina y sulfuro de carbono. Las alternativas no químicas incluyen irradiación, atmósfera controlada que utiliza nitrógeno y dióxido de carbono y calor/frío.

Estructuras: Las alternativas químicas incluyen fluoruro sulfuroso y fosfina, así como insecticidas de contacto y rodenticidas. Las alternativas no químicas incluyen atmósfera controlada que utiliza nitrógeno y dióxido de carbono y calor/frío.

Es importante valorar el significado para la comunidad agraria de la actividad biocida de una sustancia como el BM, y como parte del programa para la retirada de tal pesticida debe también incluirse el asesoramiento de los usuarios actuales durante su transición a otras alternativas de control de plagas. Entendemos que es fundamental trabajar conjuntamente con la comunidad agraria en las investigaciones dirigidas a la búsqueda de alternativas al BM.

Conclusiones

Está claro que el uso de BM y sus emisiones reducen el ozono en la estratosfera. Esta reducción de ozono conlleva un aumento de la radiación ultravioleta (UV) que llega a la tierra, que es nociva para los organismos vivos, incluyendo las plantas cultivadas y los seres humanos. Es, por lo tanto, necesario controlar las emisiones de BM a través de acciones reguladoras.

Existen alternativas para la mayoría de los usos de BM, que dependen de la plaga específica a controlar y del cultivo. Los productos alternativos viables no necesariamente deben ser idénticos al BM, pero deben ser eficaces y equiparables económicamente frente a aquellas plagas que se controlan actualmente con BM.

A corto plazo, las alternativas químicas probablemente proveerán el control necesario para las plagas que actualmente se controlan con BM. Sin embargo, en el futuro, las alternativas no químicas serán las más sustentables.

Tomando en consideración las evidencias científicas y los costes que derivan de la disminución de la capa de ozono, toxicidad y repercusión a largo plazo de la producción agrícola, es esencial para la conservación global del ecosistema, que se supriman de una manera racional y razonable las emisiones resultantes del uso de BM.

Capítulo 2

EL BROMURO DE METILO EN LA AGRICULTURA MEDITERRÁNEA

A. BELLO, J. TELLO (*)

Dpto Agroecología, CCMA, CSIC. Madrid

(*) Dpto Biología Vegetal, y Ecología. E.P.S., Universidad de Almería

Resumen

Ante la retirada del bromuro de metilo como fumigante del suelo por su impacto sobre la capa de ozono, se plantea la necesidad de hacer un análisis sobre la influencia de tal hecho en la agricultura mediterránea, con el fin de encontrar alternativas y soluciones más acordes con la realidad agraria de esta región. En ella se incluyen, además de los países de la cuenca mediterránea, California, Australia, Chile y Sudáfrica. Se desglosa el consumo de bromuro de metilo por países y cultivos, indicando aquellos patógenos para cuyo control se ha considerado necesaria la aplicación del fumigante. Se analiza el valor de las alternativas existentes para resolver los problemas fitopatológicos que, hasta ahora, se controlaban con bromuro de metilo.

Palabras clave: Protección vegetal, hongos, nematodos, malas hierbas, ozono

Introducción

Los problemas relacionados con la retirada del bromuro de metilo (BM) como fumigante del suelo para el control de hongos y nematodos patógenos de las plantas, por su gran impacto sobre la capa de ozono, en la mayoría de los casos, se ha analizado de modo general. La planificación de los calendarios para la retirada del BM y la búsqueda de alternativas, se ha enfocado teniendo en cuenta aspectos sociales y económicos, lo que únicamente ha permitido hacer diferencias entre países desarrollados y en vías de desarrollo (MBTOC, 1995). Es necesario que en agricultura, como en cualquier otra actividad relacionada con el medio ambiente, se tomen en cuenta además criterios biogeográficos, que deben complementarse con los aspectos sociales y económicos, si se quieren encontrar soluciones más acordes con la realidad agraria y su entorno.

En un análisis biogeográfico, para el caso concreto de la búsqueda de alternativas al BM como fumigante del suelo, podemos establecer en un primer nivel dos elementos claramente diferenciados, representados por una **agricultura de los ambientes templados**, fundamentalmente del hemisferio norte, con excepciones como Nueva Zelanda y gran parte de Australia, y una **agricultura tropical** más representativa del hemisferio sur, que en general se identifica con los países en vías de desarrollo, con excepciones como Florida. Estos dos tipos de agricultura, hasta cierto punto, han tenido un tratamiento diferenciado en la búsqueda de alternativas al BM por el MBTOC (*Methyl Bromide Technical Options Committee*), que es uno de los

comités de asesoramiento del Protocolo de Montreal. Un tercer elemento es la agricultura mediterránea, que integra características de la agricultura tropical y templada.

La **agricultura mediterránea** se ha identificado con la Cuenca del Mediterráneo, olvidándose que en esta región hay algunos países como Egipto y Francia en los que, a pesar de encontrarse en esta cuenca, los ambientes mediterráneos están muy poco representados. Por el contrario, encontramos elementos mediterráneos en otras zonas como Portugal y California en el hemisferio norte, así como en Australia, Chile y Sudáfrica en el hemisferio sur.

Comenzaremos por analizar el consumo de BM, determinando su distribución por países y cultivos, así como los principales patógenos para cuyo control es necesario la aplicación de BM. Posteriormente se estudiarán las posibles alternativas a la fumigación de suelos. En la bibliografía se seleccionan aquellas referencias que recogen, fundamentalmente, las investigaciones realizadas en la región mediterránea.

Consumo de BM en la Región Mediterránea

Según la información recogida por el MBTOC (1995), los países de la región mediterránea consumen 24.239 t al año (Tabla 1). Teniendo en cuenta un consumo mundial de 50.913 t, esto supone aproximadamente la mitad del BM consumido para la fumigación de suelos en el mundo (47.6%), por lo que la situación de la agricultura en esta región debe ser objeto de un análisis y tratamiento muy especial. Esta valoración se ha basado en la encuesta del MBTOC, realizada en 1994 en los 122 países que firmaron el Protocolo de Montreal. Se obtuvieron 39 respuestas (32%), suministrando las empresas que fabrican y aplican el fumigante información sobre otros 9 países, lo que supone un total de 48 países (39.3%). Según el MBTOC (1995) esta encuesta recoge el 89% del consumo mundial de BM como fumigante del suelo, teniendo en cuenta que en 1992 se estimó en 57.407 t los tratamientos de suelos en preplantación y en 75.625 t el total de BM producido.

Para la región mediterránea han contestado la encuesta 16 de los 23 países que pueden considerarse forman parte de esta área (66.7%). No han contestado 7 países: Albania, Argelia, Chipre, Libia, Líbano, Portugal y la antigua Yugoslavia. En la mayoría de estos últimos, debido a su incierta situación socio-política, es muy probable que el consumo de BM sea nulo, es el caso de Albania, Líbano y antigua Yugoslavia, así como Argelia y Chipre. El consumo de Portugal se ha calculado alrededor de 200 t, mientras que es muy posible que Marruecos haya multiplicado su consumo por 3 en los últimos años. El consumo de España es de 4.000 t según la información de los productores de BM, en lugar de las 2.840 t que figuran en la Tabla 1. Por todo ello, puede considerarse que las cifras de consumo de BM recogidas en la Tabla 1 para la región mediterránea son bastante aproximadas.

En las regiones de ambientes mediterráneos, destacan por su consumo: Italia (28,9 %), California (24,4 %), España (11,7 %), Israel (11,2 %) y Francia (6,2 %); en segundo lugar Grecia y Turquía (3,9 %), Australia y Marruecos (2,5 %). Por cultivo sobresalen los tomates (5.257 t, 21.7%), otras hortalizas (5.206 t, 21.5%), fresas (5.193 t, 21.4%) y flores (3.022 t, 12.4%). En Italia destaca el cultivo de tomates con

2.800 t que representa el 53.3 % del total utilizado en la zona mediterránea para el cultivo, el melón con 700 t (62.5 %) y los viveros con 560 t (75.7 %); en California el cultivo de fresas con 2.128 t (41.1 %) y en Israel los pepinos con 340 t (65 %) y los pimientos con 220 t (67.3%).

Tabla 1. Toneladas de BM consumidas en la región mediterránea en 1993 y otros países de clima mediterráneo (MBTOC 1995). No se incluye información sobre Albania, Argelia, Chipre, Líbano, Libia, Portugal y antigua Yugoslavia. No se utiliza BM en Bulgaria y Túnez

Países	Tomate	Hortalizas	Fresa	Flores	Frutales	Melón	VidViveros	Pepino	Pimiento	Tabaco	Citricos	Otros	Total	%	
Cuenca mediterránea															
Italia (1)	2.800	1.050	1.050	700	—	700	¿?	560(*)	—	—	—	140	7.000	28.9	
España (2)	—	1.480	1.260	60(*)	—	—	—	—	—	—	40	—	2.840	11.7	
Israel (3)	200	788(*)	180	745	—	245	—	340	220	—	—	—	2.718	11.2	
Francia (4)	450	225	375	195	—	75	¿?	150(*)	—	—	30	—	1.500	6.2	
Grecia	600	—	—	—	—	—	—	—	100	125	—	—	950	3.9	
Turquia	800	—	—	150	—	—	—	—	—	—	—	—	950	3.9	
Marruecos	400	—	100	—	—	100	—	—	—	—	—	—	600	2.5	
Jordania (5)	—	280	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	280	1.2	
Egipto	—	—	50	—	—	—	—	50	—	—	—	—	100	0.4	
Malta (6)	7	5	8	5	—	—	—	8	7	—	—	—	40	0.2	
Total (A)	5.257	3.828	3.023	1.855	—	1.120	—	710	523	327	125	40	170	16.978	70.1
%	31.0	22.6	17.8	10.9	0	6.6	0	4.2	3.1	1.9	0.7	0.2	1.0		
California (7)	—	758	2.128	950	1.197	—	909	—	—	—	—	—	5.942	24.4	
Australia (8)	—	319	—	146	117	—	—	24(*)	—	—	—	—	606	2.5	
Sudáfrica (9)	—	41	32	71	133	—	—	6	—	170	—	—	453	1.9	
Chile (10)	—	260	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	260	1.1	
Total	5.257	5.206	5.183	3.022	1.447	1.120	909	740	523	327	295	40	170	24.239	
%	21.7	21.5	21.4	12.4	5.9	4.6	3.8	3.1	2.2	1.3	1.2	0.2	0.7		

(*) Modificaciones de la información original del MBTOC: (1) Italia agrupa viveros (350 t) y suelo para macetas (210 t) y en hortalizas, pimientos, berenjena y pepino. (2) España incluye en flores los claveles (50 t) y ornamentales (10 t), en hortalizas los frutales menos cítricos (1.430 t) mas patatas (50 t); recientemente el Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (1997) ha establecido en 4.600 t el consumo de BM en España. (3) Israel engloba en hortalizas: zanahoria (100 t), berenjena (75 t), hierbas aromáticas y condimentos (36 t), legumbres (112 t), huertas (15 t), patatas (400 t) y calabacín (50 t). (4) Francia incluye en viveros (75 t) los sustratos para macetas (75 t), en hortalizas se incluyen pimientos, berenjena y pepinos. (5) Jordania incluye en hortalizas los semilleros. (6) Malta las hortalizas corresponden sólo a berenjena. (7) en California los datos son de 1992 (Liebman y Daar, 1996), las flores incluyen viveros. en hortalizas: batatas (596 t) y zanahorias (162 t) y en frutales: almendros (645 t), albaricoqueros (4 t), cerezo (83 t), ciruelo (85 t), melocotonero (323 t) y nectarinas (57 t). (8) Australia incluye en los viveros la desinfección de turbas (24 t). (9) Sudáfrica incluye en frutales manzanas y peras. (10) Chile incluye en hortalizas tomates, pimientos y guindillas.

En hortalizas se emplean 523 t en el cultivo de pepino fundamentalmente en Israel (340 t), Grecia (125 t) y Egipto (50 t); en pimientos 327 t (1,3%) en Israel (220 t) y Grecia (100 t) y en melones 1.120 t (4.6%) principalmente en Italia (700 t), Israel (245 t), Marruecos (100 t) y Francia (75 t). En el caso concreto de las hortalizas habría que tener en cuenta que en España (1.430 t) no se especifica el cultivo, mientras que las cifras para Italia (1.050 t) y Francia (225 t) engloban pimientos y pepinos.

En frutales se utilizan 1.447 t, la mayor parte (82.7%) en California y está destinado a los cultivos de almendro (645 t), melocotoneros (323 t), ciruelos y cerezos (168 t) y otros frutales de hueso (61 t). En el resto de los países considerados no se utiliza BM en estos cultivos: 250 t corresponden a frutales de áreas templadas (manzanos y perales) de Sudáfrica (133 t) y Australia (117 t) y 40 t (0.2 %) en cítricos en España, cultivos para los que no se utiliza BM en otros países de la cuenca mediterránea. Le siguen en importancia viveros, turbas y sustratos para tiestos (740 t, 3.1 %) -que están obligados a ser fumigados en gran parte por la legislación de la Unión Europea (UE)- y los semilleros de tabaco (295 t, 1.2 %) en Grecia (125 t) y Sudáfrica (170 t). En California se utilizan 909 t (3.8%) en vid, cultivo para el que no se aplica BM en el resto de los países mediterráneos, salvo que el consumo de BM recogidos como otros en Italia (140 t) y Francia (30 t) corresponda a los viñedos.

Por último, los organismos patógenos para cuyo control es necesaria la aplicación de BM se recogen en la Tabla 2. Según el MBTOC (1995) están representados 8 nematodos, 12 hongos, 5 bacterias, 4 virus, 5 artrópodos y 3 especies de malas hierbas. Se observa una gran información sobre organismos patógenos en los países productores de BM (EEUU, Israel y Francia).

Entre los nematodos, resultan sorprendentes las citas de géneros como *Longidorus* y *Paratrichodorus* en el mediterráneo, que son de ambientes templados. El empleo de BM en el control de los géneros *Globodera* y *Heterodera* no es necesario, son nematodos específicos que pueden controlarse mediante rotaciones de cultivos, aunque en países como Israel (400 t) y España (50 t) se emplee el BM en el cultivo de patatas, donde por los bajos precios de producción no es rentable su aplicación, salvo que se trate de campos para la producción de patatas de siembra. No parece necesario emplear BM para el control de *Ditylenchus* y *Pratylenchus*, patógenos de hortalizas y frutales respectivamente, que pueden controlarse con nematicidas convencionales. Se podría concluir que sólo sería necesario el uso de BM en el control de los nematodos del género *Meloidogyne* y los transmisores de virus del género *Xiphinema*. Cuando en la mayoría de los viñedos mediterráneos no se usa BM y hay superproducción de vino en la UE, no parece justificable el empleo de BM en Francia y en otras áreas mediterráneas en el control de *Xiphinema*, que incluyen especies transmisoras de virus de la viña.

El número de hongos fitopatógenos que han sido recogidos en la Tabla 2, para cuyo control el MBTOC considera indispensable la aplicación de BM, necesitaría ciertas matizaciones para España. Así, *Phytophthora*, *Pythium* y *Rhizoctonia* son patógenos para los cuales se dispone de alternativas físicas, químicas y

culturales para su control. Control, por otro lado, innecesario para *Sclerotium rolfsii*, cuya importancia en los cultivos del país es casi anecdótica. En el caso de *Fusarium* y concretamente para alguna de las formas especializadas de *F. oxysporum* se dispone de variedades resistentes de probada eficacia. Resistencias varietales que combinadas con otros fitoquímicos o técnicas culturales, como el injerto, cumplen un papel hasta brillante. Los cultivos en los cuales donde la verticilliosis puede ser preocupante, tienen soluciones -bien es cierto que sólo en algunos casos- a base de resistencias o tolerancias en los vegetales. *Rosellinia* y *Armillaria* esconden, detrás de su parasitismo, técnicas culturales incorrectas: mal drenaje del suelo, por ejemplo. Finalmente, reseñar que es inusual desinfectar los suelos hortícolas para controlar *Sclerotinia sclerotiorum*.

Está demostrado que el BM no parece eficaz en el control de bacterias y virus, existiendo un gran número de alternativas para el control de malas hierbas y artrópodos. Sorprende, por lo inusual, encontrar que las tres virosis de los cultivos hortícolas e industriales reflejados en la Tabla 2, sean tratadas mediante desinfección del suelo.

Tabla 2. Patógenos controlados con BM en áreas con ambientes mediterráneos (MBTOC, 1995)

Patógenos	Francia	España	Israel	C.Medit.(1)	EEUU(2)	Africa(2)
Nematodos:						
1. <i>Ditylenchus</i>	X	X	X	X	X	X
2. <i>Globodera</i>	X	X	—	X	X	X
3. <i>Heterodera</i>	X	—	X	X	X	—
4. <i>Longidorus</i>	—	—	X	—	X	—
5. <i>Meloidogyne</i>	X	X	X	X	X	X
6. <i>Paratrichodorus</i>	—	—	—	X	X	—
7. <i>Pratylenchus</i>	X	X	X	X	X	X
8. <i>Xiphinema</i>	X	—	—	X	X	X
Total	6	4	5	7	8	5
Hongos:						
1. <i>Armillaria</i>	X	X	—	—	X	—
2. <i>Colletotrichum</i>	—	—	—	X	X	X
3. <i>Fusarium</i>	X	X	X	X	X	X
4. <i>Macrophomina</i>	—	—	X	—	X	X
5. <i>Phytophthora</i>	X	X	X	X	X	X
6. <i>Pyrenochaeta</i>	—	—	X	X	X	—
7. <i>Pythium</i>	X	X	X	X	X	X
8. <i>Rhizoctonia</i>	X	X	X	X	X	X
9. <i>Rosellinia</i>	X	X	X	—	X	—
10. <i>Sclerotinia esclerotiorum</i>	X	X	X	X	X	X
11. <i>Sclerotium rolfsii</i>	X	X	X	X	X	—
12. <i>Verticillium</i>	X	X	X	X	X	X
Total	9	9	10	9	12	8

Patógenos	Francia	España	Israel	C.Medit.(1)	EEUU(2)	África(2)
Bacterias:						
1. <i>Agrobacterium</i>	X	X	X	—	X	—
2. <i>Clavibacter</i>	—	—	X	—	—	—
3. <i>Erwinia</i>	X	X	—	—	X	—
4. <i>Pseudomonas</i>	X	X	—	—	X	X
5. <i>Streptomyces</i>	—	—	X	—	—	—
Total	3	3	3	0	3	1
Virus:						
1. Mosaico del pepino	X	X	—	—	—	—
2. Entrenudo corto de la vid	X	—	—	—	—	—
3. Mosaico del Tabaco	X	X	—	—	—	—
4. Bronceado del tomate	X	X	—	—	—	—
Total	4	3	0	0	0	0
Artrópodos:						
1. <i>Agriotes</i>	X	X	—	—	—	X
2. <i>Frankliniella occidentalis</i>	X	—	—	—	—	—
3. <i>Lyriomyza trifolii</i>	X	—	—	—	—	—
4. <i>Otiorhynchus</i>	X	—	—	—	—	—
5. <i>Tetranychus urticae</i>	X	—	—	—	—	X
Total	5	1	0	0	0	2
Malas hierbas:						
1. Hoja ancha	X	X	X	X	X	X
2. Gramíneas	X	X	X	X	X	X
3. Juncia	—	—	X	X	X	X
Total	2	2	3	3	3	3

(1) C. Medit. incluye Grecia, Italia y Turquía; (2) EEUU y África incluyen sólo los patógenos citados en la cuenca mediterránea. No hay información sobre Australia y Chile.

Por todo ello, se considera necesario que la información aportada por el MBTOC (1995) se revise por científicos cualificados, de forma que los criterios de selección de los organismos patógenos para cuyo control es necesario el BM, sean estrictamente científicos.

Alternativas al BM en la Región Mediterránea

Si tenemos en cuenta la información del apartado anterior, no existe en la región mediterránea un sólo cultivo para el que, de modo general, sea necesaria la utilización del BM. En el caso concreto del tomate (5.237 t), hay que destacar el bajo consumo en España, donde sólo se utiliza bajo condiciones controladas y no se emplea en Canarias ni en Extremadura ni en Castilla-La Mancha. En las fresas (5.183 t) Egipto, con una elevada producción, sólo consume 50 t de BM; y en flores (3.022 t) encontramos el ejemplo de Holanda y sobre todo Colombia que han desarrollado técnicas de producción alternativas al uso de BM.

Debido al gran consumo de BM en hortalizas (5.206 t), es necesario que se especifiquen los cultivos, especialmente en el caso de España (1.400 t) e Italia (1.050 t).

Resulta difícil justificar el empleo de 400 t en patatas en Israel, así como su empleo en cultivos como leguminosas (112 t). Semejantes casos son los frutales de hueso y viñedos en California, los frutales templados en Australia y Sudáfrica o los cítricos en España, cultivos todos ellos donde no se utiliza BM en otra parte del mundo. El carácter excepcional de estas aplicaciones es la mejor demostración de que el BM no es necesario en estos cultivos. Sería necesario establecer los usos críticos del BM.

En las alternativas recogidas por el MBTOC (1995) en lo que corresponde a la región mediterránea (Tabla 3), destaca: la utilización de materia orgánica en el control de nematodos (Canullo, 1991; Canullo *et al.*, 1992) y hongos (Gamliel y Stapleton, 1993), control biológico (Rodríguez-Kábana, 1991; Rodríguez-Kábana y Calvet, 1994), efecto de las micorrizas (Perrin, 1991 y Calvet *et al.*, 1993), prácticas culturales como rotación de cultivos, época de plantación, barbecho, cubiertas vegetales y fertilización (Bello *et al.*, 1994), sustratos (Gamliel *et al.* 1989; Anon., 1992), sustratos naturales (Bello *et al.*, 1991, 1993), plantas resistentes e injertos (De Miguel, 1993), solarización (Ben-Yephet *et al.*, 1988; Katan y de Vay, 1991), solarización y materia orgánica (Gamliel y Stapleton, 1993), manejo de la temperatura (Fernández *et al.*, 1993; Bello *et al.*, 1994) y el empleo de cubiertas (Basile *et al.* 1986; Van Wambeke, 1986); y los sistemas de manejo integrado (Rodríguez-Kábana y Canullo, 1992; Bello, Escuer y Arias, 1994), además del control químico.

Tabla 3. Alternativas al bromuro de metilo (MBTOC, 1995)

Prácticas culturales	Materia orgánica
Sustratos	Biofumigación
Rotación de cultivos	Solarización de suelos
Época de plantación	Control biológico
Métodos de siembras	Vapor de agua
Inmersiones	Tratamientos con agua caliente
Barbechos	Cubiertas con plástico
Cubiertas vegetales	Bajas temperaturas
Fertilización y nutrición vegetal	Irradiación
Mejora vegetal e injertos	Alternativas químicas

Por otra parte el MBTOC (1995) ha descrito una serie de ejemplos, como es el caso de la producción de hortalizas en el área del lago Bracciano en la provincia de Roma (Italia), donde se han utilizando alternativas al MB debido a la contaminación de las aguas lacustres que cubren las necesidades de la ciudad de Roma. Se ha ensayado control químico, vapor de agua, solarización, rotación de cultivos, policultivos y control biológico; el tratamiento con vapor de agua se consideró muy caro, se encuentra que la solarización es eficaz en el caso de hongos y malas hierbas, aunque no fue efectivo para nematodos. En general, las alternativas utilizadas en Italia, resultaron eficaces cuando se incluyeron dentro de un programa de producción integrada, el rendimiento de los cultivos no se redujo y los costes de producción fueron mas bajos que utilizando BM.

Otros ejemplos de alternativas eficaces al BM los tenemos en los viñedos de California, donde se utilizan cubiertas vegetales de centeno y alfalfa, pies resistentes a

filoxera y nematodos, aplicación de estiércol, barbecho y rotaciones, antes de plantar el viñedo; en los viveros de ornamentales Ohio (EEUU) se emplea compost (Moore, 1983; Hoitink y Kuter, 1985); en los cultivos de fresa "orgánica" en California se emplean cubiertas vegetales, rotación de cultivos. En este caso, la producción fue del 65% de la convencional, aunque el precio es unas 2 veces superior, de esta forma compensan los bajos rendimientos (Gliessman *et al.* 1990; Welch y Beuntel, 1990; Liebman, 1994).

Conclusiones

La situación del BM en la agricultura mediterránea se debe analizar por separado, incluyendo, no sólo los países de la cuenca mediterránea, sino también los otros ambientes mediterráneos de California, Chile, Australia y Sudáfrica. **El BM usado en la región mediterránea en fumigación de suelos alcanza la mitad del consumo mundial.**

Del BM consumido en la región mediterránea, la mayor parte (85.2%; 20.648 t) corresponde a hortalizas (7.186 t), incluyendo melón, pepino y pimiento, principalmente Italia (1.750 t) e Israel (1.592 t); tomates (5.257 t) principalmente Italia (2.800 t), fresas (5.183 t) principalmente California (2.128 t) y flores (3.200 t).

Hay cultivos **donde la utilización de BM está muy localizada** en determinados países, como el viñedo y frutales de hueso en California, manzano y peral en Sudáfrica y Australia, cítricos en España, patatas en Israel y España y leguminosas en Israel. **Se deben estudiar los motivos que justifican su utilización en estos cultivos.**

El número de patógenos para cuyo control se considera necesario el uso de BM es muy elevado. **Es necesario revisar la propuesta del MBTOC siguiendo criterios de selección estrictamente científicos.**

Entre las alternativas al BM para ambientes mediterráneos tenemos: prácticas culturales, variedades resistentes e injertos, materia orgánica, solarización, cultivos sin suelo y control químico; siempre que se apliquen dentro **de modelos de gestión integrada de cultivos.**

Existe un gran número de ejemplos donde no se emplea BM como son los tomates en ciertas regiones de España y las fresas en Egipto, así como alternativas viables para flores en Holanda y Colombia. Se deben estudiar los casos donde no se utiliza BM, para conocer los mecanismos de autorregulación de los agrosistemas. No existe un sólo cultivo donde sea imprescindible la utilización del BM en todos los países de ambiente mediterráneo. **Es necesario establecer los usos críticos para el empleo de BM**, que permitan ajustar a cada caso muchas de las alternativas probadas en otras partes del mundo e incluso idear otras nuevas, sin que por ello se resienta la producción.

Abstract

The ban on methyl bromide (MB) as a soil fumigant due to the impact that it is causing to the ozone layer, demands a deep analysis of the effect of the new situation

on Mediterranean agricultural systems in order to find solutions and alternatives more in accordance with the agrarian reality of this region. The region includes not only the countries in the Mediterranean basin, but also California, Australia, Chile and South Africa. Methyl bromide consumption is broken down by countries and crops, with an indication of the pathogens whose control necessitates the application of this fumigant. The value of existing alternatives to solve phytopathological problems, that up to now relied on methyl bromide application, is analyzed.

Keywords: Plant protection, fungi, nematodes, weeds, ozone

Agradecimientos

J. A. González, J. A. López, A. Gala y C. Martínez por su colaboración en la elaboración del trabajo. El trabajo se ha realizado dentro del proyecto AMB 95-0428-C02-01 "Modelos no contaminantes alternativos al tratamiento de suelos con bromuro de metilo".

Bibliografía

- Anonymous. 1992. *Proceeding of the International Workshop on Alternatives to Methyl Bromide for Soil Fumigation*. U.N. Environment Programme. 19-21 October 1992, Rotterdam; 22-23 October 1992, Rome/Latina.
- Basile M., F. Lamberti, V.A. Melillo, A.C. Basile. 1986. Influencia del metodo di somministrazione e della qualita della copertura sull'efficacia del bromuro di metile nei confronti di nematodi "Longidoridae" e sulle concentrazioni di bromuro inorganico nel terreno. *Rivista Ortoflorofruitticoltura Italiana* 70, 193-203.
- Bello A., M. Escuer, M. Arias. 1994. Nematological problems, production systems and mediterranean environments. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin* 24, 383-391.
- Bello A., J.A. González, M. Bun, J. Domínguez, J. López Cepero, C.M. Rodríguez, J. Tello. 1993. Interés agroecológico de las solarización de un substrato de pumitas en Canarias. *XII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo* 1608-1615.
- Bello A., J.A. González, A.M. Korayem, S.R. Gowen. 1994. *Meloidogyne javanica* management on banana in the Canary islands. *Nematropica* 24, 73.
- Bello A., C.M. Rodríguez, J. López Cepero, J.A. González. 1991. Sistemas productivos y nematodos del suelo en cultivos de papas sobre pumitas. *XVII Reunión Nacional de Suelos*, Universidad de La Laguna, Islas Canarias 153-163.
- Ben-Yephet J., M. Melero-Vera, J.E. De Vay. 1988. Interaction on soil solarization and methamsodium in the destruction of *Verticillium dahliae* and *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum*. *Crop Protection* 7, 327-331.
- Calvet C., J. Pera, J.M. Barea. 1993. Growth response of marigold (*Tagetes erecta* L.) to inoculation with *Glomus mosseae*, *Trichoderma aureoviride* and *Pythium ultimum* in a peat-perlite mixture. *Plant and Soil* 148, 1-6.
- Canullo G.H. 1991. *Use of Slow-Release N Amendment and Furfural to Control Sclerotium rolfsii*. *Studies on Changes on Population of Microorganism*. Auburn University, Ph.D., Thesis, 119 pp.

- Canullo G.H., R. Rodríguez-Kábana, J.W. Kloepper. 1992. Changes in populations of microorganisms associated with the application of soil amendments to control *Sclerotium rolfsii* Sacc. *Plant and Soil* 144, 59-66.
- Fernández C., J. Pinochet, A. Felipe. 1993. Influence of temperature on the expression of resistance in six *Prunus* rootstocks infected with *Meloidogyne incognita*. *Nematropica* 23: 195-202.
- Gamliel A., J. Katan, Y. Chen, A. Grinstein. 1989. Solarization for the recycling container media. *Acta Horticulturae* 255, 181-188.
- Gamliel A., J.J. Stapleton. 1993. Effect of chicken compost or ammonium phosphate and solarization on pathogen control, rhizosphere microorganisms, and lettuce growth. *Plant Disease* 77, 886-891.
- Gliessmen S.R., S.L. Swezey, J Allison, J. Cochran, J. Farrell, R. Kluson, F. Rosado-May, M. Werner. 1990. Strawberry production systems during conversion to organic management. *Calif. Agric.* 44, 4-7.
- Hoitink H.A.J., G.A. Kuter. 1985. Effect of compost in container media on diseased by soilborne plant pathogen. *Acta Horticulturae* 172, 191-197.
- Katan J., J. E. de Vay. 1991. *Soil Solarization*. Boca Raton, Florida, CRC, 267 pp.
- Liebman J. A. 1994. Alternatives to methyl bromide in California strawberry production. *IPM Practitioner* 7, 1-12.
- Liebman J. A., S.Daar. 1996. Alternatives to methyl bromide in California grape production. En: W.Quarles, S. Daar (Eds). *IPM Alternatives to Methyl Bromide*. Bio-integral Resource Center, Berkeley, California, 1-12.
- MAPA. 1997. Memorandum Justificativo de la Propuesta Relativa a Mantener en la Unión Europea el Calendario de Viena para la Eliminación del Bromuro en Agricultura. *Dir. Gral de Sanidad de la Producción Agraria*, Madrid, 17 pp., Anexos I-VI (Sin publicar).
- MBTOC. 1995. *1994 Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee. 1995 Assessment of the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozono Layer*. U. N. Environment Programme, Nairobi, Kenya, 304 pp.
- Miguel A. de 1993. *El injerto herbáceo como método alternativo de control de enfermedades telúricas y sus aplicaciones agrónomicas*. Universidad Politécnica de Valencia, España, Tesis Doctoral, 494 pp.
- Moore L.W. 1983. Composted bark, chrysanthemums, and Christmas trees. *Plant Disease* 67, 706.
- Perrin R. 1991. Mycorrhizes et protection phytosanitaire. En: D.G. Strullu (Ed.), *Les Mycorrhizes des Arbres et Plantes Cultivées*. Technique et Documentation Lavoisier, Paris, 93-130
- Rodríguez-Kábana R. 1991. Control biológico de nematodos parásitos de plantas. *Nematropica* 21, 111-122.
- Rodríguez-Kábana R, C. Calvet. 1994. Capacidad del suelo para controlar enfermedades de origen edáfico. *Fitopatologia Brasileira* 19, 129-138.

- Rodríguez-Kábana R., G.H. Canullo. 1992. Protección vegetal en un sistema de producción estable. *Fitopatología Brasileira* 17, 13-17.
- Wambeke E. van. 1986. Soil mulching for chemical soil disinfestation: possibilities and evolution. *Acta Horticulturae* 255, 243-254.
- Welch N. C., J.A. Beutel 1990. *Strawberry production and costs in the central coast of California*. Extension, University of California, 8 pp.

Capítulo 3

ALTERNATIVAS NO QUÍMICAS AL BROMURO DE METILO EN EL CONTROL DE LOS PATÓGENOS DEL SUELO. LÍNEAS PRIORIDADES DE INVESTIGACIÓN

R. RODRÍGUEZ-KÁBANA
Dpto Plant Pathology. Univ. Auburn, Alabama, EEUU

Resumen

Se exponen las ventajas y desventajas del BM como fumigante de suelos en el control de enfermedades de los vegetales de origen edáfico, destacando su acción reductora de la capa de ozono. Entre las alternativas no químicas se describen las enmiendas orgánicas, el control biológico, prácticas culturales, mejora genética, injertos y métodos físicos como vapor de agua y solarización. Se señala que no existe una única alternativa que por si sola permita la eliminación del BM, debiéndose utilizar una serie de combinaciones dentro de un programa de manejo integrado de plagas. Por último, se indica que las investigaciones a corto plazo deben pasar por la incorporación de los conocimientos existentes sobre métodos de control no químicos como alternativas al bromuro de metilo, y, a largo plazo, por estudios de ecología del suelo que nos permitan conocer mejor las causas y la epidemiología de las enfermedades de origen edáfico y desarrollar las investigaciones sobre resistencia y tolerancia de las plantas a los patógenos principales.

Palabras clave: Hongos, nematodos, sustratos, vapor de agua, solarización.

Introducción

La fumigación del suelo con BM, que se utiliza desde 1940, puede considerarse como una técnica de desinfección de suelos contra un amplio espectro de patógenos en preplantación. Debido a sus propiedades físicas y químicas el BM se usa en muchas regiones del mundo siendo eficaz en diferentes tipos de suelo y clima. El gran uso de este fumigante se debe, además, a las técnicas sencillas de aplicación. Las mayores ventajas del uso del BM pueden resumirse en : 1. acción rápida y consistente; 2. su espectro de actividad contra los patógenos del suelo es más amplio que el de cualquier otro tratamiento del suelo excepto el vapor; 3. no se conoce que haya creado resistencia en ningún patógeno; 4. su penetración en el suelo es muy efectiva; 5. puede usarse en suelos con más amplios contenidos de humedad y temperatura que ningún otro tratamiento químico; 6. se elimina rápidamente después del tratamiento. Sin embargo, tiene buen número de desventajas que hacen que su uso sea restringido (Yaga *et al.*, 1993), de ellas, las principales son: 1. alta toxicidad y volubilidad que le hacen peligroso para los trabajadores; 2. reduce la biodiversidad del suelo; 3. los residuos del bromuro originados en el suelo pueden causar problemas en algunos cultivos y países; 4. contamina el aire en zonas próximas a las

de aplicación; 5. puede contaminar el agua en áreas con niveles freáticos altos; 6. problemas de desecho de los plásticos empleados en fumigación; 7. es un reductor de la capa de ozono.

No existe ningún tratamiento químico o no químico conocido que por sí sólo pueda sustituir al BM. Sin embargo, en muchos casos, la combinación de estos métodos, adaptados a cultivos específicos, lugares y otras variables pueden ser usados en sustitución del BM. Holanda y Alemania, en la década de 1981 a 1991, eliminaron completamente el uso del BM para la fumigación del suelo (Mus y Huygen, 1992), empleando alternativas no químicas tales como las técnicas de esterilización por vapor, cultivos sobre sustratos artificiales y naturales, plantas resistentes, rotación de cultivos, y sustitutos químicos como el metam sodio, dazomet y 1,3-dicloropropeno. Pero no hay que olvidar que una estrategia para eliminar el uso del BM debe pasar por el manejo integrado de plagas (IPM), que utiliza una combinación de estrategias y técnicas para prevenir y manejar los problemas de plagas de un modo seguro para el ambiente, al mismo tiempo que son económicamente rentables.

Los métodos no químicos son aquellas técnicas de tratamiento del suelo que no hacen uso de pesticidas para controlar los patógenos de las plantas, así como los métodos de cultivo de plantas sobre sustratos. Entre estos métodos están: el uso de enmiendas orgánicas, el control biológico, diversas prácticas culturales, mejora genética, injertos y métodos físicos. Se analizan a continuación las alternativas no químicas propuestas por el "*Methyl Bromide Technical Options committee*" (MBTOC, 1995), comité consultivo del Protocolo de Montreal, organismo que se preocupa de las sustancias que afectan a la capa de ozono.

Enmiendas orgánicas

La eficacia de las enmiendas orgánicas contra nematodos y otros patógenos del suelo depende de la composición química y propiedades físicas que están determinadas por los microorganismos implicados en su descomposición. Se han ensayado como enmiendas al suelo, para el control de nematodos y otros patógenos de plantas, materiales con alto contenido en nitrógeno que generan amoníaco nematocida en el suelo. La adición de quitina al suelo no sólo genera amoníaco sino también estimula la actividad de la microflora quitinolítica (Rodríguez-Kábana et al., 1990). Muchos microorganismos quitinolíticos son efectivos en el control de nematodos y algunos hongos fitopatógenos. Existen muchos trabajos sobre el uso de enmiendas para el control de patógenos de origen edáfico (Cook y Baker, 1983; Hoitink, 1988). Las posibilidades para el desarrollo de tratamientos supresores de nematodos fitoparásitos y otros patógenos del suelo son tan diversas como los tipos de subproductos de materias primas disponibles para la preparación de enmiendas (Rodríguez-Kábana y Milch, 1991). Para que las enmiendas orgánicas sean eficaces generalmente se requiere añadir grandes cantidades al suelo (>50 tha⁻¹). Por todo ello su empleo está limitado por la disponibilidad de la materia prima y los costos de transporte. Sin embargo, estos tratamientos pueden contribuir al control de plagas de origen edáfico cuando se combinan con otras alternativas, como es el caso de la solarización que incrementa la eficacia de las enmiendas y reduce las cantidades necesarias por hectárea (Gamliel y Stapleton, 1993).

Ciertas plantas contienen toxinas alelopáticas que cuando se liberan en el suelo a través de las cenizas o por biodegradación tras su incorporación al suelo, inhiben el crecimiento de malas hierbas y patógenos. Estas propiedades han llevado al uso de residuos alelopáticos de algunas plantas, como el centeno (*Secale cereale*) y ciertas *Brassica* spp., o al uso de cultivos intercalados o en rotación para impedir el crecimiento de malas hierbas (Thurston et al., 1994).

Algunos sustratos, usados principalmente en floricultura, pueden tener efectos supresores sobre plagas del campo. La supresión y la mejora del crecimiento de las plantas con estos sustratos se debe a las características físicas del compost y a los mayores niveles de microorganismos antagonistas. Los composts de corteza muestran buena actividad antagonista contra *Phytophthora* spp., *Pythium* spp., *Rhizoctonia solani* y varias formas especializadas de *Fusarium oxysporum*. Tales composts pueden usarse directamente en macetas o como fuente de organismos antagonistas para inducir la supresividad en sustratos conductivos de enfermedades (Hoitink, 1988).

El mayor problema en el uso de enmiendas orgánicas es la variabilidad en la composición de las materias utilizadas para su preparación (Stirling, 1991). El contenido en nitrógeno de gallinaza, por ejemplo, puede variar dependiendo de las condiciones de almacenamiento, humedad, temperatura, etc. La estandarización de la composición de las enmiendas, por ejemplo, control de calidad, es un área de desarrollo que requiere la metodología apropiada. Algunas enmiendas orgánicas pueden acumular compuestos perjudiciales y aumentar el nivel de inóculo de algunos patógenos (Cook y Baker, 1983; Rodríguez-Kábana, 1986).

Control biológico

Los organismos del suelo causantes de enfermedades están en equilibrio con otros componentes de la biota edáfica. Existe mucha bibliografía describiendo organismos antagonistas de patógenos de plantas (Belarmino et al., 1994; Cook y Baker, 1983; Mukerji y Grag, 1986; Rodríguez-Kábana y Canullo, 1992a 1992b; Stirling, 1991). La mayoría de los estudios son de naturaleza fenomenológica describiendo organismos o casos en los que un patógeno dado se controla por otro organismo. Sin embargo, hasta la fecha ha habido muy pocos éxitos. La utilización de agentes de biocontrol radica en la especificidad de su actividad. La introducción y establecimiento de un organismo en el suelo requiere que éste se sitúe en un "nicho ecológico libre" o bien que se añada en grandes cantidades en un sustrato colonizado (t ha-1) para sobreponerse a la competición de los organismos autóctonos.

La supresión del suelo contra los patógenos de origen edáfico (por ejemplo: *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani*, *Pythium ultimum*, *Phytophthora* spp., *Thielaviopsis basicola*, etc.) se ha descrito en áreas diferentes (Cook y Baker, 1983; Parker et al., 1985), en estos suelos las enfermedades de origen edáfico no aparecen o son menos severas. En el futuro, el uso de los antagonistas *Fusarium* spp y/o *Pseudomonas fluorescens*, activos contra diferentes formas especializadas de *Fusarium oxysporum* (f.sp. *dianthi*, f.sp. *lycopersici*, f.sp. *cyclaminis*, f.sp. *melonis*, f.sp. *basillicum*) puede permitir el control de fusariosis y otras enfermedades de origen

edáfico. Los tratamientos de suelo y semillas con *Trichoderma* spp. puede proveernos de una buena alternativa para el control del "damping-off" y las pudriciones causadas por *Phytophthora* spp., *Pythium* spp. y *R.solani* (Cole y Zvenyika, 1988). La actividad de estos organismos varía significativamente en diferentes suelos y bajo diferentes condiciones ambientales y culturales.

Rizobacterias estimulantes del crecimiento de las plantas. Otra aproximación al control biológico es la utilización de rizobacterias, especies de bacterias que se desarrollan en y alrededor de las raíces de las plantas (Kloeper et al., 1988). Muchas rizobacterias son antagonistas de patógenos y, lo que es más importante, pueden colonizar las raíces y establecer "barreras biológicas" para impedir la invasión de las raíces por nematodos y otros patógenos. Muchas rizobacterias pueden introducirse en el suelo cubriendo o tapizando semillas. A continuación de la germinación las bacterias se desarrollan sobre las raicillas de las plántulas y ofrecen protección a la planta en los estados más críticos de su crecimiento. Un efecto marginal a los tratamientos con rizobacterias es el hecho observado frecuentemente, de la estimulación del crecimiento de la planta; los términos "Plant Growth Promoting Rhizobacteria" (PGPR) o "Plant Health Promoting Rhizobacteria" (PHPR) se refieren a este fenómeno (Suslow, 1982).

Micorrizas. Con pocas excepciones las raíces de las plantas en la naturaleza se desarrollan en asociación con un conjunto de hongos especializados, las micorrizas (Perrin, 1991). Algunas micorrizas crecen en la superficie y capas externas (ectomicorrizas); otras penetran en las raíces (endomicorrizas). El tipo de micorrizas que se forma depende de la especie de planta y hongo. Estas asociaciones raíz-hongo son en su mayor parte beneficiosas dando lugar a una proliferación de raíces y en consecuencia aumenta la superficie radicular para absorber nutrientes. En suelos donde los nutrientes son abundantes, las micorrizas pueden tener un efecto negativo en la planta. También se conoce que las plantas micorrizadas son más resistentes a determinadas enfermedades de origen edáfico. Existen preparados comerciales disponibles para la inoculación de plantas con micorrizas. Todo ello es importante desde que se ha comprobado que la desinfección de suelos con BM y "otros biocidas de amplio espectro" eliminan los hongos micorrícicos o retardan su desarrollo (Schenck, 1982).

Endofitos. La mayoría de los vegetales tienen diversos microorganismos endofíticos que pueden ser beneficiosos o perjudiciales para las plantas o los animales que se alimentan de ellas (Cook y Baker, 1983). El uso de endofitos no patógenos para controlar o prevenir las enfermedades de las plantas es un tipo de control biológico que se ha desarrollado recientemente. El éxito en la introducción de los antagonistas endofíticos en los cultivos puede eliminar uno de los principales problemas para la aplicación de los agentes de biocontrol, que es su dependencia de determinadas condiciones ambientales, puesto que la planta protege del ambiente al endofito. Esto hace posible mantener el mismo organismo en una planta en un amplio rango de ambientes, puesto que éstos son adecuados para la especie vegetal. Investigaciones sobre pepinos han mostrado que plantas inoculadas con endofitos son resistentes a una serie de fitopatógenos y tienen mayores rendimientos que las plantas cultivadas convencionalmente (Ryder et al., 1994). Los mecanismos que refuerzan la

resistencia del sistema endofito-planta contra los patógenos no se conocen bien, es evidente que el endofito en la planta induce un amplio espectro de respuestas de defensa de ésta a los patógenos.

Prácticas culturales

Los sistemas de producción deben ser diseñados para suprimir las plagas de los cultivos (Rodríguez-Kábana y Canullo, 1992b; Bello et al., 1994). La utilización de sistemas agronómicos adecuados ha permitido la existencia de una producción agrícola sostenible durante siglos en muchas partes del mundo. Entre las muchas prácticas culturales que ofrecen alternativas al uso del BM en el control de plagas de origen edáfico están: la rotación de cultivos, las estrategias de época de plantación, labores profundas, encharcamiento, barbecho, cubiertas, cultivos intercalados, abonos verdes, fertilización y cultivos sobre sustratos.

Rotación de cultivos. La bibliografía sobre el tema es extensa y hay varias revisiones disponibles (Rodríguez-Kábana y Canullo, 1992a, 1992b). En diversas partes del mundo se han descrito rotaciones muy efectivas, con plantas no hospedadoras, para el control de plagas. Se puede incrementar la supresividad de los patógenos con las rotaciones de cultivo, incluyendo en los sistemas de rotación plantas antagonistas con dichos patógenos. El aceite de semilla de colza, por ejemplo, produce metil isotiocianato que es similar a los aceites de mostaza que son fungicidas y nematocidas; estas plantas se han usado en el control de varios hongos fitopatógenos, y nematodos formadores de nódulos y quistes en remolacha, patata y otros cultivos. Los sistemas de rotación de cultivos que incluyen forrajes o pastos pueden ser también efectivos, y son aprovechables puesto que permiten introducir la producción ganadera en el sistema agrario. La inclusión de cultivares resistentes o tolerantes, cuando es posible, en los sistemas de rotación puede ser un modo muy efectivo de controlar los problemas de plagas sin el uso de BM (Rodríguez-Kábana y Canullo, 1992b). Las limitaciones a esta alternativa están en la disponibilidad de suelo, persistencia del inóculo de la plaga, cultivos rotacionales apropiados, infraestructura, experiencia y consideraciones socioeconómicas.

Época de plantación. El conocimiento de la dinámica poblacional de los patógenos sugiere la necesidad de obtener cultivares que puedan ser plantados en los intervalos de tiempo en que el inóculo del patógeno es bajo y/o las condiciones ambientales no son adecuadas para su desarrollo. La eficacia de esta alternativa se ha demostrado en Georgia, EE.UU., donde el efecto de los nematodos formadores de nódulos se mantiene a niveles bajos con la combinación de rotación de cultivos y la plantación temprana para evitar los períodos óptimos de desarrollo del nematodo (Heald, 1987). El uso de esta técnica está limitado a cultivos con poca flexibilidad de comercialización y producción.

Labores profundas. Esta técnica puede reducir el inóculo del patógeno por medio del enterramiento de las estructuras reproductoras y el incremento de la actividad microbiana por la descomposición de los residuos de cosechas. La cantidad de esclerocios de *Sclerotium rolfsii* en el suelo pueden reducirse considerablemente con el enterrado profundo. Esta operación se viene practicando en la producción de

cacahuetes (*Arachis hypogaea*) y otros cultivos en el sureste de EE.UU. para reducir la incidencia de la mustia en el sur (Punja, 1985).

Encharcamiento y manejo del agua. Cuando hay abundancia y disponibilidad de agua, su manejo puede tener efectos beneficiosos en la reducción de nematodos y otras plagas (Hollis y Rodríguez-Kábana, 1966). El encharcamiento fue efectivo en el control de la verticilosis del algodón (Cook y Baker, 1983), pero solamente fue parcialmente útil para el control de la enfermedad de Panamá en bananas (*F.oxysporum* f.sp. *cubensis*) (Stover, 1962). Su eficacia puede aumentar cuando se incorpora materia orgánica al suelo antes del encharcamiento. La actividad microbiana anaerobia da lugar a la producción de metabolitos tóxicos para muchas enfermedades de origen edáfico (Cook y Baker, 1983).

Barbecho. Esta práctica puede ser útil para reducir el impacto de ciertos patógenos por medio de la supresión de los huéspedes y/o sustratos de crecimiento (Cook y Baker, 1983), aunque en algunos casos no es eficaz puesto que muchos patógenos pueden sobrevivir a períodos prolongados de barbecho (ej.: *Verticillium* más de 15 años, *Ospidium* más de 30 años). Un buen barbecho debe evitar las malas hierbas puesto que pueden actuar como huéspedes o reservorios para los patógenos. Es una técnica común en muchas partes del mundo, pero está restringida en áreas de alto valor de la tierra, escasez de suelo agrícola o cuando las plagas son capaces de sobrevivir períodos prolongados de barbecho.

Cultivos de cobertura. Es una práctica que consiste en la siembra de un cultivo no comercial que, a un determinado nivel de madurez, se entierra como abono verde o residuos secos. Por ejemplo, en Florida la producción hortícola de invierno puede estar precedida por un cultivo de cubierta con sorgo de verano (*Sorghum bicolor*), pasto del Sudán (*Sorghum* sp.), veza americana (*Aeschynomene americana*) o índigo peludo (*Indigofera hirsuta*). Esta práctica ha resultado beneficiosa para reducir el efecto de nematodos y otros patógenos del suelo en los cultivos hortícolas (McSorley et al., 1994). Una cubierta viva es un cultivo que se desarrolla simultáneamente con el cultivo principal en un sistema de mínimo laboreo. Las cubiertas pueden suprimir malas hierbas e insectos patógenos sin reducir los rendimientos (Thurston et al., 1994) y producir en los insectos confusión o rechazo debido a los cambios de la luz reflejada, por la pérdida por los insectos de visibilidad debido a la falta de contraste entre el suelo desnudo y el cultivo; incremento de enemigos naturales por servir las cubiertas como hábitat y fuente de alimento.

Fertilización y nutrición vegetal. El mantenimiento de una nutrición vegetal adecuada y equilibrada puede reducir el impacto de las enfermedades de origen edáfico. El tipo de fertilización empleado puede afectar al desarrollo de patógenos y enfermedades. Los nematodos fitoparásitos, por ejemplo, se ven afectados por el uso de urea de fuentes de nitrógeno amoniacal, que está directamente relacionado con la actividad microbiana de los suelos. Las fuentes de nitrógeno amoniacal (por ejemplo amoniaco, carbonato amónico y bicarbonato amónico) pueden reducir los efectos producidos por *Sclerotinia rolfii* en zanahorias y otros cultivos (Punja, 1985). Mejoras en la nutrición del calcio por medio de aplicación de piedra caliza (carbonato cálcico) o yeso (sulfato cálcico) pueden reducir la podredumbre de la vaina (*Pythium*

myriotylum, *Rhizoctonia solani* y *Fusarium* spp.) en cacahuete (Pattee y Young, 1982). En algunos casos, sólo es necesario un cambio de pH para reducir algunas enfermedades del suelo (Cook y Baker, 1983). Estos ejemplos sirven para demostrar cómo se pueden reducir las enfermedades a través de un manejo apropiado de fertilizantes, nutrición y pH del suelo.

Cultivo sobre sustratos. El cultivo artificial sobre sustratos permite cultivar sin fumigar el suelo. Sustratos tales como lana de roca, rocas volcánicas, gránulos de arcilla y bloques de espuma de poliuretano flexible permiten a las raíces absorber nutrientes y agua. Los sistemas de cultivo sobre estos sustratos han demostrado su viabilidad técnica y económica para eliminar totalmente el uso de bromuro de metilo en invernaderos y al aire libre, bajo condiciones climáticas apropiadas. Sin embargo estos sistemas necesitan personal especializado. Los sustratos deben ser desinfectados entre cosechas para evitar el incremento de patógenos (Gamliel et al., 1989). La dispersión de ciertos sustratos puede dar lugar a problemas ecológicos, aunque algunos pueden reciclarse o ser utilizados para mejorar la estructura del suelo. En la mayoría de los casos la inversión necesaria para la técnica de sustratos restringe su empleo en cultivos muy rentables.

En áreas donde existen pumitas u otros materiales volcánicos, se han desarrollado sistemas de producción basados en su capacidad de regulación del calor solar, estos materiales se utilizan para captar las formas de resistencia de los patógenos en las capas superficiales del suelo y eliminarlos por el efecto del calor (Bello et al., 1991).

Mejora genética e injerto

Para la mayoría de las plantas cultivadas existen variedades resistentes o tolerantes a nematodos formadores de nódulos y hongos fitopatógenos como *Fusarium*, *Phytophthora*, *Sclerotinia* y *Verticillium*. Sin embargo, existen limitaciones a la mejora genética, incluso con las actuales técnicas moleculares, puesto que es muy difícil desarrollar cultivares resistentes para varios patógenos. Por otro lado, la inestabilidad de los genes de resistencia en condiciones ambientales desfavorables, p.e. temperaturas altas del suelo, y la aparición de nuevas razas pueden limitar la eficacia de las plantas resistentes. Sin embargo se pueden utilizar con cierta prudencia los cultivares resistentes dentro de un sistema agrícola. Por ejemplo, para prevenir cambios de raza en campos infestados con quistes de *Heterodera glycines*, se han alternado las siembras de cultivares de soja sensibles y resistentes (Riggs y Wrather, 1992). Los cultivares resistentes pueden integrarse dentro de los sistemas de rotación para favorecer la supresión de patógenos (Cook y Baker, 1983).

El injerto de plantas sensibles sobre pies resistentes es un método usado desde antiguo en la producción de frutales. Más recientemente, se han desarrollado técnicas de injerto sobre cultivos anuales (cucurbitáceas, tomates, berenjenas), para conseguir producción sin necesidad de fumigación. El tomate se puede injertar sobre pie de *Solanum torvum* para evitar los efectos de los nematodos formadores de nódulos y la podredumbre bacteriana (*Pseudomonas* spp.). Del mismo modo se pueden injertar melones y pepinos sobre pies de melones silvestres o calabaza, para evitar problemas de *Fusarium* (De Miguel, 1993).

Métodos físicos

Los métodos de control físico de los patógenos de origen edáfico incluye técnicas como el vapor de agua, solarización, uso del fuego y agua caliente. Los únicos métodos prácticos para la esterilización del suelo son aquellos basados en la utilización del calor. Los tratamientos de calor seco y vapor se vienen usando durante más de un siglo para el tratamiento de suelos.

Vapor de agua. La pasteurización del suelo con vapor a temperaturas de 70-80 °C es tan eficaz como el bromuro de metilo (Runia, 1983). La pasteurización del suelo permite la reducción del inóculo del patógeno, manteniendo una proporción significativa de la microflora del suelo como barrera biológica contra la reinfestación por microorganismos indeseables. La esterilización del suelo (>80 °C) puede dar lugar a un "vacío biológico", donde cualquier microorganismo, incluyendo los patógenos, puede recolonizar el suelo esterilizado. Además el tratamiento prolongado del suelo a temperaturas altas (80-120 °C) puede producir la destrucción de su estructura y la liberación de sustancias fitotóxicas procedentes de la materia orgánica. También se ha demostrado que, como consecuencia de tratamientos con temperaturas altas, se liberan metales pesados, p.e. manganeso, con los consiguientes efectos fitotóxicos. En Holanda se ha sustituido la fumigación del suelo con bromuro de metilo por el vapor de agua (Runia, 1983). Actualmente esta técnica se utiliza en diversos países, preferentemente en invernaderos.

Solarización. Es una técnica de desarrollo relativamente reciente (Katan y de Vay, 1991) que consiste en el tratamiento del suelo con calor solar mediante la cobertura con láminas delgadas de plástico transparente durante períodos prolongados. Es una forma de pasteurización en la que no hay esterilización del suelo. La solarización se ha mostrado eficaz en el control de varios patógenos de origen edáfico y otras enfermedades. El inóculo de las plagas, incluyendo las formas resistentes, en suelos húmedos cubiertos con plástico durante al menos cuatro semanas, puede reducirse significativamente e incluso eliminarse, esto influye, no solamente en la reducción del patógeno en el cultivo siguiente, sino también en un significativo incremento de la producción. La forma de acción de la solarización está aún por estudiar, el incremento de la temperatura del suelo es fundamental para la reducción del inóculo, pero existen otros efectos importantes derivados de la actividad microbiana. La solarización es más eficaz en climas secos con pocos días nublados e intenso calor solar. Se utiliza en Grecia, Israel, Italia, España y otros países con condiciones climáticas de tipo mediterráneo. Es cuestionable su eficacia en áreas con pluviometría alta, muchos días nublados o amplias fluctuaciones en las temperaturas diurnas (Grinstein y Hetzroni, 1991). La solarización puede usarse en climas más fríos en invernaderos y túneles de plástico cerrados. Esta técnica se ha desarrollado en el norte de Italia y se utiliza en Japón en más de 2.200 ha de fresón, berenjena, tomate y pepino (Horiuchi, 1991; Katan y de Vay, 1991). La solarización requiere períodos de tratamiento de 4 a 8 semanas, por que puede no ser eficaz cuando no se puede mantener períodos tan prolongados sin cultivo. La solarización ha tenido resultados variables en el control de nematodos fitoparásitos, es efectivo en el control de algunos ectoparásitos y endoparásitos migratorios (*Ditylenchus* spp. y *Pratylenchus* spp.), mientras que, en la mayoría de las veces, no lo es para los formados-

res de nódulos (*Meloidogyne* spp.) (Heald, 1987). No es efectiva para determinadas malas hierbas, p.e. *Cyperus* spp. y algunos hongos fitopatógenos que se localizan en capas profundas del suelo, tales como *Armillaria*. Tanto en la solarización como en la aplicación de bromuro de metilo existe el problema de la destrucción del plástico después del tratamiento, que es un problema importante en determinadas áreas.

La combinación de solarización con otras alternativas como la utilización de enmiendas orgánicas y dosis reducidas de pesticidas es eficaz en el control de nematodos y otras enfermedades de origen edáfico (Gamliel y Stapleton, 1993). Esta combinación de tratamientos puede: 1. acortar el tiempo necesario para la solarización, 2. incrementar la eficacia y consistencia de la solarización contra los patógenos y ampliar su espectro de actividad a los nematodos fitoparásitos y 3. permitir su uso en condiciones de temperaturas bajas.

Fuego y agua caliente. El uso del calor es uno de los métodos más antiguos conocidos en agricultura para el control de malas hierbas. Mientras los primeros agricultores utilizaban directamente el fuego, los productores contemporáneos utilizan la tecnología del calor en forma de mecheros de mano o con tractores o aspersión con agua caliente alimentados con propano y otros derivados del petróleo. Estas técnicas se utilizan en el control de malas hierbas en cultivos de algodón, hortalizas y otros muchos cultivos. En muchos países existen equipos disponibles de fuego a pequeña escala y a escala comercial. La tecnología de aplicación de agua caliente se ha desarrollado recientemente en Nueva Zelanda y EEUU. La inmersión en agua caliente se ha utilizado también con éxito en programas de certificación de plantas para el control de nematodos (Heald, 1987).

Prioridades de investigación en alternativas no químicas (MBTOC, 1995)

A corto plazo (cinco años o menos) es necesario incorporar el conocimiento existente sobre los métodos de control no químico a los sistemas de producción, como alternativa al bromuro de metilo y desarrollar métodos efectivos de transferencia de conocimiento y experiencias sobre alternativas entre diferentes regiones y países.

A largo plazo (más de 5 años) es necesario comprender la ecología del suelo y su relación con la etiología de las enfermedades, epidemiología y supresión de patógenos, enfermedades y malas hierbas en el desarrollo de sistemas de gestión de cultivos. Para ello se deben investigar los siguientes aspectos:

- Efecto de métodos culturales tales como enmiendas orgánicas y rotación de cultivos sobre las poblaciones de patógenos y otros organismos del suelo, en relación con la producción. Desarrollar métodos de producción de enmiendas y técnicas de aplicación para reducir la inconsistencia o variabilidad del grado de control de plagas conseguido con el uso de enmiendas.

- Factores para la protección de raíces por los organismos asociados, tales como rizobacterias, micorrizas y microorganismos endofíticos. Es necesario desarrollar métodos que potencien los organismos de protección de raíces en diferentes suelos.

- La eficacia de los organismos de control biológico potencial y los métodos de aplicación.

Estas investigaciones deben complementarse con otras que permitan evaluar y desarrollar cultivares para la resistencia y tolerancia a los principales patógenos de origen edáfico, para la mayoría de los cultivos afectados por la eliminación del BM.

Abstract

The advantages and disadvantages of MB as a soil fumigant for the control of soil-borne plant diseases are explained, emphasizing its ozone depletion activity. Among the non chemical alternatives, organic amendments, biological control, cultural practices, plant breeding, grafting and physical methods such as solarization and steaming are described. It is pointed out that no single alternative exists which used by itself would permit the elimination of methyl bromide. The integration of multiple alternative technologies in a program of integrated pest management is the best alternative to the use of methyl bromide for soil fumigation. Short-term research must incorporate existing knowledge of non-chemical methods. Long-term research should include studies of soil ecology to obtain precise knowledge of the etiology and epidemiology of soil-borne diseases and to develop research on plant resistance and tolerance to the most important soil-borne diseases.

Key words: Fungi, nematodes, substrates, steaming, solarization.

Bibliografía

- Belarmino L.C., R.M.D. Gomes Carneiro, J.P. Puignau (Eds). 1994. *Control Biológico en el Cono Sur*. EMBRAPA/CPACT, Pelotas, RS, Brasil, 149 pp.
- Bello A., M. Escuer, M. Arias. 1994. Nematological problems, production systems and Mediterranean environments. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*, 24, 383-391.
- Bello A., J.A. González, M. Bun, J. Domínguez, J. López Cepero, C.M. Rodríguez, J. Tello. 1993. Interés agroecológico de las solarización de un substrato de pumitas en Canarias. *XII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*, 1608-1615.
- Bello A., C.M. Rodríguez, J. López Cepero, J.A. González. 1991. Sistemas productivos y nematodos del suelo en cultivos de papas sobre pumitas. *XVII Reunión Nacional de Suelos*. Islas Canarias, Universidad de La Laguna, 153-163.
- Cole J.S., Z. Zvenyika. 1988. Integrated control of *Rhizoctonia solani* and *Fusarium* in tobacco transplants with *Trichoderma harzianum* and triadimenol. *Plant Pathology*, 37, 271-277.
- Cook R.J., K.F. Barker. 1983. The nature and practice of biological control of plant pathogens. *St. Paul American Phytopathological Society*, 539 p.
- Gamliel A., J. Katán, Y. Chen, A. Grinstein. 1989. Solarization for the recycling container media. *Acta Horticulturae* 255, 181-188.
- Gamliel A., J.J. Stapleton. 1993. Effect of chicken compost or ammonium phosphate and solarization on pathogen control, rhizosphere microorganisms, and lettuce growth. *Plant Disease*, 77, 886-891.

- Grinstein A., A. Hetzroni. 1991. The technology of soil solarization. In: J. Katán, J.E. DeVay (Eds) *Soil solarization*. Boca Raton, Florida, CRC Press, 159-170.
- Heald C.M. 1987. Classical nematode management practices. In: J.A.Veech, D.W. Dickson (Eds). *Vistas in Nematology*. Society of Nematologists, Hyatsville, MD., 100-104.
- Hoitink H.A. 1988. Basis for the control of soilborne plant pathogens with composts. *Annual Review of Phytopathology*, 24, 93-114.
- Hollis J.P., R. Rodríguez-Kábana. 1966. Rapid kill of nematodes in flooded soil. *Phytopathology*, 56, 1015-1019.
- Horiuchi S. 1991. Soil solarization in Japan. In: J. Katán, J.E. DeVay (Eds), *Soil solarization*, CRC Press, 216-225.
- Katan J., J. E. de Vay. 1991. *Soil Solarization*. Boca Raton, Florida, CRC, 267 pp.
- Kloepper J., R. Lifshitz, M.N. Schroth. 1988. *Pseudomonas inoculants to benefit plant production*. *ISI Atlas of Science: Animal and Plant Sciences*, 60-65.
- MBTQC. 1995. *1994 Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee. 1995 Assessment of the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer*. U. N. Environment Programme, Nairobi, Kenya, 304 pp.
- McSorley R., D.W. Dickson, J.A. de Brito, T.E. Hewlet, J.J. Frederik. 1994. Effects of tropical rotation crops on *Meloidogyne arenaria* population densities and vegetable yields in microplots. *Journal of Nematology*, 26, 175-181.
- Miguel de A. 1993. *El Injerto Herbáceo como Método Alternativo de Control de enfermedades Telúricas y sus Aplicaciones Agronómicas*. Universidad Politécnica de Valencia, España. Tesis Doctoral, 494 pp.
- Mujerki K.G., K.L. Garg (Eds). 1986. *Biocontrol of Plant Diseases*. Boca Raton, Florida, CRC Press, volumes 1 & 2.
- Mus A., C. Huygen. 1992. *Methyl Bromide: a Notice on the Dutch Environment Situation and Policy*. Ministry of Housing. Physical Planning and the Environment, Hague, 13 pp.
- Parker C.A., A.D. Rovira, K.J. Moore, P.T.W. Wong, J.F. Kollmorgen (Eds), 1985. *Ecology and Management of Soilborne Plant Pathogens*. American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, 358 pp.
- Pattee H.E., C.T. Young. 1982. *Peanut science and technology*. American Peanut Research and Education Society, Yoakum, Texas, 825 p.
- Perrin R. 1991. Mycorrhizes et protection phytosanitaire. In: D.G. de Strullu, *Les Mycorrhizes des Arbres et Plantes Cultivées*. Technique et Documentation Lavoisier, Paris, 93-130
- Punja, Z.K. 1985. The biology, ecology and control of *Sclerotium rolfsii*. *Annual Review of Phytopathology*, 23, 97-127.
- Riggs R.D., J.A. Wrather (Eds). 1992 *Biology and Management of Soybean Cyst Nematode*. APS Press, St. Paul, Minnesota, 186 pp.
- Rodríguez-Kábana R. 1986. Organic and inorganic nitrogen amendments to soil as nematode suppressants. *Journal of Nematology*, 18, 129-135.

- Rodríguez-Kábana R., D. Boube, R.W. Young. 1990. Chitinous materials from blue crab for control of root-knot nematode. II. Effect of soybean meal. *Nematropica*, 20, 153-168.
- Rodríguez-Kábana R., G.H. Canullo. 1992 a. Protección vegetal en un sistema de producción estable. *Fitopatología Brasileira*, 17, 13-17.
- Rodríguez-Kábana R., G.H. Canullo. 1992b. Cropping systems for the management of phytonematodes. *Phytoparasitica*, 20, 211-224.
- Rodríguez-Kábana R., R. Milch. 1991. Composition for biological control of plant pathogenic nematodes. U.S.A. Patent Nº 5057141.
- Runia W.T. 1983. A recent development in steam sterilisation. *Acta Horticulturae*, 152, 195.
- Ryder M.H., P.M. Stephens, G.D. Bowen (Eds). 1994. Improving plant productivity with rhizosphere bacteria. Proceedings Third International Workshop on Plant Growth-Promoting Rhizobacteria. 7-11 May, 1994. CSIRO Division of Soils, Glen Osmond, South Australia, 288 pp.
- Schenck N.C. de. 1982. *Methods and Principles of Mycorrhizal Research*. APS Press, St. Paul, Minnesota, 244 pp.
- Stirling G.R. 1991. *Biological Control of Plant Parasitic Nematodes: Progress, Problem and Prospects*. CAB International, Wallingford, Oxon, 282 pp.
- Stover R.H. 1962. Fusarial wilt (Panama disease) of bananas and other Musa species. Commonwealth Mycological Institute Phytopatology Paper 4, 1-117.
- Suslow, T.V. 1982. Role of root-colonizing bacteria on plant-growth. In: M.S. Mount & G.H. Lacey (Eds), *Phytopatogenic Prokaryotes*. Academic Press, New York, 187-223.
- Thurston H.D., M. Smith, G. Abawi, S. Kearl (Eds). 1994. *Slash/mulch: how farmers use it and what researchers know about it*. CIIFAS, Cornell University, Ithaca, N.Y., 302 pp.
- Yagi K., J. Williams, N.Y. Wang; R.J. Cicerone. 1993. Agricultural soil fumigation as a source of atmospheric methyl bromide. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the U.S.A.*, 90, 8420-8423.

Capítulo 4

CONTROL BIOLÓGICO DE HONGOS DEL SUELO QUE AFECTAN A LAS SEMILLAS Y PLÁNTULAS

I. GRONDONA, M.R. HERMOSA, M.D. GOMIS(*), P. GARCIA BENAVIDES(**),

I. GARCIA-ACHA, E. MONTE

Dpto Microbiología y Genética, CSIC-Univ. de Salamanca

(*) AMC Chemical-Trichodex S.A., San Juan de Aznalfarache. Sevilla

(**) Centro Regional de Diagnóstico, Aldearrubia. Salamanca

Resumen

Algunos hongos del género *Trichoderma* constituyen un buen sistema de control de enfermedades de interés agronómico cuando se utilizan como agentes de control biológico. La aplicación de una formulación con cepas seleccionadas de *T. harzianum* y *T. viride*, directamente al suelo, o sobre semillas ("coating"), plántulas para transplante (sistema "paper-pot") y plantas adultas, mediante diferentes sistemas de riego; nos ha permitido aplicar con éxito los principios del control biológico en enfermedades producidas por hongos y en enfermedades víricas con vectores fúngicos, especialmente en cultivos de remolacha azucarera, lechuga, melón y tomate. En los mejores casos se han obtenido incrementos de producción de un 20%. *Trichoderma* puede desplegar distintos mecanismos de acción: antibiosis, micoparasitismo y competición; por lo que proponemos como alternativa al bromuro de metilo en Agricultura, un sistema de control integrado en dos etapas: la primera incluye solarización más cepas de *Trichoderma*, seleccionadas por su capacidad de competición por colonizar sustratos y asimilar nutrientes. La segunda fase incorporará al cultivo nuevas cepas de *Trichoderma* con acción micoparásita y/o antibiótica. Ambas formulaciones, a base de cepas de *Trichoderma*, han sido patentadas para su aplicación comercial.

Palabras clave: *Trichoderma*, solarización, micoparasitismo, competición, control-integrado.

Introducción

Cuando Turnberg, en 1914, introdujo el término "control biológico" en relación a los patógenos de plantas y árboles, estaba lejos de imaginar que 80 años más tarde el concepto que él había acuñado llegaría a constituir uno de los pilares básicos de la moderna biotecnología. La lucha contra los patógenos utilizando las actividades de otros organismos se conoce como Control Biológico y, referido a insectos, fue definido por Smith (1919), el auténtico pionero de esta disciplina, como la "regulación de la población de una plaga por sus enemigos naturales".

Hoy en día se admite de forma generalizada la definición del Control Biológico enunciada por Baker y Cook (1974) hace más de 20 años: "Reducción de la densidad de inóculo o de las actividades productoras de enfermedad de un patógeno o parásito, en su estado activo o durmiente, mediante uno o más organismos, lograda de

manera natural o a través de la manipulación del ambiente, del hospedador o del antagonista, o por la introducción masiva de uno o más antagonistas”.

No obstante, el desarrollo de la ingeniería genética ha obligado a modificar esta definición para dar cabida dentro del Control Biológico a los cada vez más frecuentes estudios de biología molecular aplicada a la obtención de plantas transgénicas. Así, la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos (NAS USA, 1987a) define el Control Biológico como la “utilización de organismos naturales o modificados, genes o productos génicos, para reducir los efectos de organismos indeseables, y para favorecer organismos útiles para el hombre, tales como cultivos, árboles, animales y microorganismos beneficiosos”.

Objetivos del Control Biológico

El objetivo principal del Control Biológico es reducir las enfermedades y plagas de las plantas por medio de la consecución de tres objetivos particulares: 1) Reducir el inóculo del patógeno a través de medidas que impliquen una supervivencia del mismo más restringida entre las cosechas, una menor producción o liberación de propágulos viables y una menor difusión de los mismos; 2) Reducir la infección del hospedador por el patógeno; y 3) Reducir la severidad del ataque por el patógeno.

Características del Control Biológico

Las diez características más notables del Control Biológico, que lo definen como método de elección para reducir a los enemigos de las plantas, son las siguientes: El Control Biológico no elimina la enfermedad; mantiene al patógeno dentro del equilibrio natural; cada relación planta-patógeno es absolutamente única por lo que las posibilidades del Control Biológico son ilimitadas; debe ser realizado por expertos; si se realiza adecuadamente apenas tiene efectos colaterales; los agentes de control biológico (ACBs) se seleccionan en sistemas autoequilibrados y con alta especificidad respecto al hospedador; no proporciona beneficios inmediatos pero puede ser duradero; es barato e inocuo para la vida en general; se ajusta a diferentes tipos de agricultura; y un ACB puede desplegar más de un mecanismo de control cuya importancia relativa dependerá de las condiciones ambientales existentes.

Estrategias de Control Biológico

Son tres las estrategias fundamentales para llevar a cabo el Control Biológico (Schroth y Hancock, 1981): 1) Explotación del control natural, en aquellos casos en que se pueda disponer de suelos supresores. 2) Introducción o liberación masiva de ACBs (antagonistas). 3) Manipulación del ambiente, en beneficio de aquellos posibles antagonistas presentes en el ecosistema, que pudieran controlar la interacción del patógeno con su hospedador.

Una premisa fundamental que condicionará el éxito o el fracaso del Control Biológico por cualquiera de los métodos descritos, viene enunciada con los objetivos. El Control Biológico no consiste en destruir a los patógenos sino convivir con ellos, reduciéndolos hasta niveles que no nos produzcan daños o, en el caso de producirse, que éstos sean mínimos. Si tenemos presente que la misión de los ACBs

es la de reducir a los patógenos, conviviendo con ellos, sin sustituirlos, estaremos cimentando el éxito de nuestras estrategias de control.

El Control Biológico de una enfermedad infecciosa consistirá, por tanto, en la introducción artificial de microorganismos antagonistas en el patosistema, para controlar el patógeno y favorecer a la planta, reduciendo el inóculo del patógeno o la intensidad de los síntomas y daños posteriores a la infección.

Mecanismos de acción de los antagonistas

Los ACBs pueden actuar, simultánea o separadamente, por medio de cinco mecanismos de acción diferentes:

- **Resistencia inducida:** "Respuesta de la planta, provocada por microorganismos o agentes abióticos que estimulan, después de un primer contacto, una defensa ante ciertos patógenos, a los que la planta antes era sensible". Por el contrario, el término "protección cruzada" se viene aplicando, principalmente, en el control de enfermedades víricas y "consiste en infectar la planta con un microorganismo, con lo cual se suprime o evita la enfermedad causada por otros organismos relacionados". La cepa 45 del virus de la tristeza de los cítricos ha protegido, sólo en Brasil, a más de 10 millones de árboles frente a cepas virulentas del mismo virus.

- **Hipovirulencia:** "Constituye un caso particular de protección cruzada en el que cepas poco virulentas del propio patógeno son capaces de competir con éste, en el ecosistema de la planta". Puede inducirse la hipovirulencia de *Cryphonectria parasitica* que ataca al castaño, por RNA bicatenario que a través de anastomosis entre hifas se transfiere de una cepa hipovirulenta a otra virulenta, con reducción del poder patógeno de ésta. La hipovirulencia se transmite como si se tratara de un virus "defectuoso".

- **Competición:** "Se entiende por competición el desigual comportamiento de dos o más organismos ante un mismo requerimiento, cuando la utilización de éste por uno de ellos reduce la cantidad disponible para los demás". La competición por exclusión es un buen mecanismo de Control Biológico, siendo la más común por nutrientes, oxígeno, espacio físico y luz. *Phialophora graminicola* utiliza los nutrientes de las células corticales de la superficie de la raíz de cereales, compitiendo con *Gaeumannomyces graminis*, reduciendo la incidencia de la enfermedad.

- **Antibiosis:** "Inhibición del crecimiento de un microorganismo por sustancias producidas y liberadas por otro microorganismo". *Pseudomonas fluorescens* produce antibióticos que inhiben *G. graminis* var. *tritici*, *Pythium ultimum*, *Rhizoctonia solani* y otros hongos responsables de caída de plántulas.

- **Parasitismo:** "El parasitismo consiste en la utilización del patógeno como alimento por su antagonista". Generalmente, se ven implicadas enzimas extracelulares. La forma más común es el "**Micoparasitismo**", en el que el patógeno es un hongo. Las enzimas más frecuentes que participan en el micoparasitismo son quitinasas, celulasas, beta-1,3-glucanasas y proteasas que lisan la pared de las hifas, conidios y esclerocios, al ser atraídas por medio de lectinas producidas por el propio patógeno, ayudando a la penetración dentro del hongo hospedador. *Sporidesmium*

sclerotivorum destruye esclerocios de *Sclerotinia* spp. y de *Botrytis cinerea* (*Botryotinia fuckeliana*).

Los factores que habrá que valorar en el tratamiento específico de una enfermedad infecciosa son diversos y deberá tenerse en cuenta los mecanismos de acción citados, el tipo de enfermedad, la estructura o parte de la planta afectada, y la forma más adecuada de aplicación del antagonista. Debemos hablar, por tanto, de Control Biológico de superficies, principalmente hojas, y Control Biológico del tallo, raíz, flores, frutos, semillas y plántulas.

Trichoderma como agente de Control Biológico

Trichoderma es el hongo que con mayor profusión se viene utilizando como ACB (Samuels, 1996). Es un hongo anamórfico hifomiceto que posee una serie de características que lo hacen especialmente interesante para este tipo de actividad: Es ubicuo, fácil de aislar y cultivar, produce una gran cantidad de esporas, crece rápidamente en muchos sustratos, no afecta a las plantas y animales, actúa como micoparásito, compite bien por el alimento y por el espacio, produce antibióticos, y tiene una amplia gama de patógenos susceptibles de ser controlados (Papavizas, 1985).

El potencial antagonista de este hongo se conoce desde hace más de sesenta años. Weindling (1932) observó que *Trichoderma* penetraba y crecía en el interior de *R. solani*. Sin embargo, *Trichoderma* es capaz de actuar como parásito de otros hongos, sin que haya necesariamente contacto físico. *Trichoderma* ha demostrado parasitar hifas de: *Rhizoctonia*, *Sclerotium*, *Sclerotinia*, *Phoma*, *Fusarium*, *Armillaria*, *Colletotrichum*, *Verticillium*, *Venturia*, *Endothia*, *Pythium*, *Rhizopus*, *Diaporthe*, *Phytophthora*, *Fusicladium*, *Helminthosporium*, *Polymyxa*, *Acremonium*, etc.

Trichoderma también es capaz de atacar rizomorfos (*Armillaria mellea*), esclerocios (*R. solani*, *Macrophomina phaseolina*, *Sclerotium rolfsii*, *B. cinerea*, *Sclerotinia sclerotiorum*), y estructuras reproductoras de numerosos hongos.

Dennis y Webster (1971a, b) observaron grandes diferencias en la capacidad de *Trichoderma* spp. para parasitar diferentes patógenos del suelo (de 80 aislamientos de *Trichoderma* estudiados, 10 no se enroscaban alrededor de las hifas de ningún hongo ensayado). Esta observación nos sugiere que un aislamiento de *Trichoderma* tendrá una capacidad antagonista concreta y que su eficacia frente a un determinado patógeno dependerá del patosistema y de las condiciones en que se aplique. Rodríguez-Kábana et al. (1978) demostraron que los enzimas proteolíticos juegan un papel importante en la destrucción de la actividad enzimática de *S. rolfsii*. Sivan y Chet (1989) analizaron distintas actividades de estos hongos (beta-1,3- glucanasas, quitinasas y celulasas), y Geremia et al. (1993) describieron una proteasa que parecía desempeñar un importante papel en el micoparasitismo. La acción de enzimas líticos de *Trichoderma* sobre paredes celulares fúngicas está siendo estudiada a nivel molecular con resultados muy prometedores (Haran, Schickler y Chet, 1996).

Weindling (1934) demostró la existencia de actividad antibiótica (gliotoxina y viridin) en un hongo que él creyó que pertenecía al género *Trichoderma* y que resultó ser un *Gliocladium*. Se han investigado nuevos antibióticos como Acetaldehído, *Trichodermina*,

Dermadin (un ácido monobásico insaturado), Suzukacillin® y Alamethicine® (péptidos con propiedades antifúngicas y antibacterianas), Trichorzianinas, etc.

También se caracteriza *Trichoderma* por ser un buen competidor por el espacio y recursos nutritivos. Su éxito está en función del tipo de suelo, humedad, temperatura, disponibilidad de hierro, nutrientes, etc. La aplicación como competidor con hongos causantes de podredumbre de madera (*Polyporus hirsutus*, *P. versicolor* y *P. adustus* en abedul y *Poria monticola* en pinos) es bien conocida, así como la competición con patógenos foliares: *B. cinerea* en vid, y oidios. La competición indirecta de *T. harzianum* ha sido utilizada por Smith *et al.* (1981) para tratar las heridas del arce rojo, ya que este antagonista compite con *Phialophora melinii* (colonizador pionero de estas heridas, que retira los fenoles de la planta), permitiendo la normal acumulación de fenoles, que son tóxicos para *Fomes connatus*.

Estrategias de Control Biológico con *Trichoderma*

El número de agentes de Control Biológico que dan resultados excelentes en el laboratorio, y que se publican en revistas científicas es muy grande, pero el número de los que son útiles en agricultura es muy pequeño. Según Papavizas (1985), el antagonismo del suelo frente a *Trichoderma* es el factor más importante en la regulación del nivel del posible inóculo de este hongo cuando se aplique en un ambiente natural. Las formas vivas del suelo en su conjunto y la naturaleza física y química del mismo, desempeñan el papel más importante en la reducción del número de propágulos de *Trichoderma*, después de su introducción como agente de Control Biológico.

Es por ello que, para aplicar con éxito el Control Biológico con este microorganismo, deberemos tener en cuenta tres factores fundamentales que ya han sido señalados en apartados anteriores de este mismo trabajo:

- *Trichoderma* puede utilizar simultáneamente varios mecanismos de acción.
- No todos los aislamientos de una misma especie de *Trichoderma* poseen la misma capacidad antagonista cuando se utilizan como ACBs.
- El tratamiento del suelo con pesticidas selectivos, vapor, solarización, y otros métodos de esterilización, pueden modificar el ecosistema hasta el punto de favorecer la proliferación de *Trichoderma*.

Según Mukerji y Garg (1988), el control biológico con *Trichoderma* se puede llevar a cabo:

- Introduciendo el antagonista en el suelo con una base alimenticia, mediante preparaciones comerciales de condios o en polvos, pasta o píldoras de alginato, que contienen biomasa obtenida por fermentación.
- Por tratamiento de semillas. Se requiere menor cantidad de material biológico y el éxito dependerá de los aislamientos utilizados, el tipo de enfermedad, el tipo de cultivo, la edad de los antagonistas, la temperatura y pH del suelo, el tipo de suelo y los microorganismos que existan en él, el estado nutricional del antagonista, la densidad del inóculo en la semilla, el potencial de inóculo del antagonista en el suelo, el momento de la siembra

- Por aplicación a partes aéreas de la planta (en hojas, en heridas de árboles o en el momento de la poda). Estas formulaciones suelen ser líquidas.

Pesticidas y Medio Ambiente

En otros capítulos de este libro se recogen comentarios muy acertados referentes a la aplicación indiscriminada de bromuro de metilo y pesticidas de todo tipo que se vienen utilizando en agricultura con la disculpa de que una agricultura de producción deberá ser rentable, y para hacerla rentable no se puede asumir el riesgo de que existan patógenos que interfieran el logro de esos objetivos. Pero no sólo el bromuro de metilo es causante de contaminación en agricultura.

Hace ya diez años que en un informe de la Academia de Ciencias de los Estados Unidos (NAS USA, 1987b), se señalaba que 12 de 28 pesticidas químicos estudiados eran potencialmente responsables de cáncer (98% de los producidos por agentes fitosanitarios), siendo los pesticidas más peligrosos: Maneb, Zineb, Benomilo, Folpet, Captafol y Captan, y los tratamientos con mayor impacto ambiental: los dirigidos al control de mildius y oidios. Ese mismo informe nos indicaba que el riesgo de contraer cáncer, por cada 10.000 habitantes (edad media: 70 años), era de 8.75 personas por consumo de tomate, 6.49 por consumo de carne de buey, y 5.21 por consumo de patatas.

En 1993, se consumieron en todo el mundo 400 millones de toneladas de productos fitosanitarios, de los que 2.5 millones correspondían a pesticidas químicos con un coste de 20.000 millones de dólares, repartidos en 8.000 mezclas altamente tóxicas de las que al menos 200 son causa potencial de cáncer. Los países industrializados utilizan el 80% de los pesticidas químicos, pero sólo sufren el 1% de las muertes por envenenamiento (40.000 muertes y 5 millones de personas afectadas directamente) (OIT, 1994). Esta actitud, a todas luces insolidaria, se ve paliada por los beneficios económicos del uso indiscriminado de pesticidas contaminantes y nocivos para la salud. Baste citar como ejemplo que un 15% de la producción agrícola se pierde anualmente por la acción directa de los hongos, y que la aplicación de pesticidas químicos supone un buen negocio, ya que por cada dólar USA invertido en pesticidas se obtiene un beneficio directo de 3-5 dólares USA.

***Trichoderma* como alternativa a los pesticidas químicos**

La opinión aceptada sobre el Control Biológico es que es menos efectivo y menos reproducible, pero más seguro que el control químico. Tiene un rango más estrecho de control y puede estar limitado por el cultivo o el ambiente. Para ser sinceros, no deberíamos esperar una variedad muy amplia de control de plagas o enfermedades por los agentes de Control Biológico, los cuales pueden controlar los principales patógenos o complejos de patógenos en los principales cultivos en ambientes muy diversos. Desde que los agentes de Control Biológico son, por naturaleza, más limitados que sus equivalentes químicos, necesitan ser elegidos cuidadosamente, comenzando por una caracterización apropiada y una posterior selección de los diferentes antagonistas de otros hongos (Powell, 1993).

En nuestro laboratorio, venimos trabajando en los últimos diez años en la selección de ACBs del género *Trichoderma*, en especial distintos aislamientos de *T. harzianum* y *T. viride*, en el control de enfermedades producidas por hongos del suelo. En unos casos hemos utilizado aislamientos de *Trichoderma* seleccionados por su poder micoparásito, en otros la selección ha obedecido a la buena capacidad de éstos para competir por un espacio físico o por nutrientes. En muchas ocasiones hemos ensayado combinaciones de cepas de *Trichoderma* poseedoras de una u otra característica, y obtenido muy buenos resultados en el Control Biológico del pie negro de la remolacha azucarera (Pérez de Algaba et al., 1992; Grondona, 1994; Monte et al., 1995), con incrementos de producción de hasta un 20%. Así mismo, nuestros resultados en el Control Biológico de vectores víricos son alentadores. El control ejercido por nuestras cepas de *T. harzianum* sobre *Polymyxa betae*, vector del BNYVV causante de la rizomanía de la remolacha, nos proporcionó un incremento de plántulas de un 9.6 y un 12, 4 %, en relación al estándar químico, en campos con y sin BNYVV, respectivamente (García Benavides y Monte, 1995). Todos estos ensayos se realizaron gracias a un pildorado industrial de semillas de remolacha, por medio de un método puesto a punto por Grondona (1994), en colaboración con los técnicos de SES Ibérica (Zaragoza).

Las técnicas de Control Biológico que venimos utilizando en remolacha azucarera son extensibles a otros cultivos, ya que la protección de las semillas por la técnica de pildorado tiene grandes posibilidades no sólo en la protección frente a hongos fitopatógenos, sino también en el control de vectores de virus como *Olpidium radicale* (hongo transmisor del virus MNSV, responsable del cribado del melón). La utilización, en este caso, de cepas celulolíticas de *Trichoderma* controlará al hongo vector, cuya pared celular está compuesta de celulosa, dificultando la transmisión del virus patógeno.

No obstante, la aplicación exclusiva de *Trichoderma* en semillas reduce su efectividad, limitándola al momento de la siembra. La estrategia de utilización de nuestros ACBs se ha visto modificada con el diseño de una formulación líquida que contiene esporas de *Trichoderma* y permite su aplicación al cultivo mediante riegos sucesivos a dosis diferentes. Los excelentes resultados obtenidos con nuestra formulación en el Control Biológico mediante riego de plantas de remolacha sembradas por la técnica de "paper-pot", con incrementos de peso de un 14.6% y de contenido en azúcar de un 18.1% respecto al testigo sin tratar con *Trichoderma* (Gomis, et al., 1996), nos ha llevado a desarrollar el producto Trichomic® (Patentes nº: 95-02266 y PCT/ES96/00206), comercializado por la empresa Trichodex S.A. (Sevilla).

***Trichoderma* y solarización como alternativa al bromuro de metilo**

Una faceta muy poco explotada del Control Biológico es la competición en el suelo, no dirigida a un patógeno en particular, frente a microorganismos autóctonos ya sean patógenos o no, con objeto de aumentar o favorecer el desarrollo de ACBs que nos puedan interesar por su especial capacidad para controlar una enfermedad. Lógicamente, la colonización por parte del ACB se ve favorecida por métodos de desinfección del suelo que disminuyan la resistencia del sistema edáfico a la instalación en él de un nuevo habitante. Es aquí donde el Control Biológico puede constituir una alternativa al bromuro de metilo en agricultura.

La solarización (Katan et al., 1989), como tratamiento que utiliza el calor solar para la desinfección del suelo, es una técnica que se viene usando con frecuencia en países de clima cálido y soleado (Tjamos et al., 1992). Sin embargo, si no se realiza de forma adecuada se corre el riesgo de que se produzca una recolonización indeseable por microorganismos termorresistentes, o que lleguen al suelo a través del aire, agua, material vegetal, o procedentes de suelos colindantes no desinfectados.

El hecho de que un patógeno pueda desarrollarse con más facilidad, una vez desaparecidos los microorganismos termosensibles que lo acompañan, evitando su desarrollo incontrolado; es un riesgo que no debemos asumir. Son varios los ejemplos existentes en la bibliografía sobre el incremento de una determinada enfermedad después de solarizar un suelo en el que un patógeno causante de la misma ha logrado sobrevivir al tratamiento térmico aplicado. En la Tabla 1 se recogen los datos de un incremento de incidencia de una enfermedad producida por *R. solani* después de solarizar un suelo infestado (6.2%) y no infestado (3.2%) con este patógeno. Igualmente, en la Tabla 2 se muestra cómo un suelo solarizado e infectado con *Pythium* presentó una emergencia de semillas de un 21.2%, inferior al 46.5% respecto al suelo no tratado y 83.7% del suelo solarizado pero no infectado con el patógeno. Estos resultados nos avisan del peligro que presenta una desinfección inadecuada del suelo.

Por los motivos apuntados, nuestra propuesta de alternativa a la aplicación de bromuro de metilo en agricultura pasa por un control integrado, físico y biológico, por medio de solarización y posterior incorporación de un ACB, para el control de enfermedades de semillas y plantas producidas o transmitidas por hongos del suelo. Sin embargo, no debemos olvidar que la solarización no siempre es efectiva para determinados patógenos corriendo el riesgo de que éstos se desarrollen con mayor gravedad.

Tabla 1. Incidencia de la podredumbre ("belly rot") de pepinillos en parcelas solarizadas antes de la plantación, tratados o no con clorotalonil durante el desarrollo de la planta. (Keinath, 1995).

Tratamiento	Incidencia (%)(1)	
	Suelo no infectado	Suelo infectado
Control	7.4 a ⁽²⁾	5.2 a
Solarización	3.2 b	6.2 a
Clorotalonil	3.7 b	2.3 b

(1) Número de frutos enfermos / número total de frutos x100. El análisis se realiza con la transformada $X1/2$; los valores mostrados son medias retrotransformadas. La interacción tratamiento x inóculo fue significativa ($P=0,05$); (2) Los valores dentro de una columna seguidos por la misma letra no difieren significativamente según el test de Waller-Duncan ($P=0,05$) de separación de medias.

Tabla 2. Influencia de la humedad del suelo en el porcentaje de emergencia de semillas de arveja *William Messey* (tipo arrugado) en suelo esterilizado e infectado con *Pythium*, y en suelo tratado (Jauch, 1976).

Humedad (%)	Esterilizado	Esterilizado+ <i>Pythium</i>	No tratado
9.5	81.3	80.2	83.2
11.8	84.0	73.1	84.2
14.5	82.1	40.4	53.8
17.9	83.7	21.2	46.5

Nuestra propuesta pasa por utilizar, en una primera etapa, cepas de *Trichoderma* seleccionadas por su capacidad de competición para colonizar sustratos y asimilar nutrientes. En una segunda fase, una vez asegurada la presencia del antagonista en el suelo, en detrimento de los patógenos potenciales existentes en el sistema edáfico, incorporar al cultivo nuevas cepas de *Trichoderma*, que no tienen que ser necesariamente las mismas, seleccionadas por su acción micoparásita y/o antibiótica frente a uno o varios patógenos implicados en la enfermedad que se pretende controlar. Esta segunda incorporación de ACBs puede efectuarse en el momento de la siembra, por medio de pildorado de semillas y aplicación de microgránulos; o bien por incorporación de los antagonistas a partes aéreas de la planta, a través de riegos sucesivos con una formulación líquida que permita la incorporación eficaz de éstos al patosistema que queremos controlar.

Nuestro convencimiento es que no se puede generalizar sobre las excelencias o limitaciones de un microorganismo concreto como ACB. En la práctica, el Control Biológico requiere de una profunda selección de antagonistas cuyo éxito o fracaso dependerá en gran medida de nuestra habilidad para manejarlos dentro de un patosistema determinado.

Abstract

Several fungi of the genus *Trichoderma* form a good system to control plant diseases of agronomic interest, when used as biological control agents (BCAs). The application of a formula containing spores of selected strains of *Trichoderma harzianum* and *T. viride* directly to the soil, on seeds (coating), seedlings ("paper-pot" system) and full grown plants by means of different watering systems, allowed us to successfully apply the rules of biological control on fungal diseases, as well as on viral diseases transmitted by a fungal vector, affecting crops of sugar beets, lettuce, melons and tomatoes. The best results increased yield up to 20%. Because *Trichoderma* can unfold different mechanisms: antibiosis, mycoparasitism and competition, we propose a two-stage system of integrated control as an alternative to the use of MB in agriculture. The first stage includes solarization plus *Trichoderma* strains selected on the basis of their ability to compete in order to colonize substrates and assimilate nutrients. The second phase incorporates new strains of to the crop with mycoparasitic and/or antibiotic activity. Both types of formulae, based on *Trichoderma* stock, have been patented for commercial use.

Key words: *Trichoderma*, solarization, mycoparasitism, competition, integrated control.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a la Fundación Ramón Areces la financiación del proyecto "Control Biológico de Hongos" con el que se consiguieron los primeros éxitos en el control biológico de caída de plántulas en ambiente natural. Hacemos extensivo nuestro agradecimiento a D. Francisco Pérez Barrera, Director de AMC Chemical-Trichodex S.A., por su apoyo en la búsqueda de alternativas al bromuro de metilo; al CDTI por el proyecto "Bioprocesos Fúngicos"; al Dr. Javier Tello por estimular el debate y discusión durante la exposición oral de este trabajo; y al Dr. Antonio Bello por infundirnos su entusiasmo, inmersos como estamos en una lucha tan ardua y desigual.

Bibliografía

- Baker, K.F., R.J. Cook. 1974. *Biological Control of Plant Pathogens*. Freeman; San Francisco, USA.
- Dennis, C., J. Webster. 1971a. Antagonistic properties of species-groups of *Trichoderma* I. Production of non-volatile antibiotics. *Transactions of the British Mycological Society* 57, 25-39.
- Dennis, C., J. Webster. 1971b. Antagonistic properties of species-groups of *Trichoderma* II. Production of volatile antibiotics. *Transactions of the British Mycological Society* 57, 41-48.
- García Benavides, P., E. Monte. 1995. Control físico y biológico de la rizomanía de la remolacha azucarera. En: *Prácticas Ecológicas para una Agricultura de Calidad*. Consejería de Agricultura y Medio Ambiente; Toledo, 390-400.
- Geremia, R.A., G.H. Goldman, D. Jacobs, W. Ardiles., S.B. Vila, M. Van Montagu, A Herrera-Estrella. 1993. Molecular characterization of the proteinase-encoding gene, *prb1*, related to mycoparasitism by *Trichoderma harzianum*. *Molecular Microbiology* 8, 603-613.
- Gomis, M.D., I. Grondona, J. García Jiménez, E. Monte. 1996. Control Biológico de *Acremonium cucurbitacearum* en cultivos de melón: selección de antagonistas. En *Actas del VIII Congreso de la SEF*. Sociedad Española de Fitopatología; Córdoba, 211.
- Grondona, I. 1994. *Control Biológico del Pie Negro de la Remolacha Azucarera*. Tesis doctoral. Universidad de Salamanca.
- Haran, S., H. Schickler, I. Chet. 1996. Molecular mechanisms of lytic enzymes involved in the biocontrol activity of *Trichoderma harzianum*. *Microbiology* 42, 2321-2331.
- Jauch, C. 1976. *Patología vegetal*. El Ateneo Editorial, Buenos Aires. 200-201.
- Katan, J., J.E. De Vay, A. Greenberger 1989. The biological control induced by soil solarization. En: E.C. Tjamos, C.H. Beckman (Eds.). *Vascular Wilt Diseases of Plants*. Springer Verlag; Berlín, Alemania, 493-499.
- Keinath, A., P. 1995. Reduction in inoculum density of *Rhizoctonia solani* and control of belly rot on pickling cucumber with solarization. *Plant Disease* 79, 1213-1219.
- Monte, E., I. Grondona, A. Pérez de Algaba, P. García-Benavides, I. García-Acha. 1995. Control biológico del pie negro de la remolacha azucarera mediante una formulación industrial

- de *Trichoderma harzianum*. En: *Prácticas Ecológicas para una Agricultura de Calidad*. Consejería de Agricultura y Medio Ambiente; Toledo, 255-262.
- Mukerji, K.G., K.L. Garg. 1988. *Biocontrol of Plant Diseases*. CRC Press; Boca Ratón, USA.
- NAS USA 1987a. *Report of the Research Briefing Panel on Biological Control in Managed Ecosystems*. National Academy of Sciences; Washington.
- NAS USA 1987b. *Regulating Pesticides in Food*. National Academy of Sciences; Washington.
- Organización-Internacional del Trabajo. 1994. *El Trabajo en el Mundo*. OIT; Washington, USA.
- Papavizas, G.C. 1985. *Trichoderma and Gliocladium: biology, ecology and potential for biological control*. *Annual Review of Phytopathology* 23, 23-54.
- Pérez de Algaba, A., I. Grondona, E. Monte, I. García-Acha. 1992. *Trichoderma* as a biological control agent in sugar beet crops. En: D.F. Jensen, J. Hockenhull, N.J. Fokkema (Eds). *New Approaches in Biological Control of Soil-borne Diseases*. European Foundation for Biological Control/International Organization for Biological Control; Copenhagen, Dinamarca, 36-38.
- Powell, K.A. 1993. Is biological control the answer for sustainable agriculture?. *The Mycologist* 7, 75-78.
- Rodríguez-Kabana, R., W.D. Kelley, E.A. Curl. 1978. Proteolytic activity of *Trichoderma viride* in mixed culture with *Sclerotium rolfsii* in soil. *Canadian Journal of Microbiology* 24, 487-490.
- Samuels, G.J. 1996. *Trichoderma: a review of biology and systematics of the genus*. *Mycological Research* 100, 923-925.
- Schroth, M.N., J.G. Hancock. 1981. Selected topics in Biological Control. *Annual Review of Microbiology* 35, 453-476.
- Sivan, A., I.Chet. 1989. Degradation of fungal cell walls by lytic enzymes of *Trichoderma harzianum*. *Journal of General Microbiology* 135, 675-682.
- Smith, H.S. 1919. Some phases of insect control by the biological methods. *Journal of Economical Entomology* 12, 288-292.
- Smith, K.T., R.O. Blanchard, W.C. Schortle. 1981. Postulated mechanism of biocontrol of decay fungi in red maple wounds treated with *Trichoderma harzianum*. *Phytopathology* 71, 496-498.
- Tjamos, E.C., G.C. Papavizas, R.J. Cook. 1992. **B**iological Control of Plant Diseases. En: *Progress and Challenges for the Future*. NATO ASI Series. Plenum Press; Nueva York, USA, 230, 462 pp.
- Weindling, R. 1932. *Trichoderma lignorum* as a parasite of other soil fungi. *Phytopathology* 22, 837-845.
- Weindling, R. 1934. Studies on a lethal principle effective in the parasitic action of *Trichoderma lignorum* on *Rhizoctonia solani* and other soil fungi. *Phytopathology* 24, 1153-1179.

Capítulo 5

MECANISMOS DE DEFENSA EN LAS PLANTAS. PRODUCTOS NATURALES BIOACTIVOS COMO ALTERNATIVA AL BROMURO DE METILO

J. G. LUÍS, J. A. GONZÁLEZ (*)

Instituto Univ. de Bio-Orgánica "Antonio González", La Laguna. Tenerife

(*) Dpto Agroecología, CCMA, CSIC. Madrid

Resumen

El presente trabajo analiza las relaciones que se establecen en el agrosistema entre la planta y los organismos patógenos así como la utilidad de los mecanismos de defensa natural de las plantas para el control de enfermedades. Se describen diferentes tipos de sustancias y reacciones de defensa de las plantas frente a patógenos y su acción, con especial énfasis en la señalización molecular y la respuesta fitoalexínica. Se discute el valor de estos productos para la protección vegetal indicando la necesidad de introducir nuevos criterios, como es la especificidad de los agentes de control, dentro de los planteamientos de protección de cultivos.

Palabras clave: fitoalexinas, defensa química, nematodos, hongos, agroecología

Introducción

La agricultura ha experimentado cambios profundos en los últimos años, debido fundamentalmente al hecho de que las prácticas agrícolas intensivas, apoyadas por un rápido avance tecnológico, han conducido a la degradación de recursos limitados o no renovables como son el suelo y el agua, dando lugar a graves problemas ambientales, uno de los principales, el que se debate en esta monografía. Las técnicas utilizadas hasta ahora en la protección de cultivos han sido las causantes de una parte importante de estos problemas, debido principalmente a que se han basado en unos planteamientos reduccionistas que implican el uso excesivo de agroquímicos con poca o ninguna especificidad.

Por otra parte, un aspecto importante de la protección vegetal es la mejora genética, que tradicionalmente se ha considerado como una alternativa para la reducción de los problemas producidos por los agroquímicos. Sin embargo, los planes de mejora representan una gran inversión económica y en la mayoría de los casos se llevan a cabo en áreas con características agroecológicas muy diferentes de aquellas donde han de utilizarse las nuevas variedades y solamente se han dirigido a la incorporación de unas pocas características en la planta (productividad, resistencia a una cierta enfermedad, resistencia a algún factor ambiental, color y forma, etc.), sin tener en cuenta la pérdida de información durante el proceso de mejora, ni las nuevas deficiencias en la planta mejorada. Esto ha conducido a nuevos planteamientos reduccionistas en agricultura que, en este caso, afectan al ambiente mediante la

aparición de cultivos protegidos, y a las plantas que son por lo general muy productivas o resistentes a un determinado factor biótico o abiótico pero muy sensibles a otros, lo que paradójicamente ha conducido a una mayor exigencia de fertilizantes y empleo de agroquímicos.

Esta situación ha dado lugar al aumento de los costes de producción, incremento de los excedentes agrícolas y mayor deterioro ambiental, que ha conducido a sistemas agrarios no sustentables. La situación ha llegado hasta el punto de que ha sido necesario abordar una reforma de la Política Agraria Comunitaria (PAC), que en el Cuarto Programa Marco de la UE se traduce en un llamamiento para potenciar la investigación sobre las bases científicas y tecnológicas necesarias para la progresiva reorientación de la Agricultura Comunitaria hacia nuevos y menos intensivos sistemas de producción, que sean más respetuosos con el medio ambiente, económicamente viables y que mantengan un nivel suficiente de empleo.

En esta aproximación, la protección de cultivos debe evolucionar dentro de nuevos planteamientos globalizadores, con una proyección multidisciplinar, que necesariamente debe contemplar aspectos ecológicos en el funcionamiento de los distintos sistemas agrarios, a fin de elaborar nuevas estrategias de gestión en el control de los factores adversos para el cultivo, que repercutan en el desarrollo de una nueva agricultura, con menos insumos, más respetuosa con el medio ambiente y que al mismo tiempo sea económicamente rentable.

El agrosistema

* Una característica importante diferenciadora entre un sistema natural y un sistema agrario es que el sistema agrario, a priori, no es un sistema en equilibrio. En efecto, y en el tema que nos ocupa, en un sistema agrario se establecen muchas relaciones entre la planta, otros organismos (incluido el hombre) y el ambiente (aéreo y edáfico), que en muchos casos son perjudiciales para el cultivo. La función más importante de la protección de cultivos debe ser la de contribuir al equilibrio del agrosistema, teniendo en cuenta los planteamientos de Pedro Montserrat (Gómez Sal, 1993), quién define a "un sistema agrario como un ecosistema equilibrado por el hombre". Para conseguir ese equilibrio, uno de los objetivos de la protección vegetal se centra en el conocimiento de las relaciones fundamentales que rigen el sistema, con el fin de poder regularlas en el sentido deseado, evitando el desarrollo de las poblaciones de organismos patógenos.

Dentro del conjunto de relaciones que se establecen entre los componentes de los sistemas agrarios, analizaremos a continuación algunos avances sobre el conocimiento de las relaciones planta-organismo patógeno, con el fin de conocer los mecanismos de defensa de la planta frente a nematodos, hongos y bacterias. Se discutirá la aplicabilidad de estos conocimientos dentro de los nuevos planteamientos en protección de cultivos en un modelo de agricultura sustentable.

Defensa química de constitución

Como consecuencia de los fenómenos de coevolución entre las plantas y los organismos patógenos, las plantas han elaborado una compleja serie de barreras

defensivas capaces de conferirle resistencia frente a las enfermedades. Continuamente se describen nuevas estructuras aisladas de vegetales con actividad nematocida, antifúngica y antibacteriana, veamos algunos ejemplos.

Los principios amargos de las cucurbitáceas, las cucurbitacinas, previenen el desarrollo de pudriciones causadas por *Botrytis cinerea* debido a la facultad de inhibir el enzima lacasa cuya actividad está relacionada con las podredumbres que produce el hongo y con el avance de la enfermedad (Bar-Nun y Meyer, 1990).

Cuatro glicósidos triterpénicos relacionados denominados avenacinas son los responsables de la resistencia de la avena a *Ophiobolus graminis* var. tritici. La línea virulenta de *Ophiobolus graminis* var. avenaei, es capaz de degradar la avenacina mediante el enzima avenacinasa, de esta forma, algunas líneas del hongo son capaces de romper la resistencia (Combrie et al., 1984).

La defensa del arroz frente a *Pyricularia oryzae* se debe a la presencia de ácidos grasos que presentan una alta actividad inhibidora del crecimiento y la germinación de los tubos germinativos de las esporas del hongo (Kato y Yamaguchi, 1983).

En los frutos tropicales tenemos muchos y variados ejemplos de fenómenos de resistencia causados por sustancias químicas de defensa de la planta: la procianidina presente en la planta del cacao (*Theobroma cacao*) inhibe la germinación de las esporas del agente causal de las escobas de bruja (*Crinipellis pernicioso*) y se sabe que las líneas de cacao resistentes tienen un mayor contenido de procianidinas (Brownlee et al., 1990); alcoholes de cadena larga son agentes antifúngicos presentes en la piel de los frutos verdes del aguacate (*Persea* spp), a medida que el fruto madura desaparecen y se producen infecciones naturales por hongos (Adikaran et al., 1992); de igual forma ocurre con los resorcinoles presentes en la piel del mango (*Mangifera indica*), estos compuestos protegen al fruto de la enfermedad de la mancha negra causada por *Alternaria alternata*, que sólo se manifiesta cuando la fruta está madura y los resorcinoles han desaparecido (Droby et al., 1986); en banana parece que son las dopaminas y sus productos de oxidación en los frutos, los que le confieran resistencia al ataque por hongos (Muirhead y Deverall, 1984).

Uno de los agentes antifúngicos de superficie mejor conocidos son los diterpenoides esclerol y epiesclerol de *Nicotiana glutinosa*, un tercer producto antifúngico en la misma planta es el 2-cetoepipimanol, al aplicar este compuesto a la superficie de plantas de cultivares de tabaco sensibles al oidio, se logró suprimir la emergencia de *Erysiphe cichoracearum* evitando la enfermedad (Cohen et al., 1983).

Las flavanonas de la superficie de las hojas juegan un papel importante en la defensa frente a hongos, la sakuranteina se encuentra sólo en las glándulas del haz de las hojas de *Ribes nigrum* y es un potente inhibidor de la germinación de conidias de *Botrytis cinerea* (Hargreaves et al., 1982). Este tipo de compuestos forman también parte importante de las defensas de superficie en *Lupinus* spp. frente a hongos, las isoflavonas luteona y wighteona inhiben el crecimiento del hongo *Helminthosporium carbonum* (Harborne et al., 1976). De la misma forma, se ha prestado atención a los agentes antifúngicos de la superficie de las raíces en *Lupinus* spp de la que se han aislado 20 isoflavonoides y 5 coumarano cromonas, los compuestos luteona y licoisoflavona fueron los de mayor actividad inhibitoria frente a *Cladosporium herba-*

rum (Tahara et al., 1985). Sin embargo, algunos de estos compuestos de defensa de superficie son susceptibles de ser detoxificados por ciertos hongos, así, la luteona puede ser metabolizada por *Aspergillus flavus* o por *Botrytis cinerea* (Tahara et al., 1984).

Micotoxinas

Se trata de metabolitos secundarios de origen fúngico que contaminan ciertas plantas como resultado de la infección, estas sustancias suelen ser altamente tóxicas y son un peligro para los animales que se alimentan de plantas contaminadas, por tanto la mayor parte de las investigaciones sobre este tema se han centrado en plantas forrajeras. El grupo de micotoxinas mejor conocido son las aflatoxinas de *Aspergillus flavus*, tóxicas para mamíferos.

Las coronetoxinas son un grupo de micotoxinas (glicolípidos) identificadas como el principio tóxico de *Lolium rigidum* cuando está infectado por la bacteria *Corynebacterium rathayi*. La toxicidad se debe a la interacción de tres organismos: la bacteria es introducida en la planta por el nematodo *Anguina agrostis* que produce agallas en las semillas donde se multiplica la bacteria y produce las toxinas que son muy tóxicas para las ovejas (Frahn et al., 1984).

La presencia de micotoxinas en vegetales tiene implicaciones ecológicas importantes y las relaciones que se establecen no tienen por que ser perjudiciales para la planta, es más, en algunos casos la relación puede ser beneficiosa para ambos organismos. En estos casos la planta puede beneficiarse de la producción de micotoxinas ya que puede evitar los ataques de organismos fitófagos. Por ejemplo, la infección de *Lolium perenne* por el hongo *Acremonium loliae* produce la aparición de micotoxinas como lolitrem B y otras sustancias relacionadas que son potentes neurotóxicos y causan graves problemas a ovejas y vacas. La eliminación del hongo en los pastizales parece a priori una buena práctica, sin embargo se ha visto que el hongo no sólo aumenta el vigor del pasto sino que lo protege de plagas de insectos. Se ha encontrado un alcaloide originado por el hongo y que es un potente factor disuasor de la alimentación de insectos (Rowan et al., 1986).

Fitotoxinas

En prácticamente la totalidad de las enfermedades vegetales es posible detectar metabolitos en la planta sintetizados por el patógeno y que son capaces de producir síntomas en la planta hospedadora. Las fitotoxinas tienen una enorme variación estructural, incluso entre las producidas por organismos muy relacionados y que van desde terpenoides, péptidos y quinonas, siendo raro el caso en que un organismo sintetice una única estructura fitotóxica.

La toxina HS del patógeno de la caña de azúcar *Helminthosporium sacchari* (syn. *Drechslera sacchari*) es una mezcla de tres glicósidos sesquiterpénicos. El hongo produce primero unas moléculas relacionadas con las toxinas HS que son formas latentes de éstas y que dan lugar a las toxinas mediante la acción de aglucosidasas (Einhellig y Souza, 1992). *H. carbonum* en maíz produce un tetrapéptido fitotóxico y *H. maydis* produce policetoles de cadena larga (Fisher et al., 1990).

La infección de *Phyllosticta maydis* en maíz, también produce policetoles de cadena larga como fitotoxinas, pero sólo las variedades de maíz que contienen el citoplasma texas-macho-estéril son sensibles.

El género *Alternaria* spp. presenta un enorme polimorfismo estructural en las fitotoxinas que produce (Tabla 1).

Tabla 1. Fitotoxinas de *Alternaria* spp.

Especie	Hospedador	Fitotoxinas
<i>A. alternata</i> f. sp. <i>lycopersic</i>	Tomate	amino alcoholes de cadena larga
<i>A. carthami</i>	Cártamo	compuestos macrocíclicos
<i>A. eichorniae</i>	Jacinto de agua	quinonas ej alteichina
<i>A. kikuchiana</i>	Pera japonesa (<i>Pyrus serotina</i> var. <i>culta</i>)	toxinas del tipo de las N-acetilfenilalanina ácidos grasos insaturados C ₁₀
<i>A. citri</i>	Limón y lima	lactonas específicas
<i>A. helianthi</i>	Girasol	toxinas hidroxiprolínicas
<i>A. chrysanthemi</i>	Crisantemo	" "
<i>A. solani</i>	Patata	derivados de pirona y lactona
<i>A. porri</i>	Puerro y cebolla	péptidos cíclicos, benzaxocina y derivados

Una fitotoxina fenólica es la 2,4,8-tetrahidroxitetralona producida por el agente causal de la sigatoga negra (*Mycosphaella fijiensis*) en plátano, el compuesto produce lesiones necróticas en menos de 24h a la concentración de 5µg/ml (Stierlee et al., 1991), se han aislado otras cuatro toxinas: juglona, 2-carboxi-3-ácido hidroxici-námico, ácido iso-ochracínico y 3,4,6,8-tetrahidroxitetralona.

Las fitotoxinas producidas por bacterias están todas basadas en aminoácidos con grupos funcionales característicos. Una fitotoxina bacteriana típica es la coronatina que induce clorosis y es producida por *Pseudomonas coronafaciens* pv. *atropurpurea* y pv. *glycinea*. La *Pseudomonas syringae* pv. *tagetis* produce una fitotoxina que causa clorosis apical en caléndula y zinnia (Mitchell y Young, 1985). La fitotoxina de origen aminoacídico más sencilla caracterizada hasta ahora es la 2S-dihidrofenilalanina que es producida por *Erwinia amylovora* en pera (Feistner, 1988). Otro ejemplo de estructura simple es el ácido tenuazónico producido por *Pyricularia oryzae* que inhibe el crecimiento de las plantas de arroz, interfiriendo en la síntesis proteica, un estudio de estructura-actividad mostró que el compuesto natural era la estructura óptima para fitotoxicidad (Lebrun et al., 1988).

Existe un gran interés en el estudio de micotoxinas producidas por los hongos y bacterias que atacan a malas hierbas ya que tienen un alto potencial en el desarrollo de nuevos herbicidas. De estas sustancias, tienen interés: la bipolaroxina, fitotoxina producida por el hongo patógeno de la hierba de bermuda (*Cynodon dactylon*) (Sugawara et al., 1985); la hexeroilona producida por *Exserohilium holmii*, hongo patógeno de la mala hierba *Dactyloctenium aegypticum* (Sugawara et al., 1985) y el derivado indólico simple tryptofol, fitotoxina de *Drechslera nodulosum* patógeno de *Eleusine indica* (Sugawara y Strobel, 1987).

Las fitotoxinas producidas por los organismos patógenos en sus hospedadores, pueden tener otras actividades que confieran ventaja ecológica al microorganismo, y de forma colateral pueden proteger a la planta infectada del ataque de otro patógeno. Este parece ser el caso de *Epichloe typhina* patógeno de *Phleum pratense*, este organismo sintetiza sesquiterpenos micotóxicos que protegen a la planta de la infección por *Clamidosporium phlei* (Martin et al., 1987). Las toxinas producidas por un hongo pueden tener un efecto deletereo para un segundo hongo: *Pythium ultimum* puede controlarse introduciendo en el suelo el hongo *Laetisaria arvalis*, este basidiomiceto secreta un agente alelopático que induce una lisis rápida de las hifas de las especies de *Pythium*, el compuesto se ha identificado como ácido laetisárico (Bowers et al., 1986), este tipo de interacción microbiana se llama alelopatía talofítica.

Señalización molecular

En muchas interacciones planta-microbio hay una fase en la que el microorganismo detecta a la planta hospedadora debido a que ésta libera sustancias que actúan como señales. Se han caracterizado las señales químicas de las agallas en corona de las dicotiledóneas causadas por *Agrobacterium tumefaciens*. La acetosiringona y la α -hidroxiaacetosiringona liberadas por células de tabaco dañadas son capaces de activar la transferencia de T-ADN en *Agrobacterium tumefaciens* que conduce a los síntomas característicos de la enfermedad (Stachel et al., 1985). Los flavonoides son los responsables de la señalización en la simbiosis *Rhizobium-leguminosas*.

Las sustancias que estimulan el parasitismo en plantas por animales patógenos se han estudiado mucho pero han tenido poco éxito. El ácido eclípico, es el factor liberado por las plantas de patata y que induce la eclosión del nematodo de quiste *Globodera* spp. A pesar de los muchos años de investigación sobre el tema, el ácido eclípico no se ha caracterizado en su totalidad. Sin embargo, la estructura de uno de estos compuestos sí se ha caracterizado, se trata de la glicinoeclépinina A que es el estimulante natural de la eclosión del nematodo de la soja *Heterodera glycines*. Hizo falta partir de 1000 kg de raíces de judía para obtener sólo 1.25 mg de la sustancia. La glicinoeclépinina A es un pentanortriterpeno (Fig. 1) relacionado con el cicloartano y que es activo a una concentración de 10^{-11} - 10^{-12} g/cm³ (Fukusawa et al., 1985).

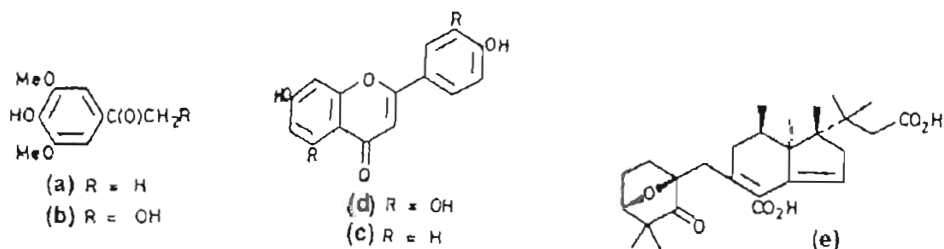


Figura 1. Estructura de la glicinoeclépinina A

La respuesta fitoalexínica

Las fitoalexinas son un grupo de productos naturales que se producen *de novo* en los tejidos vegetales como respuesta a factores físicos, químicos ó biológicos. Se trata de un grupo de sustancias muy diversas estructuralmente que incluyen terpenos, furanocumarinas, flavonoides, poliacetilenos y proteínas entre otros muchos, todos tienen en común actividad antimicrobiana y el acumularse como respuesta a una infección.

La producción de glicoproteínas ricas en hidroxiprolina (HRGP) representa la respuesta fitoalexínica más extensamente estudiada, muchos son los factores capaces de inducir su síntesis (trauma, calor, herbívoros, virus). Las plántulas de melón infectadas por *Colletotrichum lagenarium* agente causal de la antracnosis, acumulan HRGP en sus paredes celulares (Toppan et al., 1982). La infección de plántulas de pepino con una línea atenuada de *C. lagenarium* le confiere resistencia de forma que una infección posterior por una línea virulenta no tiene éxito (Kuc, 1983). La síntesis de HRGP tiene analogía con la síntesis de otras proteínas denominadas de "shock" térmico (HSproteins) que se producen en plantas cuando se someten a altas temperaturas. Se ha logrado inducir resistencia en pepino a *Cladosporium cucumerinum* al someter las plántulas a un choque térmico de 50 oC por 40 segundos. La resistencia se desarrolla en 15 a 21 horas después del tratamiento con calor y parece debida a cambios en la pared celular y particularmente a una aumento en la síntesis de una HRGP de la pared, la extensina (Stermer y Hammerschmidt, 1987). Por lo general las HRGP se encuentran en pequeña cantidad en los tejidos sanos pero un inductor adecuado es capaz de producir un espectacular aumento de su concentración. Al inocular hojas de tabaco con el virus del mosaico se producen unas 13 proteínas diferentes, una de ellas con actividad 1,3-b-glucanasa incrementa su concentración en unas 20.000 veces (Pierpoint, 1986). Otra proteína tiene actividad quitinasa, y se sabe que las quitinasas vegetales tienen una potente actividad inhibidora del crecimiento fúngico (Schlumbaum et al., 1986).

La camalexina (Fig. 2.a) y su derivado metoxilado (Fig. 2.b) son fitoalexinas de la crucífera *Camalina sativa* (Browne et al., 1991), la estructura de la camalexina es muy parecida al fungicida sistémico sintético tiabendazol (Fig. 2.c), la naturaleza había llegado hace mucho tiempo a la síntesis de un fungicida tiopirrólico para el control de los hongos patógenos.

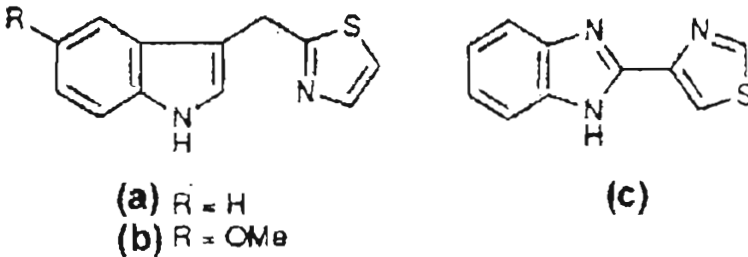


Figura 2. Fitoalexinas y compuestos análogos de *Camalina sativa*

Se han estudiado los procesos de reconocimiento y transducción de la señal en la respuesta fitoalexínica en plantas. Se ha encontrado que el glicol fúngico politrán L, es un inductor muy eficiente de fitoalexinas en soja, pimiento y guisante (Bhandal y Paxton, 1991). La proteína extracelular de *Phytophthora cryptogea* criptogea induce la respuesta hipersensible y la síntesis de capsidiol en hojas de tabaco (Milat et al., 1991).

Se sabe que las plantas de plátano (*Musa acuminata*) afectadas por los hongos *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* raza 4 (agente causal del mal de Panamá en cultivares Cavendish) o por *Mycospherella fijensis* (agente causal de la sigatoga negra) o incluso mediante elicitación con canamicina responden al ataque mediante la síntesis de fitoalexinas tipo fenil-fenalén-onas (Fig. 3), los cultivares de plátano resistentes al mal de Panamá (Golden finger) contienen altas concentraciones de estas sustancias. Las fenil-fenalén-1-onas son raras en el reino vegetal encontrándose sólo en algunas plantas de la familia *Haemodoraceae*. Se ha comprobado que este tipo de moléculas inhiben la germinación y el crecimiento del agente causal del mal de Panamá y otras razas y formas de *F. oxysporum* con diferente grado de virulencia (Fletcher, 1994) y recientemente este tipo de moléculas han sido descritas por primera vez como fitoalexinas (Luis et al., 1994), acuñándose para ellas el término "resistinas" para calificar fitoalexinas (moléculas inducibles) que confieren resistencia frente a un determinado patógeno a los cultivares que lo contienen de constitución.

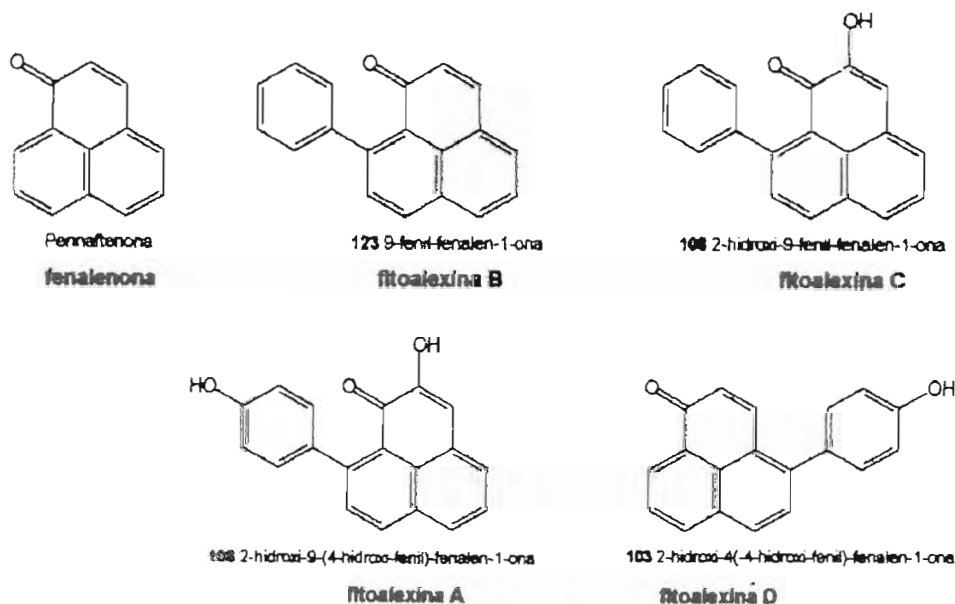


Figura 3. Fitoalexinas tipo fenil-fenalén-1-onas de *Musa acuminata*

De entre las fitoalexinas tipo fenil-fenalén-1-onas, La estructura más activa es la de la fenalenona, la estructura de la molécula tiene la peculiaridad de ser totalmente plana (Fig. 4) con la acetona como único grupo polar. Es posible que la elevada

actividad de la fenalenona frente a hongos se deba a un efecto de intercalación de esta molécula en el ADN, este efecto se ha encontrado en otras moléculas con similares características de planaridad molecular.

De los rizomas de *Musa acuminata* cv Gran enana se han aislado tres moléculas que se consideran como intermediarios en la biosíntesis de las fitoalexinas tipo fenil-fenalenonas formadas *de novo* en platanera (Fig. 5) (Luis *et al.*, 1995). Estas sustancias fueron aisladas junto con las fitoalexinas a partir de 80 Kg de raíz de platanera infectada con *F. oxysporum*.

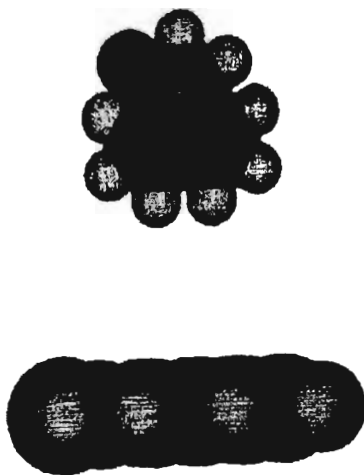


Figura 4. Modelo molecular de la fenalenona

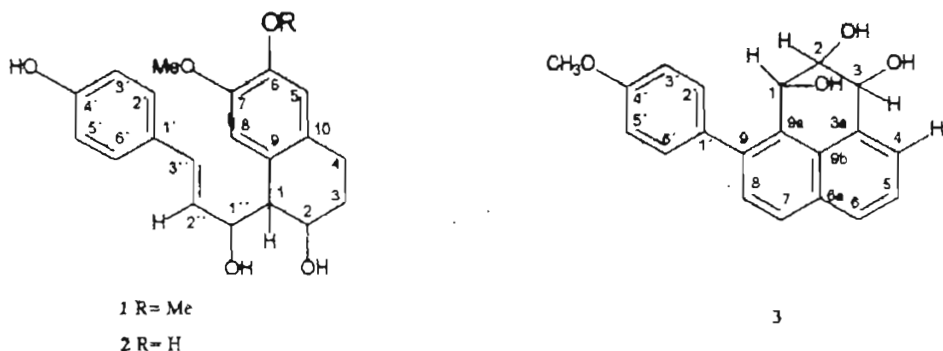


Figura 5. Precursores de fitoalexinas tipo fenil-fenalén-1-onas de *Musa acuminata*

Al tratar la sustancia 1 (Fig. 5) con CH_2Cl_2 y BBr_3 y luego someterla a la acción del agente químico DDQ (2,3-dicloro-5, 6-diciano-1,4-benzoquinona), que simula los procesos de deshidrogenación enzimática, el resultado es la fitoalexina A (Fig. 3) ó emenolona (Fig. 6) (Luis et al., 1995).

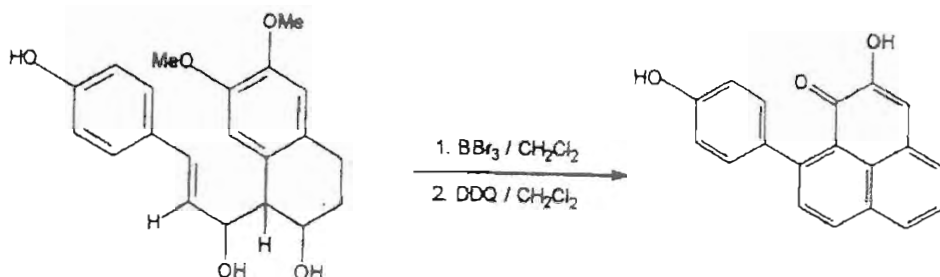


Figura 6. Obtención de la fitoalexina emenolona a partir de los precursores aislados de *Musa acuminata*.

La infección de plantas por nematodos produce estreses y cambios en el metabolismo secundario de las plantas, se ha comprobado que el nivel de aldehidos terpenoides (TAs) tipo gosispol aumenta más rápidamente en plantas de algodón resistentes que en susceptibles después de la inoculación con el nematodo de los nódulos radiculares *Meloidogyne incognita*. El gosispol es tóxico para el nematodo, por lo cual parece que la resistencia del algodón frente al nematodo incluye una respuesta fitoalexínica inducida por el patógeno y que dispara la producción de TAs (Khoshkoo et al., 1994).

El nematodo de quiste de la papa *Globodera rostochiensis* induce la producción en raíces y estolones (no en tubérculo) de lignanos tetrahidrofuránicos (Yoshihara et al., 1982), estructura muy diferente a la de los lignanos comúnmente encontrados en patata. Recientemente se ha comprobado que determinados lignanos como matairesinol y bursehernina (Fig. 7) tienen actividad inhibidora de la eclosión de estos nematodos (Fig. 8) (González et al., 1994). Estas sustancias pueden considerarse como fitoalexinas que son inducidas por la acción del patógeno en patatas infectadas por *Globodera pallida* y *G. rostochiensis*. (González et al., 1995).

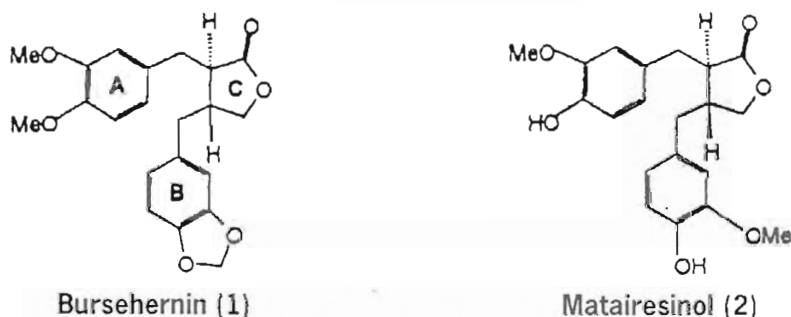


Figura 7. Lignanos con actividad inhibidora de la eclosión de *Globodera* spp.

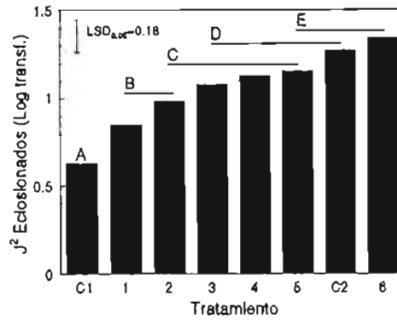


Figura 8. Efecto de lignanos en la eclosión de *Globodera* spp.

Aplicaciones en agricultura

Los estudios encaminados al esclarecimiento de las relaciones que se establecen entre las plantas y sus organismos patógenos tienen gran interés dentro de los nuevos planteamientos en protección de cultivos. Las aplicaciones ya están en las puertas del mercado, ejemplos son: la utilización de herbicidas específicos basados en estructuras parecidas a las producidas por organismos patógenos (micotoxinas); agentes miméticos de señales moleculares o las propias moléculas señal como es la Glicinoeclepipina A que puede ser usada para inducir eclosión de nematodos de quiste en ausencia de huésped; nuevas variedades vegetales que contengan genes potenciadores de sus propias defensas, etc.

Creemos que uno de los aspectos fundamentales que abre este área de estudio es el de la introducción de especificidad en los planteamientos de protección vegetal. En efecto, la mayoría de los productos fitosanitarios del mercado se basan en sustancias con muy poca (fungicidas, acaricidas...) o ninguna especificidad (esterilizantes de suelo incluyendo el BM y nematicidas) y cuya aplicación produce fenómenos de reducción de biodiversidad, vacíos ecológicos y dependencia del cultivo de productos de elevado coste, tanto económico como ambiental. Este fenómeno sumariado en pocas líneas ha convertido a la agricultura en uno de los factores más impactante en el medio ambiente, que se encuentra además limitada en el tiempo y el espacio y que es por lo tanto insustentable.

Los nuevos productos fitosanitarios deben ser específicos y muy activos frente al problema que pretenden resolver, ello puede lograrse mediante un mejor conocimiento y el correcto manejo de las relaciones que se establecen en los sistemas. La protección de cultivos debe basarse en planteamientos globales que incluyan el análisis multidisciplinar del sistema agrario a fin de determinar las estrategias más adecuadas para establecer el equilibrio en el sistema y poder así regular el cultivo en el sentido deseado, evitando el desarrollo de las poblaciones de organismos patógenos.

Abstract

This work analyzes the relationships established in the agrosystem between plant and pathogenic organisms as well as the usefulness of the plants' natural defen-

se mechanisms to control disease. Different types of substances and plant defense reactions to pathogens and their effects are discussed, with especial emphasis on molecular signaling and phytoalexin response. The value of those products for plant protection is discussed, indicating the need to introduce new criteria, such as specificity in the control agents, within the crop protection strategies.

Key words: phytoalexins, chemical defense, nematodes, fungi, agroecology

Agradecimientos

El trabajo se ha realizado dentro del proyecto AMB 95-0428-C02-01 "Modelos no contaminantes alternativos al tratamiento de suelos con bromuro de metilo".

Bibliografía

- Adikaran N.K.B., D.F. Ewing, A.M. Karunaratne, E.M.K. Wijeratne. 1992. *Phytochemistry* 31, 93.
- Bar-Nun N., A.M. Meyer. 1990. *Phytochemistry* 29, 787.
- Bhandal I.S., D.J. Paxton. 1991. *J. Agr. Food Chem.* 39, 2156.
- Bowers W.S., H.C. Hoch, P.H. Evans, M. Katayama. 1986. *Science* 232, 105.
- Browne L.M., K.L. Conn. W.A. Ayer, J.P. Tewari. 1991. *Tetrahedron* 47, 3909.
- Brownlee H., A.R. McEuen, J. Hedger, I.M. Scott. 1990. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 36, 39.
- Combrie L., W.M.L. Combrie, D.A. Whiting. 1984. *J. Chem. Soc., Chem. Com.*, 244-246.
- Cohen Y., H. Eyal, Z. Goldschmidt, B. Sklarz. 1983. *Physiol. Plant Pathool.* 22, 143.
- Droby S., P. Pruski, B. Jacoby, A. Goldman. 1986. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 29, 173.
- Einhellig F.A., I.F. Souza. 1992. *J. Chem. Ecol.* 18, 1.
- Feistner G.J. 1988. *Phytochemistry* 27, 3417.
- Fischer N.H., J.D. Weidenhamer, J.L. Riopel, L. Quijanos, M.A. Menelaou. 1990. *Phytochemistry* 29, 2479.
- Fletcher W.Q. 1994. *Aspectos Químicos, Sintéticos y Biogénicos de Fitoalexinas de "Elicitación" Abiótica y Biótica de Especies de la Familia LAMIACEAE (Salvia) y MUSACEAE (Platanera)*. Univ. La Laguna.
- Frahn J.L., J.A. Edgar, A.J. Jones, P.A. Cockrum, N. Anderson, C.C.J. Culvenor. 1984. *Aust. J. Chem.* 37, 165.
- Fukuzawa A., A. Furusaki, M. Ikura, T. Massamune. 1985. *J. Chem. Soc., Chem. Commun.* 222.
- González J.A., A. Estévez-Braun, R. Estévez-Reyes, I.L. Bazzocchi, L. Moujir, I.A. Jiménez, A.G. Ravelo, A.G. González. 1995. *Experientia* 51, 35.
- González J.A., A. Estévez-Braun, R. Estévez-Reyes, A.G. Ravelo. 1994. *J. Chem. Ecol.* 20, 517.
- Harborne J.B., J.L. Ingham, L. King, M. Payne. 1976. *Phytochemistry* 15, 1485.

- Hargreaves A., G.A. Brown, P.J. Holloway. 1982. in: D.F. Cutler, K.L. Alvin, and C.F. Price (Eds) *Plant Cuticle*, Academic Press, London, 331-340 pp.
- Kato T., Y. Yamaguchi. 1983. *Naturwissenschaften* 70, 200.
- Khoshkhoo N., P.A. Hedin J.C. McCarty. 1994. *J. Agric. Food Chem.* 42, 804.
- Kuc J. 1983. in: J.A. Balley, B.J. Deverall (Eds) *The Dynamics of Host Defence*. Academic Press, Australia, 191-221 pp.
- Lebrun M.H., L. Nicolas, M. Banton, F. Gaudiemer, S. Ranemsujarahary, A. Gaudemer. 1988. *Phytochemistry* 27, 77.
- Luis J.G., W.Q. Fletcher, F. Echeverri, T.A. Grillo, M.P. Kishi, A. Perales. 1994. *Nat. Prod. Lett.* (en prensa).
- Luis J.G., W.Q. Fletcher, F. Echeverri, T.A. Grillo, J.A. González. 1995. *Tetrahedron* 51, 4117.
- Martin J.S., M.M. Martin, E.A. Bernays. 1986. *J. Chem. Ecol.* 13, 606.
- Milat M.L., P. Ricci, P. Bonnet, J.P. Blein. 1991. *Phytochemistry* 30, 2171.
- Mitchell R.E., H. Young. 1985. *Phytochemistry* 24, 276.
- Montserrat P. in A. Gómez Sal. 1993. *Ecosistemas* 7, 10-15.
- Muirhead J.F., B.J. Deverall. 1984. *Aust. J. Bot.* 32, 575.
- Pierpoint W.S. 1986. *Phytochemistry* 25, 1595.
- Rowan D.D., M.B. Hunt, D.L. Gaynor. 1986. *J. Chem. Soc. Chem. Commun.*, 935.
- Schlumbaum A., F. Mauch, U. Vogeli, T. Boller. 1986. *Nature* 324, 365.
- Stachel S.E., E. Messens, M. van Montagu, P. Zambryski. 1985. *Nature* 318, 624.
- Stermer B.A., R. Hammerschmidt. 1987. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 31, 453.
- Stierle A., R. Upadhyay, H. Hershenborn, G.A. Strobel, G. Molina. 1991. *Experientia* 47: 853.
- Sugawara F., G. Strobel, L.E. Fisher, G.D. van Duyne, J. Clardy. 1985. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 82, 8291.
- Sugawara F., K. Sugawara, G. Strobel. 1985. *J. Org. Chem.* 50, 5631.
- Sugawara F., G. Strobel. 1987. *Phytochemistry* 26, 1349.
- Tahara S., J.L. Ingham, J. Mizutani. *Agric. Biol. Chem.* 1985, 49: 1775.
- Tahara S., S. Nakahara, J. Mizutani, J.L. Ingham. 1984. *Agric. Biol. Chem.* 48, 1471.
- Toppan A., D. Roby, M.T. Esquerre-Tagaye. 1982. *Plant Physiol.* 70, 82.
- Yoshihara T., K. Yamaguchi, S. Sakamura. 1982. *Agric. Biol. Chem.* 43, 853.

Capítulo 6

VARIEDADES DE HORTALIZAS RESISTENTES COMO ALTERNATIVAS A TRATAMIENTOS QUÍMICOS

V. CELADA
S & G Semillas, S.A., El Egido. Almería

Resumen

Se analiza la evolución de la mejora genética en los mercados hortícolas tomando como referencia la política de I+D de S&G Semillas, S.A. Se distinguen tres grandes fases que coinciden con los cambios de década: Fase I (hasta 1980): mejora de variedades locales; Fase II (1980-1990) mejora de parámetros de calidad y creación de numerosos centros de selección e integración de España en la CEE y Fase III (después de 1990) satisfacer las necesidades de la cadena de distribución, comercialización de los primeros productos transgénicos y nacimiento de los mercados del Este europeo.

Se considera, en el caso concreto de las alternativas al BM, que la mejora ofrece como solución el aporte de resistencias genéticas fundamentalmente a nematodos, que pueden ofrecerse en forma de híbridos comerciales o de portainjertos compatibles con híbridos de alto valor agronómico y calidad. Se están desarrollando programas para la obtención de portainjertos, fundamentalmente de tomate pero también de otras especies (cucurbitáceas y solanáceas), con una amplia gama de resistencias a patógenos del suelo, adaptados a las condiciones de cultivo de las principales zonas mediterráneas, que exijan un menor uso de agroquímicos.

Palabras clave: Tomates, solanáceas, cucurbitáceas, nematodos, hongos

Introducción

En S&G Semillas (anteriormente Sluis y Groot Semillas, S.A.) se ha vivido muy de cerca la evolución de los procesos, tecnologías, necesidades y tendencias de los mercados, y consiguientemente de la mejora genética de las plantas hortícolas a nivel mundial. Fundamentalmente vamos a analizar la situación europea, si bien se podría extrapolar a América, Oriente Medio y Extremo Oriente, con algunas matizaciones, especialmente de tipo cuantitativo. En Europa, concretamente en la cuenca mediterránea, se pueden distinguir tres grandes fases, coincidiendo con los cambios de década:

Fase I:	Antes de 1980
Fase II:	1980-1990
Fase III:	1990.....

FASE I (antes de 1980). La producción hortícola europea estaba claramente establecida, tanto por razones políticas (no pertenencia de España a la CEE) como técnicas y logísticas. El Norte se autoabastecía en verano, importaba del Sur en invierno, y los países meridionales dedicaban su ciclo de verano fundamentalmente al mercado interior.

A finales de los años 70 comenzó el desarrollo de la industria de invernaderos del Sur de Europa (Almería, Murcia y Canarias en España, Sicilia en Italia, Agadir en Marruecos y Antalya en Turquía). El desarrollo de estas zonas productoras se vio favorecido por una investigación pública, fundamentalmente francesa (INRA) y estadounidense (Davis, Cornell, ...), que colaboraba con el sector productivo, no ya en investigación básica, sino con el desarrollo de productos finales, tanto híbridos (pimiento, berenjena, ...) como de polinización abierta (lechuga, tomate de industria, ...). En esta época la investigación, tanto pública como privada, iba por delante de la producción, que no disponía de la estructura ni canales para demandar de la Investigación los productos que necesitaban los distintos mercados.

Por lo que respecta a la producción hortícola en sí tenía un papel mucho más relevante que el de la distribución, ya que al ser la demanda muy superior a la oferta, prácticamente todo lo producido se podía vender. Es por ello que la distribución, salvo contadas excepciones, era meramente logística, sin prácticamente exigencias cualitativas (packaging, residuos, homogeneidad, ...).

FASE II (1980-1990). A principios de los años 80, la producción mediterránea comenzó a demandar de la I+D,, fundamentalmente de la privada, los productos y tecnologías necesarios para competir efectivamente con los mercados del Norte. De esta forma el Sur de Europa se consolida como un gran centro de producción, que empieza a hacer mella a la rentabilidad de los mercados septentrionales, fundamentalmente por el ataque a los periodos más rentables del Norte, los principios y finales de sus campañas. A ello contribuye la integración de España en la CEE, con lo que mejora la competitividad de la horticultura mediterránea.

La distribución británica se convierte en el líder europeo y en la referencia de calidad, aumentando claramente la demanda cualitativa de la producción mediterránea.

La investigación pública se centra en la investigación básica y cesa el aporte de productos finales a los mercados de producción.

Fundamentalmente en tomate, aparecen las primeras variedades LSL, con una aceptación inmediata por parte de la distribución (que no del consumo) y la producción.

A nivel puramente de investigación, empieza el boom de la biotecnología. Se considera como la panacea universal, que resolverá, casi mágicamente, todos los problemas, fundamentalmente de enfermedades. No se plantean aun ni la comercialización ni las reticencias ideológicas a la misma

FASE III (1990...). A principios de los 90, aumenta enormemente la demanda de calidad, tanto en aspecto como en conservación y sabor de los productos hortícolas. También se desarrolla una conciencia ecológica, por lo que respecta a la producción

y distribución de productos "biológicos". Ello es en parte consecuencia del hecho de que por primera vez la demanda (=distribución) dirige a la producción, en el sentido de que solo se produce lo que se puede vender, ya que, por primera vez, la oferta de productos hortícolas en muchos casos supera a la demanda.

Los controles de residuos fitosanitarios son ya un hecho en todos los mercados, incluso en los poco importantes, y crece la demanda no ya de productos exentos de residuos, sino con pocos o ningún tratamiento químico.

Se produce la fusión de grandes empresas y grupos agroquímicos, farmacéuticos y de biotecnología, y la comercialización, en Gran Bretaña, de los primeros productos transgénicos, con excelente aceptación por parte del mercado.

Los mercados del Este europeo suponen una importante ayuda a los saturados mercados occidentales, al aumentar la demanda, sobre todo en invierno, de hortalizas frescas.

Objetivos. Su evolución

S&G Semillas S.A. ha modificado sus objetivos de I+D a lo largo de estos años. En la primera fase se aspiraba simplemente a la mejora de variedades locales para satisfacer las necesidades del agricultor, introduciendo resistencias básicas a enfermedades y mejoras agronómicas relativamente sencillas.

En general se pretendía simplemente sustituir a los ecotipos locales por variedades híbridas, mediante programas de mejora desarrollados en los países de origen de las empresas y con una simple selección de los mercados de destino, de acuerdo con las demandas agronómicas de cada zona.

Entre los años 80 y 90, se cambia el objetivo, buscando satisfacer las necesidades del agricultor con algunos parámetros de calidad, y la estrategia, desarrollando programas integrales de mejora genética en las zonas de producción. Se descentraliza I+D, creando numerosos centros en todos los países mediterráneos.

Siguiendo la tendencia general, se potencian fuertemente los programas de biotecnología, aun sin tener una idea clara sobre su eventual comercialización ni sobre los temas legales (patentes) que surgirían en el futuro.

A partir de 1990, el objetivo es claro: satisfacer las necesidades de la distribución, sin renunciar a cumplir unos objetivos agronómicos básicos. Para ello, la investigación se hace más global, atendiendo tanto a aspectos cualitativos como a la adaptación específica a las zonas claves de cultivo. Se fijan claramente los objetivos y se prescinde de los mercados considerados poco atractivos o de futuro incierto.

Proceso de decisión

En la Fig. 1 se expone el proceso de decisión respecto a un programa de mejora. En base a una demanda, a medio o largo plazo, de los mercados de distribución y producción, comunicada con el Área de Marketing, se evalúa la viabilidad técnica y económica del proyecto y se decide en base a las mismas. Se opta por la alternativa de mejora clásica o biotecnología, en función a una serie de parámetros (mercado potencial, capacidad propia o en colaboración con Centros públicos o pri-

vados, marco legal, capacidad competitiva de la Empresa, sinergia con otros proyectos, ...) y se decide acometer o abandonar el proyecto.

Uno de los criterios a considerar es el valor "ecológico" del programa, teniendo en cuenta la creciente demanda de productos ecológicamente "limpios". Por ello, un proyecto que implique un menor uso de pesticidas, o que incluya una alternativa técnica que reduzca el uso de agroquímicos, tiene en principio mayores posibilidades.

Debe quedar claro que la iniciativa en todo proyecto I+D es claramente el Departamento de Marketing, que tiene un papel decisivo en cuanto al análisis de los mercados. Se estudian todas las tendencias a medio y largo plazo (distribución local o internacional, zonas alternativas de producción, nuevas tecnologías, ...) y es en base a este análisis, lo más completo posible, que se deciden los proyectos que se presentan al Departamento de I+D. El análisis de viabilidad (técnica y económica) del proyecto, elaborado por este Departamento, será evaluado nuevamente por Marketing, que decidirá si lo acomete o no.

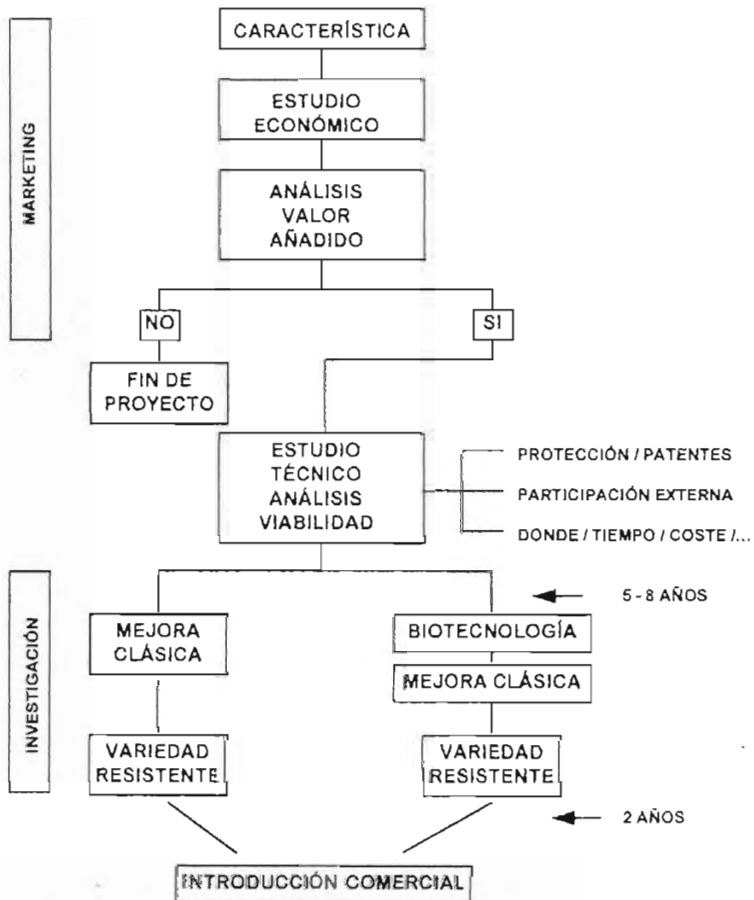


Fig.1. Proceso de decisión y desarrollo de un programa de mejora

Enfoque transgénico. Ventajas y limitaciones

A priori, no existe una posición definida a favor o en contra de la alternativa transgénica. Se considera simplemente como una alternativa más, con el correspondiente análisis de pros y contras.

En el caso de S&G Semillas, si la alternativa clásica es técnicamente factible en un plazo y con un coste razonable, no tendría sentido optar por la vía transgénica, salvo que en el caso de un proyecto concreto supusiera una clara ventaja competitiva para la Empresa (protección/exclusividad, tiempo, mayores márgenes comerciales, royalties, etc).

Se optaría por una alternativa biotecnológica si la mejora genética clásica no pudiera aportar soluciones viables (en tiempo, técnica y coste), o si el nivel de calidad del producto transgénico supera claramente al "clásico", siempre que se cumplieran todos los otros requisitos indispensables (situación de patentes, por ejemplo).

Bromuro de metilo. Alternativas

En el caso concreto del Bromuro de metilo consideramos que hay tres alternativas básicas:

- Lucha química
- Técnicas de cultivos
- Mejora genética

Obviamente, el primer campo no es competencia de S&G Semilla S.A. Por lo que respecta al segundo (solarización, rotación, ...), si bien tampoco compete a la Empresa, estamos totalmente de acuerdo con esta vía y, en la medida de nuestras posibilidades, procuramos transmitirla a todos los mercados afectados por problemas de enfermedades del suelo, dando a conocer las ventajas ecológicas, técnicas y de coste para el productor.

La mejora ofrece como solución el aporte de resistencias genéticas, fundamentalmente a nematodos. La resistencia puede ofrecerse bien en híbridos comerciales,, bien en forma de portainjertos compatibles con híbridos de alto valor agronómico y de calidad de fruto.

En la actualidad estamos desarrollando en nuestros centros de Francia, España y Marruecos programas de desarrollo de portainjertos, fundamentalmente de tomate pero también de otras especies (cucurbitáceas y solanáceas) con una amplia gama de resistencias a patógenos del suelo, adaptadas a las condiciones de cultivo de las principales zonas mediterráneas. En general los patrones son híbridos interespecíficos seleccionados en función de la demanda concreta de cada zona (por ejemplo, mayor o menor vigor para distintas zonas productoras).

Por lo que respecta al desarrollo de variedades híbridas, se intentan introducir resistencias/tolerancias a nematodos y hongos del suelo, a la vez que se desarrollan variedades adaptadas específicamente a técnicas de cultivo (por ejemplo, cultivos hidropónicos) que exijan un menor -o nulo- uso de productos agroquímicos.

En S&G Semillas tenemos muy clara la idea de que una resistencia "per se" al patógeno que sea, incluso al más agresivo o considerado factor limitante para el cultivo, no representa nada si no va incluida en un genotipo de alto valor agronómico. Tenemos multitud de ejemplos de variedades comercializadas en función de una resistencia, incluso pionera, que han fracasado estrepitosamente por el limitado valor agronómico o calidad del fruto de la misma.

Sin embargo, también sabemos el valor, tanto económico como ecológico, de una resistencia a patógenos del suelo. Sabemos claramente que los mercados tienden cada vez más a buscar productos ecológicamente "limpios" y de alto valor agronómico. Nuestra meta es conjugar ambos objetivos, como única forma de seguir siendo la empresa líder en el mercado mundial de semillas hortícolas en el próximo siglo.

Abstract

The evolution of genetic improvement in the vegetable market is analyzed, in reference to S&G Seeds, Inc.'s policy of I + D. Three major phases stand out which coincide with the turn of the decades: Phase I (until 1980): improvement of local varieties; Phase II (1980-1990): improvement in quality parameters and the creation of numerous selection centers and Spain's entrance in the EEC; and Phase III (after 1990) satisfaction of the distribution chain's needs, commercialization of the first transgenic products and the birth of the Eastern European markets.

In the specific case of the alternatives to Methyl Bromide, improvement seems to offer the solution of the contribution of genetic resistance principally to nematodes, which can be offered in the form of commercial hybrids or of graft bearers compatible with hybrids of a high agronomic value and quality. Programs are being developed to obtain graft bearers, basically in tomatoes, but also in other species (cucurbits and solanaceous) with a wide range of resistance to soil pathogens, adapted to crop conditions in the principal Mediterranean zones, where less use of agrochemicals is required.

Keywords: Tomatoes, solanaceous, cucurbits, nematodes, fungi

Capítulo 7

EL INJERTO EN SANDÍA COMO ALTERNATIVA AL USO DE BROMURO DE METILO

A. de Miguel Gómez
Consejería de Agricultura, Generalitat Valenciana. Valencia

Resumen

Se analiza el valor de la técnica del injerto sobre patrones resistentes en cultivos de hortalizas para el control de enfermedades de origen edáfico y su posible utilización como alternativa al BM. La técnica se ha mostrado eficaz en solanáceas y cucurbitáceas, presentando los mejores resultados en sandía para el control de la fusariosis vascular, siendo los patrones más utilizados los híbridos de *Cucurbita* spp. Se considera que la utilización de injertos es una alternativa viable a la aplicación de BM, pudiendo competir con ésta en producción, seguridad y precio. Esta técnica se encuentra ampliamente extendida en Almería y Valencia.

Palabras clave: Hortalizas, solanáceas, cucurbitáceas, *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*, *Verticillium*

Introducción

El injerto es un método de control de enfermedades del suelo que consiste en cultivar una planta sensible con el sistema radicular de otra resistente a la enfermedad que se pretende controlar. En hortalizas se utiliza injerto en dos familias: Solanáceas (tomate, berenjena y pimiento) y Cucurbitáceas (melón, pepino y sandía).

Los mejores resultados se obtienen en la sandía, donde se ha llegado a la combinación casi perfecta. Los injertos con sandía se utilizan principalmente con el fin de prevenir la enfermedad producida por el hongo del suelo *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* (FON), que ocasiona la muerte de las plantas en el momento de iniciarse la recolección, o incluso antes, si la infección es muy fuerte. Una vez se ha establecido el patógeno en el suelo puede permanecer en él, aunque no vuelva a cultivarse sandía, durante 10 años o más. En cualquier caso, es muy arriesgado repetir el cultivo después de que en una plantación se hayan tenido problemas de fusariosis.

Material utilizado como portainjerto

El injerto se puede realizar sobre distintos patrones y las condiciones que debe cumplir este se detallan en el Tabla 1. Los patrones usados son los siguientes:

Híbridos de Calabaza. Son los más frecuentemente utilizados. Generalmente se trata de híbridos de *Cucurbita máxima* x *C. moschata* y se comercializan distintos

híbridos de éste tipo (Shintoza, Tetsukabuto, Brava, RS-841, 148, Kamel, etc.). En los ensayos realizados rara vez se han observado diferencias importantes de comportamiento entre unos y otros.

Tabla 1. Condiciones del portainjerto para utilizarlo en la lucha frente a formas especializadas de *F. oxysporum*

<p>Inmunidad frente al patógeno Presentar resistencia a otros patógenos del suelo Vigor y rusticidad Buena afinidad con la sandía Buenas condiciones para la realización del injerto No modificar desfavorablemente la calidad del fruto</p>

Lagenaria siceraria. La planta más conocida de este tipo es la "calabaza del peregrino", aunque las variedades más utilizadas (Kyosei, P-950) tienen frutos alargados. Esta es la especie más citada como portainjertos de sandía por la bibliografía japonesa; sin embargo, en los ensayos realizados ha obtenido casi siempre menor producción que cuando se utilizan los patrones antes mencionados.

Citrullus lanatus. Se trata de la sandía y como patrón puede utilizarse alguna variedad resistente a las razas de FON que estén presentes en el suelo. La línea PI-296341 FR (Var. 9124), seleccionada de sandía silvestre, es resistente a las tres razas conocidas y tiene un buen comportamiento frente a la enfermedad.

Cucurbita moschata. De esta especie, sólo la variedad población "Calabaza de violín" se viene utilizando como portainjerto desde hace 10-15 años, aunque en pequeña proporción. Su comportamiento es variable, presentando diferencias de afinidad entre líneas de calabaza y variedades de sandía. Posiblemente se necesita hacer un trabajo para seleccionar las variedades con mayor índice de compatibilidad.

Tipos de injerto

La sandía injertada es resistente a la fusariosis y según los patrones, en mayor o menor grado a otros patógenos telúricos (Tabla 2). Sorprendentemente, incluso dejando también la raíz de la sandía, la planta injertada sobre híbridos de Cucurbita, han tolerado perfectamente la infección por FON (Tabla 3). En Valencia ésta modalidad de injerto continúa en estudio. En Almería, no obstante esta práctica está completamente desaconsejada por el peligro de contaminación de sandía por el virus del cribado del melón (MNSV) (Gómez, 1993).

Tabla 2. Resistencia de los distintos patrones

	FON	Otros FO	Phom.	Olp.	Vd.	Py	Nem.
<i>C. híbrida</i>	+++	+++	++	+++	+++	++	++
<i>L. siceraria</i>	+++	-	?	?	-	-	-
<i>Citrullus</i>	+++	+++	-	-	-	-	-

FON: *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*; Olp: *Ospidium*; Phom: *Phomopsis sclerotoides*; Py: *Pythium*; FO: *Fusarium oxysporum*; Vd: *Verticillium dahliae*; Nem: Nematodos

Tabla 3. Producción en sandía injertada según se cultive con uno o dos tallos

Tipo de injerto	Producción Precoz (kg/m ²)			Producción Total (kg/m ²)			Peso medio del fruto (kg/ud)		
	Sugar B	Reina	Media	Sugar B.	Reina	Media	Sugar B.	Reina	Media
1 tallo	2.68	1.82	2.25 a	8.22	5.99	7.11 a	4.65	5.28	4.97 a
2 tallos	2.99	1.46	2.23 a	8.64	5.74	7.19 a	4.53	5.51	5.02 a
Sin injertar	0.46	1.11	0.79 b	2.32	0.53	1.42 b	2.50	3.56	3.03 b
	2.05 a	1.46 b		6.39 a	4.09 b		3.89 a	4.78 b	

Hay distintos procedimientos de injerto, que pueden agruparse en las dos modalidades siguientes: el proceso de injerto se realiza con ambas plantas, patrón y variedad, conservando el sistema radicular del patrón y la variedad (aproximación). En el segundo caso, el injerto se realiza poniendo en contacto una parte de la planta sin raíz de la variedad, con los tejidos del patrón (púa, perforación lateral, empalme).

Las condiciones ambientales, temperatura y humedad relativa, durante la fase de soldadura en el segundo caso son más exigentes que en el primero. El peligro de tener bajos porcentajes de prendimiento es, por lo tanto, mayor. En el campo, las plantas bien injertadas, por cualquier procedimiento, tienen un comportamiento similar e igualmente bueno (Tabla 4).

Tabla 4. Comparación de diferentes métodos de injerto en sandía

Tipo de injerto	Producción Precoz (kg/m ²)			Producción Total (kg/m ²)			Peso medio del fruto (kg/ud)		
	Sugar B	Reina	Media	Sugar B.	Reina	Media	Sugar B.	Reina	Media
Aprox. sin pelar	3.56	4.16	3.86 a	11.65	6.83	9.24 a	5.00	4.31	4.65 a
Aprox. pelada	2.88	4.12	3.50 a	11.12	7.68	9.40 a	4.70	4.48	4.59 a
Púa	3.17	3.47	3.30 ab	10.00	6.84	8.42 a	5.30	4.37	4.84 a
Empalme	2.46	3.29	2.87 b	9.45	6.32	7.89 a	4.57	4.08	4.32 a
	3.01 a	3.76 b		10.56 a	6.92 b		4.89 a	4.31 b	

Otras ventajas del injerto

El injerto permite disminuir la densidad de plantación. En los experimentos realizados raramente se ha visto aumento de producción con mayor número de plantas por ha. Se considera suficiente plantar de 3000 a 4000 plantas / ha (Tabla 5). Permite utilizar dosis reducidas de nitrógeno. A partir de 80 UF / ha no hay aumento de producción (Tabla 6) (Pomares, 1996).

Tabla 5. Efecto de la densidad de plantación en sandía injertada

	Producción									
	1982		1983		1984		1994			
plantas / ha	4166	6944	4000	5333	6667	4167	6944	3330	4000	5000
<i>C. moschata</i>										
kg / m ²	6.12 a	6.90 a	7.21 a	7.23 a	7.10 a	6.02 a	7.89 b			
kg / planta	14.70	9.93	18.02	13.56	10.65	14.44	11.37			
kg / ud	4.84 a	4.34 b	5.04 a	5.05 a	4.19 b	3.34 a	3.38 a			
<i>L. siceraria</i>										
kg / m ²	4.60	4.12						10.77 a	9.10 a	8.08 a
kg / planta	11.03	5.94						32.31	22.75	16.16
kg / ud	3.90 c	3.53 c						5.59 b	5.22 b	5.00 b
<i>C. híbrida</i>										
kg / m ²						6.38 a	8.03 b	16.16 a	14.72 a	14.73 a
kg / planta						15.30	11.57	48.48	36.80	29.46
kg / ud						3.05 a	3.03 a	5.81 a	5.84 a	6.00 a

Tabla 6. Efecto de la dosis de nitrógeno en la producción (kg / m²) de sandía injertada (Pomares, 1996)

Año 1993	Goteo ⁽¹⁾			Surcos ⁽²⁾			
	Dosis de N	Sin pepitas (3)	Polinizador (4)	Total	Sin pepitas	Polinizador	Total
N1		3.46	1.10	4.56	4.67	1.37	6.04
N2		3.04	1.36	4.40	3.77	0.95	4.72
N3		3.61	1.29	4.90	4.68	1.35	6.03
N4		3.39	1.62	5.01	3.91	1.17	5.08
D.M.S. 5%		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Año 1994							
N1		6.63	2.67	9.30	4.57	1.30	5.87
N2		7.31	2.08	9.39	4.39	1.58	5.97
N3		6.84	2.60	9.44	4.30	1.67	5.97
N4		7.38	2.44	9.82	4.05	1.31	5.36
D.M.S. 5%		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

(1): N1=74, N2=145, N3=216, N4=287 kg N / ha; (2): N1=80, N2=160, N3=240, N4=320 kg N / ha; (3): Reina de Corazones; (4): Dulce Maravilla.

Tabla 7. Efecto de la desinfección con BM sobre el cultivo de la variedad Sugar Baby con diferentes portainjertos

Año	Portainjerto	Suelo contaminado (FOC)		Suelo desinfectado	
		kg / m ²	Testigo	kg / m ²	
1979	<i>B. cerifera</i>	3.85 b			
	<i>C. ficifolia</i>	2.92 b	1.96 b		7.50 a
	<i>C. hibrida</i>	6.02 a			
1980	<i>B. cerifera</i>	2.54 b			
			0.25 c		7.33 a
1981	<i>C. ficifolia</i>	4.02 b			
	<i>B. cerifera</i>	2.51 c			
	<i>C. ficifolia</i>	3.21 c	0.04 d		5.06 b
1982	<i>C. moschata</i>	7.01 a			
	<i>C. moschata</i>	6.90 a			
1983			0.69 c		8.91 a
	<i>L. siceraria</i>	4.12 b			
1983	<i>C. moschata</i>	7.10 a	0.26 c		4.33 b
1984	<i>C. moschata</i>	7.78 a			
	<i>C. hibrida:</i>				
			1.05 b		7.63 a
	Just	8.03 a			
	Tetsukabuto	7.31 a			
1985	<i>C. moschata</i>	7.99 a	0.00 c		6.86 b
1986	<i>C. moschata</i>	5.96 b			
	<i>C. hibrida:</i>				
			1.75 c		5.67 b
	Just	10.33 a			
	Tetsukabuto	9.13 ab			

El injerto puede competir con el BM en producción (Tabla 7), seguridad y precio. Considerando que el precio de una planta injertada es, en la actualidad, de unas 60 ptas, esto representa un coste para una densidad de 3.300 plantas de 198.000 ptas / ha. En cultivo convencional para una densidad de 5.000 plantas sin injertar al precio de 8 ptas / planta, el coste es de 40.000 ptas / ha. Teniendo en cuenta que un tratamiento con BM ronda las 360.000 ptas / ha, **la diferencia a favor de la utilización de planta injertada puede estimarse en unas 202.000 ptas / ha.**

Puede repetirse el cultivo de planta injertada sobre el mismo suelo. Hasta ahora no se han visto problemas debidos a patógenos del suelo después de 5 años de cultivo de sandía injertada sin haber realizado ninguna desinfección.

La calidad del fruto de plantas injertadas es buena cuando se cultiva y se recolecta adecuadamente. Los defectos más importantes observados como son: aumento de tamaño, de compacidad y ligera disminución del grado de azúcar; son también imputables a cualquier método de cultivo que aumente el vigor de las plantas (exceso de abonado, riego, o desinfección con BM).

Conclusiones

El injerto puede competir con el BM en producción (Tabla 7), seguridad y precio.

La prueba más evidente de la utilidad del injerto es la rapidez con que se ha extendido. En Almería, del 90 o 95 % y en Valencia más del 50 % de la superficie cultivada de sandía se hace con planta injertada.

Abstract

The technique of grafting in vegetable crops using resistant rootstocks is analyzed for its ability to control soil borne diseases and its use as an alternative to MB. The technique was found effective in solanaceous and cucurbits, showing the best results in watermelon crops to control fusarium wilt, the most used rootstocks being *Cucurbita* spp. hybrids. The use of grafting is regarded as a viable alternative to MB application, competing with it in production, safety and cost. This technique is currently being used in large areas of Almeria and Valencia.

Keywords: Vegetable crops, solanaceous, cucurbits, *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*, *Verticillium*

Bibliografía

- Gómez J., I. Cuadrado, V. Velasco. 1993. El virus de las manchas necróticas del melón (MNSV) en Almería. II. Eficacia de la desinfección del suelo frente al MNSV. *Bol. San. Veg. Plagas* 19, 179-186.
- Miguel de A. 1993. *El Injerto Herbáceo como Método Alternativo de Control de enfermedades Telúricas y sus Aplicaciones Agronómicas*. Universidad Politécnica de Valencia, España. Tesis Doctoral, 494 pp.
- Miguel de A. 1996. El injerto en hortalizas. *II Jornadas sobre Semillas y Semilleros Hortícolas*. Mayo 1995, Almería.
- Pomares F. 1996. Fertilización de la sandía. *Cultivo de la Sandía*. Cuadernos de Agricultura nº 3. Fundación Caja Rural Valencia.

Capítulo 8

SOLARIZACIÓN Y REDUCCIÓN DE DOSIS DE BROMURO DE METILO EN LA DESINFECCIÓN DEL SUELO

V. Cebolla, J. J. Tuset, M. Guinet(*), A. Molins,
J. L. Mira, C. Hinarejos

Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), Moncada. Valencia

(*) Protection des Vegetaux. Lab. National d'etudes de la Fumigation, Cenon. Francia

Resumen

Se plantea un experimento en un invernadero de pimientos, con objeto de reducir las dosis y emisiones de Bromuro de metilo (BM) durante la fumigación del suelo, manteniendo la eficacia. El cultivo anterior estaba afectado por *Phytophthora capsici*. Se comparan: (1) Testigo no desinfectado; (2) BM a dosis normal de 60 g/m² con cubierta de Polietileno (PE); (3) BM a mitad dosis; (4) BM a mitad dosis, con cubierta plástica impermeable; (5) Solarización; (6) Solarización + 15g/m² de BM. La eficacia se evalúa con inóculo de *Fusarium oxysporum* f.sp. *dianthi*, y *P. capsici*. Se tienen en cuenta el producto CxT en la desinfección, la producción de biomasa, el estado sanitario de la planta, residuos y la cosecha.

En general todos los parámetros estudiados muestran un comportamiento similar entre tratamientos con dosis normal con cubierta de PE (2), y mitad dosis con film impermeable (4), el tratamiento 1/4 de dosis + Solarización resulta también muy interesante. El tratamiento mitad dosis con PE (3) queda en un lugar intermedio entre los mejores tratamientos y el testigo no tratado. La solarización falla debido a una aplicación tardía y durante un periodo corto. Se puede alcanzar una reducción de hasta la mitad de la dosis de BM, usando una cubierta impermeable durante la desinfección o hasta una cuarta parte si se combina con la Solarización.

Palabras clave: *Phytophthora capsici*, pimiento, ozono, cubierta impermeable, polietileno, *Fusarium oxysporum* f.sp. *dianthi*.

Introducción

El bromuro de metilo (BM) se usa ampliamente como fumigante en agricultura y para el control de plagas en estructuras, mercancías almacenadas y tratamientos de cuarentena. Es activo contra una gran variedad de organismos a baja concentración, incluyendo mamíferos e insectos, ácaros, nematodos, hongos, bacterias y virus y tiene suficiente fitotoxicidad para controlar malas hierbas y semillas de malas hierbas. Su gran espectro de actividad y facilidad de aplicación lo han convertido en el tratamiento elegido en la mayoría de desinfecciones del suelo (MBTOC 1995).

El BM fue incluido como una de las sustancias que destruyen la capa de ozono por la Cuarta Reunión del Protocolo de Montreal sobre sustancias que destruyen la Capa de Ozono, que tuvo lugar en Copenhague en noviembre de 1992. Por este motivo, las Naciones Unidas propician la sustitución de estas sustancias, por otras que sean respetuosas con el medio ambiente; para ello el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, fomenta la investigación de nuevas tecnologías que permitan la utilización de sistemas alternativos, incluyendo cualquier modificación de las técnicas de aplicación que consiga sustituir, total o parcialmente, algún uso de este gas. Existe un calendario aprobado en la convención de Viena de 1995 para la reducción gradual de la producción de BM, hasta el año 2010. A partir de esta fecha, este gas solo será permitido en algunos usos denominados esenciales.

La solarización del suelo, como método alternativo a la desinfección con fumigantes fue desarrollada por Katan (1976, 1980, 1981, 1983) y rápidamente aceptada en áreas de clima templado, como los países mediterráneos, incluida España (Martínez et al., 1983, 1986; Cenis, 1989; Gil Ortega et al., 1990; Del Busto et al., 1989; Cebolla et al., 1993, 1994; Ben-Yephet et al., 1988). Algunas posibilidades de mejorar la eficacia o dar seguridad en el resultado de la desinfección del suelo han sido descritas como la combinación con fumigantes a bajas dosis (Malathrakís, 1987; Cebolla y García, 1984) así como la combinación con métodos biológicos (antagonistas, variedades tolerantes o resistentes).

La combinación de la solarización con Bromuro de metilo permite reducir drásticamente las dosis de aplicación al menos a nivel experimental (Cebolla et al., 1994). Aunque lógicamente, las dosis prácticas deben ser incrementadas para contemplar un margen de seguridad para los aplicadores, por motivos de garantía en el control de enfermedades del suelo.

El polietileno de baja densidad (PE), normalmente usado como cerramiento en la desinfección del suelo, resulta ser permeable al BM por lo que se escapan grandes masas de gas a través de este tipo de film (MBTOC 1995). La tecnología actual permite la obtención de laminas de plástico multicapa, con propiedades impermeabilizantes que impiden el paso del BM a su través.

Una de las mejoras en la técnica de aplicación sugeridas por el informe del MBTOC 1995 es precisamente la de utilizar films virtualmente impermeables (VIF) al BM para retener el gas y de esta manera evitar la emisión a través de la lámina de cobertura. Es necesario comprobar que con este tipo de cubierta se pueden usar dosis más reducidas manteniendo la eficacia y sin producir efectos colaterales nocivos, como un aumento excesivo de residuos de bromo.

Material y métodos

Para realizar este primer estudio se dio preferencia a aquellos cultivos más representativos, en los que la desinfección con bromuro de metilo resulta más preciosa por los agricultores en todas las áreas de cultivo intensivo del mundo, entre ellos el cultivo intensivo de pimiento en invernadero. Las parcelas experimentales debían disponer de riego localizado con efecto de impedir el arrastre de inóculo de las parcelas testigo infectadas, a las vecinas. Se evitó la infectación artificial, buscando las condiciones más parecidas a

las naturales, para conferir la máxima fiabilidad a los resultados sobre planta, como la cosecha, estudios de biomasa y la incidencia de la enfermedad. Solo se utilizó inóculo artificial para la valoración de la eficacia sobre el propio inóculo, dado que la existencia de aislados salvajes similares a los patógenos imposibilita una buena apreciación de los efectos, por el riesgo de confusión.

Como parcela experimental se escogió una finca que estaba infectada con *Phytophthora capsici* en Navarrés (Valencia). El Cultivo establecido después de la desinfección fue el de la variedad de pimiento denominada Padrón, la misma sobre la que se determinó la presencia de la enfermedad.

Preparación de la parcela experimental. Se arrancó el cultivo anterior de pimiento variedad Padrón y se preparó el terreno mediante paso de subsolador para romper la costra caliza (Tap) situada entre 30 y 40 cm de profundidad en el subsuelo. Se labró a continuación y se preparó mediante rotovator para desmenuzar la tierra. Se regó y se esperó el tiempo oportuno hasta que la humedad del suelo fuera la adecuada según las normas locales. En este tipo de suelo franco-arcilloso, en el momento del inicio de la desinfección, la capa superficial quedaba algo seca mientras que a 30 cm de profundidad se obtenía una humedad del orden del 60% de la capacidad de campo.

Los análisis de tierra realizados para suelo (0-20 cm) y subsuelo (de 20-40 cm) determinan (Tabla 1) una textura franco arcillosa, en un suelo no muy profundo, muy calcáreo y algo pedregoso en el subsuelo, debido a la presencia de una costra caliza. El pH resulta ser básico tanto en suelo como en subsuelo, con una caliza activa elevada pero sin problemas de salinidad. Se puede considerar un suelo bastante representativo de los suelos valencianos.

Tabla 1. Análisis de suelo y subsuelo de la finca experimental de Navarrés

Características	Profundidad (cm)	
	0-20	20-40
Color	5.5YR5	5.5YR5
Clasificación internacional	Franco arcilloso	Franco arcilloso
pH (1:2.5 suelo:agua)	8.05	8.25
Materia orgánica oxidable	2.0	0.84
Carbonatos totales (% CaCO ₃)	39.7	48.2
Caliza activa (%)	13.0	15.2
Conductividad eléctrica extracto 1/5	0.437	0.299

Desinfección del suelo. La preparación del terreno, el estirado de la lámina de plástico de cobertura y enterramiento de los bordes de ésta se realizó según costumbre en las aplicaciones locales. El plástico se enterró manualmente a una profundidad variable entre 15 y 20 cm.

Como plástico de cobertura se utilizó Hytibar 40 (HT), de Hyplast (Bélgica), considerado Virtualmente Impermeable (VIF). Se trata de una lámina bicapa compuesta por PE +EVOH (Etil Vinil Alcohol). Como control se utilizó lámina PE de Sotrafa, SA con un espesor de 200 galgas.

La aplicación se inició el 17 de Agosto con vientos en calma (0.2 a 2.4 m/s) de componente Oeste, y a lo largo de los tres días de desinfección alcanzaron una velocidad máxima de 5.7m/s. La temperatura media del aire osciló entre 20 y 23.3 °C, se alcanzó una temperatura máxima de 31 °C en los tres días. La temperatura del suelo a 10 cm la temperatura alcanzó los 26.6 °C a las 9 de la mañana, 34.4 °C al mediodía y 39.5 °C por la tarde. A 35 cm de profundidad las temperaturas fueron de 28.1 °C por la mañana, 26.6 °C a mediodía y 28 °C por la tarde

El BM (con 2% Cloropicrina) se midió con un dosificador volumétrico contrastado, para pequeñas dosis. La aplicación se realizó mediante la técnica de gas caliente (1Kg de presión). Para mejorar su distribución se dispusieron cintas tubulares perforadas extendidas sobre el suelo, bajo la lona, con una separación uniforme.

Solarización. Los tratamientos con solarización se prepararon igual que los de desinfección. Al finalizar ésta se les dio un riego por inundación bajo el plástico, levantando los bordes, y se volvió a cerrar. Las parcelas permanecieron cubiertas durante un mes. La solarización se inició a continuación de la desinfección, por tanto es una solarización extremadamente tardía.

Mediciones. Se determinó la concentración de gas bajo la lámina de plástico a lo largo de la desinfección, para la determinación de la concentración máxima y la variable concentración por tiempo CxT. Para ello se realizaron mediciones con los siguientes intervalos aproximados: 20 min, 1.5 hr, 4hr, 7hr, 10 hr, 13hr, 1 día, 2 días y 3 días después de la aplicación. El BM durante la desinfección se midió con un aparato de medida modelo FUMISCOP de la empresa Key Chemical & Equipment. El aparato es portátil, con célula de detección a flujo constante y se conecta a sondas de nylon-6, las muestras de gas se tomaron a 0 y a 20 cm de profundidad.

Eficacia frente a patógenos. Para valorar la eficacia contra los patógenos se utilizaron dos tipos de inóculo:

- Se cultivó *F. o. dianthi* en medio PDA modificado, con la adición de 10 g/l de extracto de levadura. Cuando el cultivo ocupó completamente la placa de Petri, se frotó la superficie con agua estéril, para obtener una suspensión de propágulos, que se lavó por centrifugación varias veces y se ajustó a una concentración de 10⁷ conidios por ml. Esta suspensión se incorporó a un Kg de suelo natural estéril de textura arenosa, y se ajustó a una concentración entre 0,2 a 1x10⁶ unidades formadoras de colonias (ufc), por gramo de suelo. Este inóculo se dejó estabilizar durante al menos 10 semanas antes de su utilización.

- Por otra parte se obtuvo material vegetal de raíces de pimiento con una infección natural de *P. capsici*, y se incluyeron 10 a 20 piezas de 3 mm de largo en 10 g de suelo de textura arenosa como el utilizado en el apartado anterior.

En ambos casos se envolvieron 10 g de inóculo en unas bolsas de nylon, para permitir el intercambio de humedad y gases con el suelo. Las bolsas se ataron con cuerda de nylon a distancias adecuadas para que el inóculo quedara dispuesto, a las profundidades de 10, 20 y 30 cm de profundidad en el suelo. Unas horas antes de enterrar el inóculo era convenientemente humedecido para situarlo en condiciones de humedad similar a la del suelo.

Después de la desinfección se estudió la supervivencia del inoculo mediante aislamiento en medios selectivos para *F. o. dianthi* (Komada 1975) y para *P. capsici* (Ponchet et al., 1972).

Eficacia frente a malas hierbas. Se realizaron conteos de la flora adventicia dos veces a lo largo del cultivo. Se determinaron las malas hierbas aparecidas, antes de eliminarlas, anotando nombre y estado de las mismas.

Biomasa. Al diseñar la plantación se añadieron algunas plantas extra, para poder arrancarlas a lo largo del cultivo y efectuar así algunas mediciones de biomasa, como superficie foliar, tamaño y peso de la planta.

Efecto sobre la cosecha. Se realizaron pesadas durante la vida útil de las plantas, según el calendario de recolección habitual del agricultor.

Residuos. Después de la desinfección se tomaron muestras de suelo para su análisis siguiendo las técnicas oficialmente reconocidas. También se tomaron muestras de fruto de la primera cosecha para la determinación del contenido en ion Bromo.

Diseño experimental. Parcelas distribuidas al azar en 7 túneles de 30 m de largo y 5 de ancho, con cubierta de polietileno. El tamaño de la parcela experimental era de 7 m de largo y 5 de ancho con cinco repeticiones excepto en las de solarización que fue de cuatro repeticiones. El marco de plantación de 0,3 m con una separación entre filas de 1m. Cada parcela tenía inicialmente unas 100 plantas de las que solo unas 60 plantas del centro se tuvieron en cuenta para las mediciones. El cultivo se llevó a cabo siguiendo los sistemas habituales en la zona para cultivo intensivo con riego localizado sin calefacción.

El experimento constó de los siguiente tratamientos : (1) Testigo no tratado; (2) Bromuro de metilo a dosis normal (60g/ m²) con lamina de PE; (3) BM a mitad dosis (30g/ m²) con PE; (4) BM a mitad dosis con lamina de HT; (5) Solarización con PE; (6) Solarización con 15g/ m² de BM y lamina de PE

Invernadero del IVIA. Se realizó un experimento paralelo, en condiciones de invernadero climatizado, con tierra tomada del invernadero de Navarrés después de la desinfección. Se utilizaron 10 plántulas de pimiento del mismo origen por parcela. Con estas plantas se determinaron los mismos parámetros que el cultivo en pleno suelo de Navarrés.

Análisis estadístico de los resultados. Se hizo mediante la comparación de medias ANOVA, el test de rango múltiple de Duncan, o la comparación por contraste. Las diferencias significativas si las hay se indican de manera que los tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes al nivel del 95%.

Resultados

El producto CxT obtenido queda reflejado en la Tabla 2. En la que los valores mas altos corresponden a las parcelas con desinfección a dosis normales (2), seguidas de cerca por el tratamiento (4) tanto en superficie como en profundidad. El Test de Duncan no detecta diferencias significativas entre los tratamientos (2),(3) y (4). El único tratamiento que se diferencia es el (6), de Solarización con BM a 1/4 de dosis, sin embargo el tratamiento (3) tiene un CxT bastante menor que el (2) y el (4).

Tabla 2. Concentración del producto (g/m³) por tiempo (hr) C x T a dos profundidades, durante la desinfección del suelo y hasta tres días de exposición

Tratamiento	C x T 0cm	C x T 20cm
(2) 60 PE	2173 b	2015 b
(3) 30 PE	1472 ab	1309 ab
(4) 30 HT	1978 ab	1742 ab
(6) 15 PE+Sol	1188 a	1002 a

La concentración máxima alcanzada durante la aplicación fue superior a nivel de superficie para el tratamiento (2), pero el tratamiento (4) toleró mayor concentración de gas al final de la desinfección (Fig. 1), como consecuencia de la mayor estanqueidad de la lámina VIF. En la Figura 2, a 20 cm de profundidad destaca una concentración máxima muy superior para el tratamiento (2) pero el tratamiento (4) mantiene concentraciones de gas superiores a los que usan PE como cubierta. La lámina VIF del tratamiento (4) aún con la mitad de la dosis normal produce unos residuos en suelo ligeramente mayores que el PE del tratamiento (2) (Tabla 3), no obstante este aumento de residuos se considera dentro de los límites tolerables.

Tabla 3. Contenido medio de residuos de BM (mg/kg) en el invernadero de Navarrés

Tratamiento	Suelo 0-20cm	Subsuelo 20-40cm
(2) 60 PE	37	25
(3) 30 PE	35	42
(4) 30 HT	43	47
(6) 15 PE+Sol	25	21

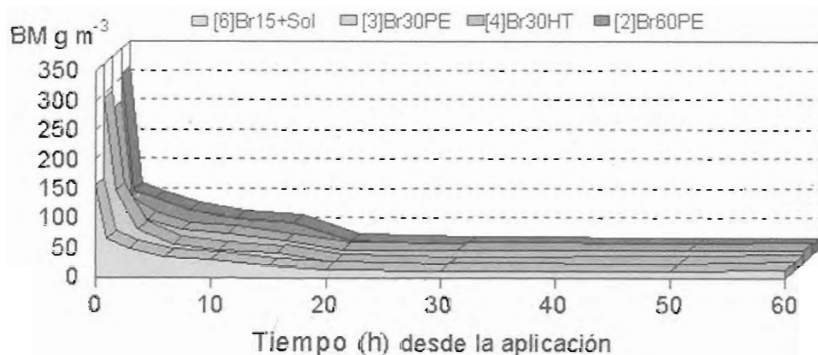


Figura 1. Contenido de BM a nivel del suelo en el invernadero de Navarrés

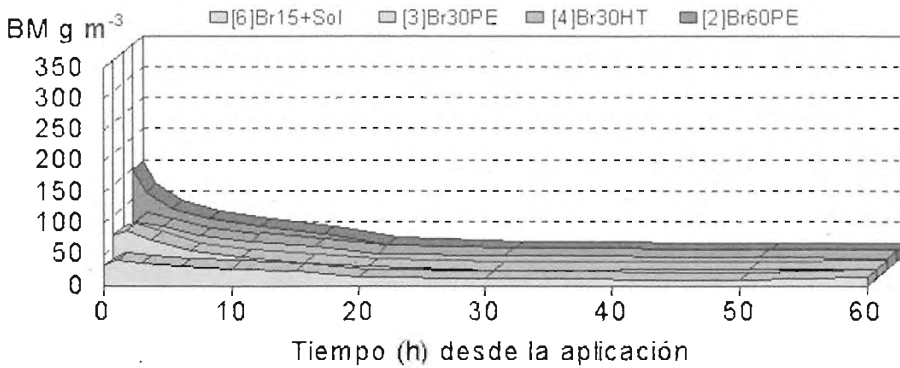


Figura 2. Contenido de BM a 20 cm de profundidad en el invernadero de Navarrés

La eficacia contra el inoculo de *F. o. dianthi* se estudió a tres profundidades (Fig. 3). En los dos niveles más superficiales prácticamente todos los tratamientos fueron eficaces comparados con el control, aunque a nivel de diferencias significativas destacan los tratamientos (2) y (4) como los mejores. Se establece mayor diferencia a 40 cm de profundidad pero a nivel estadístico ocurre lo mismo que en los niveles superiores. En la Figura 4 se puede apreciar la eficacia contra *P. capsici*. En el nivel más superficial los tratamientos (2), (3) y (4) muestran una eficacia similar, superior al (6). En los dos niveles más profundos los tratamientos más eficaces son (2) y (4) seguidos del (3). En el ensayo realizado en contenedores en el IVIA, se midió el desarrollo de biomasa a las 10 semanas, los datos aparecen en las Tablas 4 y 5.

Tabla 4. Altura (cm) y mortalidad media de las plantas en el invernadero del IVIA

Tratamiento	Altura	Mortalidad
(1) Testigo	41.3 a	1.2 bc
(2) 60 PE	50.8 cd	0 a
(3) 30 PE	46.8 bcd	0.2 ab
(4) 30 HT	52.4 d	0 a
(5) Solar	43.1 ab	1.5 c
(6) 15 PE+Sol	45.1 abc	0 a

Según estos datos los tratamientos (2) y (4) son los mejores en cuanto a altura de la planta se refiere, seguidos de cerca por el (6). En cuanto a la mortalidad los tratamientos (2), (4) y (6) no presentaban ninguna planta enferma. La escasa incidencia de la enfermedad puede ser debida a que en la época del cultivo de invierno *P. capsici* resulta menos patógena.

A finales de enero, con las raíces ocupando la totalidad del sustrato de cultivo las plantas habían alcanzado el máximo nivel de desarrollo. En ese momento se cortaron las plantas a nivel del cuello y se realizaron las medidas de altura, superficie foliar, peso de los frutos, peso de las plantas y porcentaje de planta sana. Un grupo de plantas del mismo origen cultivadas como testigo en sustrato estéril permaneció completamente sano lo que permitió comprobar la calidad del plantel utilizado.

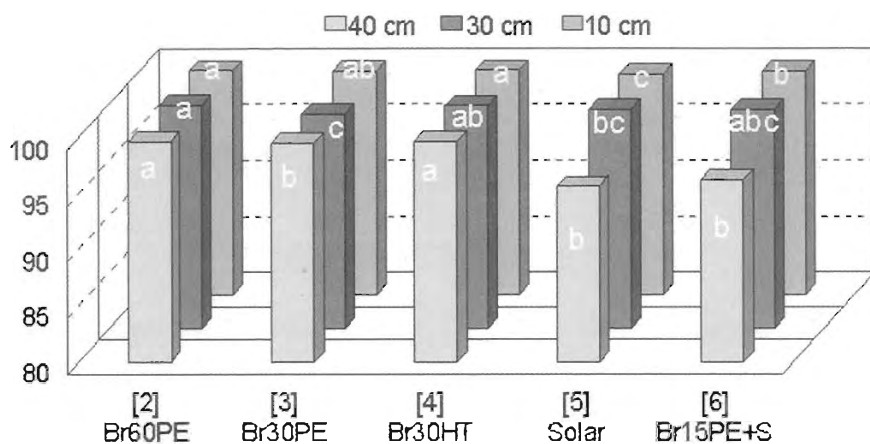


Figura 3. Destrucción de inóculo *F. o. dianthi* después de la fumigación comparado con el testigo (por cien) a tres profundidades

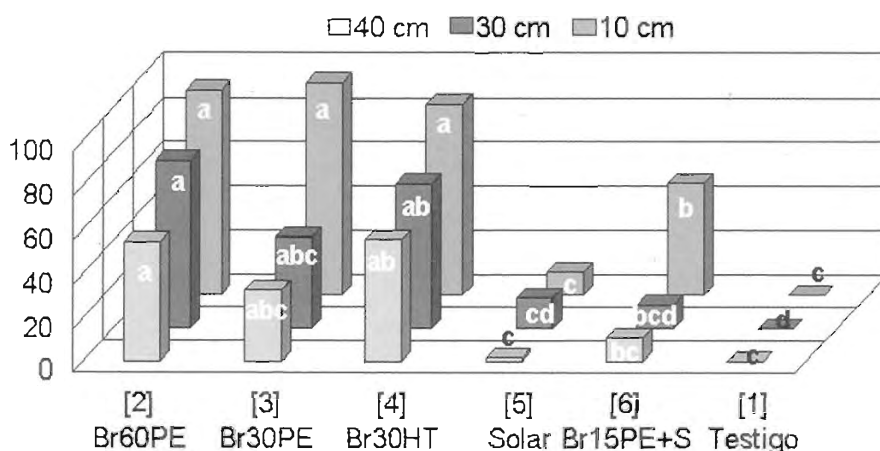


Figura 4. Destrucción de inóculo *P. capsici* después de la fumigación comparado con el testigo (por cien) a tres profundidades

Tabla 5. Efecto de los tratamientos sobre las plantas en el invernadero del IVA al final del experimento

Tratamiento	Altura (cm)	Sup.foliar (cm ²)	Peso fruta (g)	Peso planta (g)	Plantas sanas (%)
(1) Testigo	43.9 a	980 a	14.7 a	49.6 a	80
(2) 60 PE	58.2 b	1522 b	23.7 bcd	76.0 b	100
(3) 30 PE	51.2 ab	1309 ab	20.7 bc	64.5 b	96
(4) 30 HT	55.8 b	1392 ab	25.2 cd	75.6 b	100
(5) Solar	45.3 a	948 a	18.4 ab	50.8 a	75
(6) 15 PE+Sol	49.7 ba	1147 ab	28.6 d	71.5 b	100

La evolución de la enfermedad en el invernadero de Navarrés se muestra en la Figura 5. Después de 20 semanas de cultivo los tratamientos (2), (3), y (6) permanecen sanos, 5 semanas después hay algunas plantas enfermas en todos los tratamientos, los más afectados son los (1) y (5). La enfermedad, como era de esperar en un cultivo con riego localizado, no se extendió de manera rápida. A las 36 semanas las parcelas del Control tenían ya muchas plantas enfermas mientras los tratamientos (2), (4) e incluso (5) se mantenían en un estado sanitario similar. *P. capsici* fue reaislada de las plantas enfermas.

El 4 de noviembre se tomaron algunas plantas con problemas de crecimiento como muestras para estudios de laboratorio, de las raíces afectadas se aisló *P. capsici* con la técnica de pétalos de clavel. Se tomaron otras plantas (Tabla 6) para estudios de biomasa. La altura de plantas en esta época no resulta un parámetro diferenciador destaca la altura de las plantas del tratamiento (2) pero el único tratamiento estadísticamente diferente del (2), con plantas mucho más pequeñas, es el Testigo. Tanto la superficie foliar como el peso de la planta mayor se da en el tratamiento (4), sin diferencias significativas con el (2), estos dos tratamientos resultan ser los mejores seguidos del (3) y el (6). Otro control de peso realizado a las 25 semanas de cultivo vuelve a mostrar el tratamiento (2) y el (4) como lo mejores, seguidos del (3).

Tabla 6. Efecto de los tratamientos sobre las plantas en el invernadero de Navarrés

Tratamiento	Altura (cm)	11 semanas		25 semanas	
		Sup. foliar (cm ²)	Peso planta (g)	Peso planta (g)	Peso planta (g)
(1) Testigo	31.6 a	738.7 a	41.7 a	203 a	203 a
(2) 60 PE	50.9 b	1706.1 cd	92.7 bc	800 d	800 d
(3) 30 PE	36.1 ab	1407.5 bcd	78.2 b	622 c	622 c
(4) 30 HT	39.7 ab	1905.0 d	115.2 c	772 cd	772 cd
(5) Solar	32.9 ab	1055.6 ab	42.5 a	286 ab	286 ab
(6) 15 PE+Sol	37.0 ab	1358.2 bc	76.7 b	396 b	396 b

La Figura 6 muestra la cosecha media acumulada para cada tratamiento en ella se puede observar que los tratamientos (4), (2), y (6) siguen una evolución muy similar con una ligera caída de este último en las últimas semanas.

Los tratamientos (5), (3) y (1) tienen una entrada en producción más precoz (Tabla 7, primera columna), esto se corresponde con un menor desarrollo de las plantas, y se ve pronto compensado al entrar en producción las plantas más vigorosas. Los mejores tratamientos (Tabla 7, segunda columna) fueron los (4), (2), (6) y (3). los peores el (1) y el (5).

Tabla 7. Cosecha media inicial y total (g / planta) en el invernadero de Navarrés

Tratamiento	Semana 19 (inicial)	Semana 36 (total)
(1) Testigo	13.5 c	725 a
(2) 60 PE	3.8 ab	1318 b
(3) 30 PE	3.0 a	1156 b
(4) 30 HT	5.6 abc	1320 b
(5) Solar	12.1 bc	739 a
(6) 15 PE+Sol	7.5 abc	1235 b

Uno de los posibles efectos colaterales nocivos que cabía esperar del cambio de técnica era el aumento de residuos en fruto. De hecho así ocurre en el cultivo en contenedores del IVIA (Tabla 8, columna 1) en que el tratamiento (4) con la lámina VIF produce más residuos en fruto que el tratamiento convencional (2), aunque sin diferencias significativas. Si observamos los datos correspondientes al cultivo en pleno campo (Tabla 8, segunda columna), en el invernadero de Navarrés, vemos que este aumento es insignificante. El mayor incremento de residuos en el cultivo en macetas cabe explicarlo como que las raíces exploran más exhaustivamente el escaso suelo disponible.

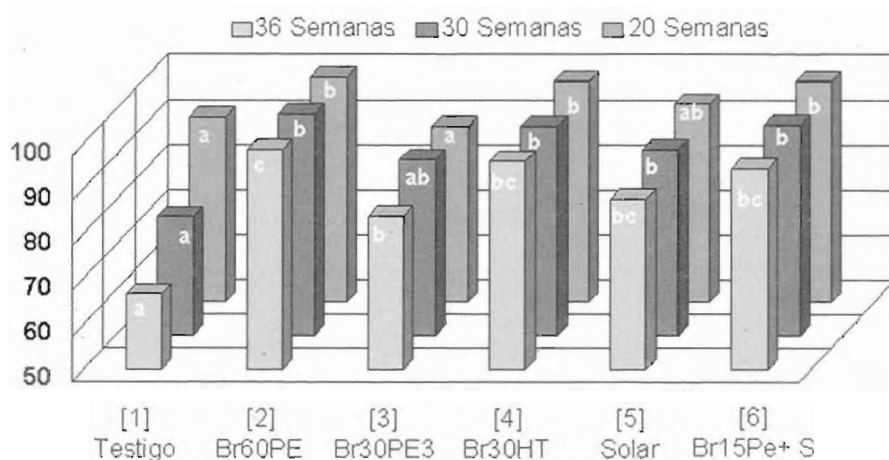


Figura 5. Porcentaje medio de plantas sanas en tres fechas (semanas desde la plantación) en el invernadero de Navarrés

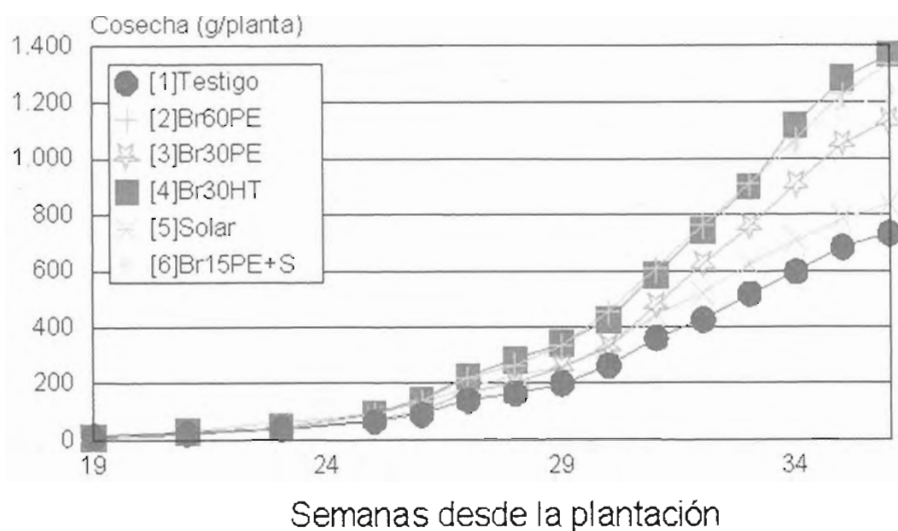


Figura 6. Cosecha acumulada de pimienta cv Padrón en el invernadero Navarrés

Se realizaron dos controles de la flora adventicia espontánea (Tabla 9), en el primero todos los tratamientos, incluso la solarización, dan un buen control de malas hierbas, comparado con el Testigo (1).

Tabla 8. Residuos de bromo en la primera recolección de pimientos en IVA y Navarrés (mg / kg)

Tratamiento	IVA	Navarrés
(1) Testigo	6.3 a	2.6 a
(2) 60 PE	31.4 b	14.4 b
(3) 30 PE	35.8 b	14.1 b
(4) 30 HT	40.2 b	15.1 b
(5) Solar	8.1 a	3.2 a
(6) 15 PE+Sol	27.0 b	6.4 a

Tabla 9. Número de malas hierbas por m2 en el invernadero de Navarrés

Tratamiento	Diciembre 1993	Abril 1994
(1) Testigo	3.9	22.8
(2) 60 PE	0.9	1.6
(3) 30 PE	0.3	0.7
(4) 30 HT	0.2	3.3
(5) Solar	0.8	14.1
(6) 15 PE+Sol	0.1	0.7

En general las malas hierbas se controlan bien en las tratamientos (2),(3),(4) y (6). El tratamiento (5) pese a tener un una gran cantidad de malas hierbas, tenía menos que el testigo, y con menor desarrollo.

Discusión

La mayor estanqueidad de la cubierta VIF, produce un aumento relativo de residuos de bromo tanto en suelo como en frutos, tal como era de esperar, no obstante, estos niveles resultan inferiores a los tolerables para las legislaciones europeas sobre residuos en alimentos, y no constituyen un efecto nocivo añadido.

La solarización aunque falla en el control de patógenos, es como consecuencia del retraso del inicio de la aplicación y el escaso tiempo de exposición, el control de malas hierbas es algo mejor, sin embargo los datos de esta técnica obtenidos de este experimento no son suficientemente representativos, y no concuerdan con otras investigaciones realizadas con anterioridad. La solarización de todas formas queda relegada a las zonas más templadas y a la época de verano.

Sin embargo la combinación con BM a $\frac{1}{4}$ de dosis se confirma como una alternativa al uso normal de la desinfección con este gas, incluso con un inicio tardío de la aplicación y con una exposición más corta de lo normal. Esta observación confirma investigaciones previas. El resultado obtenido puede ser mejorado si se utiliza en la época de máxima radiación solar.

En general todos los parámetros estudiados muestran un comportamiento similar entre el tratamiento con dosis normal (2) con cubierta de PE y el tratamiento con la mitad de la dosis (4) con cubierta virtualmente impermeable. El tratamiento (6) solarización con $\frac{1}{4}$ de dosis resulta muy interesante, especialmente desde el punto de vista de la producción. El tratamiento (3) con mitad de dosis y cubierta de PE se encuentra en tercer lugar, sin diferencias significativas, y por tanto en el grupo de los mejores. Cabe interpretar que la dosis de 60g/m² ha sido recomendadas convencionalmente por motivos de garantía en la desinfección. Esta misma garantía se puede obtener con la dosis mitad si se utiliza una lona impermeable como la HT.

Conclusiones

La utilización de cubiertas VIF permite reducir hasta la mitad de la dosis normal ofreciendo una garantía de protección similar a la desinfección con las dosis normalmente utilizadas.

La combinación de la solarización con dosis de BM reducidas a $\frac{1}{4}$ de la dosis normal producen un buen resultado aún en malas condiciones de solarización.

Abstract

In order to reduce MB dosage and emission during soil fumigation, while maintaining effectiveness in pest control, an experiment has been carried out in a pepper greenhouse where plants were affected by *Phytophthora capsici*. Treatments compared were: (1) an untreated control; (2) normal dosage of 60 g/m² MB with a polyethylene covering (PE); (3) half the normal dosage of MB 30 g/m²; (4) 30 g/m² MB with a waterproof sheet; (5) solarization; (6) solarization plus 15 g/ m² MB with PE. Efficacy was monitored both with an inoculation of *Fusarium oxysporum* f.sp. dianthi, and *P. capsici*. CxT product in disinfection, biomass production, plant health, residues and yield were the parameters taken into account.

In general all parameters studied show a very close behavior between treatments with normal dosage MB+PE cover sheet (2), and half dose+waterproof film (4). The treatment of 1/4 dose + solarization (September) (6) is also very interesting. The half dose MB + PE treatment (3) is generally in an intermediate position between the best performance treatments and the non-treated control group (1). Solarization (5) failed because of a late and short exposure. A significant reduction of at least one-half of the normal MB dosage can be reached by using a barrier film as a cover sheet, or even one-fourth the dosage if combined with soil solarization of the soil.

Keywords: *Phytophthora capsici*, pepper, ozone, barrier film, polyethylene, *Fusarium oxysporum* f.sp. *dianthi*.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro agradecimiento a A. del Busto por su ayuda en malherbología, a V. Borrás por su colaboración en la localización de la finca adecuada, a S. Beltrán por su contribución en las operaciones agrícolas, a la Empresa Agroquímicos de Levante por la aplicación de la desinfección y a J. de la Cuadra y M. Gamón del Laboratorio Agroalimentario y a E. Van Wambeke de la Universidad de Lovaina por los análisis realizados.

Este trabajo forma parte de un proyecto de investigación financiado por la Coalición Global de Bromuro de metilo (MBGC) con el objetivo de reducir las emisiones de BM durante la desinfección del suelo sin efectos colaterales nocivos.

Bibliografía

- Ben-Yephet, Y., J. M. Melero-Vera, J. E. deVay. 1988. Interaction of soil solarization and metham-sodium in the destruction of *Verticillium dahliae* and *Fusarium oxysporum* f.sp. *vasinfectum*. *Crop Protection* 7, 327-331.
- Busto, del A., D. Gómez de Barreda, P. F. Martínez, V. Cebolla, T. Campos. 1989. Solarización en la Comunidad Valenciana. Sus efectos en malherbología. *Proc. 4º EWRS Mediterranean symposium*, 178-189.
- Cebolla V., M. Garcia. 1984. Desinfección del suelo en cultivo de fresón al aire libre y bajo invernadero. *Publicación del SEA*.
- Cebolla V., P. F. Martínez, A. del Busto, B. Cases. 1993. Control de *Fusarium oxysporum* f.sp. *dianthi* mediante solarización combinada con fumigantes a bajas dosis. *Actas de Horticultura* 9, 552-557.
- Cebolla V., P. F. Martínez, A. del Busto, D. Gómez de Barreda, J. J. Tuset. 1994. Dosage reduction of Methyl bromide fumigation in the Spanish mediterranean coast. *Acta Horticulturae* 382, 156-163.
- Genis J. L. 1986. *Desarrollo de un Enfoque Cuantitativo de la Solarización y Aplicación al Control del Nematodo Meloidogyne javanica (Tremb) chit*. Tesis doctoral Universidad Politécnica de Madrid.
- Genis J. L. 1989. Temperature evaluation in solarized soils by Fourier analysis. *Phytopathology* 79, 506-510.

- Gil Ortega R., J. Barriuso, C. Palazón, C. Zaragoza. 1990. Efecto de la solarización del suelo sobre el cultivo de pimiento al aire libre. *ITEA* 86, 142-154.
- Katan J. 1980. Solar Pasteurization of soils for disease control: status and prospects. *Plant Disease* 64, 450-454.
- Katan J. 1981. Solar heating (solarization) of soil for control of soilborne pests. *Ann. Rev. Phytopathol.* 19, 211-236.
- Katan J., G. Fishler, A. Grinstein. 1983. Short and long term effects of soil solarization and crop sequence on Fusarium wilt and yield of cotton in Israel. *Phytopathology* 73, 1215-1219.
- Katan J., A. Greenberger, H. Alon, A. Greenstein. 1976. Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soil-borne pathogens. *Phytopathology* 66, 683-688.
- Komada H. 1975. Development of a selective medium for quantitative isolation of *Fusarium oxysporum*, from natural soil. *Rev. Plant. Prot. Res.* 8, 114-125.
- Malathrakis N. E. 1987. Six years experience on solarization against soil borne diseases of vegetables in protected crops. *CEC10BC Join experts meeting*, Spain.
- Martínez P. F., J. L. Cenis, A. González, R. Aragón. 1983. Estudio de factores físicos de la solarización. *Actas I Congreso SECH* 2, 839-848.
- Martínez P. F., J. L. Cenis., A. González, R. Aragón. 1986. Niveles térmicos en la desinfección del suelo por energía solar (solarización). *Actas II Congreso SECH*, 1099-1116.
- MBTOC. 1995. 1994 *Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee*. 1995 *Assessment of the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozono Layer*. U. N. Environment Programme, Nairobi, Kenya, 304 pp.
- Ponchet J., P. Ricci, C. Andreoli, G. Augé. 1972. Méthodes sélectives d'isolement du *Phytophthora nicotianae* f.sp. *parasitica* (Dastur) Waterh. a partir du sol. *Annales de Phytopathologie* 4, 97-108.

Capítulo 9

ALTERNATIVAS QUÍMICAS AL USO DEL BROMURO DE METILO

S. POCINO
FMC Foret S.A. Barcelona

Resumen

En España se encuentran registrados 6 desinfectantes de suelo, 6 nematocidas, 11 fungicidas, más de 15 insecticidas y más de 30 herbicidas para combatir las plagas y enfermedades del suelo y malas hierbas en los cultivos hortícolas. En Almería se usan corrientemente la mayoría de estos productos, siendo desinfectada con BM sólo el 4 o 5% de la superficie dedicada a horticultura.

Palabras clave: Fumigantes, fungicidas, nematocidas, herbicidas, insecticidas.

Introducción

Deberíamos en principio, al citar alternativas químicas, indicar que el BM es ya por sí mismo una más entre las diversas alternativas utilizables en la desinfección de suelos, pues desde hace ya tiempo su uso depende de la elección que el agricultor hace entre otros productos para practicar dicha operación. También, al indicar alternativas químicas, deberíamos citar únicamente alternativa, ya que obviamente el BM no es más que otro producto químico y por tanto una solución química.

Volviendo al principio, consta que desde que el BM viene utilizándose, su utilización es compartida con una considerable lista de productos fitosanitarios, hay quienes opinan que hasta demasiados, para resolver los problemas ocasionados por los insectos, hongos, nematodos o hierbas adventicias que afectan a los cultivos hortícolas.

En esta lista de productos fitosanitarios ninguno de ellos se encuentra clasificado en términos de peligrosidad en la categoría de "Muy tóxico", en la que se encuentra el BM, y que obliga a que su aplicación y uso deba hacerse obligatoriamente por empresas y personal especialmente autorizados para el manejo del mismo, por lo que entre dichas alternativas no siempre es la más cómoda.

Productos fitosanitarios registrados y de uso autorizado en los cultivos hortícolas

En la Tabla 1 se recogen los principales productos químicos utilizados en España para el control de los parásitos que pueden afectar a la planta desde el suelo con su correspondiente clasificación toxicológica. En la actualidad, en nuestro país, hay registrados 6 desinfectantes de suelo, 6 nematocidas, 11 fungicidas, más de 15

insecticidas y más de 30 herbicidas para combatir las plagas y enfermedades del suelo y malas hierbas en los cultivos hortícolas.

Tabla 1. Principales productos fitosanitarios registrados para hortícolas en España

	Productos	Peligrosidad
Desinfectantes (Fumigantes)	BM	Muy Tóxico
	Dazomet	Nocivo
	Dicloropropeno	Tóxico
	Metam Sodio	Nocivo
	Metam Potasio	Nocivo
	Tetratiocarbonato Sódico	Tóxico
Nematicidas	Aldicarb	Tóxico
	Cadusafos	Tóxico
	Carbofurano	Tóxico
	Etoprofos	Tóxico
	Fenamifos	Tóxico
	Oxamilo	Tóxico
Fungicidas	Etridiazol	Nocivo
	Flutalonil	Baja peligrosidad
	Himexazol	Nocivo
	Metalaxil	Baja peligrosidad
	Nabam	Nocivo
	Pencicuron	Baja peligrosidad
	Procloraz	Nocivo
	Propamocarb	Baja peligrosidad
	Quintoceno	Nocivo
	TCMTB	Nocivo
TMTD	Nocivo	
Insecticidas	más de 15	
Herbicidas	más de 30	

Uso de productos fitosanitarios y otras alternativas al BM en Almería

Debe destacarse que Almería, pionera en el manejo de los suelos hortícolas, lo es también en el correcto uso de los productos fitosanitarios que emplea. Ha ido buscando solución a los retos de las nuevas y clásicas plagas y enfermedades por los sistemas más adaptados al medio ambiente, dentro de su eficacia y menor peligrosidad. Entre ellos podemos citar el injerto de sandía, que es una práctica asimilada y realizada ya de forma corriente como una solución a las enfermedades generadas en el suelo.

De la misma forma, se ha ido evolucionando en la desinfección de los suelos, ya sea reduciendo las dosis al aplicar el producto sólo a la zona de alcance de los goteros, ya combinando su acción con su uso bajo el plástico de cobertura. De esta forma, en Almería en la campaña 1995 sólo se desinfectó con BM entre un 4-5% de la superficie hortícola cultivada, mientras que un 12-14% se desinfectó con metam sodio, un 20-25% con dicloropropeno y alrededor del 1% con los otros desinfectantes. El resto de la superficie recibió sólo el tratamiento específico contra la plaga, enfermedad o mala hierba cuando fue necesario, o simplemente no precisó la aplicación de ningún fitosanitario al suelo.

Este comportamiento muestra como el agricultor almeriense está en la línea de aplicar la solución más adecuada a los problemas fitosanitarios originados en el suelo, y que utiliza ya otras eficaces alternativas al uso de BM.

Abstract

There are 6 soil disinfectants, 6 nematicides, 11 fungicides, more than 15 insecticides and more than 30 herbicides registered in Spain to combat the soil-borne diseases and weed problems in horticultural crops. Most of these phytosanitary products are regularly used in Almeria where only 4-5% of the horticultural surface is disinfected with MB.

Keywords: Fumigants, fungicides, nematicides, herbicides, insecticides.

Capítulo 10

EL METAM SODIO COMO ALTERNATIVA AL BROMURO DE METILO EN CULTIVOS HORTÍCOLAS

J. LAITA de la RICA
Plant Protection Consultores. Madrid

Resumen

La aplicación de metam sodio incorporado con agua en combinación con solarización es una práctica habitual en los invernaderos de Almería en sustitución de los tratamientos de BM. Con vistas a confirmar la eficacia de este tipo de aplicación se realizó un programa de ensayos de campo en plantaciones de cultivos hortícolas en Almería durante la campaña 1995-96 empleando varias dosis y métodos de incorporación de metam sodio. Se aportan datos de resultados de los citados ensayos que permiten confirmar que el uso de metam sodio es una alternativa eficaz al uso de BM.

Palabras clave: Fumigantes, dosis, fitotoxicidad, malas hierbas, solarización

Introducción

La problemática originada por la previsible y futura prohibición de la aplicación de BM en agricultura ha motivado la petición de varios grupos de agricultores que argumentan la imposibilidad de sustitución de dicho producto en ciertos cultivos.

Sin embargo y desde hace algunos años se ha venido aplicando Metam sodio en combinación con un período de solarización en sustitución de los tratamientos de BM en los cultivos hortícolas de Almería.

Para comprobar la eficacia de este tipo de tratamiento se llevó a cabo un programa de ensayos comparativos de BM y distintas dosis y métodos de aplicación de Metam sodio durante la campaña 1995-96.

Material y métodos

Los productos empleados y los sistemas de aplicación de los mismos fueron:

- 1.- BM a 500 kg/ha
- 2.- Metam sodio a 1.500 kg/ha sellado con agua.
- 3.- Metam sodio a 1.500 kg/ha sellado con plástico.
- 4.- Metam sodio a 750 kg/ha sellado con plástico.
- 5.- Testigo

Diseño experimental. Los detalles de los ensayos se relacionan en la Tabla 1, pero de forma general, el diseño experimental fue de bloques al azar, con cuatro repeticiones y las evaluaciones fueron conteos de plantas mensual, evaluación de superficie cubierta por malas hierbas y control de cosecha.

El BM se aplicó mediante fumigación en frío sellando con plástico de 200 galgas y el Metam sodio se aplicó a través del sistema de riego por goteo sellando, cuando correspondía, con plástico de 150 galgas.

Tabla 1. Características de los ensayos realizados con metam sodio y BM

Ensayo	MS-1AI	MS-2AI	MS-3AI	MS-4AI	MS-5AI
Propietario	A. López	A. Góngora	A. Góngora	S. Marín	S. Marín
Localidad	Roquetas	Ruescas	Ruescas	Roquetas	Roquetas
Cultivo	Pimiento	Pepino	Tomate	Pepino	Tomate
Parcelas (m)	20 x 2.5	10 x 4	18 x 2.4	19 x 3.2	20 x 3
Aplicación					
Metam Na	13 junio	21 junio	6 julio	12 julio	12 julio
BM	30 julio	28 julio	28 julio	22 agosto	28 agosto
Siembra	9 agosto	17 agosto	4 agosto	20 sept.	2 octubre
Final	27 febrero	9 enero	20 enero	7 febrero	15 mayo

El tiempo transcurrido entre la aplicación de metam sodio y la siembra fue de 57, 57, 29, 70 y 82 días manteniéndose el plástico de sellado durante todo el plazo entre la aplicación y la siembra.

Resultados

Fitotoxicidad. No se observó fitotoxicidad en ninguna de las parcelas tratadas con metam sodio a ninguna de las dosis ensayadas. Se observó un leve efecto fitotóxico en uno de los ensayos en parcelas tratadas con BM, fitotoxicidad que se puede imputar al escaso tiempo de espera entre aplicación y siembra, siendo dicho efecto pasajero desapareciendo a los treinta días de la observación.

Vigor del cultivo. No se detectaron diferencias entre las parcelas tratadas con metam sodio o BM a ninguna de las dosis.

Eficacia herbicida. Solo en uno de los ensayos (MS-3AI) apareció una infestación significativa de malas hierbas susceptible de evaluaciones con diferencias significativas con los resultados expresados en la Tabla 2. Las malas hierbas presentes fueron *Amaranthus* spp., *Digitaria sanguinalis* y *Solanum nigrum*.

Tabla 2. Control de malas hierbas

Tratamiento	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Media	% Control
1. BM	1	1	1	1	1	83 bb
2. Metam Na 1.500 + agua	1	1	0	0	0.5	91 cc
3. Metam Na 1.500 + plástico	0	0	0	0	0	100 ee
4. Metam Na 750 + plástico	1	0	0	0	0.25	96 dd
5. Control	5	6	5	7	5.75	0 aa

Control de cosecha. Se realizó el control de cosecha de todos los ensayos en todas las fechas de cosecha pesando las producciones de todas las parcelas. Se resumen a continuación los datos medios por tratamiento de los distintos ensayos expresados en kg de producción en las distintas parcelas.

Como se puede observar en la Tabla 3 la aplicación de metam sodio a 1500 kg ha⁻¹ con sellado por medio de cobertura plástica del suelo proporciona una producción superior a la obtenida con la aplicación de BM en cuatro de los cinco ensayos realizados. La razón por la que en el quinto ensayo la producción fue inferior es porque en dicho ensayo se observó un alto ataque de nematodos lo que produjo un mejor rendimiento en aquellas parcelas tratadas con BM.

Tabla 3. Producción en kg por parcela

Tratamiento	MS-1AI (50 m ²)	MS-2AI (40 m ²)	MS-3AI (43 m ²)	MS-4AI (61 m ²)	MS-5AI (60 m ²)
1. BM	255.50	410.25	250.20	412.70	653.25
2. Metam Na 1.500 + agua	246.25	317.00	202.50	432.20	639.50
3. Metam Na 1.500 + plástico	257.00	417.25	208.50	432.50	666.50
4. Metam Na 750 + plástico	244.25	327.00	213.50	417.50	649.75
5. Control	238.75	328.25	194.00	383.20	618.75

Se puede concluir de acuerdo con los datos obtenidos en los ensayos que la aplicación de metam sodio a 1.500 kg ha⁻¹ sellado con plástico es una alternativa efectiva a la aplicación de BM en los casos de baja población de nematodos, necesitando complementarse con la aplicación de nematicidas específicos.

Conclusiones

La aplicación de metam sodio en combinación con un período de solarización es una alternativa eficaz al tratamiento de BM con la ventaja de la facilidad y seguridad del manejo. El control de malas hierbas y enfermedades fue en todo momento similar o superior al proporcionado por el BM a todas las dosis y sistemas de sellado empleados. En casos de fuertes ataques de nematodos metam sodio debe complementarse con la adición de nematicidas específicos.

La posible prohibición de las aplicaciones de bromuro en los cultivos hortícolas de Almería no supone por tanto ningún problema técnico ya que existen soluciones alternativas con la aplicación de metam sodio y solarización, además del complemento de productos nematicidas autorizados en los casos de fuertes ataques.

Abstract

Metam-sodium has been extensively used in combination with solarization to substitute the MB application in the greenhouses area of Almería. A trial program was carried out to check the efficacy of metam sodium by using different rates and methods of incorporation into the soil during the campaign 1995-96. The results of the trials confirm metam sodium is an adequate alternative of MB.

Keywords: Fumigants, dosage, phytotoxicity, weeds, solarization.

Capítulo 11

TRATAMIENTOS CON DD COMO ALTERNATIVA AL BROMURO DE METILO

D. GONZÁLEZ PEDREÑO
Cyanamid Ibérica S. A. Madrid

Resumen

Se analiza el uso de DD como posible solución al vacío que se podría crear en las prácticas de desinfección de suelos en el caso de que el BM fuera retirado del mercado por razones de seguridad medioambiental. La alta volatilidad de DD le permite participar de las ventajas de los gases fumigantes siendo, sin embargo, de manejo mucho más sencillo al presentarse en forma líquida y poder ser incorporado incluso mediante el agua de riego. El amplio espectro nematocida de este producto y su acción destructiva sobre la parte vegetativa de las plantas, cumplen dos importantes cualidades exigidas a los desinfectantes del suelo. Igualmente DD ofrece acción frente a hongos que le permite mejorar la eficacia de los tratamientos fungicidas de suelo. Por otra parte, su acción selectiva sobre la microflora del suelo favorece la fijación y asimilación de nitrógeno atmosférico por los cultivos. Todo ello, junto con la versatilidad de su manejo, lo hacen una alternativa idónea para el caso de supresión de uso del BM.

Palabras clave: fumigantes, nematocidas, fungicidas, hortícolas, *Meloidogyne*

Introducción

DD es un producto autorizado para realizar tratamientos de desinfección de suelos, antes de realizar la siembra o plantación de los cultivos a proteger. La aplicación para la que está autorizado DD es la eliminación de nematodos fitoparásitos de los cultivos hortícolas, industriales, tabaco, ornamentales, frutales, cítricos y vid. No obstante, este producto tiene otra serie de efectos laterales, que se analizan en este trabajo y que es útil conocerlos para un mejor aprovechamiento de estos tratamientos, Csinos et al. (1996).

Si por razones de orden medioambiental se adopta a nivel internacional la decisión de eliminar o reducir el uso de BM, DD constituye, sin duda, una alternativa para conseguir un efecto fitoterapéutico equivalente en la mayoría de los casos, bien utilizado solo o en combinación con otros tratamientos o técnicas adecuados a cada situación concreta.

En los siguientes apartados se hace un análisis general de todas estas posibilidades, al objeto de facilitar a los técnicos y a los agricultores una guía que les permita obtener la mayor utilidad de la aplicación de DD.

Composición y características del DD

Materia activa:	1,3 Dicloropropeno (mínimo 95% p/p)
Isómeros:	Cis y trans (aproximadamente en la proporción 53-47%)
Apariencia (20°C):	Líquido de coloración entre amarilla y ámbar, olor acre.
Solubilidad:	Ligeramente soluble en agua (2.0 g/l) y soluble en disolventes halogenados, ésteres y cetonas.
Coefficiente de partición:	65.8 (Octanol/agua)
Presión de vapor:	3.76 x 103 Pascales a 20 °C
Densidad (20 °C):	1.21 g/l
Punto de ebullición:	106-116 °C
Punto de destello:	31 °C

Se considera que los dos isómeros tienen una eficacia similar.

El valor relativamente bajo del coeficiente de partición (Octanol/agua) es indicativo también de un relativamente reducido potencial de bioacumulación. Su elevada volatilidad (Presión de vapor) posibilita su penetración completa en el interior del suelo, y consecuentemente su elevada eficacia, a la vez que hace recomendable el sellado de la superficie para evitar pérdidas de producto durante su periodo de actuación.

Las formulaciones más usuales son la inyectable (95% p/p) y la emulsionable (90% p/p), esta última para su aplicación a través del agua de riego.

Toxicología aguda

Refiriéndonos a la formulación de más frecuente uso en cultivos hortícolas (emulsionable), los datos de toxicología aguda son los siguientes:

Mamíferos:

DL50 Oral (Rata):	127 mg/kg
DL50 Dermal (Rata):	423 mg/kg
CL50 Inhalación (Rata):	729 ppm

Organismos acuáticos:

CL50 <i>Daphnia</i> :	6.2 mg/l
CL50 96h <i>Lepomis</i> :	6.1 mg/l
CL 96h <i>Cyprinodon</i> :	1.8 mg/l

La clasificación oficial de peligrosidad de este formulado es la siguiente:

- Para el hombre, según RD 3349/1983: Tóxico
- Peligrosidad para la fauna terrestre: Categoría B (Media)
- Peligrosidad para la fauna acuática: Categoría B (Media)

Modo de actuación en el suelo

DD 92 se aplica como líquido pero, una vez en el suelo, se volatiliza y difunde como vapor, dependiendo su eficacia de la posibilidad de difusión en el suelo sobre el que se aplica. La difusión es mejor en suelos ligeros que en los pesados, o con alto contenido en materia orgánica.

Las temperaturas muy bajas y la presencia de agua en exceso son circunstancias que dificultan la difusión del fumigante. Igualmente la presencia de terrones puede disminuir la eficacia, debido a que algunos nematodos pueden refugiarse en éstos.

Los mejores resultados se consiguen cuando el suelo está mullido, con jugo y su temperatura se encuentra entre 10 °C y 27 °C.

Actividad nematocida

DD es muy activo contra un amplio espectro de nematodos fitoparásitos, los de mayor interés para nuestros cultivos se recogen en la Tabla 1.

Tabla 1. Principales nematodos de nuestros cultivos controlados con DD y sus características

	Cultivos	Características
<i>Xiphinema index</i>	Viña	Transmisor de virus
<i>Pratylenchus penetrans</i>	Frutales	Endoparásito
<i>Tylenchulus semipenetrans</i>	Cítricos	Semiendoparásito
<i>Meloidogyne incognita</i>	Solanáceas	Formador de nódulos
<i>Heterodera schachtii</i>	Quenopodiáceas	Formador de quistes
<i>Globodera rostochiensis</i>	Patata	Formador de quistes

Algunos datos que confirman este modo de actuación concretamente contra la especie fitopatógena más común en cultivos hortícolas (*Meloidogyne incognita*), son los siguientes:

1. Evolución del ataque radicular de *Meloidogyne* spp en tres ensayos realizados en el cultivo de tomate en Almería en el año 1988. Se aplicaron tres dosis del isómero Cis, en comparación con la dosis "standard" de DD, evaluándose los daños de acuerdo con una escala 0 - 5, en la que el significado de cada valor era el siguiente:

- (0) Sin nódulos
- (1) 1-5 nódulos
- (2) 2-25 nódulos
- (3) 26-100 nódulos
- (4) Ataque moderado, numerosos nódulos.
- (5) Ataque fuerte, nódulos en racimos.

La media de los tres ensayos a diferentes intervalos en días después del tratamiento (DDT), en tratamientos y testigos se recogen en la Tabla 2.

Tabla 2. Evolución del ataque radicular de *Meloidogyne* spp en tomate

Tratamientos	Dosis kg ia ha ⁻¹	Días después del tratamiento			
		61	75	84	99
Cis, 1-3 Dicloropropeno	80	0(*)	0	0	0
Cis, 1-3 Dicloropropeno	110	0	0	0	0
Cis, 1-3 Dicloropropeno	150	0	0	0	0
1-3 Dicloropropeno	220	0	0	0	0
Testigo	0	3	3	4	5

(*) Índice de daño

Estos datos nos muestran la prolongada eficacia del tratamiento cuando se realiza en óptimas condiciones, aún a pesar de la elevada infestación de *Meloidogyne* en el campo objeto del ensayo.

II. Evolución de la población de nematodos en un cultivo de berenjena en Almería tratado con DD en la temporada 1995-96. En la última evaluación se comparan los resultados obtenidos con una aplicación correcta con los resultados de un tratamiento que había recibido entre el 50% y el 70% de la dosis (Tabla 3).

Tabla 3. Evolución de la población de nematodos en un cultivo de berenjena

Aplicación	Individuos / 100cc suelo	Nematodos
19 junio 1995	14.760	99.9% <i>Meloidogyne</i>
21 septiembre 1995	410	No hay fitoparásitos
8 enero 1996	3.330	75% <i>Meloidogyne</i>
(Aplicación correcta)		25% saprófagos
8 enero 1996	18.810	97% <i>Meloidogyne</i>
(Aplicación deficiente)		3% saprófagos

Estos datos nos confirman la prolongada eficacia biológica (6 meses) de un tratamiento correcto con DD, frente a una reinvasión más rápida cuando el tratamiento realizado no es el correcto.

Efecto del DD sobre la microflora del suelo

DD reduce considerablemente las bacterias nitrificantes (*Nitrosomonas*) durante un período de 40-50 días después del tratamiento, pero tiene un efecto muy ligero sobre las bacterias fijadoras de nitrógeno. Como consecuencia de estos efectos, se produce una fijación de nitrógeno en formas amoniacales que no se transforma inicialmente en formas nítricas, con los consiguientes efectos sobre el cultivo:

- A. Se impiden las pérdidas de nitrógeno en forma nítrica, mucho más susceptible de lixiviación que las formas amoniacales.
- B. Sigue existiendo disponibilidad de nitrógeno para aquellas plantas capaces de utilizar las formas amoniacales, como son las solanáceas y las compuestas.

C. En aquellos otros cultivos que utilizan con mayor dificultad las formas amoniacales, puede ser necesario un aporte inicial de nitrógeno.

No obstante, transcurridos unos 2-3 meses, la recuperación de la población de nitrosomonas es total, produciéndose el consiguiente incremento de formas nítricas directamente disponibles por la mayoría de los cultivos.

Como consecuencia de este efecto, se aprecia en los cultivos cuyos suelos de asiento han sido previamente tratados con DD, un aumento de vigor que no se aprecia cuando el tratamiento se realiza con otro tipo de nematicidas.

Algunos autores atribuyen este aumento patente de vigor también a otros efectos relacionados con el comportamiento de DD con la microflora del suelo, así Boyd (1961), lo atribuía a las siguientes razones:

- Incremento de amonio, nitratos y algunos aminoácidos.
- Estimulación del crecimiento como consecuencia del aumento de la población de *Pseudomonas fluorescens*.
- Ventaja de las bacterias fijadoras de nitrógeno más eficientes sobre las menos eficientes, citándose entre las primeras: *Anthrobacter globiformis*, *Pseudomonas spp*, *Corynebacteriaceae* y *Pseudomonaceae*.

En resumen, el efecto lateral de DD sobre la microflora del suelo, tiene como consecuencia un mayor vigor del cultivo, que no se obtiene mediante el uso de otros nematicidas.

Efecto del DD sobre hongos fitopatógenos

A DD se le reconoce efecto fungicida sobre un amplio espectro de hongos parásitos, aunque éste no es suficiente por sí misma para procurar la protección normalmente exigida, sobre todo en el caso de fuertes infecciones.

Entre los hongos parásitos sobre los que existen citas en la que se comprueba un efecto fungicida limitado, se encuentran los siguientes:

Crucíferas	<i>Plasmodiophora brassicae</i>
Claveles	<i>Fusarium oxysporum</i>
Patata	<i>Verticilium albo-atrum</i>
Espinaca	<i>Pythium spp</i> , <i>Fusarium solani</i> y <i>F oxysporum</i>
Tabaco	<i>Phytophthora parasiticae</i>
Tomate	<i>Verticilium albo-atrum</i>
Sandía	<i>Fusarium Oxysporum</i> .

Aunque el citado efecto fungicida no es suficiente por sí solo para dar un control satisfactorio de los patógenos mencionados, si supone en muchas ocasiones un suplemento nada despreciable a otros tratamientos fungicidas.

En la Tabla 4 se exponen los datos de un ensayo realizado en Águilas (Murcia) en una parcela sobre la que se aplicó la dosis "standard" de PCNB en mezcla con

distintas dosis de DD y en comparación con otro nematocida al que se le supone efecto fungicida. El tratamiento se realizó el 2 de junio y el trasplante se llevó a cabo el 10 de julio siguiente.

Tabla 4. Efecto del DD sobre hongos del suelo

Tratamientos	Dosis kg ha-1	Hongos del suelo(1)			Desarrollo vegetativo(2)		
		Días después tratamiento	15	30	45	Días después tratamiento	15
DD+PCNB	200	0	7	3	+	+	+
DD+PCNB	300	0	2	1	+	+	++
DD+PCNB	400	0	4	0	+	++	++
DD+PCNB	600	0	1	1	+	++	++
Standard	1.200	0	5	16	+	+	+
Testigo	0	0	8	22	-	-	-

(1) Número de plantas afectadas de cada 100 observadas; (2) Respuesta del cultivo con respecto al testigo

Estos datos son indicación del buen efecto fungicida de la combinación DD/PCNB, con respuesta positiva al incremento de la dosis de DD. Igualmente se observa el efecto positivo sobre el vigor del cultivo, que puede estar influenciado por el efecto a que nos hemos referido en el apartado anterior.

Otros efectos del DD

El DD tiene reconocido efecto insecticida sobre larvas de *Melolontha melolontha* y otros insectos de suelo. Igualmente controla numerosas malas hierbas, entre las que se encuentran *Sorghum halepense* y *Convolvulus arvensis*, siempre que los vapores alcancen toda la parte vegetativa. En general, cualquier planta que se encuentre en desarrollo vegetativo es eliminada por los efectos de los vapores de DD, efecto que puede ser utilizado cuando el riego de aplicación o sellado del tratamiento provoca la germinación de las semillas de las infestantes.

Forma de uso

La forma de uso de las dos formulaciones más utilizadas de DD es la que se describe a continuación.

DD inyectable. Utilizar siempre en terreno libre de cultivos, antes de realizar la siembra o trasplante. Realizar la aplicación mediante inyectoros apropiados, dando a continuación una labor de sellado, preferiblemente con un rulo u otro apero que compacte la superficie del suelo. Un "mulching" con lámina de plástico tiene el mismo efecto, o incluso puede lograr un sellado más perfecto.

El suelo debe permanecer sellado durante un período de 6 a 8 semanas, dependiendo de la dosis aplicada y de acuerdo con las instrucciones del fabricante para cada caso. Una vez transcurrido el período de actuación de los vapores, se debe eliminar el sellado mediante una labor mecánica o eliminación del mulching. Realizada esta labor, el suelo queda en disposición de recibir la siembra o el trasplante.

DD emulsionable. Como en el caso anterior, utilizar siempre en terreno libre de cultivos, antes de realizar la siembra o trasplante. Realizar la incorporación del producto mediante el agua de riego. Al objeto de asegurar la máxima uniformidad, si se utiliza riego por inundación, las parcelas han de estar bien niveladas, y si se emplea en riego por goteo, el grado de recubrimiento de la superficie mojada debe ser el máximo posible.

Para el caso de incorporación del DD mediante el sistema de riego por goteo, se ha desarrollado una técnica consistente en la aspiración del producto directamente desde el envase por medio de un dispositivo Venturi, que lo inyecta directamente en la red de riego. Esta técnica de inyección mediante Venturi, tiene la ventaja de evitar todo contacto del operador con el producto y la consiguiente reducción de riesgos de manipulación. No obstante, este sistema no se debe utilizar nunca cuando la red de riego está conectada con una red de suministro más general.

El sellado se puede realizar mediante el propio riego de inundación, aunque es preferible complementarlo con una cubierta de plástico, que es siempre necesario en caso de riego por goteo. El suelo debe permanecer sellado durante un período de 6 a 8 semanas, dependiendo de la dosis aplicada y de acuerdo con las instrucciones del fabricante para cada caso. Una vez transcurrido el período de actuación de los vapores, se debe eliminar la cubierta de sellado. Realizada esta labor, el suelo queda en disposición de recibir la siembra o el trasplante.

Conclusiones

El tratamiento con DD como alternativa al BM, ofrece las siguientes posibilidades:

- * Muy buena eficacia nematicida.
- * Incremento inicial del vigor del cultivo.
- * Ligero efecto fungicida, que debe complementarse con productos específicos.
- * Efecto lateral insecticida y herbicida.
- * Aplicación sin contacto con el producto, cuando sea factible su aplicación mediante riego por goteo utilizando la técnica "Venturi".

Abstract

We consider that DD may cover the possible gap in soil disinfection practices if MB is taken out from the market because of environmental safety reasons. The high DD volatility gives the advantages of fumigant gases, but at the same time its liquid formulation makes a much easier handling and even allows to be incorporated through irrigation water. The broad nematicide spectrum of this product and its destructive effect on the vegetative part of plants, fit two of the most important qualities required for soil fumigants. At the same time DD provides side effects against fungus that improves the soil fungicide treatments. On the other hand, its selective activity over soil microflora improves the nitrogen assimilation by crops. All these biological facts together with the several possible ways of using, makes it a suitable alternative for the case of MB withdrawal.

Keywords: fumigants, nematicides, fungicides, vegetables, *Meloidogyne*.

Bibliografia

Boyd, D.A. 1961. Current Fertiliser Practice in Relation to Manurial Requirements. *Proc. Fertil. Soc.* 65.

Csinos, A.; D. Sumner, C. Johnson, B. Johnson, R. McPherson, C. Dowler. 1996, Tobacco seed bed fumigation alternatives. *Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions*. Methyl Bromide Alternatives Outreach, 4-6 november, Orlando, Florida, 26: 1-4 p.

Capítulo 12

TELONE Y SANIMUL COMO ALTERNATIVA AL BROMURO DE METILO

J. I. AGUIRRE

Rhône Poulenc Agro S. A., Torre de la Reina. Sevilla.

Resumen

Se propone como alternativa al BM la aplicación de Telone como un fumigante nematicida, junto con Sanimul un nematicida-insecticida de contacto, ambos con dos formulaciones en el mercado. El Telone se comercializa como Telone II que contiene un 98% p/p de 1,3 dicloropropeno y Telone II EC con el 93%. El Sanimul es un etoprofos que se comercializa como Sanimul L con el 20% de materia activa y Sanimul G con el 10%. Se describen las principales características de estos productos, modo de aplicación, comportamiento en relación con el ambiente y se indican las dosis de aplicación que se consideran más eficaces.

Palabras clave: 1,3 Dicloropropeno, etoprofos, nematicidas, insecticidas, hortalizas

Introducción

La limitación al uso del BM, y la adopción de medidas de gestión integrada de los cultivos conllevan la utilización razonada de tratamientos fitosanitarios.

En aquellos casos en que es aconsejable un tratamiento nematicida, o nematicida-insecticida de suelo, la alternativa propuesta por Rhône-Poulenc Agro al BM es la aplicación de un nematicida fumigante como el Telone y/o de un nematicida-insecticida de contacto como Sanimul, como tratamientos específicos, para problemas concretos y con menores riesgos en su aplicación y efectos residuales o contaminantes.

Telone

Telone II es un nematicida que se utiliza en tratamientos de desinfección de suelos, en terrenos desnudos, donde se vayan a implantar cultivos hortícolas, industriales, ornamentales, frutales, cítricos, viñedo y parrales de vid.

El 1,3-dicloropropeno es el ingrediente activo de los nematicidas Telone II, y desde su introducción en los años 50, es uno de los compuestos más efectivos que se han desarrollado hasta el momento para el control de los nematodos fitoparásitos.

Una vez situado en el suelo, el Telone se volatiliza, y rápidamente penetra en el suelo moviéndose a través de los espacios de aire, y disolviéndose en la capa de

agua que rodea a las partículas de suelo, donde entra en contacto con los nematodos. Los gases disueltos en esta capa de agua matan a los nematodos por contacto en función de su concentración y del periodo de tiempo de exposición

Rhône-Poulenc Agro comercializa dos formulaciones diferentes:

Telone II: líquido inyectable con un 97% p/p de 1,3-dicloropropeno, equivalente a 1180 g/l, en el Registro Oficial de Productos Fitosanitarios con el nº 13.096/97.

Telone II EC: líquido emulsionable, para aplicación en agua de riego, que contiene un 93% p/p de 1,3-dicloropropeno, equivalente a 1120 g/l, inscrito en el Registro Oficial de Productos Fitosanitarios con el nº 13.131/97.

Por su adaptación a las condiciones de los invernaderos de Almería de esta última formulación, es de ella de la que pasaremos a hacer alguna consideraciones.

Características y propiedades medioambientales del Telone II EC

Peso específico a 20 °C	1.215
Presión de vapor a 20 °C	59 mm Hg
Constante de difusión (K _o)	22
Solubilidad en agua	1%, y muy alta en lípidos

Las principales vías de disipación del 1,3-dicloropropeno son la difusión gaseosa, su hidrólisis en solución acuosa y la metabolización bacteriana.

Su alta presión de vapor hace que su movilidad en el suelo sea fundamentalmente en forma de gas, pero su baja solubilidad en agua y alta en lípidos hace que una capa de agua en la superficie del suelo actúe efectivamente como un sellado, y que la mayor parte del producto acabe asociado a la materia orgánica del suelo. El 1,3-dicloropropeno que es liberado al aire es además rápidamente degradado por la luz ultravioleta, con una vida media de 1-2 días.

En el suelo se degrada rápidamente, su vida media en las capas superficiales es de 1 a 20 días, y algo mayor (15-46) en los subsuelos. Su hidrólisis es rápida (vida media de 11 días a 20 °C y de 3 días a 30 °C) pasando a su correspondiente 3-cloroalil-alcohol, que se degrada muy rápidamente (vida media en el suelo de 1-2 días a 15 °C) por acción microbiana (bacterias del género *Pseudomonas*) y por incorporación a la materia orgánica del suelo.

En los tejidos vegetales es absorbido y metabolizado rápidamente (vida media de 1.5 horas) sin dejar residuos.

Esta disipación garantiza la ausencia de lixiviación (no se encuentran residuos a los 2-3 m de profundidad, y sólo entre 0.1 y un 4% se transporta hasta 1 m) y la ausencia de residuos en los cultivos posteriores. Su clasificación toxicológica actual es T (B-B)

Aplicaciones y dosis de empleo. En invernaderos y enarenados la dosis recomendada es de 150 l ha⁻¹. En otros cultivos autorizados las dosis varían:

- Nuevas plantaciones frutales, cítricos, platanera y viña, 400 a 475 l ha⁻¹
- Remolacha y otros cultivos herbáceos, entre 90 y 150 l ha⁻¹

- Tabaco, entre 100 y 150 l ha-1
- Patata, entre 150 y 200 l ha-1
- Semilleros de hortalizas y ornamentales, 200 l ha-1, en terrenos de asiento, entre 150 y 200 l ha-1

Técnica de aplicación. Para obtener los mejores resultados con Telone, es necesario realizar una correcta aplicación, y para ello es muy importante conseguir un control exacto de la dosis empleada, utilizando para ello reguladores como el Gotamix.

Es muy importante también el control del volumen de agua utilizado y de su aplicación, nuestras recomendaciones son usar hasta 50 l/m², haciendo primero un buen mojado del terreno con el 50% de esta cantidad de agua, aplicando a continuación el Telone con un 20% del agua y reservando otro 30% para aplicar a continuación como sellado. Otro aspecto importante de la aplicación es el control de los materiales de riego utilizados, los más adecuados son acero inoxidable, nylon o polietileno.

Para conseguir una perfecta selectividad en el cultivo a implantar hay que dejar entre el tratamiento y la plantación un plazo de espera que en cultivos enarenados en invernadero es de una semana y media por cada 100 l de Telone II EC utilizados por hectárea.

Sanimul

Sanimul es un nematocida e insecticida del suelo que se utiliza en cultivos de platanera, tomate, pepino, pimiento, fresa, tabaco, piña, maíz, col, cacahuete, patata, césped y ornamentales. La materia activa del Sanimul es el etoprofos, y Rhône-Poulenc Agro, comercializa dos formulaciones diferentes:

Sanimul L. Líquido emulsionable con un 20% en peso/volumen de materia activa e inscrito en el Registro Oficial de Productos Fitosanitarios con el nº 16.951/04.

Sanimul G. Microgranulado con un 10% en peso/volumen de materia activa e inscrito en el Registro Oficial de Productos Fitosanitarios con el nº 16.950/04.

Características de la materia activa. El etoprofos pertenece a la familia de los organofosforados y su nombre químico es O-etil S,S-di-n-propil fosforoditionato.

Fórmula química	C ₈ H ₁₉ O ₂ PS ₂
Densidad	1.094 a 26 °C.
Tensión de vapor	3.5x 10 ⁻⁴ torricellis a 26 °C.
Solubilidad en agua	(750 mg/l a 25 °C) es débil y elevada en solventes orgánicos.
Peso específico	720 g/l (formulado para microgránulos)

Modo de acción. El etoprofos es un nematocida/insecticida de contacto, que actúa como un inhibidor de la colinesterasa. No es sistémico, ni es un fumigante, aunque tiene capacidad para moverse con el agua del suelo y penetrar en el tejido radicular.

Su actividad es función de su concentración, siendo letal por contacto a la dosis recomendada, y con una acción nematostática a dosis inferiores que se traduce en una parálisis de los nematodos y una desorientación que afecta a sus hábitos de vida.

Actividad biológica. El etoprofos es activo contra todas las especies de nematodos y contra un gran número de insectos de suelo como larvas de coleópteros (*Agriotis*, *Melolontha*, *Vesperus*, *Capnodis*,...), de dípteros (*Hylemia*, *Oscinella*, *Phorbia*, *Psila*, *Tipula*,...) de lepidópteros (*Agrotis*,...) y también miriápodos (*Scutigera*, *Blaniulus*,...), ortópteros (*Grillotalpa*,...) y coleópteros (*Cosmopolites*, *Atomaria*...).

Características y propiedades medioambientales. El producto en el suelo tiene una muy lenta movilidad, y es degradado por vía microbiológica, por hidrólisis y por oxidaciones secundarias. Su vida media en el suelo es de 14-28 días en función del contenido en materia orgánica, de la temperatura y la humedad.

En la planta se transforma rápidamente en etil-propil-sulfuro, etil-propil-sulfóxido y etil-propil-sulfona. No se vehiculiza a las partes aéreas, con lo que no hay riesgo de residuos ni de modificar el gusto de las cosechas.

Su clasificación toxicológica es: Sanimul G: T (B-B), Sanimul L: T (C-C), es tóxico por ingestión y contacto, y no es carcinogénico, mutagénico ni teratógeno. Su actual plazo de seguridad es de 60 días.

Aplicaciones y dosis de empleo. El tratamiento puede ser aplicado a toda la superficie o ser limitado en bandas o localizado con la reducción de dosis correspondiente.

En un tratamiento dirigido al control de nematodos la dosis de materia activa recomendada es de 8-10 kg ha⁻¹, equivalente a 40-50 kg ha⁻¹ de Sanimul L, y a 80-100 kg ha⁻¹ de Sanimul G. En un tratamiento dirigido al control de insectos de suelo, la dosis de materia activa recomendada es de 4-6 kg ha⁻¹ en plena superficie.

Como regla general, la persistencia de acción del producto a su dosis completa es de 2,5 a 4 meses según el género de nematodos y nivel de infestación.

El momento de aplicación es muy flexible, pudiendo realizarse en presembrado (o pre-transplante), en el momento de la siembra, o en postemergencia (o post-transplante). Siempre es muy importante realizar un reparto uniforme en la superficie tratada y una incorporación posterior de 5 a 15 cm, que en el caso del Sanimul L puede ser con el agua de riego.

En concreto en el caso de hortalizas, nuestras recomendaciones comprenden las tres opciones siguientes:

En preplantación: aplicar la semana anterior a la plantación. Sanimul L: 15-20 l ha⁻¹, Sanimul G: 75 kg ha⁻¹ a todo terreno o 50 kg ha⁻¹ en bandas de 50 cm. Realizar una incorporación mecánica de unos 10-15 cm. de profundidad y un riego a continuación.

En postplantación: utilizar Sanimul L en dos aplicaciones, una en los primeros 15 días, a una dosis de 4-6 l ha⁻¹ y repetir 20 días después a 1 kg ha⁻¹. Las dosis más bajas son las recomendadas para los suelos arenosos y para el cultivo de pepino.

Como complemento a un tratamiento fumigante: si se ha realizado una aplicación de Telone en preplantación, a los 30-40 días del trasplante recomendamos utilizar Sanimul L a una dosis de 6-8 l ha⁻¹. Si se ha realizado una aplicación de metam-sodio en preplantación, recomendamos dos aplicaciones con Sanimul L, la primera a los 20 días del trasplante a una dosis de 5-7 l ha⁻¹ y la segunda 20 días después a una dosis de 7-10 l ha⁻¹.

Conclusiones

El Telone es un nematicida de muy alta eficacia en desinfección de suelos desnudos, se trata de un auténtico fumigante, con gran capacidad de penetración en el suelo.

La degradación de Telone tanto en la atmósfera, como en agua y en suelo evita la aparición de residuos o contaminaciones tanto en los cultivos como medio-ambientales. La utilización de su formulación emulsionable hace posible su aplicación mediante el agua de riego

El Sanimul es un nematicida e insecticida de suelo de alta eficacia, muy polivalente y con excelente acción residual. No es volátil, es débilmente soluble en agua, se aplica con incorporación al suelo, se degrada en metabolitos inocuos sin dejar residuos en el suelo, ni aportar cloro o sodio.

El Sanimul no es sistémico por lo que a las dosis recomendadas no deja residuos en las hojas y frutos de las plantas tratadas. Es selectivo en los cultivos autorizados. Su uso es muy flexible: no precisa plazo de espera entre la aplicación y la siembra, puede usarse antes, durante y después de la plantación, sus dos formulaciones, líquida y microgranulado, facilitan la aplicación más adecuada a cada caso.

Abstract

The use of Telone as a nematicide fumigant is proposed as an alternative to MB, together with sanimul, a contact nematicide-insecticide. Both are commercialized in two different formulas. Telone is marketed as Telone II with 98% and Telone II EC with 93% p/p of 1,3 dichloropropene. Sanimul is an ethoprop marketed as Sanimul L with 20% active ingredient and Sanimul G with 10%. The main characteristics, application and environmental performance of the products are described. Application dosages for optimum efficacy are indicated.

Keywords: 1,3 Dichloropropene, ethoprop, nematicides, insecticides, vegetables

Capítulo 13

FORMACIÓN Y PRODUCCIÓN INTEGRADA EN LA COMUNIDAD VALENCIANA

J. L. PORCUNA, C. OCÓN, A. JIMÉNEZ
Servicio de Sanidad y Certificación Vegetal, Silla. Valencia.

Resumen

El retroceso de la superficie de hortalizas en la Comunidad Valenciana durante los últimos diez años se considera que se debe, al menos, a dos factores principalmente: el primero corresponde al incremento de los daños en cultivos por virosis, de tal forma que éstas impiden, durante el ciclo de primavera-verano, las producciones tradicionales de tomate, pimientos, melones, etc...; el segundo viene determinado, generalmente, por las dificultades de comercialización y bajos precios de las últimas campañas. Un análisis global del agrosistema, señala el desarrollo de programas de producción integrada, como una de las posibles salidas con proyección de futuro. La implantación de estos, requiere un esfuerzo importante, en formación de técnicos y agricultores, dentro de un marco agroecológico, implicando además a la sociología, antropología y economía como herramientas básicas de trabajo.

Palabras clave: agroecología, protección vegetal, virus, hortalizas, ozono

Introducción

Todo el litoral peninsular mediterráneo responde a unas características climáticas muy parecidas, y dentro de éste, el espacio comprendido entre el nivel del mar y los 400 metros de altura constituyen el primer piso bioclimático, caracterizado por amplias coincidencias en flora, fauna, etc ... (salvando lógicamente las peculiaridades de enclaves singulares o microclimas especiales).

Este espacio funciona de alguna forma como una especie de organismo o sistema con capacidad de regular sus delicados equilibrios, conformados por multitud de interrelaciones entre el espacio geográfico (tipo de suelos, la distribución en él de las aguas, el clima), y todas las especies vivas que lo ocupan permanente o temporalmente, incluyendo desde las bacterias y los virus hasta el hombre.

Este sistema se caracteriza entre otras cosas por el desarrollo de una actividad agraria tradicionalmente intensiva, que ha sabido compatibilizar altas productividades durante cientos y miles de años, con el mantenimiento de una alta fertilidad de los suelos, que lejos de agotarse, eran mejorados de generación en generación. Este "saber hacer", esta cultura, conforma las raíces profundas del agricultor valenciano, que representa un modelo en la historia de la agricultura.

Sin embargo esta situación ha cambiado radicalmente, asistiendo este mismo agricultor en la actualidad, con perplejidad, a situaciones fitosanitarias que ni entiende, ni puede solucionar en la mayoría de los casos, y todo ello en el marco de unas situaciones comerciales sumamente complejas. Esta crisis, es un buen punto de partida, para observar como la evolución de las ciencias y el movimiento de las ideas, lo ha despojado de su estatuto milenario, dejándolo huérfano en una sociedad de grandes logros tecnológicos y riqueza material sin precedentes.

Desmenecemos detenidamente que ha ocurrido durante las tres últimas décadas en este espacio agrario, que siempre se ha mostrado agradecido con la actividad productiva y que ahora, sin embargo, parece cada vez menos decidido a colaborar.

La salud de las plantas cultivadas está determinada fundamentalmente, por la calidad de los suelos, del agua, del aire, y por la propia adaptación de la planta, no solo a las condiciones ambientales, sino también al manejo y a las operaciones culturales a que se ve sometida por parte del agricultor.

El suelo como componente fundamental de la salud de la planta

El proceso por el cual los suelos empiezan a perder la fertilidad y la capacidad de albergar vida se llama desertización, y en ello pueden influir, tanto la proximidad de otros desiertos, como las propias operaciones que se desarrollan en el mismo suelo, siendo la actividad agraria, una de las causas que pueden desencadenar estos procesos, cuando no se desarrolla esta actividad productiva con criterios agroecológicos.

El desierto que se sitúa mas cerca de nosotros avanza , al parecer, implacablemente. El Sahara ha extendido sus fronteras en los últimos 25 años en unas 65 millones de hectáreas, algo mas que el equivalente a todo el territorio español... Al parecer la apisonadora desertificadora avanza hacia nosotros, por lo que no parece oportuno coquetear con ambigüedades, ni decir que corresponde a delirios de ecologistas radicales.

A veces pensamos que el desierto solo avanza en sus espacios limitrofes, pero eso no es cierto. Está especializado también en penetrar por la retaguardia y sin lugar a dudas, al bosque mediterráneo le ha llegado su turno; y a pesar de estar a 700 km de distancia, empezamos a notar su "aliento en la nuca".

Los geomorfólogos y ecólogos marcan la influencia sahariana, prácticamente, en todo el sur de la península, alcanzando ya gran parte de la provincia de Alicante. El avance es silencioso y de puntillas, e incluye la perdida por erosión de grandes cantidades de tierras fértiles, evaluadas en mas de 50 t ha-1 y año.

Estos procesos erosivos pueden ir precedidos de un incendio, o de una salinización de los acuíferos, o del abandono de un suelo porque las enfermedades han hecho inviable el cultivo, o sencillamente, porque se ha arrancado una parcela con el fin de recoger una subvención... Cuando la cubierta vegetal desaparece, las aguas no encuentran "a nadie que las llame", y así comienza el camino, sin vuelta atrás, de la penetración del desierto.

Algunos pueblos han dado muestras de su capacidad para frenarlo. Así, los biólogos señalan como la auténtica muralla china, la formada por una franja arbórea de 7000 km de largo y 400 de ancho de bosque artificial, realizado para salvar de la desertización 25 millones de hectáreas de pastos.

Pero junto a estos factores exógenos, existen otros endógenos que determinan procesos de erosión y que están íntimamente relacionados con el proceso de manejo del suelo que hace el propio agricultor.

El agricultor valenciano ha basado tradicionalmente la fertilización de los suelos, en el empleo de estiércoles semi o totalmente compostados, que se dejaban en superficie o se enterraban a poca profundidad. La incorporación a la agricultura moderna de fertilizantes químicos, utilizados a gran escala, en detrimento de las aportaciones orgánicas, ha provocado efectos lamentables en nuestros suelos. Uno de ellos es que los contenidos de materia orgánica (m.o.) hayan disminuido hasta niveles inferiores al 1%, incluso en aquellos campos que se dedican a horticultura intensiva.

Sin la m.o., la vida en el suelo va desapareciendo, y con ella la capacidad de retener agua y minerales esenciales para el desarrollo equilibrado de las plantas. Por si fuera poco, la utilización cada vez mas generalizada de herbicidas, termina por romper los naturales y frágiles equilibrios microbianos del suelo. Si disminuye la actividad microbiana de los suelos, también disminuye la cubierta vegetal que son capaces de soportar, y con esta disminución comienza lentamente la muerte del suelo.

Esta muerte, aparece disfrazada de distintas maneras, pero con un factor común determinante, que es la pérdida de capacidad productiva. Sea en forma de "cansancio del suelo", o como "pérdida de fertilidad", obligan al agricultor a deslizar-se por una rampa sin vuelta atrás, en forma de incremento de los insumos (fertilizantes, desinfecciones, nuevas variedades, ...).

Hemos olvidado que el suelo, además de soporte es el protagonista esencial en el desarrollo de plantas sanas, así como de los microorganismos; y que cuando estos empiezan a morir, también lo hace el suelo, y entonces los cultivos se resienten, a pesar de contar en la actualidad con las mas modernas técnicas y recursos productivos que nunca fuimos capaces de imaginar. Esta es la gran paradoja con que nos toca convivir: "más problemas productivos que nunca, a pesar de tener más medios que nunca"...

La pérdida de productividad no están ligados a parcelas o enclaves determinados. El primer piso bioclimático de nuestro agroecosistema mediterráneo, como unidad, se resiente globalmente, y los problemas en forma de plagas, fisiopatías, falta de productividad, virosis, ... se incrementan de forma generalizada, alcanzando a todo el espacio en su conjunto, de tal forma que las parcelas manejadas con técnicas respetuosas con la actividad microbiana de los suelos, no son capaces de soportar cultivos sanos, ante la alta densidad y presión de inóculos patógenos, insectos, etc..

El ambiente aéreo como parte de la propia planta

Otro factor determinante de la salud de un cultivo es el aire. El hecho de que se convierta en enemigo en vez de alimento necesario para las plantas, es especialmente duro, porque él constituye el primer y último combustible de la propia vida. Las concentraciones de ozono a nivel en la troposfera, donde respiran los cultivos, constituyen un importante problema en cuya valoración se está trabajando intensamente, ya que sabemos, que rebasamos en el litoral mediterráneo, los límites máximos que marca la Directiva Europea 92/72 de la CEE (Consejo de 21 de Septiembre 1992), de concentraciones de ozono para vegetales: (32: p.p.b de media en 24 horas) (Fig. 1).

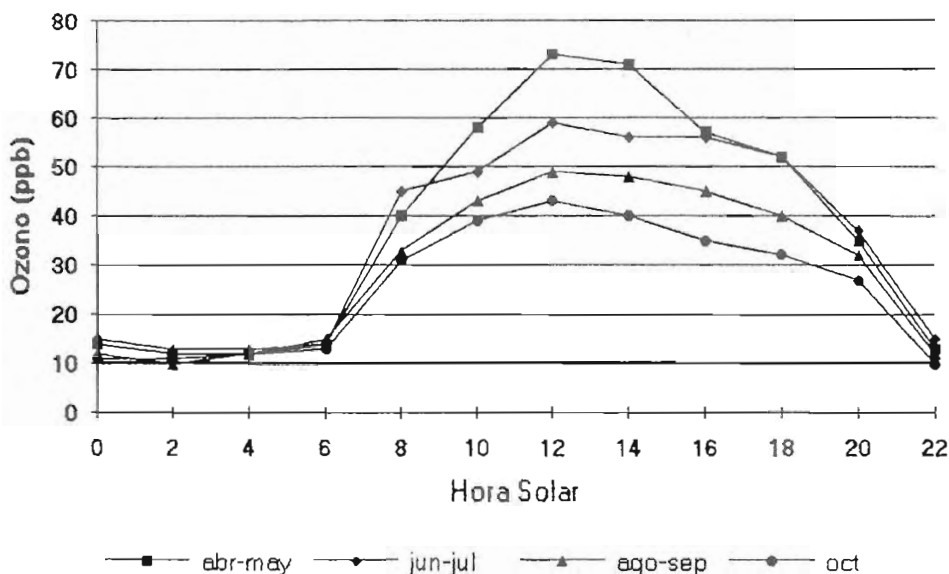


Figura 1. Concentraciones medias de ozono en los años 1995-1996 en el litoral valenciano (0-400 m.s.n.m.). La línea continua indica el límite de fitotoxicidad para vegetales según la directiva de la UE (32 ppb). Fuente: Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM)

La documentación bibliográfica sobre el efecto del ozono en cultivos, es abundante, así por ejemplo, se cita en judías expuestas durante 40 días (5 días por semana) a concentraciones de O_3 de 60 ppb, una reducción entre el 48 y 50% de peso seco en raíces, al tiempo que el número y peso de nódulos de rhizobium se reducía entre un 45 y 74% respectivamente (Manning, 1978). Por otra parte, en estudios experimentales en áreas con concentraciones de fotooxidantes > 50 ppb (ozono) durante 326-444 horas en dos años, se valoraban las pérdidas entre el 20-50% en tubérculos de patata (Heggstad, 1973). En tomate (cv Tiny-Tim) cultivado al aire libre se producía una reducción de la masa radicular del 40% respecto al cultivado en aire filtrado para eliminar ozono, en las condiciones ambientales de Silla.

Aparte de estos estudios, realizados la mayoría en áreas con condiciones distintas a las mediterráneas, los estudios que se están realizando por el CEAM y CIEMAT en colaboración con el Servicio de Sanidad Vegetal, aportan evidencias de que el agrosistema mediterráneo, está bajo la influencia de concentraciones elevadas de fotooxidantes, que se producen durante la primavera y verano principalmente, con una incidencia sobre los cultivos, que es necesario cuantificar.

Material vegetal. Austeridad a cambio de exigencias

En poco tiempo estamos pasando de la Revolución Verde a la biotecnológica. La primera, que fue valorada como un milagro, no tardó en presentar sus resultados de desastre ecológico. La segunda empieza a considerarse el 2º milagro, incluso en algunos casos, se presentan los avances en biotecnología, como el "arma total", con la que nos podremos librar de los productos químicos y sus efectos nefastos.

El paradigma científico ofrece recetas tecnológicas, como solución a problemas interdisciplinarios y complejos. Este "olvido" de la complejidad de las interacciones entre todos los aspectos presentes en cualquier problema, puede llevarnos de nuevo a una encrucijada, en la que los problemas colaterales, se convierten en esenciales por falta de rigor en evaluar las repercusiones agroecológicas de las técnicas utilizadas.

No podemos olvidar que una de las líneas principales actualmente de investigación de las industrias químicas transnacionales, sería la de poner a punto, variedades con mayor capacidad de resistencia frente a dosis altas de herbicidas, así como incrementar la capacidad para tolerar mayores dosis de fertilizantes. Para algunos, estos planteamientos pueden parecer extraños, pero en definitiva de lo que se trata, es de adaptar las plantas a los productos químicos, en vez de al contrario, porque sencillamente, suele resultar más barato. Mientras que el coste de un herbicida puede superar los 40 millones de dólares, el desarrollo de una nueva variedad con técnicas biotecnológicas se estima sobre los 4 millones.

Algunos premios nóbeles han cuestionado este desarrollo biotecnológico, por los riesgos que podría llevar implícito a largo plazo, como por ejemplo, la introducción de estos genes alterados en las "malas hierbas", que se convertirían así en supermalezas, o la inducción de razas de insectos superresistentes, etc...

La utilización de biotecnología en agricultura implica, de alguna manera, la inoculación de organismos nuevos, en un entorno probablemente no preparado evolutivamente para ello, con el agravante, de que una marcha atrás sería prácticamente imposible, puesto que los organismos se multiplicarían sin control.

La calidad de las aguas

Consideradas históricamente como bien "sagrado" que había que utilizar, guardar y repartir, empiezan a sentir en sus vetas profundas el impacto ruidoso de una civilización, que aunque ahora mismo dejara de practicar toda actividad con capacidad contaminante, se seguirían aún, recogiendo contaminantes durante décadas.

Los nitratos, las trazas de herbicidas, los detergentes y metales pesados, son las huellas que dejamos tras nuestro paso en gran parte de los pozos, ríos y manantiales. Sobre los nitratos, los estudios del profesor V. Pedrós de la Universidad de Valencia, indican que nos encontramos en una de las cuencas más contaminadas del mundo por estas sales; por otra parte, respecto a los herbicidas, son cada vez más numerosos los pozos en los que se detectan trazas de atrazinas, bromacil, terbutilazina, terbumetona, terbutrina, trifluralina, simazina y diuron,.. aunque, afortunadamente, aparecen de momento a concentraciones muy bajas.

Nuestros acuíferos subterráneos, valorados con una capacidad de suministro de hasta 500 Hm³ anuales por el profesor A. Sahuquillo, podrían quedar definitivamente contaminados tanto por la actividad agraria (nitratos) que ya ha dejado cientos de pozos inservibles para el consumo humano como por la contaminación descontrolada de numerosas industrias que inyectan sus residuos al subsuelo.

El marco europeo

El Tratado de Roma de 1957, cimiento de la Unión Europea, no dice ni una sola palabra sobre Medio Ambiente. En principio esta aseveración podría parecer sorprendente, pero en aquellos tiempos la estrella era el "productivismo"; se tenía una fe ciega en un crecimiento económico sin freno, y ninguno de los futurólogos, economistas y científicos de la época podían prever un cambio de sensibilidad y mentalidad que pudiera cuestionar y frenar ese mismo crecimiento.

Han de pasar casi 15 años para que apareciese, en la cumbre celebrada en París los días 19-20 de Octubre de 1972, una referencia clara sobre el Medio Ambiente: "... los Jefes de Estado y de Gobierno subrayan la importancia de una política medioambiental comunitaria. A este fin invitan a las instituciones ..."

De nuevo fueron necesarios que pasaran algo más de 15 años para que el Comité Económico y Social de la CEE en Dictamen de 13-XII-1988 señalara a la actividad agraria basada en la utilización de insumos químicos como causa importante de degradación de suelos y medio ambiente en general. En este sentido se recogían las necesidades de:

- Controlar los efectos negativos de la actividad agraria
- Limitar los efectos de los fitosanitarios
- Reducir la excesiva utilización de fertilizantes minerales
- Controlar las concentraciones de instalaciones de ganadería industrial
- Luchar contra la desertización
- Implicar al agricultor en la protección del entorno

Como continuación de estas propuestas reseñaremos las líneas de investigación propuesta por la Unión Europea para el cuatrienio 94-98 (Área 4 - 684 MECU): "... investigaciones para una reorientación de la Agricultura Comunitaria hacia sistemas de producción menos intensivos, aceptables ambientalmente, viables económicamente y capaces de mantener empleo...". Señalando específicamente las siguientes líneas:

- Protección de la biodiversidad en agricultura
- Desarrollo de variedades adaptadas a condiciones adversas

- Desarrollo de la agricultura orgánica
- Análisis del impacto socioeconómico y ambiental del abandono
- Manejo de recursos hídricos escasos y prevención de la salinización
- Interacción agricultura-medio ambiente
- Desarrollo de prácticas agrícolas respetuosas con el medio ambiente
- Desarrollo de métodos no químicos o con bajo empleo de químicos y manejo integrado de cultivos
- Desarrollo de equipos mecánicos que reduzcan contaminación y erosión
- Desarrollo de métodos de producción de bajos insumos que permitan la mejora de la calidad de los productos agrícolas tradicionales ..."

Lógicamente la siguiente reflexión nos lleva a recapitular sobre la imbricación de nuestras líneas de investigación en este marco comunitario.

La sanidad vegetal en el marco económico

Uno de los costes olvidados por los científicos, economistas y gestores medio-ambientales... es el precio del desarrollo, del consumismo, de la mala gestión de la tierra, ... es el olvido aberrante y vergonzoso que soportamos delante de nuestros abuelos... y que tendremos que justificar delante de nuestros hijos.

El precio que estamos ya pagando y que seguiremos durante un buen período de tiempo son unas pérdidas económicas espectaculares. ¿Cuanto vale el suelo agrícola que se muere por erosión, contaminación,... mala gestión?. ¿Por qué no calcular la capacidad productiva directa e indirecta de dichos suelos durante los próximos 50 o 100 años?. ¿Como podríamos valorar la contaminación de un acuífero? ¿Que coste tendrá la utilización de aguas contaminadas sobre los cultivos que riega, o sobre los hombres que la beben? ¿Qué precio podemos poner a los valores estéticos, éticos, culturales, etc...?

Si nuestra referencia para arrancar son las subvenciones probablemente estamos pagando por ellas un precio muy barato.

En poco mas de dos décadas hemos despilfarrado y casi perdido todo el capital genético que se labró, y que dieron fama, durante siglos de paciencia y selección. Durante mucho tiempo hemos hablado de la necesidad de demostrar científicamente la necesidad de prácticas mas ecológicas y su rentabilidad; sin embargo no podemos olvidar en este debate que el rechazo o aceptación de análisis y teorías científicas no solo acontece en virtud de su consistencia y fuerza para enfrentarse a la realidad, sino que intereses económicos y sociales pueden influir decisivamente en su adopción o en su paso al ostracismo.

El futuro

Viajar a destiempo en este compás, supone asumir de que ya no se trata solo de poner a punto tecnologías que permitan obtener productos con bajos niveles de residuos fitosanitarios, ni de incrementar los rendimientos por m² hasta el nivel de nuestros mejores competidores, o de incrementar la utilización de productos fitosanitarios ecológicos, o de conocer todas las posibilidades varietales presentes en los mercados, o las últimas técnicas de sustratos, fertirrigación, etc ... Tampoco se

trata de rendirse en el lamento de nuestros variedades autóctonas definitivamente perdidas en muchos casos, o incorporadas a variedades comercializadas por empresas multinacionales que nos la vuelven a vender mejoradas a altos precios ... tampoco se trata del cambio de tal o cual legislación para solventar el problema.

El centro del problema radica en una toma de conciencia como colectividad sobre cuál es nuestra apuesta a largo y medio plazo ... cuando no estemos nosotros ... cuando no estén nuestros hijos... ¿qué calidad de suelos, de aguas, de aire, habremos dejado ?.

¿Podemos seguir indefinidamente extendiendo cheques al portador sobre nuestra biosfera sin agotar el capital? Hoy sabemos que el crecimiento tiene un límite, del que ya estamos extremadamente cerca. Este modelo de desarrollo sólo es válido para un corto período de tiempo y además sabemos que no puede extenderse a países del tercer mundo, oriente, etc ...

¿Qué pasaría en la biosfera si los 1200 millones de chinos dispusieran en vez del millón de vehículos que poseen (incluyendo los industriales), los 4000 millones de vehículos que le corresponderían como país desarrollado? ¿Cuanto durarían las reservas de fosfatos si la agricultura mundial utilizara los niveles de fósforo que consumen la agricultura de los países desarrollados?

Alguna vez alguien comentó que la Comunidad Valenciana será verde o un desierto ... ,en este sentido las seis promociones de Técnicos de Producción Integrada, formados por la colaboración FECOAV-Conselleria de Agricultura, representan el inicio de una nueva mentalidad y concepción de los problemas agrarios, en los que se trata de integrar todos los temas reseñados anteriormente, y que servirán sin lugar a duda de base, para un desarrollo agrario distinto, en el que los más mayores, lejos de ser jubilados anticipadamente, deberán de actuar como monitores del proceso, en el que habrá que devolver a la sensibilidad, como núcleo de la inteligencia, el protagonismo que conduzca a valorar los problemas globalmente, a escoger las soluciones más adaptadas a nuestra realidad, y a rescatar en definitiva la cultura agraria perdida.

En este proceso, los investigadores tendrán que hacer un esfuerzo por valorar las técnicas tradicionales, desarrollar sinergias que hagan nuestros agrosistemas más productivos, sin renunciar a la estabilidad, y adecuar las tecnologías a una cultura agraria con proyección de futuro.

Producción integrada: una alternativa dentro del sistema

En consecuencia, si la finalidad consiste en desarrollar agrosistemas estables, con baja dependencia de los altos insumos agroquímicos y energéticos en general, habrá que adaptar las líneas de investigación, en el sentido de analizar y conocer las interacciones agroecológicas y las sinergias presentes entre los distintos componentes biológicos, de tal modo que esto signifique un incremento de la fertilidad de los suelos y sanidad de los cultivos.

Aunque se han desarrollado miles de proyectos de investigación de desarrollo tecnológico, y se han aprendido muchas lecciones, la base de la investigación sigue

apoyándose en la biotecnología, con el fin de conseguir materiales transgénicos por un lado y por el otro se intenta la sustitución de insumos agroquímicos por otros de origen orgánico o biológicos.

Estos planteamientos suelen fracasar en gran medida al abordar los problemas, quizás porque aun prevalece un estrecho punto de vista de que solo causas aisladas y específicas afectan a la productividad, y en consecuencia se debe de poner todo el énfasis en la superación de estos factores limitantes a través de tecnologías alternativas. De esta forma se impide el análisis de los factores limitantes como síntomas de un problema mayor, inherente al desequilibrio del propio agrosistema. Evidentemente si no analizamos la complejidad de los procesos agroecológicos, nunca seremos capaces de encontrar las limitaciones que provocan el desequilibrio del agrosistema.

Todos los países del mundo empiezan a incorporar los conceptos de sostenibilidad con mayor o menor énfasis, pero si intentamos interpretar los problemas exclusivamente como tecnológicos, nunca podremos llegar a entender por qué los agrosistemas son o dejan de ser sostenibles. Los programas de producción integrada representan, en definitiva, un paso hacia la sostenibilidad de los agrosistemas en el sentido de que su aplicación no significa exclusivamente cambios tecnológicos, sino que su desarrollo implica la necesidad de modificar ciertas determinantes socioeconómicas que rigen sobre lo que se produce, como se produce, y quien lo produce. Igualmente estas determinantes inciden en ciertos cambios en las estrategias de cómo y para quién se comercializa.

Los problemas que causan la crisis medioambiental se encuentran de hecho enraizados en la concepción del propio sistema socioeconómico, que al mismo tiempo que señala la necesidad de frenar el deterioro ambiental, promueve tecnologías de altos insumos y métodos que provocan la erosión de los suelos, la salinización, la pérdida de biodiversidad y la contaminación por plaguicidas. Además, otro síntoma de la crisis, no siempre aparente, es la reducción de los rendimientos debido a las plagas y enfermedades a pesar de los altos niveles técnicos que representan los fitosanitarios actuales.

Diseño de sistemas agrarios diversificados para la estabilización de plagas y enfermedades. El modelo de la agricultura ecológica

La búsqueda de estrategias de diseño que consigan sistemas agrícolas auto-sustentables, de bajos insumos, diversificados y eficientes en el uso de la energía, constituye una preocupación importante entre agricultores y técnicos de todo el mundo. En la Comunidad Valenciana, la crisis sostenida que manifiesta en todo su sistema agrícola, desde los cítricos y frutales hasta las hortalizas, y que la alta tecnología no se siente con capacidad para abordar y resolver, provoca que entre los agricultores y técnicos surja la necesidad, cada vez mayor, de diseñar estrategias que ayuden a superar las necesidades crecientes de insumos químicos por parte del agricultor.

Una de las estrategias claves, para la sustentabilidad de la agricultura, consiste en restaurar la diversidad agrícola del paisaje rural. Este incremento de la biodiversidad tendrá que entenderse, tanto desde la óptica temporal, como desde la espacial. Temporalmente, la biodiversidad se incrementa con rotaciones y alternativas de

cultivos, y espacialmente, mediante la utilización de cultivos de cubierta, no laboreo, sistemas de asociación de cultivos y utilización de forrajeros y abonos verdes.

Esta diversificación vegetal no debe entenderse como una práctica destinada exclusivamente a incrementar el control de plagas, fomentando el control natural, a por medio de los parásitos y depredadores, o a frenar las explosiones de insectos provocadas por procesos de trofobiosis, sino que lleva implícito un incremento del reciclaje de materiales vegetales, un aumento de la conservación del suelo, una estimulación de los procesos bióticos de éste, unos bajos costes energéticos y, en consecuencia, una menor dependencia de insumos externos.

En definitiva, lo que se pretende es conseguir unos rendimientos más o menos sostenidos mediante la utilización de técnicas que creen la menor dependencia exterior posible, que estén ecológicamente probadas. Esto supone que la actividad agraria, no se va a orientar a obtener exclusivamente los mayores rendimientos del sistema productivo, sino que el objetivo principal va a ser la optimización de la capacidad productiva del agrosistema..

Por lo tanto, serán las políticas y las acciones que estimulen estos sistemas de producción, las que deberán de hacer frente de una forma global a la crisis medioambiental de la cuenca mediterránea.

El desarrollo de los programas de producción integrada, dentro del marco teórico de la agroecología, supone en consecuencia, una superación de los análisis y visiones unidimensionales o aditivas propias de los grupos interdisciplinares, por medio de visiones globales elaboradas por especialistas que trabajen en grupo, a nivel agronómico, ecológico, cultural, educacional, social, etc...

El desarrollo de estos programas se enmarca, igualmente, dentro de las políticas que pretende diseñar estrategias, que en sucesivas fases, supongan una superación de los propios modelos que generaron los problemas.

Fases de desarrollo de los programas de producción integrada

Primera.- Eliminación progresiva de insumos químicos, mediante la racionalización de los tratamientos.

Segunda.- Racionalización del uso de agroquímicos y nutrientes.

Tercera.- Sustitución de la mayor parte de insumos químicos por otros de bajo coste energético.

Cuarta.- Rediseño de los sistemas agrarios. Diversificación de los modelos. La fertilidad de la tierra se mantendrá fundamentalmente mediante la gestión del propio sistema.

Desarrollo de los elementos técnicos

A. Definición de las técnicas de regeneración de recursos, de acuerdo con las necesidades y los condicionamientos sociales, agroecológicos, culturales y económicos.

- B. Definir los niveles en los que se inicia la intervención.
Nivel espacial, nivel social, nivel institucional...
- C. La ejecución comporta un planteamiento integrado y holístico, y por lo tanto evita poner de relieve elementos aislados.
- D. Las estrategias elegidas y el desarrollo de las mismas, deben de contar con la implicación y el acuerdo del agricultor.

Formación de técnicos con visiones globales

El desarrollo del programa fundamentalmente en los puntos uno y dos, obliga a preparar grupos técnicos con capacidad de analizar los sistemas agrarios desde la perspectiva agroecológica, y que en la ejecución de los elementos técnicos sirva de punto de unión con el agricultor en lo que se refiere a la adecuación de las tecnologías. Esta formación de los grupos técnicos se desarrolla en la C. Valenciana en dos fases:

- 1ª fase. Curso de Producción integrada.

Compuesto por siete módulos: general, cítricos, frutales, residuos, hortalizas, arroz y forestales. Estos, suman en total 500 horas lectivas, y 100 horas de prácticas. Además, durante el curso se realiza un viaje de 14 días de duración, durante los cuales se visitan las regiones de España, Francia e Italia que desarrollan en la actualidad programas en producción integrada. Hasta al fecha se han realizado siete cursos, durante los años 1989 al 1996, durante los cuales, se han formado 150 técnicos en producción integrada.

- 2ª fase. Cursos de reciclaje de titulados en P.I.

Concebidos para técnicos que ya realizan su actividad profesional desarrollando los programas P.I. en alguna empresa, Cooperativa o A.D.V. (Agrupación de Defensa Vegetal), y que abarcan temas propuestos por los propios técnicos para cubrir aquellas materias que consideran más deficientes en su práctica profesional. Abarcan desde temas de diseños de ensayos, fertilidad de suelos, fitosociología, técnicas de laboratorio, asertividad, etnobotánica, agroecología. Cada técnico realiza al año una media de dos cursos de reciclaje.

Informar y formar al agricultor desde una óptica agroecológica

Independientemente de los cursos organizados por las distintas administraciones, el programa de producción integrada requiere para su desarrollo unos cursos específicos para los productores, para que desde la óptica agroecológica en la que están trabajando, se les informe de los logros, técnicas y dificultades de su aplicación, así como la importancia de su propio papel a la hora de llevar el programa adelante.

En este sentido, resulta por ejemplo fundamental su participación como observador de los niveles poblacionales de plagas, presencia de parásitos y depredadores o inicio de enfermedades de origen fúngico, bacteriano o viral, ya que dada la

estructura minifundista de las explotaciones, sería imposible el seguimiento y evaluación de los niveles de riesgos por el técnico. De este modo el agricultor recibe unas indicaciones del técnico al que avisará sólo cuando los niveles poblacionales de cualquier plaga, o niveles de infección de una enfermedad, alcancen aquellos niveles que previamente le ha indicado el técnico.

Los cursos son dirigidos y organizados por los propios técnicos en los locales de las propias empresas y cooperativas según necesidades observadas en sus propios agricultores. Se realiza un mínimo de uno al año.

Experimentación

La mayor parte de los técnicos de ADV, desarrollan sus propios programas de experimentación coordinado con los de los demás técnicos y apoyados por el Servicio de Sanidad y Certificación Vegetal. Cada ADV, cuenta con un presupuesto de experimentación que esta cofinanciado por la propia empresa y la Conselleria de Agricultura al 50%.

Coordinación: Discusión, análisis y reflexión

Independientemente de los propios técnicos de P.I., y de la propia Administración autonómica, existe un equipo de coordinación compuesto por 4 técnicos y un director, cuya competencia más importante es realizar el trabajo de animación de los técnicos, coordinación y de servir de puente entre ellos y la propia administración. Mensualmente se reúnen todos los técnicos, con o sin los Directores Técnicos de la Administración. Estas reuniones se desarrollan en tres partes: la primera sobre estado fitosanitario de los cultivos en las distintas zonas, la segunda sobre la situación de los propios programas experimentales y la tercera parte para visita a explotaciones o empresas que puedan ser de interés para los técnicos. Los lugares de las reuniones se van rotando con el fin de que se puedan realizar en todos los lugares donde hay técnicos.

Resultados

El desarrollo de estos programas supone, entre otras cosas, al agricultor en arquitecto y actor del desarrollo de su propio programa de producción integrada, y más ante la dificultad añadida que supone aplicar los programas en parcelas pequeñas, distanciadas y con una gran diversificación de cultivos. Incorporar al agricultor al propio programa, como parte integrante del mismo, significa tener la sensibilidad suficiente para considerar el conocimiento local como un factor relevante para el éxito del programa, en el sentido de que el trabajo del técnico se ha de realizar desde el aprendizaje y valoración de las técnicas del agricultor y no al revés.

Esto va a tener una trascendencia muy importante y sobre todo en las empresas de organización cooperativista, puesto que va a llevar a desarrollar unos nuevos reglamentos de funcionamiento interno en lo referente a la planificación de los cultivos, no según los criterios del agricultor sino de acuerdo a las necesidades programadas de la empresa con sus clientes. Esta disposición de la tierra al servicio de la empresa lleva aparejado que los precios a recibir por el productor se han de unifor-

mar independientemente de la época en que los haya producido e independientemente del precio a que los haya vendido la propia cooperativa.. La empresa Cooperativa ha de garantizar los costes de los cultivos más la ganancia empresarial que considere, si quiere evitar el desabastecimiento de productos en momentos de baja rentabilidad de estos y la aglomeración de los mismos en los momentos de mayor interés económico.

Hacer un análisis agroecológico de la producción integrada, decíamos anteriormente, que suponía jugar a optimizar la capacidad productiva del sistema, en detrimento de intentar unas máximas producciones, con el objetivo de alcanzar la mayor estabilidad posible, productiva y económica.

Tras siete años de desarrollo del programa, se han alcanzado los siguientes resultados:

- 140 técnicos de ADV formados.
- 86 ADV constituidas.
- 14.000 agricultores participando en los programas.
- 21.000 hectáreas.
- 67.000 toneladas producidas bajo estas normas de PI.
- 215.000 toneladas de producción controlada en cuanto a tratamientos.
- 20.000 toneladas de productos sin residuos detectables.

Afortunadamente, los resultados más importantes, que son los que representa el cambio de mentalidad y sensibilidad a la hora de analizar y valorar los problemas, de muchos técnicos y agricultores, no puede ser representado por cifras, pero en cualquier caso resulta agradable oír hablar a los técnicos con sus agricultores de la "memoria del suelo", de los setos, de la vegetación espontánea, de los cortavientos...de los filtros y de las autopistas biológicas...

Abstract

It is considered that the reduction of land dedicated to horticultural crops in the Community of Valencia observed during the past ten years has two main causes. The first is an increase in viral damage, limiting the production during the spring-summer cropping season for the traditional tomato, pepper, melon, etc... crops. The second is related to the difficulties in marketing the produce and the low prices obtained in recent seasons. A global analysis of the agrosystem points to the development of integrated production systems as one of the alternatives with the best future success. In order to establish such systems, a great effort devoted to the training of technicians and growers is necessary. This training must be done in an agroecological frame-work also including sociology, anthropology and economics as basic working tools.

Keywords: Agroecology, plant protection, virus, vegetables crops, ozone

Bibliografía

Altieri, M. 1992. (Ed.) *Biodiversidad, Ecología y Manejo de Plagas*. Cetal Ediciones; Valparaíso, Chile, 162 pp.

- Altieri, M. 1995. Una alternativa dentro del sistema. *Ceres* 154, 27, 15-23
- De Miguel, A. 1992. Prevención de virosis mediante cultivo bajo malla y cubierta flotante. *Memoria de Actividades 1992. Convenio para la mejora de la competitividad del Sector Hortícola en la Comunidad Valenciana*, 91-96.
- Gimeno B.S., V. Bermejo, J.M.^a. Salleras, A. Tarruel, R.A. Reinert. 1993. Ozone effects on the yield of watermelon and two bean cultivars grown at the Ebro Delta. En: H.J. Jager, M. Unsworth, L. de Temmermann, P. Mathy (Eds). *Effects of Air Pollution on Agricultural Crops in Europe*. CEC-Air Pollution Research Report 46, 515-518.
- Gimeno B.S., V. Bermejo, A. Tarruel, J.M.^a Salleras. 1994. Ozone affects yield of watermelon plants grown at the Ebro Delta (Spain). En: J.L. Monteith, R.K. Scott, M. Unsworth (Eds) *Resource Capture by Crops*. Nottingham University Press, Nottingham, 407-408.
- Heggestad, H.E. 1973. Photochemical air pollution injury to potatoes in the Atlantic coastal states. *Am. Potato J.* 50, 315-328.
- Jordá, C. 1993a. Nuevas virosis de mayor incidencia en cultivos hortícolas. *Phytoma España* 50, 13-19.
- Jordá, C. 1993b. Impacto viral en la Costa Mediterránea Occidental. *Agrícola Verge*l. 367-370.
- Lacasa, A. 1990. Datos de taxonomía, biología y comportamiento de *F. occidentalis*. *Phytoma España*, 9-16.
- Lacasa, A. 1993. Comportamiento de *F. occidentalis* en la transmisión del virus del bronceado (TSWV). Planteamientos para su control en cultivos hortícolas. *Phytoma España* 50. 33-39.
- Manning, W.J. 1978. Chronic foliar ozone injury. Effects on plant root development and possible consequences. *Calif. Air Environ.* 7, 3-4.
- Maroto J.V., A. de Miguel, J.M. Gisbert, M.S. Bono, A. San Bautista, S. López Galarza 1994. La horticultura valenciana. Estado actual y principales problemáticas. *Agrícola Verge*l 155, 614-625.
- Millán M., M^a J. Sanz. 1993. La contaminación atmosférica en la Comunidad Valenciana. Estado de conocimiento sobre los problemas en el Maestrazgo y Els Ports en Castellón. *Informe CEAM* 93-1.
- Peñuelas J., R. Matamala. 1990. Changes in N and S leaf content stomatal density and specific leaf area of 14 species during the last three centuries of CO₂ increase. *Journal of Experimental Botany*, 1119-24.
- Reinert R., B.S. Gimeno, J.M.^a Salleras, V. Bermejo, M^a.J. Ochoa, A. Tarruel. 1992. Ozone effects on watermelon plants at the Ebro Delta (Spain): symptomatology. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 38, 41-49.

Capítulo 14

EL CONTROL DE *Ospidium radicale*, VECTOR DEL VIRUS DEL CRIBADO DEL MELÓN (MNSV), EN ALMERÍA

J. GÓMEZ, J. TELLO (*)

Centro de Investigación y Desarrollo Hortícola, La Mojonera. Almería.

(*) Dpto Biología, Producción Vegetal y Ecología, Univ. Almería.

Resumen

Se presenta un estudio epidemiológico del virus del cribado del melón (MNSV), en Almería, que contempla la eficacia de las desinfecciones de suelo en relación con la profundidad de la muestra y con la viabilidad de su hongo vector *Ospidium radicale*. Se encuentra el vector (*O. radicale*) hasta 60 cm de profundidad, manifestando las plantas afectadas una podredumbre característica de la raíz, en la base del tallo y cuello, con estrías marrones en el tallo, que ocasionan su muerte cuando entran en producción. Entre los tratamientos con biocidas, el BM resultó ser el más eficaz para disminuir la densidad de propágulos del hongo en el suelo, incluso en los estratos más profundos, pero no eliminó la presencia del hongo, ni redujo la gravedad de la enfermedad con respecto al testigo sin tratar. Se observa que el hongo se puede conservar en laboratorio durante más de cinco años, por lo cual se plantea la dificultad de ofertar como alternativa las rotaciones de cultivo para su control.

Palabras clave: Epidemiología, etiología, solarización, rotaciones, fumigantes

Introducción

El virus de las manchas necróticas del melón (MNSV), también conocido como "virus del cribado", se ha citado como causa de graves daños en cultivos de melón y pepino de invernadero en varios países (Avgelis, 1985; Bos *et al.*, 1984). Su presencia en los cultivos de melón en invernaderos de Almería fue sugerida en 1984 (Cuadrado y Moreno, 1987; Luis, 1991). La gravedad del MNSV sobre plantas de melón en los invernaderos de la provincia de Almería, en cultivos sobre suelo y sobre sustratos inertes, y su asociación con el síndrome de "muerte súbita", ha sido valorada recientemente en otros trabajos (Gómez, 1990; Gómez y Velasco, 1991; Gómez *et al.*, 1993).

El virus puede transmitirse por la semilla (González-Garza *et al.*, 1979), por coleópteros del género *Diabrotica* (Coudriet *et al.*, 1979) y por el hongo de suelo *O. radicale* (Hibi y Furuki, 1985; Tomlinson y Thomas, 1986), el cual se ha detectado en un porcentaje elevado de invernaderos de Almería (Cuadrado *et al.*, 1993). El MNSV parece sobrevivir en las esporas de resistencia de *O. radicale* y éstas son capaces de conservarse en el suelo durante años a profundidades de, al menos, 60 cm (Gómez *et al.*, 1993). Por este motivo, si se cultivan variedades sensibles, sería necesario erradicar de un suelo contaminado este tipo de estructuras de conservación para prevenir la virosis en años posteriores.

El control de la enfermedad mediante la desinfección del suelo con vapor de agua o BM ha producido resultados erráticos en otros países (Bos et al., 1984; Tomlinson y Thomas, 1986). En nuestras condiciones de cultivo el BM no ha sido efectivo para reducir el número de plantas enfermas en plantaciones comerciales de melón. Sin embargo, esta aparente falta de efectividad podría ser debida a la transmisión del hongo vector del MNSV por el agua de riego, previamente almacenada en embalses descubiertos, por las plántulas del semillero o por los sustratos utilizados para el crecimiento de dichas plántulas (Gómez y Velasco, 1991).

A partir de estos aspectos sobre la epidemiología de la enfermedad, se plantearon varios experimentos con los objetivos: 1) evaluar la eficacia de las desinfecciones practicadas en Almería contra *O. radiale* y su relación con la profundidad del suelo; 2) valorar la eficacia de las desinfecciones sobre la gravedad de la virosis en condiciones experimentales de invernadero; 3) estudiar la conservación y viabilidad de *O. radiale* y del virus del cribado del melón en el suelo.

Materiales y métodos

Experimentos de desinfección. Se realizaron entre 1988 y 1991 en un invernadero de la finca del Centro de Investigación y Formación Agraria de La Mojonera (Almería), infectado de forma natural por *O. radiale*, que en un cultivo anterior las plantas de melón enfermas por el virus del cribado superaron el 80%.

Los tratamientos ensayados durante los cuatro años que duraron los experimentos (diseño estadístico de bloques al azar con tres repeticiones), se realizaron durante los meses de julio y agosto y fueron:

1988.- BM 500 kg ha⁻¹ y solarización de dos meses.

1989.- Metam-Na (1200 kg ha⁻¹, 40 % m.a.), formol 40% (3000 l ha⁻¹).

1990.- BM (500 kg ha⁻¹), metam-Na (1200 kg ha⁻¹, 40 % m.a.).

Profundidad de conservación de *O. radiale* en el suelo y efectividad de las desinfecciones. Aproximadamente un mes después de practicadas las desinfecciones, se tomaron seis muestras de suelo por cada tratamiento, dos por repetición, a cada una de las siguientes profundidades: 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-50 cm, 50-60 cm y 60-70 cm. Las muestras se conservaron en frigorífico durante un tiempo que osciló entre 10 y 150 días. Posteriormente, de cada una de ellas se tomaron cinco submuestras de unos 20 g mezclándose con vermiculita o perlita en contenedores de plástico de 10 cm de diámetro (1 l de capacidad), esterilizados por inmersión en una solución al 10% de formol (formaldehído del 40 p. 100) durante 72 horas. En las macetas así preparadas se sembraron semillas de melón cv. Galia (5 por profundidad, tratamiento y repetición). Se colocaron además, 30 macetas como testigos, es decir, sólo vermiculita sin aporte de suelo problema para asegurar que el agua de riego y el sustrato no eran fuente de contaminación, quince de las cuales se dispusieron intercaladamente entre las demás como indicadores de eventuales contaminaciones entre tratamientos. Todo el conjunto se instaló en un invernadero de ambiente semicontrolado (20-35 °C) a un marco real de 40 cm. Las plantas se regaron diariamente con una solución nutritiva y semanalmente se podaron hasta finalizar el experimento.

Al cabo de dos meses, del sistema radicular de las plantas de cada muestra (lavado abundantemente con agua del grifo), se seleccionaron diez pequeños trozos, de aproximadamente 1 mm de diámetro y 1 cm de longitud para su observación al microscopio óptico con 250-400 aumentos. Posteriormente, todas las plantas se analizaron por la técnica serológica D.I.A. modificada (Cuadrado y Moreno, 1987) utilizando un antisuero de MNSV cedido por el Dr Avgelis.

Efectividad de las desinfecciones con respecto a la enfermedad. Después de realizadas las desinfecciones del suelo se hicieron cultivos de melón entutorado (cvs Galia y Gallicum) durante el otoño de 1988 y las primaveras de 1989, 1990 y 1991.

Los melones se cultivaron según el sistema de enarenado de Almería, con riego por goteo utilizando agua de la misma procedencia que la indicada en el apartado anterior. Riegos, abonados, tratamientos fitosanitarios y técnicas de cultivo fueron los habituales en la zona. Las siembras se hicieron en la primera quincena del mes de septiembre de 1988 y de febrero de los años 1989, 1990 y 1991.

El número de plantas por parcela elemental fue de 66, a un marco de plantación de 1 x 0.5 m. En los años 1988 y 1989 se utilizaron plantas de semilleros, producidas sobre turba y vermiculita respectivamente. En los cultivos siguientes se hizo siembra directa.

La gravedad de la virosis se valoró contabilizando, a lo largo del cultivo, las plantas muertas y con síntomas de MNSV. La valoración se completó con la producción de frutos, total y de valor comercial. Al término del cultivo todas las plantas se analizaron por serología para determinar la presencia de MNSV.

Estudio de la viabilidad y conservación de *O. radiale* y del virus del cribado del melón en el suelo. Para el conocimiento de la capacidad de conservación de *O. radiale* y del virus del cribado del melón se utilizaron dos muestras de suelo, ambas recogidas en los meses de septiembre de los años 1988 y 1990. Las dos muestras contenían *O. radiale* que era portador de MNSV. Ambas se conservaron en bolsas de plástico cerradas a temperatura de laboratorio. En febrero de 1994 de cada una de las muestras, se tomaron diez submuestras, de unos 20 g cada una, que se mezclaron con vermiculita en macetas de plástico esterilizadas. Todas las operaciones, incluido el mantenimiento de las plantas del cv Galia, han sido descritas con anterioridad, así como las técnicas empleadas para detectar el hongo vector y el virus patógeno. Para cada muestra el experimento fue repetido 2 veces en el tiempo.

Resultados

Acción de la desinfección del suelo sobre *O. radiale*. Las Tablas 1 y 2 muestran los resultados globales de los experimentos planteados, cuya bondad queda corroborada por el hecho de que tanto los testigos como los testigos intercalares estuvieron siempre exentos de *O. brassicae* y *O. radiale*.

En la Tabla 1 puede apreciarse la uniforme distribución del hongo en todo el invernadero experimental utilizado. Distribución que no se limita a la superficie, sino que alcanza hasta el estrato más profundamente medido (30-40 cm) en los tres bloques diseñados.

El rango de acción de los desinfectantes se encuentra entre la ausencia de efecto que puede atribuirse, sin lugar a dudas, a metam sodio y la máxima eficacia que corresponde a BM, cuya acción alcanza hasta el más profundo de los estratos analizados. Las posiciones intermedias estarían ocupadas por formol y por el tratamiento de solarización.

Los experimentos de 1989 y de 1990 nos dan una información adicional desde el punto de vista epidemiológico: la presencia de *O. radiale* en capas muy profundas del suelo del invernadero.

La Tabla 2, pretende ser un complemento de la Tabla 1. En ella se presenta el análisis para el virus del cribado en las plantas de melón utilizadas como "trampa" para detectar la presencia de *O. radiale* en los suelos mencionados en la Tabla 1. Aunque los resultados son erráticos y no puede excluirse la transmisión del MNSV por las semillas, evocan la posible transmisión del virus por el hongo y nos proporcionan una información adicional sobre la sintomatología de la virosis, ya que el único síntoma visible en las plantas enfermas fue una necrosis superficial en la base del tallo y cuello.

Tabla 1. Porcentaje de plantas colonizadas por *Olpidium radiale*, según diferentes técnicas de desinfección de suelos.

Tratamientos	Profundidad (cm)						Trat. (1)	Prof (1)
	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70		
Año 1988								
BLOQUE 1	80.00	86.60	86.60	*	*	*	a	a
BLOQUE 2	86.60	86.60	80.80	*	*	*	a	a
BLOQUE 3	86.60	100.00	73.30	*	*	*	a	a
SOLAR	33.30	46.60	26.60	*	*	*	b	a
BROMURO	6.60	6.60	0.00	*	*	*	c	a
Año 1989								
TESTIGO	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	a	b
METAM-NA	86.60	93.30	100.00	86.60	100.00	60.00	a	a
FORMOL	66.60	60.00	66.60	46.60	33.30	60.00	b	a
Año 1990								
TESTIGO	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	a	a
METAM-NA	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	93.30	a	a
BROMURO	0.00	0.00	6.60	0.00	0.00	6.60	b	a

(1) Valores con la misma letra no son significativamente diferentes ($P=0.05$) por el test t de Student

Tabla 2. Porcentaje de plantas de melón positivas para *Oplidium radicale* y MNSV en las muestras de suelo desinfectadas.

Tratamientos	Profundidad (cm)					
	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Año 1988						
BLOQUE1	0.00	0.00	0.00	*	*	*
BLOQUE2	33.30	33.30	13.30	*	*	*
BLOQUE3	26.60	20.00	20.00	*	*	*
TESTIGO	0.00	0.00	0.00	*	*	*
SOLAR	0.00	0.00	0.00	*	*	*
BROMURO	0.00	0.00	0.00	*	*	*
Año 1989						
TESTIGO	0.00	0.00	20.00	0.00	6.60	0.00
METAM-NA	6.60	6.60	0.00	13.30	0.00	0.00
FORMOL	0.00	6.60	0.00	6.60	26.60	0.00
Año 1990						
TESTIGO	53.30	0.00	40.00	33.30	46.60	53.30
METAM-NA	53.30	46.60	46.60	40.00	40.00	33.30
BROMURO	20.00	0.00	0.00	20.00	13.30	0.00

Acción de la desinfección del suelo sobre la gravedad de la virosis producida por el MNSV. La Tabla 3 muestra el efecto de los diferentes tratamientos de desinfección del suelo sobre la enfermedad. Si se exceptúa el cultivo de otoño del año 1988, donde la infección por el virus parece menor, el resto de los cultivos de primavera presentan un elevado porcentaje de enfermedad. En cualquiera de los casos, la disminución o casi eliminación de *O. radicale* por los diferentes tratamientos de desinfección (Tabla 1) no tiene una réplica en la gravedad de la virosis. Gravedad que medida a través de la producción final de frutos - excepción hecha del cultivo de otoño de 1988 durante el cual el frío impidió la fructificación- tampoco aporta ningún dato que oriente los efectos de la desinfección, ya que ningún tratamiento ha elevado su valor de manera significativa comparativamente con los testigos. Las diferencias observadas entre las producciones del año 1989 con respecto a la de 1990 y 1991, fueron debidas principalmente a la precocidad y gravedad de la enfermedad.

La Tabla 4 aporta una información adicional sobre la sintomatología de la virosis en los cultivos de invernadero. Sintomatología que podría resumirse: Sobre las hojas más jóvenes se desarrollan manchas pequeñas, inicialmente cloróticas que posteriormente se necrosan. A la vez en el tallo se desarrollan estrías necróticas observables también en los peciolo. Sobre las hojas bajas y medias se pudieron ver en algunos casos necrosis de los nervios de las hojas de extensión variable, que se conoce bajo el nombre de "enrejado". Asimismo, sobre la parte baja del tallo se observa una necrosis de color marrón claro que sólo afecta a la epidermis y es con mucha frecuencia el único síntoma de la enfermedad.

Las plantas enfermas se marchitan, mueren o su crecimiento es detenido y las hojas formadas posteriormente son de pequeño tamaño, color verde oscuro, con o sin el síntoma del cribado.

Puede comprobarse cómo el síntoma que ha dado el nombre común a la enfermedad producida por el MNSV en Almería, cribado, sólo se presentó durante el cultivo primaveral de 1989. Uniforme y continuo, por el contrario, ha sido el síntoma consistente en una necrosis superficial, de color crema o marrón claro, en la zona del hipocotilo de la planta. No desdeñables, en su intensidad y uniformidad, han sido las necrosis lineales o estrías en los tallos de las plantas virosadas. En el extremo de esta sintomatología se evidencia la posibilidad de que plantas infectadas pero sin exteriorizar síntoma alguno puedan morir súbitamente.

Tabla 3. Valoración de la gravedad del MNSV (1)

Tratamientos	% P.M.	%+MNSV	%+MNSVT	Prod.(kg m-2)
Año 1988				
TESTIGO	24.52 a	82.68 a	55.78 a	0.0
SOLAR	15.26 ab	59.59 a	35.93 ab	0.0
BROMURO	3.20 b	75.00 a	16.63 b	0.0
TESTIGO	17.09 a	100.00 a	98.66 a	0.0
SOLAR	23.61 a	100.00 a	100.00 a	0.0
BROMURO	14.35 a	100.00 a	97.33 a	0.0
Año 1989				
TESTIGO	27.30 a	94.30 a	89.10 a	5.52 a
METAM-NA	30.40 a	98.30 a	93.90 a	5.90 a
FORMOL	35.00 a	100.00 a	94.40 a	6.10 a
Año 1990				
TESTIGO	40.52 a	79.12 a	77.41 a	2.73 a
METAM-NA	17.77 b	54.27 a	79.68 a	2.65 a
BROMURO	27.22 ab	67.23 a	77.07 a	3.07 a

(1) las dos columnas centrales expresan el % de plantas muertas (P.M.) a lo largo del cultivo y el % de ellas que dieron una reacción serológica positiva al virus del cribado. La presencia del MNSV en el total de las plantas de los experimentos y la producción total (kg m-2) completan los resultados. Los valores con la misma letra no son significativamente diferentes (P = 0.05) por el Test t de Student.

Tabla 4. Valoración de distintos síntomas del MNSV en melón

Tratamientos	necrosis hipocotilo	estrias en el tallo	cribado en hojas apicales	plantas muertas sin síntomas	plantas con síntomas	plantas <i>Olpidium</i>
Año 1988 otoño						
TESTIGO	70.83 a	0.91 a	0.91 a	0.00 a	70.83 a	*
SOLAR	39.35 b	0.00 a	0.00 a	2.30 a	39.35 b	*
BROMURO	39.81 b	0.00 a	0.00 a	0.91 a	39.81 b	*
Año 1989 primavera						
TESTIGO	90.74 a	35.65 a	24.07 a	6.94 a	92.58 a	100.00 a
METAM-NA	88.42 a	41.19 a	27.31 a	7.87 a	89.81 a	100.00 a
FORMOL	89.81 a	43.05 a	29.63 a	4.63 a	91.66 a	100.00 a
Año 1990 primavera						
TESTIGO	87.11 a	41.75 a	0.00	4.12 a	87.11 a	96.60 a
METAM-NA	80.10 a	53.57 a	0.00	10.20 a	80.10 a	93.30 a
BROMURO	84.77 a	47.20 a	0.00	5.07 a	84.77 a	100.00 a
Año 1991 primavera						
TESTIGO	92.76 a	72.73 a	0.00	0.0	92.76 a	100.0 a
METAM-NA	91.10 a	71.10 a	0.00	0.0	91.10 a	100.0 a
BROMURO	91.60 a	74.98 a	0.00	0.0	91.60 a	93.3 a

Los valores con la misma letra no son significativamente diferentes ($P = 0.05$) por el Test t de Student.

Estudio de la viabilidad de *O. radiale* y del virus del cribado del melón en el suelo. Algunas de las plantas del experimento mostraron ya, antes de la realización del primer análisis, estrias necróticas en el tallo y necrosis de hipocotilo.

Los primeros análisis para la detección de *O. radiale* y del MNSV se realizaron a los 70 días de las inoculaciones. *O. radiale* se detectó en el 100%, 100% y 0% y el virus del cribado del melón en el 0%, 50% y 0% de las plantas analizadas y crecidas en las muestras de suelo recogidas en los años 1988, 1990 y no inoculadas, respectivamente.

Los análisis de la segunda siembra se hicieron a los 55 días de ésta. El virus del cribado del melón se detectó en esta ocasión en el 100%, 100% y 0% de las plantas analizadas y crecidas en las muestras recogidas en los años 1988, 1990 y no inoculadas, respectivamente. En esta segunda ocasión, un elevado porcentaje de plántulas, inoculadas con ambas muestras de suelo, murieron con una necrosis del hipocotilo y del sistema radicular y un síndrome similar al de caída de plántulas provocada por *Pythium*.

Discusión y conclusiones

O. radiale se ha aislado en capas profundas del suelo, al menos hasta 60 cm. Parece existir una asociación entre la presencia del hongo y una podredumbre en la raíz, lo cual podría suponer una exteriorización sintomatológica concreta de este complejo parasitario.

Los tratamientos biocidas al suelo han tenido una eficacia diferente. El BM ha sido el más enérgico frente a *O. radiale*, incluso en los estratos más profundos del suelo. Esta actividad, sin embargo, no ha eliminado la presencia del hongo en el suelo, hasta el punto de disminuir de forma significativa el porcentaje de plantas colonizadas por el hongo al final del cultivo.

La disminución de la concentración de inóculo de *O. radiale* en el suelo no asegura una reducción paralela de la enfermedad, lo cual concuerda con las observaciones realizadas en invernaderos comerciales de Almería y con los trabajos de otros autores. Sin excluir la transmisión del virus por semilla - hecho que no se ha podido comprobar en nuestros análisis - podría pensarse que el inóculo del hongo que queda en el suelo es el resultado de la ineficacia de las desinfecciones para luchar contra la virosis. Sin embargo, el ensayo realizado durante el otoño de 1988 (Tabla 3) muestra una cierta eficacia de los tratamientos biocidas para disminuir la severidad de la virosis.

Los datos obtenidos, en los experimentos encaminados para conocer la viabilidad de *O. radiale* y del virus del cribado del melón en muestras de suelo, conservadas a temperatura de laboratorio, permiten afirmar la viabilidad de éste y del virus - supuestamente dentro de los quistes o esporas de resistencia de *O. radiale* - durante un tiempo no inferior a los cinco años. Dichos datos permiten especular con la ineficacia, por lo menos a corto o medio plazo, de las rotaciones de cultivo para impedir la infección de las plantas por el hongo.

Sin embargo, es muy significativo el hecho de que el MNSV no se detecte, en algunas ocasiones, en las plantas crecidas en un primer cultivo sobre un sustrato contaminado con un *O. radiale* portador de MNSV. Este hecho parece sugerir la posible importancia no sólo de la cantidad de inóculo de *O. radiale* existente en el suelo, sino también, de la cantidad de *O. radiale* portador de MNSV que haya en el mismo, pudiendo influir en la precocidad de aparición de los síntomas de la enfermedad ocasionada por el virus, y por lo tanto en los daños causados por éste.

Los síntomas de caída de plántulas producidos en algunos de los experimentos, al sembrar melón sobre un sustrato previamente contaminado por *O. radiale*, portador de MNSV, son novedosos y no citados hasta ahora en la bibliografía consultada. Por el contrario, en las plantaciones comerciales de melón de Almería, tanto los síntomas de caídas de plántulas como los de plantas que, con posterioridad a su trasplante, aparecen con escaso o nulo crecimiento, con síntomas de estrías sobre el tallo o hipocotilo, con necrosis del sistema radicular y a veces con síntomas de cribado sobre las hojas, son muy frecuentes cuando el melón es cultivado con posterioridad a un cultivo de pepino tipo holandés o calabacín.

Finalmente, una aportación sobre la sintomatología del MNSV, que tiene un neto interés en la práctica diaria de los cultivos de la zona. El síntoma de cribado en las hojas ha sido eventual, mientras que la necrosis superficial de la base del tallo y cuello, seguido de las estrías necróticas de los tallos son los que parecen definir más frecuentemente la enfermedad, que puede estar presente en el hospedador sin manifestarse a simple vista.

Abstract

An epidemiological study of musk melon necrotic spot virus (MNSV) in Almeria is described including the effectiveness of soil disinfection in relation to sampling depth and viability of the vector fungi *Olpidium radicale*. The virus vector (*O. radicale*) was found to a depth of 60 cm, and affected plants showed characteristic root and stem base rot, with brown striation in the stem that produces death when the plant enters into production. Among biocidal treatments, MB showed the highest efficacy in diminishing the density of fungal propagula in the soil, even at the deepest soil stratum, but MB did not eradicate the fungal presence and was not effective in reducing disease severity when compared with an untreated control group. The fungi can be maintained in the laboratory for more than five years, making crop rotation a doubtful alternative for disease control.

Keywords: Epidemiology, etiology, solarization, rotations, fumigants

Bibliografía

- Avgelis, A. 1985. Occurrence of Melon Necrotic spot virus in Crete (Greece). *Phytopath. Z.* 114, 365-372.
- Bos L., H.J.M. Van Dorst, H. Huttinga, D.Z. Maat. 1984. Further characterization of melon necrotic spot virus causing severe disease in glasshouse cucumbers in the Netherlands and its control. *Neth. J. Pl. Path.* 90, 55-69.
- Coudriet D.L., A.N. Kishaba, J.E. Carroll, 1979. Transmission of muskmelon necrotic spot virus in muskmelon by cucumber beetles. *Journal of Economic Entomology* 72, 560-561
- Cuadrado I.M., J. Gómez, P. Moreno. 1993. El virus de las manchas necróticas del melón (MNSV) en Almería. I. Importancia del MNSV como causa de la muerte súbita del melón. *Bol. San. Veg. Plagas* 19, 93-106.
- Cuadrado I.M., P. Moreno. 1987. Detection of viruses by dot-immunobinding assay in cucurbit plants grown under plastic cover in Almería (Spain). *Proc. 7th Congress of the Mediterranean Phytopathological Union*. Granada (Spain), 158.
- Gómez J. 1990. Presencia de *Olpidium brassicae* y *radicale* en Almería. *Actas de Horticultura del III Congreso Nacional de la Sociedad Española de Ciencias Hortícolas*.
- Gómez J., I. Cuadrado, V. Velasco. 1993. El virus de las manchas necróticas del melón (MNSV) en Almería. II. Eficacia de la desinfección del suelo frente al MNSV. *Bol. San. Veg. Plagas*, 19, 179-186.
- Gómez J., V. Velasco. 1991. Presencia de *Olpidium radicale* en los embalses para riego en Almería. *Phytoma España* 33, 23-27.
- González-Garza R., D.J. Gumpf, A.N. Kishaba, G.W. Bohn. 1979. Identification, Seed Transmission, and Host Range Pathogenicity of a California Isolate of Melon Necrotic Spot Virus. *Phytopathology* 69, 340-345.
- Hibi T., I. Furuki. 1985. Melon Necrotic Spot Virus. *AAB Descriptions of Plant Viruses* Nº 302.
- Luis, M. 1991. Virosis de cucurbitáceas en España. *Phytoma España* 25, 9-16.
- Tomlinson, J. A., B.J. Thomas. 1986. Studies on melon necrotic spot virus disease of cucumber and on the control of the fungus vector (*O. radicale*). *Ann. appl. Biol.* 108, 71-80

Capítulo 15

VIÑEDOS DE LA MANCHA, UN MODELO DONDE NO SE UTILIZA BROMURO DE METILO

M. ARIAS, J. FRESNO(*), J. A. LÓPEZ

Dpto Agroecología, CCMA, CSIC. Madrid

(*) Área de Biología Molecular y Virología Vegetal, CIT-INIA. Madrid

Resumen

Se realiza un estudio de los problemas planteados por nematodos en los viñedos de Castilla-La Mancha y se analizan las características ambientales, principalmente suelo y clima, de la región que permiten su control ambiental sin necesidad de utilizar BM, con el fin de que sirvan de referencia ante la retirada de este biocida, por sus efectos sobre la capa de ozono estratosférico. Se centran los principales problemas en el complejo *Xiphinema index*-GFLV, ampliamente distribuido en la zona con una frecuencia del 11%, y los nematodos formadores de nódulos (*Meloidogyne incognita*), en zonas con altas temperaturas medias y suelos arenosos con regadío. Se encuentra que ambos problemas se pueden reducir a límites no perjudiciales mediante el manejo agronómico de los viñedos, teniendo en cuenta las especiales características ambientales de la región, donde la utilización del BM es innecesaria y, en cierto modo, ineficaz dadas las características de los suelos.

Palabras clave: Nematodos, virus, *Xiphinema index*, *Meloidogyne*, degeneración infecciosa.

Introducción

Uno de los principales problemas del viñedo lo constituye la degeneración infecciosa de la vid (GFLV), producida por un Nepovirus que se transmite a través del material vegetal infectado y por nematodos, principalmente *Xiphinema index*. La vid es un buen hospedador para muchas especies de nematodos, se han citado asociadas a este cultivo 295 pertenecientes a 72 géneros (Arias, 1996), pero los más importantes por su acción directa sobre la planta, son las especies de *Meloidogyne* y *Pratylenchus* y, en menor grado *Macroposthonia xenoplax*, *Paratylenchus*, *Helicotylenchus*, *Rotylenchus*, *Xiphinema*, *Longidorus*, *Paratrichodorus* y *Trichodorus* (Boubals y Dalmasso, 1964; Raski y Krusberg, 1984; Tacconi y Mancini, 1987, Raski, 1988). Los síntomas que provocan estos organismos en las partes aéreas son, en general, inespecíficos como falta de vigor y mayor susceptibilidad a la sequía, síntomas que suelen presentarse en rodales.

Se estima que los nematodos pueden llegar a reducir el 12,5 % del rendimiento del cultivo (Sasser y Freckman, 1987), son difíciles de erradicar y para su control se vienen aplicando nematicidas, especialmente los fumigantes 1,3-dicloropropano y BM, en preplantación y mediante inyección a fin de alcanzar horizontes profundos

(Raski y Krusberg, 1984) y que, en combinación con cobertura de plástico consiguen erradicar las poblaciones de *X.index* a 90 cm de profundidad (Basile et al. 1982; Basile et al. 1996), si bien pierden efectividad en suelos húmedos y con contenido alto de arcilla (Lear et al. 1981). Por otro lado, las poblaciones de *M.javanica* disminuyen en suelos que contienen *Pasteuria penetrans* (Bird y Brisbane, 1988)

Según el MBTOC (1995) el BM en viñedo únicamente se utiliza en USA, donde se vienen aplicando 876 t sobre una superficie de 2.264 ha, menos del 1% del cultivo. Sin embargo, según el mismo documento, para el control de un patógeno tan importante para la vid como es *Xiphinema* spp. se emplea también en Francia, Mediterráneo (Italia, Grecia, Turquía), África (Kenia, Sudáfrica, Zimbawe) y Sudamérica (Argentina, Brasil, Colombia, Uruguay). En un análisis de las publicaciones sobre la utilización de BM en viñedo desde 1970 hemos encontrado que, en las décadas de los 70-80, se empleaban a tal fin en USA (California), Alemania, Australia, Canadá, Chile, Francia, India, Irán, Italia, Japón y la antigua URSS y en los años 90 se continúa utilizando en Australia, California, Chile, Italia, Sudáfrica, Japón y la antigua URSS, destacando, en las últimas, su uso en el control de filoxera (Sakai et al., 1985; Mordkovich y Chernei, 1994). Buena parte de los artículos de los últimos años tratan de los fenómenos de fitotoxicidad derivados de su utilización, entre los que destaca la disminución de la concentración de glutatión, relacionado con el oscurecimiento interno de la uva de mesa (Chandrika-Liyanage et al. 1993).

Las características geográficas y climáticas de Castilla-La Mancha, que retrasaron en su día el avance de la filoxera, constituyen un buen punto de referencia para el estudio epidemiológico de las enfermedades de las plantas de origen edáfico y su control ambiental, principalmente debido al predominio de un clima mediterráneo continental, que hace que los organismos patógenos sólo puedan desarrollarse durante un mes (Bello et al., 1993, 1996), lo que explica las escasas referencias de nematodos fitoparásitos en los viñedos de esta región (Navacerrada, 1975). Estas características unidas a la idea generalizada de la presencia del virus de la degeneración infecciosa de la vid (GFLV) en el 67 % de los viñedos españoles, afectando al 85% de las vides de la variedad Airén (Peña-Iglesias, 1989) y la existencia de diversos síntomas de enfermedad en los viñedos de La Mancha, nos llevaron a plantear un estudio en la región, para comprobar la incidencia de nematodos y de GFLV y la correlación de ambos con la sintomatología, ya que de existir el virus en los porcentajes estimados, los viñedos deberían ser prácticamente improductivos. En dicho estudio se constató que la incidencia de GFLV es inferior al 12 % (Arias et al. 1997, Arias et al. 1993), de ahí nuestro interés por conocer los factores que actúan en la regulación de la enfermedad, que podrían servir de referencia en la búsqueda de alternativas al BM.

Características del área de estudio

Castilla-La Mancha es una región rica en aspectos geográficos que la hacen diferente de las otras regiones españolas. En su territorio destaca **La Mancha** que constituye la llanura más amplia y perfecta de toda la Península Ibérica, con una altura media de 650 m y está rodeada por sistemas montañosos, que limitan la introducción de patógenos procedentes de otras áreas. El **clima** es **mediterráneo continental** con precipitaciones escasas de unos 400 mm, dándose las máximas en

primavera y finales de otoño y las mínimas en invierno y verano, con cinco tipos climáticos, siendo el seco subhúmedo y el semiárido los más extendidos. La temperatura media anual está comprendida entre los 13 y 15 °C, con riesgo de heladas nocturnas desde finales de otoño a primavera avanzada, los veranos son secos y calurosos.

Constituida principalmente por materiales terciarios y cuaternarios, destaca la **costra caliza o caliche** que forma parte y origina la mayoría de los suelos manchegos, en los que el aprovechamiento principal hasta hace poco tiempo ha sido el cultivo de la vid y recientemente se están imponiendo cultivos de regadío. Los principales riesgos de esta zona, son la erosión y salinización, tras su puesta en regadío, si no se toman las medidas preventivas oportunas, así como los problemas derivados de las prácticas agrícolas que, en este tipo de ambientes, llevan a la pérdida de materia orgánica del suelo. Si ésto ocurre, se inicia un proceso de degradación de la estructura del suelo, se pierde gran parte de la capacidad de almacenamiento de agua y se favorecen los procesos erosivos, con los consiguientes problemas de desertización en unos ecosistemas mediterráneos semiáridos de por sí muy frágiles.

Las **zonas vitícolas** se asientan en una gran llanura de escasas ondulaciones, con una altitud media que oscila entre los 600-900 m, con clima continental extremo muy adecuado al cultivo de la vid, pero de escasa fertilidad y pluviometría (menos de 400 mm año), que le hacen poco rentable para otros cultivos, si no se introduce el regadío, por lo que el viñedo constituye el aprovechamiento idóneo de los terrenos más desfavorables, pobres, secos, semiáridos y arenosos de poco fondo. La **extensión de su viñedo** es de más de 700.000 ha cultivadas, el 9,7% de la superficie total de la región Castellano-Manchega, el 18,3% de sus tierras cultivadas, el 73,3% de las dedicadas a cultivos leñosos, en torno al 50% de la superficie nacional dedicada a viñedo, el 11,4% de la europea y el 8% de la superficie vitícola mundial. Para el cultivo en esta zona se recomiendan 14 variedades y otras seis están autorizadas (Real Decreto 115/1985 de 5 de junio), la más extendida es la Airén, seguida de Garnacha, Bobel, Monastrel y Cencibel. La **producción** viene a ser el 50% de la nacional de uva según el Avance del Anuario Estadístico de España (1995), correspondiendo el 70% a la variedad Airén. Desde el punto de vista **demográfico** existen 511 ha de vid por cada 1000 habitantes (h), 1334 ha/1000 h de población activa y 4528 h/1000 h de población económicamente activa, lo que indica que es un factor de riqueza y fijación de población.

Nematodos y el virus del entrenudo corto (GFLV) en Castilla-La Mancha

Los viñedos españoles se consideraban afectados por graves problemas de virosis (Peña-Iglesias, 1989), con el fin de correlacionar la sintomatología que se venía observando con el virus de la degeneración infecciosa de la vid (GFLV) y la presencia de nematodos se realizaron una serie de muestreos en los viñedos de Castilla-La Mancha, en los que el 44 % de las cepas mostraban entrenudo corto, el 14% síntomas generales de virosis más o menos acusados (madera aplanada, fasciación, hojas muy dentadas y de contorno irregular, fallos de coloración, corrimiento de uva, etc.), el 26% clorosis, el 6,4 % falta de vigor, el 2,5% mosaico amarillo y el 8,3% no presentaban sintomatología alguna.

El análisis indica que la nematofauna de la zona es pobre tanto en diversidad como en abundancia de especies fitoparásitas, con excepción de los Hoploláimidos, presentes en el 82% de las muestras con poblaciones próximas a los 200 indiv./100 cc de suelo. De los restantes grupos tróficos los más frecuentes son los omnívoros (Doriláimidos), seguidos de los micófagos (Rabdítidos) y en último lugar los depredadores (Monónquidos), si bien sus poblaciones no superan los 50 indiv./100 cc de suelo.

Correlación entre sintomatología, presencia de GFLV y nematodos fitoparásitos

Se detectó el virus en el 20% de las cepas con **entrenado corto** y en el 40% de las que mostraban **síntomas más o menos acusados de virosis**. De las que presentaban **clorosis**, el 31,7 % se encontraban asociadas a la presencia de *Meloidogyne*, el 24% a GFLV y el 2,4% a cepas improductivas y presencia de nematodos anillados, las restantes podrían estar originadas por el contenido en carbonatos del suelo, aunque se han encontrado en un rango tan amplio como 23% a 64,5% de carbonato cálcico. El 20% de las cepas con **falta de vigor** estaban asociadas a GFLV, y otro 20% a *Meloidogyne* o filoxera en cepas viejas de zonas marginales. Por último, el 36% de las que **no presentaban síntoma alguno** mostraron la presencia de GFLV, mientras que en las de **mosaico amarillo** no se detectó la presencia de virus, ello representa que solamente un **11,8% de cepas estaban infectadas por GFLV**.

Nematodos ectoparásitos y vectores de virus. Los nematodos de mayor importancia para el cultivo son las especies *Xiphinema index* y *X. italiae*, que además del daño directo que ocasionan al alimentarse de la planta, son vectores del GFLV. *X. italiae* se considera poco efectivo como vector en campo (Martelli, 1978), aparece en el 23,8% de las muestras, pero solamente en el 18,5% de las positivas de GFLV, y en el 5,7% de las mismas asociado con *X. index*. La especie más importante como vector de GFLV en viñedo es *X. index*, se encontró solamente en el 14% de las muestras estudiadas y en un 30% de las afectadas por el virus, lo que representa un 29,6% de incidencia virus-vector e indica su importancia en la epidemiología del virus, en ocho ocasiones apareció asociado a *X. italiae*.

Otras especies como *X. rivesi*, *X. turcicum* y *X. vuittenezi* así como *Longidorus vineicola*, frecuentes en otros viñedos, aparecen con una frecuencia baja (4 %) sin importancia aparente para el cultivo en las zonas estudiadas, a pesar de que *X. vuittenezi* se considera el principal vector de GFLV en Alemania y Francia, donde el virus se transmite a través del suelo en ausencia de las especies vectores comprobadas (*X. index* y *X. italiae*) (Vuittenez et al., 1972; Weischer, 1973; Rüdell, 1980 y 1985), hipótesis que, por otro lado, está por confirmar (Bercks et al., 1977).

X. index, que muestra tolerancia con la textura y pH del suelo (Navas y Arias, 1986; Scotto La Massese et al., 1988 y Siddiqi, 1986), ha aparecido en suelos con contenidos en carbonato superiores al 54%, aunque solamente el 15% en los de contenidos superiores al 40%. Sin embargo, sus poblaciones aumentan con el contenido de arena, entre 59% y 70% de arena, y disminuyen al aumentar los carbonatos.

Disperso en suelos de Cambisol gleico y cálcico; los más frecuentes en la zona de viñedo, apareció una vez en Luvisol, si bien, hay que considerar que los suelos así tipificados por la FAO, han modificado sus propiedades como consecuencia del laboreo continuado a que han sido sometidos, que los ha convertido en antrosoles, por lo que la influencia que puedan tener sobre la fauna edáfica depende principalmente de sus características físicas, químicas y de hidromorfía. Aparece en los climas semiárido (D) y seco subhúmedo (C1) de Thornthwaite y en zonas con temperaturas medias comprendidas entre 13 °C y 16 °C. Las mayores poblaciones se encontraron en Socuéllamos asociados a virosis, en Cambisol (C1) y temperatura media de 13 °C a 15 °C, siendo menores las de Osa de Montiel en un Luvisol crómico, semiárido y 13 a 14 °C, así como en Valdepeñas y Daimiel con temperaturas de 14 a 16 °C.

Su distribución espacial es aleatoria y contagiosa, aparece en torno a las cepas viróticas a lo largo de todo el perfil, de 5 a 75 cm, donde comienza la costra caliza de estos suelos, en la que no aparecen nematodos. Las mayores concentraciones suelen hallarse en los horizontes más profundos (30 a 75 cm), en las zonas de máxima densidad de raíces, (Weischer, 1975; Scotto La Massese et al., 1988). **Su ciclo biológico en las condiciones de clima mediterráneo continental de La Mancha muestra una sola generación al año**, de marzo a mayo, al igual que en zonas de clima templado, donde tiene una generación al año que se completa en 2-3 meses (Allen et al., 1988; Scotto La Massese et al., 1988).

X. italiae, especie de ambientes mediterráneos ampliamente distribuida en Europa Central y Meridional, asociada a suelos areno-limosos y limo-arenosos con pH ácido (5-5,5) (Navas y Arias, 1986), se ha encontrado en todo tipo de suelos con valores de pH de hasta 8,3, en profundidades superiores a los 50 cm, pero preferentemente en los Franco-arenosos y Franco-arcillo-arenosos y en pH 7,4 a 8,3, soportando bien contenidos medios de carbonatos, de hasta el 70%, sólo se encontró en clima semiárido (D), no apreciándose diferencias en su distribución en la zona respecto a la temperatura. Su ciclo biológico tiene una sola generación al año, que se completa entre marzo y finales de mayo, de acuerdo con las observaciones de Cohn y Mordechai (1970) que comprueban que esta especie completa su ciclo en menos de seis semanas a 28 °C y puede tardar más de 12 meses cuando la temperatura es de 24 °C o inferior.

Nematodos formadores de nódulos. Se han localizado focos de nematodos formadores de nódulos, principalmente *Meloidogyne incognita*, en 55 puntos representativos de Castilla-La Mancha, en un 25 % asociados a clorosis, el 5 % a falta de vigor y el 2% a cepas muertas o improductivas. Estos nematodos producen proliferación de las raíces, conocida por los agricultores de la zona como "escobillado" o cepas "rulas", dan lugar a alteraciones graves en las plantas que llevan a su degeneración y muerte en rodales de gran extensión, llegando a afectar a todo el viñedo, especialmente en suelos arenosos donde se vienen aplicando sistemas de regadío, ya que está condicionada por contenidos de arena de alrededor del 70%. Hay que tener en cuenta su importancia fitopatológica no sólo para el viñedo sino también para cultivos hortícolas e industriales implantados en sustitución de antiguos viñedos con la introducción de regadío.

* Para controlar estos nematodos los agricultores han desarrollado una técnica, conocida como "descobillado", que consiste en la eliminación de las raíces con nódulos alrededor del tronco y realización de hoyas alrededor de la planta, con lo que favorecen los efectos de la solarización y eliminan los nematodos (Bello *et al.*, 1996).

Nematodos ectoparásitos. Se ha encontrado *M. xenoplax*, nematodo **ectoparásito sedentario** del grupo de los "anillados", en 27 puntos. Esta especie se ha citado asociada a síntomas de clorosis, falta de vigor y cepas improductivas, en suelos con alto contenido de arena, causando también problemas en árboles frutales (Raski y Krusberg, 1984), nosotros solamente lo encontramos asociado a dicha sintomatología en el 30% de los casos. También se encontraron en 48 puntos de todas las provincias excepto Guadalajara, especies del género *Paratylenchus*, pero se sabe poco sobre el efecto de estos nematodos sobre la vid. Los **ectoparásitos migratorios** de los géneros *Helicotylenchus* y *Rotylenchus*, los más frecuentes y abundantes, aparecen en el 82 % de las muestras, y, con menor frecuencia *Tylenchorhynchus* s.l., todos ellos comunes en suelos de viñedo pero se sabe poco de su efecto patógeno (Tacconi y Mancini, 1987).

No se han encontrado **semiendoparásitos** de los géneros *Rotylenchulus* ni *Tylenchulus semipenetrans* a pesar de que este último es muy importante para los cultivos de cítricos en España y constituye un grave problema para los viñedos de Australia (Tacconi y Mancini, 1987), únicamente se ha citado en vid en Almería, Cádiz, Jaén, Murcia y Valencia (Navacerrada, 1975), sin afectar al cultivo, posiblemente debido a la existencia en Europa de un biotipo distinto de esta especie (Scotto de La Massese *et al.*, 1988).

Nematodos y factores abióticos en el viñedo

Debido a la influencia de los **factores abióticos** del suelo sobre el cultivo, la elección de portainjertos se realiza en función de factores edáficos, régimen hídrico, orientación de la producción y técnicas de cultivo, con la considerable dificultad de aunar todos estos criterios. Sin embargo, se tiene en cuenta en primer lugar el suelo y especialmente su contenido en cal activa, como factor limitante de primer orden y en este sentido se recomiendan los patrones 161-49C, 41-B, 110-R y 420-Am (Serrano Comino *et al.* 1988). A pesar de ello, se han localizado más de 200 puntos con clorosis cálcicas debidas a la existencia de carbonatos, amarillos que, por otro lado, son fáciles de diferenciar de las clorosis producidas por GFLV, y que aparecen sobre todo en zonas de poco espesor del suelo, como son las pequeñas lomas que existen en los viñedos.

La **influencia del horizonte cálcico sobre la presencia y abundancia de las poblaciones de nematodos** se ha estudiado experimentalmente a partir de muestras de suelo de la Finca Experimental Agraria de "La Higuera", de una zona no cultivada (pastizal) y del sustrato calizo de horizontes petrocálcicos, utilizando trigo como hospedador alternativo (Arias *et al.*, 1997). Encontrándose que tanto los nematodos fitoparásitos, como los omnívoros, bacteriófagos y depredadores, sufren fluctuaciones, con aumento de sus poblaciones como consecuencia del crecimiento y producción de raíces del hospedador, disminuyendo a partir del agostamiento y reducción del sistema radicular de la planta hasta prácticamente desaparecer, lo que

indica la influencia negativa de dicho horizonte sobre ellos. Asimismo, en experimentos con poblaciones del nematodo vector del virus del entrenudo corto de la vid, *Xiphinema index*, en diluciones de 0,5%, 1%, 1,5% y 2% de substrato petrocálcico, tomando como testigo una suspensión en agua de poblaciones similares, se analizó el metabolismo de las proteínas (N uréico y proteínas totales), lípidos e hidratos de carbono, así como P inorgánico Ca, Mg, Fe, tres enzimas relacionadas con su metabolismo (lactodeshidrogenasa, fosfatasa ácida y alcalina) y la colinesterasa que interviene en su movimiento. Se comprobó que las diluciones de 0,5% y 1% provocan alteraciones del metabolismo de los lípidos e hidratos de carbono en el nematodo y que a concentraciones mayores se produce el 100% de mortandad a las 24 horas, asimismo se aprecian disminuciones significativas de los niveles de P, glucosa y proteínas, menos acusada en los lípidos, que interfieren en los procesos de síntesis de lípidos y en el movimiento de estos organismos (Arias *et al.*, 1996). Lo que viene a confirmar el efecto inhibitor de dicho substrato sobre las poblaciones de nematodos que confiere un grado de supresividad a estos suelos y que explica que los problemas fitonematológicos en los cultivos de esta región sean menos severos que en otras zonas, permitiendo la práctica de una agricultura con bajos insumos, donde no se utilizan plaguicidas de alto impacto ambiental como el BM.

El virus del entrenudo corto (GFLV) en Castilla-La Mancha

La incidencia del virus en Castilla-La Mancha es del 11,9%, apreciándose focos de mayor intensidad de infección vírica en Socuéllamos, Osa de Montiel y Valdepeñas, donde además existen las mayores poblaciones de nematodos transmisores de virus de la zona. Porcentaje considerablemente inferior al estimado en trabajos precedentes y al que empíricamente se deducía de la sintomatología de los viñedos, por lo que se consideró que estas diferencias podían deberse a **fallos en las técnicas de diagnóstico** utilizadas; efectos de **termoterapia natural** en zonas con temperaturas extremas, sobre todo para las muestras recogidas en verano; **diferencias de la concentración del virus** en las distintas partes de la planta y épocas del año y del estado vegetativo de la planta; dificultad en discernir entre los **síntomas** causados por el virus y las **características fisiológicas o varietales**, así como la **influencia de otros patógenos** y de los **factores climáticos o edáficos**.

Todo ello nos llevó a revisar las técnicas de diagnóstico y a comprobar la presencia del virus en los distintos tejidos de la planta y distintas épocas del año, se comprobó que es posible detectar el virus en cualquier parte de la planta y época del año, aunque las concentraciones del virus varían con uno y otro factor, manteniéndose constantes en tallo, con las mayores adsorbancias en hoja joven y fruto y prácticamente indetectables en hoja vieja (Fresno y Arias, 1993), lo que explica la idea generalizada de que la detección del virus depende de la época del año (Bovey *et al.*, 1980; Rüdell, Alebrand y Aitmayer, 1983).

Manejo, nematodos y entrenudo corto de la vid (GFLV)

Los valores agroambientales de Castilla-La Mancha condicionan la aparición de problemas fitopatológicos limitando el desarrollo de plagas y enfermedades en sus cultivos, permitiendo el desarrollo de sistemas agrarios de gran calidad ambien-

tal, entre los que destacan los viñedos manchegos, que se encuentran entre los de mayor valor ecológico del mundo. Sin embargo, la modificación de las técnicas agrarias, principalmente aquellas relacionadas con la humedad y la temperatura, pueden implicar los riesgos derivados de la distribución potencial de los organismos patógenos y que, con los actuales cambios, comienzan a aparecer (Arias et al., 1997, Bello et al., 1996).

Las técnicas agrícolas y su influencia sobre *Xiphinema index* y el GFLV. Los factores ambientales, principalmente temperatura y humedad, influyen en el desarrollo de *X.index* de manera que su ciclo de vida varía de 2 a 14 meses, dependiendo principalmente de la temperatura y el desarrollo estacional de la planta huésped (Allen et al., 1988; Scotto La Massese et al., 1988), siendo el contenido de humedad del suelo otro de los factores más limitantes para el desarrollo de sus poblaciones, que aumentan considerablemente con la introducción de regadío (Arias et al., 1997 y Arias et al. 1993). En los viñedos de Castilla-La Mancha, el nematodo sobrevive a la estación estival en los horizontes argílicos que retienen la humedad. La influencia de la temperatura, se ha estudiado en dos viñedos relativamente próximos, Socuéllamos y Osa de Montiel, en zonas de clima semiárido (D), pero con un grado de diferencia en la temperatura media anual, se ha encontrado que las poblaciones de este nematodo en Socuéllamos (13-15°C) son mayores, aparecen en enero, aumentan considerablemente en marzo y decreciendo paulatinamente hasta primeros de mayo, mientras que en Osa de Montiel (13-14°C) no aparecen hasta mediados de marzo y se mantienen hasta finales de mayo. Su ciclo de vida en las condiciones del clima mediterráneo continental de esta Región es de poco más de dos meses, con variaciones de casi un mes dependiendo del gradiente de temperatura en que se encuentra.

Por otro lado, *X.index* siempre apareció en poblaciones pequeñas, sólo se superaron los 100 indiv./Kg de suelo en los horizontes argílicos a más de 30 cm de profundidad en Daimiel, El Provencio y Socuéllamos. En Valdepeñas en un viñedo del paraje de "La Encomienda", donde el 41 % de las cepas se encuentran infectadas por GFLV y que sirvió para el estudio de la evolución de la enfermedad a lo largo de varios años, las poblaciones máximas que se encontraron fueron de 10 a 15 indiv./Kg. Sin embargo, en el mismo paraje un viñedo en el que dos años atrás se había implantado riego por goteo, que presenta una sintomatología clara de bandeado de venas, clorosis y deformación de madera en las tres cuartas partes de la finca. A lo largo de 1995 se realizó un muestreo al azar de suelo y material vegetal, sobre los que se analizó la presencia de GFLV y *X.index* así como la humedad gravimétrica del suelo en cada punto. Los resultados muestran que el nematodo aparece en más del 80% de las muestras, en algunas de ellas con poblaciones superiores a los 500 indiv./Kg, y el virus en el 66 %, siendo la correlación virus-vector del 57%.

A fin de comprobar la **influencia del riego** en las poblaciones de nematodos se ha calculado la humedad gravimétrica de las muestras recogidas en la finca con riego, se encontró que las poblaciones de nematodos aumentan a partir del 4% de humedad, con valores máximos cuando la humedad gravimétrica está comprendida entre el 5% y 9%, que disminuyen drásticamente fuera de estos porcentajes.

Todo ello indica la importancia de las técnicas agrícolas en la epidemiología de la enfermedad, ya que, aunque la introducción de regadío mejora la producción, es una práctica negativa en presencia de nematodos vectores en el suelo puesto que, con la humedad sus poblaciones se incrementan considerablemente y se favorece su dispersión, con lo que la infección se propaga más rápidamente y la reposición de las cepas muertas, práctica común y recomendable en ausencia del nematodo vector, resulta inviable, con lo que la única solución sería el mantener el viñedo mientras tenga unos límites de producción aceptables, para después proceder a su arranque, manteniendo el terreno en barbecho o con un cultivo alternativo por un período de al menos cinco años.

Las técnicas agrícolas y su influencia en los nematodos formadores de nódulos

Meloidogyne incognita se localizó en 25 puntos de suelos arenosos y temperatura más altas causando problemas al viñedo, con las mayores poblaciones en zonas de regadío, representando un riesgo, no sólo para el viñedo, sino sobre todo para cultivos hortícolas e industriales que se vienen implantando con sistemas de regadío, en sustitución de cultivos de vid. El conocimiento de sus requerimientos ambientales han permitido la elaboración de un mapa de áreas de riesgo para su desarrollo en Castilla-La Mancha, que comprenden las zonas de Daimiel, Valdepeñas, Las Pedroñeras y Alcalá del Júcar. En Daimiel existen focos localizados, condicionados por los niveles de humedad (Bello et al., 1996).

Discusión y conclusiones

Los problemas fitopatológicos en los viñedos de Castilla-La Mancha se pueden resumir en dos, los ocasionados por **el virus del entrenudo corto de la vid (GFLV)** y su vector *X.index* y los nematodos **formadores de nódulos** de la especie *Meloidogyne incognita*.

La frecuencia de *X.index* es relativamente baja en esta zona (14%), por lo que la dispersión del virus (en el 11 %) se realiza principalmente a través del material vegetal infectado. Sus poblaciones son en general muy pequeñas y suelen encontrarse en puntos muy localizados dentro de un viñedo afectado, hallándose la mayor parte de los individuos en los horizontes más profundos, que hace que la dispersión del virus por el viñedo a través del vector sea muy lenta. Sin embargo la introducción de cambios culturales, sobre todo regadío, aumenta considerablemente sus poblaciones, favorece su dispersión y por tanto la del virus. Por otro lado, la localización de las mayores poblaciones en los horizontes argílicos, profundos, donde se retiene la humedad hace que la utilización de agroquímicos sea poco efectiva para el control de estos nematodos, de acuerdo con las observaciones de Lear et al. (1981), que, por otro lado, son innecesarios si se mantiene un control fitosanitario del material vegetal.

Los nematodos **formadores de nódulos (*M.incognita*)**, asimismo se encuentran localizados en las zonas más cálidas y con suelos arenosos, planteando los mayores problemas al introducir el riego, por lo que igualmente dependen en gran medida del manejo de los cultivos, de la temperatura y textura del suelo y su incidencia se pueden regular mediante el manejo adecuado de estos factores.

El horizonte cálcico inhibe las poblaciones de cualquier grupo trófico de nematodos, lo que explica las bajas poblaciones que venimos encontrando en los viñedos de esta región y que, junto a las extremas temperaturas de la misma, hace que las plagas y enfermedades de sus cultivos sean menos severas y permitan el desarrollo de una agricultura con un mínimo de insumos y respetuosa con el ambiente.

Por último, cabe resaltar la función social del viñedo, por su capacidad de fijación de población en zonas de terrenos marginales que no serían rentables para otros cultivos, y su importancia ecológica, al subsistir sin necesidad de la utilización de agroquímicos que, como el BM, puedan afectar negativamente al ambiente, ya que sus técnicas agrícolas tradicionales unidas a sus especiales características ambientales, permiten controlar las poblaciones de nematodos en sus suelos a límites no perjudiciales y evitar su dispersión.

Abstract

A study was carried out of the problems due to nematodes in the vineyards of the Castilla-La Mancha Region. Environmental characteristics were analyzed, mainly those of the soil and climate of the region, that allow environmental control of pests and diseases without the use of MB, so it will serve as a reference for the phasing out of this biocide due to its effects on the stratospheric ozone layer. The main problems center around the *Xiphinema index*-GFLV complex, wide spread in the area with a 10% frequency of occurrence, and the root-knot nematodes located in areas with high average temperature, sandy soil and irrigation. It is found that both problems can be reduced to unarmful limits by a correct agronomical management of the vineyards, taking into account the special environmental characteristics of the region, where the use of MB is unnecessary, and to a certain degree, inefficient, given the characteristics of the soil.

Key Words: Nematodes, virus, *Xiphinema index*, Meloidogyne, fanleaf.

Agradecimientos

Al Prof. Bello por sus sugerencias, al Dr. de la Horra por su ayuda en la descripción de la zona de estudio, así como a A.Gala y C.Martínez por su colaboración. El trabajo se ha realizado dentro de los proyectos AMB 95-0428-C02-01 "Modelos no contaminantes alternativos al tratamiento de suelos con BM" y 82/RN-7 "Investigaciones dirigidas a un manejo integrado de sistemas agrarios representativos de Castilla-La Mancha, que permitan una agricultura en armonía con el medio ambiente".

Bibliografía

- Allen W.R., L.W. Stobbs, J.G. van Schagen, B.A. Ebsary. 1988. Association of *Xiphinema* species with soil type grapevines infected with tomato ringspot virus in Ontario, Canada. *Plant Dis.* 72, 861-863.
- Arias M. 1996. Nematodos asociados al cultivo de la vid. Transmisión de virosis por nematodos. In: C.Prendes, C.D.Lorenzo, R.Cabrera Pérez (Eds.) *Seminario de Fitopatología (conferencias)*, Universidad de La Laguna, Tenerife, 7-39.

- Arias M., A. Bello, J. Fresno. 1994. Nematodos vectores de virus de la vid en España. *Invest. Agrar. Fuera Serie nº. 2*: 187-199.
- Arias M., J. Fresno, A. Bello. 1993. Grapevine fanleaf virus in Canary Island as a model for mediterranean region. *Proc. 11th Meeting ICVG*. Montreux, Suiza, 108-109.
- Arias M., J. Fresno, J.A. López, M. Escuer, S.C. Arcos, A. Bello. 1997. *Nematodos, Virosis y Manejo del Viñedo en Castilla-La Mancha*. CCMA-JCCLM. Madrid, 217 págs.
- Arias M., A. López, M. Alía, Arcos S.C., A. Bello. 1996. Influencia del horizonte petrocálcico de los suelos de la Región Central sobre la nematofauna. Su interés en el control de nematodos. *VIII Congreso Nacional de la SEF, Córdoba 23-27 sept.*, 204 p.
- Basile M., F. Lamberti, V.A. Melillo, A.C. Basile. 1986. Influenza del metodo de suministracion e della qualità della copertura sull'efficacia del bromuro di metile nei confronti di nematodi Longidoridae e sulle concentrazioni di bromuro inorganico nell terreno. *Rivista delle Ortoflorofrutticoltura italiana* 70, 193-203
- Basile M., S. Landriscina, G. Zacheo. 1982. Il bromuro di metile nella lotta contro nematodi del genero Xiphinema e residui di bromo totale nel terreno. *Redia* 65, 63-67.
- Bello A., J.M. Rey, M. Arias, J.A. González. 1996. Valores agroambientales de los viñedos de La Mancha y protección de cultivos. In: A. Salinas, F.J. Montero, E. Rodríguez de la Rubia (Eds). *Problemática Vitivinícola en Castilla-La Mancha*. Consejería de Agricultura y Medio Ambiente, Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, Albacete, 61-81.
- Bello A. J. Tello, A. Navas, R. Laguna, R. Meco. 1993. Caracterización de los problemas fitopatológicos de origen edáfico en Castilla-La Mancha. Su interés en una ordenación fitosanitaria. *Cuad. Fitopatol.* 26, 248-254.
- Bercks R., H. Brückbauer, G. Querfurth, M. Rüdell. 1977. Untersuchungen über die Viruskrankheiten der Rebe unter besonderer Berücksichtigung "atypischer Formen" der Reiskrankheit. *Wein. Kell.* 24, 133-180.
- Bird A.F., P.G. Brisbane, 1988. The influence of *Pasteuria penetrans* in field soils on the reproduction of root-knot nematodes. *Revue de Nématologie* 11, 75-81.
- Boubals D., A. Dalmaso, 1964. Resultats d'essais de desinfection de sol a vigne du Sud de la France. *Progres Agricole et Viticole* 168, 1-16.
- Bovey R., W. Gartel, W.M. Hewitt, G.L. Martelli, A. Vuittenez. 1980. *Maladies à Virus et Affections Similaires de la Vigne*. Edit. Payot Lausanne. 183 pp.
- Chandrika-Liyana A., D.A. Luisi, D.O. Adams. 1993. The glutathione content of grape berries is reduced by fumigation with methyl bromide or methyl iodide. *American Journal of Enology and Viticulture* 44, 8-12.
- Cohn E., M. Mordechai. 1970. The influence of some environmental and cultural conditions on rearing populations of *Xiphinema* and *Longidorus*. *Nematologica* 16, 85-93.
- Fresno J., M. Arias. 1993. Detection of grapevine fanleaf virus (GFLV) along the whole year and its vector nematode *Xiphinema index*. *Proc. 11th Meeting ICVG*. Montreux. Suiza, 148-150.
- Lear B., A.C. Goheen, D.J. Raski. 1981. Effectiveness of soil fumigation for control of fanleaf, nematode complex in grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture* 32, 208-211.

- Martelli G.P. 1978. Nematode-borne viruses of grapevine. In: Scott P.R. and Brainbridge A. (Eds.) *Plant disease epidemiology*, 275 pp.
- MBTOC 1995. *Montreal protocol of substances that deplete the ozone layer. Non-chemical alternatives to methyl bromide* (pp. 64-65): *Research priorities for nonchemical alternative* (pp. 78-79). United Nations Environment Program. 304pp.
- Mordkovich Y.B., L.B. Chernei. 1994. Ways of overcoming the phytotoxic effect of methyl bromide on grape planting material disinfected against Phylloxera. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya* 3: 128-133.
- Navacerrada G. 1975a. Nematodos asociados a los viñedos españoles. *Bol. R. Soc. Española Hist. Nat.* 73, 43-56.
- Navas A., M. Arias. 1986. On the distribution and ecology of *Xiphinema index* and *Xiphinema italiae* in Spain. *Nematol. medit.* 14, 207-215.
- Peña-Iglesias A. 1989. Virus and transmissible diseases of the grapevine. In: R. Cavalloro (Ed.) *Plant Protection Problems and Prospects of Integrated Control in Viticulture*, 459-470.
- Raski D.J. 1988. Nematode parasites of grapes. In: R.C. Pearson, A.C. Goheen (Eds), *Compendium of Grape Diseases*. American Phytopathological Society, Minnesota, USA, 55-59.
- Raski D.J., L.R. Krusberg. 1984. Nematode parasites of grapes and other small fruits. In: W.R. Nickle (Ed.), *Plant and Insect Nematodes*. New York, Marcel Dekker, 457-506.
- Rüdel M. 1980. *Xiphinema vuittenezi* (Nematoda: Dorylaimidae). Virusüberträger bei Reben ?. *Wein-Wiss.* 35, 177-194.
- Rüdel M. 1985. Grapevine damage induced by particular virus-vector combinations. *Phytopathol. medit.* 24, 183-185.
- Rüdel M., M. Alebrand, B. Altamayer. 1983. Investigations of the use of ELISA-test to detect different grape viruses. *Wein-Wiss* 38, 177-185.
- Sakai H., Y. Tsutsumi, A. Kawai, S. Sato, T. Takano, T. Takahashi. 1985. Methyl bromide fumigation and hot water treatment of grapevine stocks against the grape phylloxera, *Viteus vitifolia* Fitch. *Res. Bull. of the Plant Protec. Sev. Japan* 21, 67-69.
- Sasser J.N., D.W. Freckman, 1987. A world perspective on Nematology: The role of the society. In: *Vistas in Nematology. A commemoration of the Twenty-fifth Anniversary of the Society of Nematologists*, Society of Nematologists, Hyaltsville, Maryland, USA, 7-14.
- Scotto la Massese C., T.C. Minot, R. Voisin, I.R.M. Castaing, A. Fabre. 1988. Relationship between soil type, previous crop and age of plantation on the composition and the distribution of the nematofauna associated with vineyards of the south-east of France. *Act. Oecol., Oecol. aplic.* 9, 137.
- Serrano Comino F., J. Rodríguez Señas, R. González Ponce. 1988. La elección de portainjertos en el viñedo de La Mancha (Ciudad Real) en función de las características del suelo. *Actas de Horticultura. Comunicaciones Técnicas Sociedad Española de Ciencias Horticolas*, 294-300.
- Siddiqi M.R. 1986. *Xiphinema index*. *C.I.H. Descriptions of Plant Parasitic Nematodes*, 45, 4 pp.

- Tacconi R., G. Mancini. 1987. The nematode associated with grapes. *Informatore Agrario* 43, 69-75.
- Vuittenez A., R. Legin, J. Kuszala, M.C. Cardin-Munk. 1972. Les virus NEPO chez la vigne et les nematodes vecteurs. *Ann. de Phytopatol.* 4, 373-392.
- Weischer B. 1973. Recent studies on nematodes transmitting grapevine viruses. *Riv. Pat. Veg.* 9, 81-89.
- Weischer B. 1975. Ecology of Xiphinema and Longidorus. In: *Nematode Vectors of Plant Viruses*. In: F.Lamberti, C.E.Taylor and J.W.Seinhorst (Eds). Plenum, Press. 291-306.

Capítulo 16

CONTROL DE NEMATODOS SIN BROMURO DE METILO Y PRODUCCIÓN INTEGRADA EN ESPAÑA

A. BELLO, M. A. PASTRANA, J. A. GONZÁLEZ, M. ESCUER, C. ORTS (*)
Dpto Agroecología, CCMA, CSIC. Madrid.

(*) Cooperativa Valenciana Unión Protectora de El Perelló. Valencia.

Resumen

Se analiza la influencia de los nematodos fitoparásitos sobre los cultivos en España y las consecuencias de la retirada del bromuro de metilo (BM). Se considera que la retirada del BM sólo podría afectar a los nematodos formadores de nódulos (*Meloidogyne*). Se localizan las áreas de riesgo para las especies termófilas de estos nematodos en el litoral mediterráneo, sur de la península, Baleares y Canarias. Se resalta el valor de cultivos como la alcachofa y cítricos en el control de los patógenos del suelo, indicándose el interés del estudio de esta función de control en otros cultivos mediterráneos. Se señala la necesidad de armonizar las diferentes técnicas de control dentro de un sistema de producción integrada, para lograr unos cultivos de alto rendimiento y calidad, sin la utilización de BM. Se han tomado como modelos de producción integrada que no utiliza BM para el control de nematodos los cultivos horticolas de El Perelló, en el Parque Natural de La Albufera (Valencia), y los cultivos de tomates en Canarias.

Palabras claves: *Meloidogyne*, control ambiental, manejo de cultivos, tomates, hortalizas

Introducción

Los nematodos parásitos de plantas son, después de los hongos, los organismos del suelo que causan mayores pérdidas en los cultivos. Tomando como referencia las pérdidas estimadas para 1970 de la **Society of Nematologist** (1971), las valoraciones de Sasser y Freckman (1987) y la producción agraria del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA, 1993), se puede valorar en más de 150 mil millones de pesetas anuales las pérdidas por nematodos en los principales cultivos en España. Entre los cultivos destacan los horticolas con 11 % de pérdidas, que supone unos 60 mil millones de pesetas, siguen cereales, frutales, cítricos, papas y remolacha azucarera (Tabla 1). Si tenemos en cuenta la producción agraria para 1989 (MAPA, 1993) y una media del 10% de pérdidas por nematodos, se estima que las pérdidas en nuestro país podrían alcanzar los 218.000 millones de pesetas anuales.

Tabla 1. Pérdidas por nematodos en los cultivos de España (Bello et al., 1996)

Cultivos	Disminución de producción (%)	Pérdidas (ptas x 10 ⁶)
Hortalizas (1)	11.0	60.501
Cereales (2)	7.5	31.425
Frutales (1)	11.0	21.252
Cítricos (2)	14.2	15.077
Papas (2)	12.2	9.655
Remolacha azucarera (2)	10.9	8.100
Vid (2) (3)	12.5	2.285
Olivar (1) (3)	10.0	1.916
Leguminosas (1)	5.0	690
Total		150.901

(1) Society of Nematologist, 1971; (2) Sasser y Freckman, 1987; (3) uva y aceituna de mesa.

El estudio de las características de los nematodos fitoparásitos (Bello et al. 1996), nos permiten afirmar que el único problema que pudiera surgir en nuestro país con la retirada del BM estaría relacionado con las especies termófilas del género *Meloidogyne*, puesto que el resto de los nematodos fitoparásitos pueden ser controlados, debido a las especiales condiciones ambientales de nuestro país, con las técnicas agronómicas que se vienen utilizando.

Según lo expuesto en el párrafo anterior, se deberían suprimir del informe del **Methyl Bromide Technical Options Committee** (MBTOC, 1995), las referencias sobre la utilización de BM en el control de *Ditylenchus*, *Globodera* y *Pratylenchus* en España, que figuran en el anexo 4.1.2. (pág. 120), así como los tratamientos en cítricos (40 t) y papas (50 t) (Tabla 4.1.4., pág. 115) del mismo documento.

Cualquier medida alternativa de control al BM no debe olvidar que, junto a los nematodos fitoparásitos, existen otros grupos de nematodos que serían afectados, como son los saprófagos que favorecen la descomposición de la materia orgánica, depredadores que se alimentan de otros nematodos, e incluso entomopatógenos que parasitan insectos y son importantes en el control de especies causantes de plagas. Las sustancias nematicidas no sólo afectan a los fitoparásitos, sino que pueden eliminar a un conjunto de nematodos beneficiosos, disminuyendo la biodiversidad y la capacidad de autorregulación del suelo (Siddiqi, 1986; Brown y Kerry, 1987).

La agricultura de nuestro país y de los países de la cuenca mediterránea, desde el punto de vista de la Nematología Agraria se caracteriza por la ausencia de especies altamente patógenas (Lamberti, 1981 y Bello, Escuer y Arias, 1994), como *Anguina radiculicola*, *Aphelenchoides besseyi*, *A. rhizemabosi*, *Ditylenchus destructor* y *Meloidogyne chitwoodi*, que son nematodos de los ambientes fríos y templados (Evans, Trudgill y Webster, 1993), *Heterodera glycines* que parasita a leguminosas, y las especies tropicales *Hemicriconemoides cocophillus* y *H. mangiferae* que parasitan frutales, *Hemicycliophora arenaria*, *H. similis* y *Nacobbus aberrans* que afectan a hortalizas, *Radopholus similis* y *R. citrophilus* que parasitan plataneras y cítricos respectivamente y *Rotylenchulus reniformis* que es una especie polífaga (Luc et al. 1990).

En este trabajo analizamos una serie de alternativas que pueden ser válidas en el control de las especies termófilas de *Meloidogyne*. Estas alternativas pueden aplicarse en los cultivos donde se emplea BM en España, como son frutales y hortalizas (1.430 t), fresas (1.260 t), claveles (50 t) y ornamentales (10 t) (MBTOC, 1995). Se comienza por caracterizar el problema a través del análisis de la distribución del género *Meloidogyne* para establecer las áreas de riesgo. Se describen por último diferentes sistemas de cultivos representativos donde no es necesario el BM.

Distribución y áreas de riesgo del género *Meloidogyne* en España

La estructura de la nematofauna en nuestro país se puede definir por dos elementos faunísticos fundamentales, representados por un grupo de especies de ambientes fríos y templados que predominan en las regiones atlánticas y un elemento termófilo en el centro y sur de la Península (Bello *et al.*, 1986). Esta estructura se encuentra también al analizar el género *Meloidogyne*, en las regiones del norte aparece *M. hapla*, mientras que en el centro y sur predominan *M. arenaria*, *M. incognita* y *M. javanica*. Estos planteamientos estructurales sobre la distribución de las especies de *Meloidogyne* son claves en la búsqueda de alternativas de control basadas en el manejo del ambiente (Bello *et al.*, 1994), que han sido utilizadas por la agricultura tradicional al diseñar los sistemas de cultivo.

Sólo 25 provincias tienen, durante 3 o más meses, temperaturas medias mensuales superiores a los 20 °C (MAPA, 1993) (Tabla 2, Fig. 1). De ellas Ciudad Real y Madrid presentan estas temperaturas sólo durante tres meses, con un mes de 20.2 y otro 20.1 °C, por lo que consideramos, tal y como hemos comprobado en campo, que los problemas de *Meloidogyne* en estas provincias o no existen o están muy localizados. Por otro lado la inclusión de Lérida en este grupo, se debe a que las temperaturas se tomaron en esta ciudad, que se encuentra en el Valle del Ebro, pero no son representativas de toda la provincia, donde la zona bajo la influencia de los Pirineos presenta temperaturas bajas. En el resto de las provincias con estas características térmicas pueden encontrarse más de dos generaciones de las especies termófilas de *Meloidogyne*, y pueden producirse problemas fitonematológicos. Según este análisis podemos considerar que el centro y norte de la península son zonas donde los riesgos de que se produzcan estos problemas son **muy bajos o nulos**, puesto que aquellos sólo aparecen en determinados ambientes o en cultivo bajo condiciones controladas.

Entre las **áreas de riesgo**, centro y sur de la península, Baleares y Canarias, debemos diferenciar los **ambientes continentales**, donde las altas temperaturas de verano, que llegan a superar los 40 °C y la sequía pueden ser también un factor limitante para el desarrollo de estos patógenos. Estas áreas están representadas principalmente en Zaragoza, Toledo, Extremadura, Córdoba, Jaén y Sevilla, que presentan un **riesgo bajo**. El resto, lo constituyen las provincias litorales del Mediterráneo y sur de la península con un **riesgo alto**, con la excepción de Gerona, incluyendo además Vizcaya y Baleares. Por último, Canarias presenta un **riesgo muy alto** por llegar a tener hasta siete meses con temperatura superior a 20 °C.

Tabla 2. Provincias con más de dos meses de temperatura media superior a 20 °C (*)

Autonomías y provincias	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov
País Vasco							
1. Vizcaya	—	22.5	24.4	24.6	23.9	20.5	—
Aragón							
2. Zaragoza	—	21.3	24.3	23.8	20.6	22.4	—
Cataluña							
3. Barcelona	—	20.9	23.8	23.8	21.5	—	—
4. Lérida	—	21.2	24.5	24.0	20.9	—	—
5. Tarragona	—	20.3	22.9	23.4	21.2	—	—
Baleares							
6. Mallorca	—	21.9	25.0	25.5	23.1	—	—
Madrid							
7. Madrid	—	20.1	24.0	24.0	—	—	—
Castilla-La Mancha							
8. Ciudad Real	—	—	24.5	24.3	20.2	—	—
9. Toledo	—	21.3	25.5	25.1	21.1	—	—
Valencia							
10. Alicante	—	22.1	25.1	25.6	23.2	—	—
11. Castellón	—	21.2	24.2	24.4	22.3	—	—
12. Valencia	—	21.4	24.3	24.7	22.7	—	—
Murcia							
13. Murcia	—	23.2	26.3	26.7	23.9	—	—
Extremadura							
14. Badajoz	—	22.5	25.8	25.6	22.9	—	—
15. Cáceres	—	21.5	25.5	25.5	22.3	—	—
Andalucía							
16. Almería	—	21.7	25.0	25.8	23.4	—	—
17. Cádiz	—	21.5	24.4	24.9	23.2	—	—
18. Córdoba	—	22.9	26.6	26.6	23.4	—	—
19. Granada	—	20.7	25.0	24.8	21.0	—	—
20. Huelva	—	22.2	25.4	25.7	23.4	—	—
21. Jaén	—	22.9	27.5	27.3	23.6	—	—
22. Málaga	—	21.8	24.6	25.3	22.9	—	—
23. Sevilla	—	23.1	26.6	26.8	23.9	—	—
Canarias							
24. Las Palmas	—	20.7	22.0	23.0	23.2	22.3	20.5
25. Tenerife	20.4	22.0	24.4	25.0	24.2	22.8	20.5

(*) Período 1961-1980, MAPA (1993).

La información existente en nuestro país sobre el género *Meloidogyne* (Jiménez Millán et al., 1965), a pesar de echar de menos un trabajo de revisión, confirma las áreas de riesgo establecidas de modo teórico (Fig. 1). Encontramos que *M. hapla* aparece sólo en el norte, principalmente en Galicia y País Vasco, las citas excepcionales en kiwi en Cabrils (Barcelona) y en Conquista en la Vega Alta del Guadiana, se deben a las especiales características de ecotono de estas áreas, donde los dos elementos faunísticos pueden coincidir. Las referencias de *M. hapla* sobre trigo en Lebrija (Sevilla) y en habas de El Algar (Murcia) deben ser confirmadas. Por otra parte, *M. arenaria* y *M. incognita* sólo excepcionalmente se han citado en cultivos bajo invernadero en San Sebastián, y *M. incognita* en trigo en Zaidín (Huesca), esta última cita debe ser confirmada.

Las referencias a nivel de género (*Meloidogyne* spp.) nos confirman de nuevo nuestro planteamiento teórico, considerando que deben ser revisadas las citas de La Rioja y Navarra, por haberse realizado en su mayor parte con juveniles, el resto de las citas corresponden a localidades que pertenecen a zonas de riesgo alto y muy alto, con excepción de la cita sobre garbanzo en La Gineta en Albacete, una provincia que se incluye en las áreas de riesgo bajo, pero la localidad está en un área de gran humedad, donde se pueden desarrollar las poblaciones de estos nematodos, y por último una cita en viñedo de la provincia de Pontevedra, que podría corresponder a *M. hapla* o alguna de las otras especies de ambientes templados.

Control de *Meloidogyne* sin BM

Las especies *Meloidogyne arenaria*, *M. incognita* y *M. javanica*, que son las más importantes desde el punto de vista fitonematológico en nuestro país, prolongando su ciclo a más de dos meses, cuando se someten a temperaturas inferiores a 20 °C, y pueden estar controlados por los bajos niveles de humedad. Por ello, la correcta gestión agronómica de estos dos factores, puede conducirnos a la selección de técnicas de cultivo eficaces para la reducción de sus poblaciones, mediante un **control ambiental y agronómico**.

Por otro lado, la agricultura convencional ha centrado la gestión de los cultivos fundamentalmente en su producción, olvidándose de sus **valores funcionales**, como ocurre en agricultura tradicional, por ello conviene recordar que en el pasado los agricultores solían cultivar una serie de leguminosas sólo por su valor para ser enterradas como abono verde, teniendo en cuenta sólo su aspecto funcional. Estos planteamientos pueden utilizarse también en el control de los patógenos del suelo, y han sido la base para el diseño de los sistemas tradicionales de rotación de cultivos y los barbechos.

En este trabajo se describen una serie de ejemplos de producción integrada como son los cultivos de hortalizas en El Perelló, en el Parque Natural de la Albufera de Valencia, y tomates en Canarias, donde no se aplica BM y pueden servir de modelo en la búsqueda de alternativas a este fumigante del suelo.

Control ambiental. El mejor ejemplo de control ambiental del género *Meloidogyne* lo tenemos en Castilla-La Mancha, donde no se pueden desarrollar más

de dos generaciones al año, con la excepción de las provincias de Ciudad Real y Toledo (Tabla 2), pero si se tiene en cuenta que estos nematodos necesitan niveles altos de humedad, los problemas de *Meloidogyne* aparecen en áreas muy concretas como son Las Tablas de Daimiel, Las Pedroñeras, La Roda y Alcalá del Júcar (Fig. 2), en el resto de Castilla-La Mancha estos nematodos pueden estar presentes pero sólo desarrollan como máximo una o dos generaciones al año, debido no sólo a las bajas temperaturas del invierno, sino también por las temperaturas altas de la época de verano y la sequía, produciéndose problemas cuando se alteran los sistemas tradicionales de cultivo, como es la puesta en regadío o el arranque del viñedo para implantar cultivos hortícolas (Bello *et al.*, 1996).

Este modelo basado en el manejo de las bajas temperaturas en invierno y las altas del verano, es exclusivo de los ambientes mediterráneos continentales, cuyo ejemplo más representativo es Castilla-La Mancha, aunque puede explicar también la ausencia de problemas graves de *Meloidogyne* en frutales y cultivos hortícolas al aire libre en el Valle del Ebro, Extremadura y las provincias interiores de Andalucía.



Figura 1. Consumo de BM y áreas de riesgo para las especies termófilas del género *Meloidogyne* en España

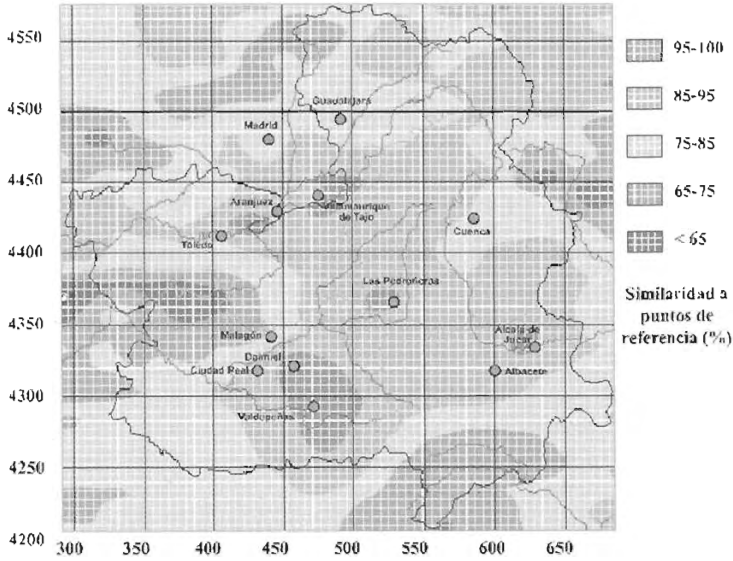


Figura 2. Mapa de riesgo para *Meloidogyne incognita* en función de la temperatura en Castilla-La Mancha (Bello et al., 1996)

Se ha realizado un estudio del Valle del Ebro, eligiendo la higuera como bioindicador por ser altamente sensible a *Meloidogyne* y nos puede reflejar la historia de un lugar por un periodo más o menos largo de tiempo. Se ha muestreado desde Huesca hasta Calatayud y desde Tortosa hasta La Rioja y Navarra, encontrando sólo un foco de *Meloidogyne* en Arnedo (La Rioja) y otro en Alcarrás (Lérida). En el primer caso el número de nódulos era muy bajo (índice 1, según Bridge y Page, 1986), que indica que sólo se ha desarrollado un ciclo al año y en el segundo la higuera estaba próxima a una acequia, por tanto en un suelo con elevada humedad.

Estos planteamientos de control ambiental serían mucho más difícil de aplicar en las áreas litorales del Mediterráneo y el sur de la península, que presentan alto riesgo de nematodos formadores de nódulos, así como en Baleares y Canarias.

Valor funcional de los cultivos para el control de *Meloidogyne*. Desde el punto de vista del control del género *Meloidogyne* vamos a elegir como ejemplo los aspectos funcionales de los cultivos de alcachofa y cítricos, que han sido descrito por nosotros como alternativas al uso del BM, aunque **es necesario el estudio de otros cultivos representativos de ambientes mediterráneos**, por su interés en el diseño de sistemas de producción donde no se desarrollen las poblaciones de estos nematodos. Entre estos otros cultivos destacar la posible función supresora de los cereales de verano como el maíz, leguminosas, tubérculos como la papa, hortalizas, especialmente crucíferas, lechugas, espárragos, espinacas, acelgas, etc., que tanto por su acción supresora activa o por la corta duración de sus ciclos de cultivo podrían utilizarse en sistemas de producción integrada donde no haga falta el empleo de BM.

El cultivo de la alcachofa, junto con los cardos, se caracterizan por ser un cultivo hortícola de alto valor añadido, que puede cumplir la misma función que los cereales de invierno en el control de los nematodos termófilos del género *Meloidogyne*, como dicen los agricultores "limpiando el suelo". El cultivo puede mantenerse sobre el mismo terreno durante varios años, paralizándose a los 25 °C, que se alcanzan durante la primavera y verano, época óptima para el desarrollo de los nematodos termófilos. Se puede con ello reducir las poblaciones de estos nematodos termófilos sin el empleo de ningún biocida (Bello et al., 1996). Según el MAPA (1993), los cultivos de alcachofa y cardo suponen 24.606 ha, principalmente en la Comunidad Valenciana (8.970 ha), Murcia (6.762 ha), Cataluña (2.268 ha), Navarra (1.444 ha) y La Rioja (1.209 ha), áreas donde este sistema de control puede aplicarse.

Los cítricos, desde el punto de vista funcional, tienen un alto valor como alternativa al uso del BM, puesto que en España sólo se han encontrado parasitados por *Tylenchulus semipenetrans*, nematodo específico de cítricos que no es patógeno de los cultivos hortícolas y frutales (Bello et al., 1985). Por ello, puede considerarse que los suelos donde se han cultivado cítricos han estado sometidos a rotaciones de más de 40 años. En este sentido conviene recordar que en España se dedican 270.264 ha a cítricos, correspondiendo a la Comunidad Valenciana la mayor extensión (182.913 ha), seguido por Andalucía (43.147 ha), especialmente Málaga (11.963 ha), Sevilla (11.180 ha), Huelva (8.385 ha) y Almería (5.604 ha), y por último Murcia (33.667 ha).

Ejemplos de sistemas de producción integrada

Cultivos hortícolas de los alrededores de La Albufera de Valencia. Estos cultivos se han considerado como uno de los sistemas agrarios de mayor impacto ambiental, debido al supuesto uso masivo de agroquímicos, entre los que se encuentra el BM. Entre los organismos patógenos, los nematodos parásitos de plantas han sido poco estudiados. El problema de nematodos en esta zona tiene una gran repercusión económica, por limitar el cultivo de ciertas plantas haciendo necesaria la aplicación de nematicidas. Se ha determinado que las poblaciones de nematodos aumentan a partir de abril-mayo, hasta que comienza a bajar la temperatura en octubre-noviembre (Fig.3), salvo en los meses del verano pueden superarse los 28 °C, temperatura sobre la cual se puede producir rotura de resistencia en los cultivares resistentes con el gen Mi. En esta zona, los nematodos afectan a un gran número de cultivos, y en algunos casos, dan lugar a la pérdida total de la cosecha, la presencia de estos patógenos polífagos, hace necesario adoptar medidas que permitan que los cultivos sean rentables.

Las alternativas a los problemas agroambientales planteados por los cultivos en los alrededores de La Albufera deben pasar por seleccionar aquellas técnicas que permitan regular el desarrollo de los organismos patógenos y una disminución del empleo de plaguicidas. Nuestra hipótesis de trabajo fue el estudio de las bases científicas de los sistemas tradicionales de cultivo implantados en la zona.

El primer paso fue la confirmación de los problemas de nematodos, conocidos por los agricultores como "pataqueta", que justifican la utilización de nematicidas y otros biocidas del suelo como el BM. Se entró en contacto con los técnicos de los Servicios de Sanidad y Certificación Vegetal, pertenecientes a la Comunidad de Valencia en Silla y las

cooperativas de El Perelló y Mareny de Barraquetes, realizando dos prospecciones el 20 de julio y 20 de septiembre de 1994, determinando que el problema se centra en *M. incognita*, que había sido citado anteriormente sobre habas en la Gola de El Perellonet (Jiménez Millán et al., 1965).

El interés de las técnicas de cultivo tradicionales utilizadas por los agricultores nos llevó, con el respaldo de la Federación de Cooperativas Agrarias de la Comunidad Valencia, a presentar el proyecto AMB95-0428-C02-01: "Modelos no contaminantes alternativos al tratamiento de suelos con bromuro de metilo", que se concedió el 30 de mayo de 1995. En este proyecto proponíamos la zona de La Albufera como una de las áreas de trabajo, iniciando los muestreos para caracterizar el problema fitonematológico y elegir los campos de experimentación (Tablas 3 y 4).

Se estudió la influencia de las rotaciones de cultivos, calendarios de plantaciones o trasplante, variedades resistentes, así como métodos de control químico y biológico, teniendo en cuenta dosis y fechas de aplicación. Se seleccionaron plantas indicadoras para determinar la presencia de nematodos y plantas trampa que actúen como atrayentes. Se siguieron varios experimentos con agricultores en parcelas en cultivo en las que se aplicaron diferentes productos biocidas y se emplearon diferentes variedades resistentes para comprobar su eficacia en el control de *M. incognita*.

Tabla 3. Muestreos y muestras recogidas en El Perelló y Mareny de Barraquetes

Fecha	El Perelló	Mareny	Total
1994			
20 julio	1	—	1
20 septiembre	1	—	1
1995			
28 junio	7	6	13
7 julio	3	5	8
7 agosto	29	—	29
9 septiembre	—	1	1
15 septiembre	30	3	33
20 octubre	18	—	18
9 noviembre	31	1	32
1 diciembre	21	—	21
1996			
22 enero	24	—	24
23 febrero	85	—	85
12 marzo	20	—	20
12 abril	154	—	154
14 mayo	78	1	79
18 junio	60	—	60
4 julio	25	5	30
25 julio	31	1	32
31 julio	44	31	75
20 agosto	46	42	88
6 septiembre	18	28	46
Total	726	124	850

Tabla 4. Total de muestras recogidas por cultivos y localidades

	El Perelló	Mareny	Total
Apio	14	—	14
Berenjena	—	1	1
Flor blanca y amarilla	2	—	2
Calabacín	1	—	1
Cardo	1	—	1
Cebolla	1	1	2
Crisantemo	2	—	2
Espinaca	1	—	1
Higuera	2	1	3
Naranja	9	1	10
Papa	5	1	6
Pepino	39	3	42
Pimiento	3	4	7
Sandía	2	1	3
Tomate	10	2	12
Plantas acompañantes	—	2	2
Estiércol	5	—	5
Vegetación natural	—	4	4
Muestras experimentos	629	103	732
Total	726	124	850

Todos los cultivos muestreados resultaron parasitados por *M. incognita*, con la excepción del naranja. Una vez conocida la especie predominante, se pasó a la elección de parcelas experimentales para estudiar el problema nematológico y encontrar alternativas al BM. Se eligió una parcela cerca de La Albufera que estaba formada por 7 túneles de 320 m² cada uno (T1-7) y un túnel doble (MA1 y MA2), con suelo arenoso de un espesor de 30 cm procedente de La Albufera, que habían sido tratados con Mocap a la dosis de 6 kg/835 m² en el mes de abril de 1995 (Fig. 3). Se eligió el túnel T3 que había estado plantado de pepino, con el fin de determinar la influencia de la temperatura sobre las poblaciones de nematodos se instaló el 7 de julio de 1995 un termopar con cinco sensores, uno en la parte aérea a un metro del suelo, otro a nivel de la superficie y los tres restantes a una profundidad de 5, 10 y 20 cm.

Se inició el muestreo para el estudio de la dinámica de *M. incognita* el 7 de agosto, habiéndose muestreado en 6 puntos del túnel a tres profundidades (0-15 cm, 15-30 cm y > 30 cm), a derecha e izquierda, al norte, centro y sur del túnel. Los muestreos se realizaron el 15-IX, 20-X, 9-XI, 1-XII de 1995, 22-I, 23-II, 12-IV, 14-V, 18-VI y 31-VII de 1996.

El **7 de agosto de 1995** se tomó una muestra a cuatro profundidades: 0-10, 10-20, 20-30 y >30 cm. Los resultados de los análisis se recogen en la Tabla 5. No se considera la muestra que fue tomada a más de 30 cm, por tener sólo 8

J2 / 100 cc y un predominio de nematodos acuáticos, que indica que era una zona encharcada bajo la influencia de La Albufera. **La media de la población inicial fue 325 J2/100 cc.**

En la Tabla 5 se recoge la evolución de las poblaciones de *M. incognita* en el túnel T3, que se representa en la Fig. 3, observándose que la población media inicial (325 J2/ 100 cc), después de la aplicación de estiércol de oveja procedente de Castilla-La Mancha (4 t/835 m²) con una relación C/N= 19.3, baja rápidamente (21.9 J2 / 100 cc), y sobre todo después del riego por inundación (0.5 J2 / 100 cc), para mantenerse durante todo el invierno, con un pequeño incremento en el muestreo de diciembre (3 J2/ 100 cc). El incremento de las poblaciones que se esperaba al aumentar la temperatura a partir de abril no se produce (0.2 J2/ 100 cc). Esto se debe a que las poblaciones iniciales fueron controladas en los meses de septiembre y octubre por la acción biocida tras la aplicación de estiércol (biofumigación), manteniéndose las poblaciones bajas por el efecto trampa de los cultivos sucesivos, desde octubre hasta el mes de abril (seis meses), de crisantemo, flor amarilla y flor blanca, que son cultivos de una duración aproximada de dos meses, que no permiten incrementar sus poblaciones, por mantenerse la temperatura por debajo de 20 °C y ser necesario más de dos meses para completar el ciclo del nematodo. En el mes de abril, después del cultivo de la flor blanca, se incorporó de nuevo estiércol, alrededor de 50 t/ha.

Paralelamente en ambientes controlados a 25 °C se cultivó tomate sensible cv Saint Pierre en una muestra media del suelo recogido en cada profundidad y muestreo (Tabla 5), que se arrancaron aproximadamente a los 30 días y donde no se llegó a superar una media de 14 nódulos/100 g, salvo en el muestreo de febrero con 28 nódulos/ 100 g en la muestra media tomada entre 15-30 cm. Cuando se cultivaron 50 g de una muestra media de suelo del muestreo del 15 de septiembre durante dos meses se llegaron a alcanzar un índice (3) de patogenicidad (Bridge y Page, 1986).

Al final del cultivo, primera semana de agosto, se muestrearon al azar cinco filas de plantas de tomate cv Nikita, después de eliminar las dos filas laterales, recogiendo cuatro plantas por fila distribuidas al comienzo, centro y final del túnel, resultando las 20 plantas con índice (0), se preguntó al agricultor si existía en el túnel algún problema de "pataqueta", su contestación fue negativa, que nos permitió confirmar nuestros resultados del valor del cv Nikita como resistente a nematodos.

En el resto de los túneles se siguió mensualmente los problemas de nematodos, así como las rotaciones y tratamientos, que figuran en la Tabla 6. Se presentó únicamente problema en apio a finales de noviembre en el túnel T1 en el borde suroeste con un índice de patogenicidad (3), que no se consideró necesario tratar. Al final del cultivo se muestrearon 20 plantas en cinco filas distribuidas al azar cuatro por fila, eliminando previamente las filas laterales, encontrándose un índice (0) en todos los túneles de tomate cv Nikita (T1, T2, T3, T4 y T6), siendo el índice (1) en los túneles que se cultivo pepino (T7, MA1, MA2, T8), con la excepción del T5 cuyo índice era (2),

Tabla 5. Evolución de la población de *M. incognita* en el túnel 3, El Perelló (Valencia)

Profundidad (cm)	(J2 / 100 cc de suelo).						Nódulos ⁽¹⁾			
7 agosto (población inicial)										
0-10						294				—
10-20						408				—
20-30						272				—
						Media 325				—
	Puntos de muestreo									
	1	2	3	4	5	6	Total	Media	STD	
15 septiembre (después de aplicar estiércol y rotovatar)										
0-10	0	0	8	42	6	0	56	9.3	16.4	11
10-20	2	4	38	20	16	0	80	13.3	14.5	14
20-30	0	0	82	38	32	1	153	25.5	32.5	7
> 30	1	1	108	78	10	1	199	33.2	50.0	9
						Media		21.9		10
20 octubre (después de riego y plantar crisantemo)										
0-15	0	0	0	0	2	0	2	0.3	0.8	0.2
15-30	0	0	0	3	0	0	3	0.5	1.2	0.8
> 30	0	0	0	1	3	0	4	0.6	1.2	1.6
						Media		0.5		0.8
9 noviembre (después de arrancar crisantemo)										
0-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15-30	0	0	0	4	0	2	6	1	1.7	0.7
> 30	1	0	0	1	0	0	2	0.3	0.5	0.4
						Media		0.4		0.4
1 diciembre (después de plantar flor amarilla)										
0-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15-30	2	40	0	0	0	0	42	7	16.2	8
> 30	0	12	0	0	0	0	12	2	4.9	2
						Media		3		3
22 enero (cultivo flor amarilla)										
0-15	0	0	0	0	1	0	1	0.2	0.4	0.5
15-30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
> 30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
						Media		0.1		0.5
23 febrero (cultivo flor blanca)										
0-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
15-30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
> 30	0	12	0	0	0	0	12	2	4.9	28
						Media		0.7		12
12 abril (cultivo flor blanca)										
0-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15-30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3
> 30	0	0	0	0	4	0	4	0.7	1.6	0.3
						Media		0.2		0.2
14 mayo (cultivo tomate resistente cv Nikita)										
0-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15-30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
> 30	0	2	0	0	0	0	2	0.3	0.8	0.8
						Media		0.1		0.3
18 junio (cultivo tomate resistente cv Nikita)										
0-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15-30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
> 30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
						Media		0		0
31 julio (después de terminar el cultivo de tomate)										
0-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
15-30	2	0	0	0	0	0	2	0.3	0.8	0.3
> 30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
						Media		0.1		0.1

(1): Media de nódulos en tomate sensible cv Saint Pierre por 100 g de suelo de una muestra compuesta de las muestras tomadas en los 6 puntos de muestreo en cada profundidad (cinco repeticiones).

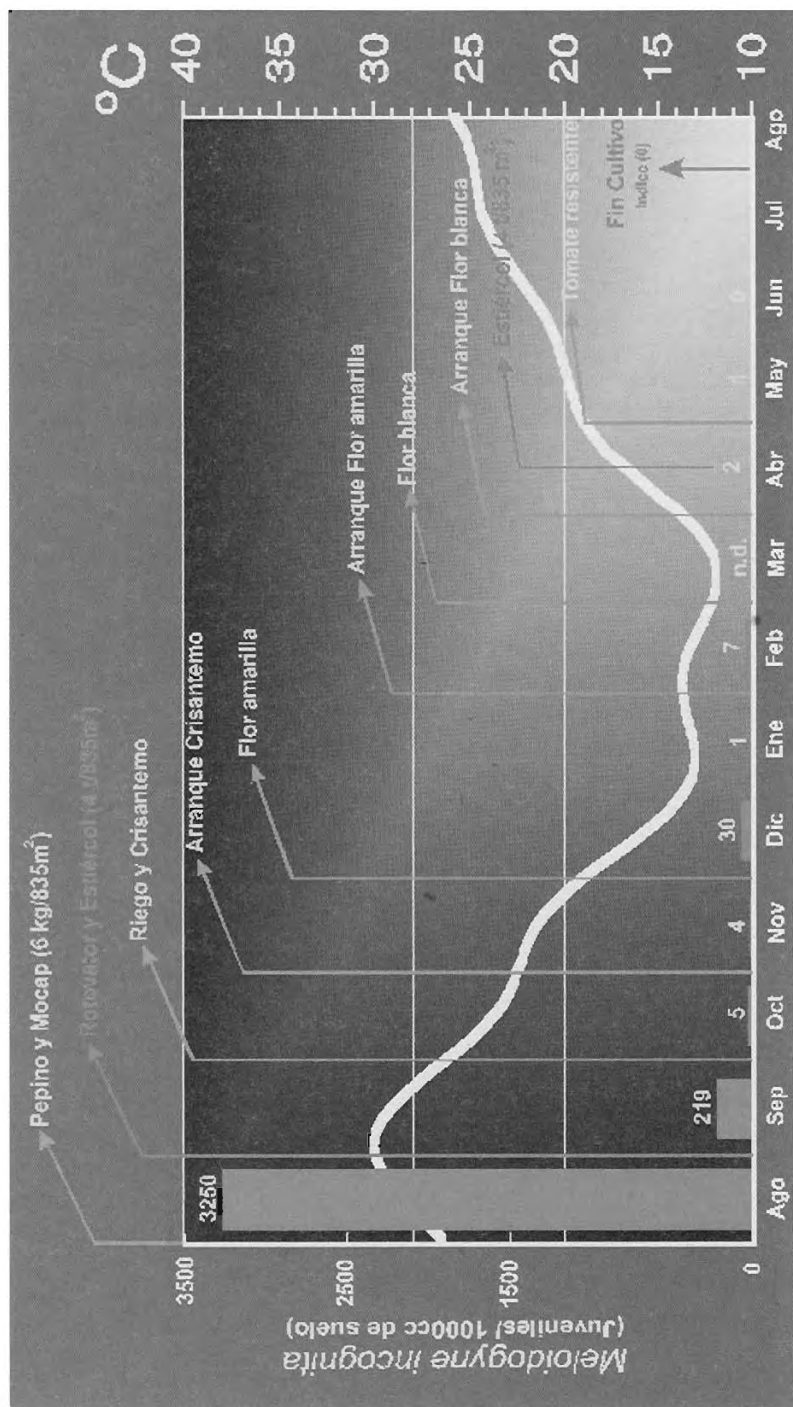


Figura 3. Dinámica de las poblaciones de *M. incognita* en el túnel 3 (Tabla 6) en El Perelló, según técnicas de cultivo y temperatura del suelo.

donde se repitió el cultivo del año anterior. Los problemas de *M. incognita* que se presentaron en pepino estaban localizados en focos en el borde del túnel, no superando el índice (3), dependiendo de la orientación del túnel.

Tabla 6. Rotaciones y tratamientos en cultivos hortícolas en El Perelló, Valencia

Túnel	Rotaciones ⁽¹⁾		Tratamiento	Índice de Patogenicidad (5)
	1994-95	1995-96		
T1	Pe	Ap-FIAm-AcIn-ToNi	Sanimul (1 mayo) ⁽³⁾	0
T2	Pe	FIBI-ReRe-AcIn-ToNi	Sanimul (1 mayo)	0
T3	Pe	Cr-FIAm-FIBI-ToNi	Estiércol (15 abril) (4)	0
T4	Pe	FIAm-Cr-FIAm-ToNi	Sanimul (15 marzo)	1
T5	Pe ⁽²⁾	FIAm-AcIn-AcVe-Pe	Sanimul (15 marzo)	2
T6	To ⁽²⁾	AcIn-FIBI-ToNi	Sanimul (15 abril)	0
T7	To	Es-AcIn-Pe	Estiércol (15 marzo)	1
MA1	To	ReRe-FIAm-Cr-Pe	Sanimul (15 abril)	1
MA2	To	FIBIBr-AcIn-Pe	Sanimul (15 abril)	1
T8	To	AcVe-FIBIBr-Pe	Resto cultivo champiñón (1 mayo)	1

(1) Cultivos: AcIn: acelga inglesa (*Brassica chinensis*), AcVe: acelga verde (*B.chinensis*), Ap: apio (*Apium graveolens*), Cr: crisantemo, Es: espinaca, FIAm: flor amarilla (*B.parachinensis*), FIBI: flor blanca (*B.parachinensis*), FIBIBr: flor blanca de brote, Pe: pepino, ReRe: repollo redondo (*B.juncea*), ToNi: tomate Nikita. (2): Se repitió cultivo; (3): 6 kg / 835 m²; (4) 4 t / 835 m²; (5) Bridge y Pages (1980).

Cultivos de tomates en Canarias. Las islas Canarias representan la principal zona para la producción de tomates de invierno en la Unión Europea con unas 4.500 ha cultivadas y una producción de 350.000 t (MAPA, 1993), siendo además una de las regiones de España con los rendimientos más altos en cultivos bajo cubierta (90 t ha⁻¹).

Por otro lado, Canarias presenta una temperatura media superior a los 20 °C durante más de 7 meses al año (Tabla 2), lo que permite que se puedan desarrollar hasta 7 generaciones de las especies termófilas del género *Meloidogyne*. Esto hace que podamos considerar a las Islas Canarias como una de las áreas de mayor riesgo para estos nematodos en el mundo.

Por el contrario, el análisis del consumo de BM en nuestro país sitúa a Canarias en los puestos de consumo más bajos (81 t). El BM se destina fundamentalmente para flor cortada, cultivos hortícolas y fresas. El hecho de que no se utilice BM en los cultivos de tomates en un área de alto riesgo como Canarias, hace que el estudio de estos sistemas de cultivo sean de sumo interés en la búsqueda de alternativas al BM en otras áreas del mundo, donde se viene utilizando en grandes cantidades para el cultivo de tomates. Hay que tener en cuenta que en los ambientes mediterráneos el cultivo de tomate con 5.257 t, ocupa el primer lugar de consumo, siendo Italia (2.800 t), y concretamente Sicilia (2.000 t), el principal consumidor. Otros países que utilizan gran cantidad de BM en el cultivo del tomate son Turquía (800 t), Grecia (600 t), Francia (450 t) y Marruecos (400 t). En este último país, se considera que el consumo de BM se ha multiplicado por tres en los últimos años.

Durante el estudio de las técnicas agronómicas utilizadas por los agricultores canarios en el cultivo del tomate, encontramos que uno de los factores principales era la implantación de los cultivos durante el período de otoño-invierno con un prolongado barbecho en primavera-verano, junto con la planificación de la época de plantación en relación con la altitud. Se comienza a plantar en el mes de agosto en las zonas más altas (400 m), pasando después en septiembre a plantar en las zonas de altura media (250 m) y terminando la plantación entre octubre y noviembre en las zonas costeras. Mediante esta planificación de la plantación del tomate, se consigue que durante el cultivo se acorten los períodos de temperatura óptima para el desarrollo de las especies termófilas del género *Meloidogyne*, disminuyendo el número de generaciones y por tanto sus efectos negativos sobre la producción.

En segundo lugar hay que destacar como alternativa al BM la utilización de fumigantes químicos en preplantación como 1,3 diclorometano y metam sodio, seguido en algunos casos por aplicaciones durante el cultivo de pesticidas convencionales, principalmente nematicidas. Otras prácticas son el aprovechamiento de la acción fumigante de las enmiendas orgánicas, que hemos comprobado que es eficaz para el control de nematodos y la denominamos biofumigación.

Por último el uso de variedades que incorporan el gen Mi y que le confieren resistencia a nematodos. Estas variedades sólo son resistentes por debajo de los 28 °C en el suelo, sin embargo hemos observado que, en los cultivos implantados en sustratos de cenizas volcánicas (jables) no se observan roturas de resistencia debido a la baja conductividad térmica de estos sustratos.

Dentro de los agentes de control biológico, destacar el actinomiceto *Pasteuria penetrans*, que parasita a los nematodos formadores de nódulos suprimiendo su reproducción (Bird y Brisbane, 1988). Este hiperparásito lo hemos encontrado en los cultivos de tomates del sur de Tenerife, parasitando a hembras de *M. incognita* y *M. javanica*, lo que puede estar contribuyendo a evitar los problemas causados por nematodos en el cultivo.

Conclusiones

Los nematodos parásitos de plantas, después de los hongos, son considerados los organismos del suelo patógenos de vegetales que causan mayores pérdidas en España. Estas pérdidas se han estimado en un 10 % de la producción agraria, que pueden llegar a ser de 218 mil millones de pesetas anuales.

La retirada del BM como fumigante del suelo sólo afectaría al control de los nematodos formadores de nódulos (*Meloidogyne*), fundamentalmente las especies termófilas (*M. arenaria*, *M. incognita* y *M. javanica*), cuya área de riesgo se ha establecido en el litoral mediterráneo y sur de la península, Baleares y Canarias.

El estudio dentro de las áreas de riesgo de aquellos sistemas agrarios que no utilizan BM, como es el caso de cultivos horticolas de El Perelló, en el Parque Natural de la Albufera de Valencia, y cultivos de tomates en Canarias, nos ha permitido señalar el interés de diseñar sistemas de producción integrada que regulen el desarrollo de las poblaciones de nematodos fitoparásitos sin la necesidad de utilizar BM.

Los sistemas de producción integrada para lograr unos cultivos de alto rendimiento y calidad deben saber armonizar los valores funcionales de los cultivos en el control de los patógenos del suelo, a través de la rotación de cultivos, el uso de variedades resistentes y tolerantes y, en general, las prácticas culturales, destacando especialmente las enmiendas orgánicas (biofumigación), época y modo de plantación, barbecho, uso de sustratos tanto naturales como artificiales, inmersiones cuando haya agua disponible, agentes de control biológico y control químico.

Abstract

The influence of phytoparasitic nematodes on Spanish crops and the consequences of the phasing out of MB are analyzed. The only problem that the MB phase out may cause is considered to be that represented by root knot nematodes (*Meloidogyne*). Risk areas for the thermophile species of those nematodes are located on the Mediterranean coast and in the Balearic and Canary Islands. The functional value of crops such as artichokes and citrus fruits for the control of soil borne pathogens is emphasized, indicating an interest in the study of this control function in other Mediterranean crops. In order to produce high yield and quality crops without the use of MB, the need to harmonize the different control techniques in an integrated production system is indicated. The horticultural crops at El Perelló in the Albufera Natural Park (Valencia) and the tomato crops in the Canary Islands were chosen as integrated production system models where no MB is used in nematode control

Keywords: *Meloidogyne*, environmental control, crop management, tomatoes, vegetables

Agradecimientos

M.Arias, R.Sanz, A.Gala y C.Martínez del Dpto de Agroecología; J.L. Porcuna de los Servicios de Sanidad y Certificación Vegetal, de la Comunidad de Valencia en S:lla; Cooperativa Unión Protectora El Perelló (Valencia), a su gerente J.L. Beltrán, técnico J.R. Herrero y a los agricultores J. Ballester, M. Furió y E. Martínez; a los técnicos J. Quilis de la Cooperativa Consorcio de l'Horta Sur, I. Vidal de la Cooperativa del Mareny de Barraquetes (Valencia) y J.Soler de Rhône-Poulenc Agro S.A. por su colaboración. El trabajo se ha realizado dentro del proyecto AMB 95-0428-C02-01 "Modelos no contaminantes alternativos al tratamiento de suelos con bromuro de metilo".

Bibliografía

- Bello A., M. Escuer, M. Arias. 1994. Nematological problems, production systems and mediterranean environments. *Bulletin OEPP/EPP0* 24, 383-391.
- Bello A., M. Escuer, M.A. Pastrana, 1995. Nematodos fitoparásitos de la alcachofa. *Agrícola Vergel. Horticultura* 165, 535-538.
- Bello A., M. Escuer, M.A. Pastrana. 1996. Nematodos fitoparásitos y su control en ambientes mediterráneos. *Patología Vegetal. Sociedad Española de Fitopatología* 2, 1039-1069.
- Bello A., A. Navas, C. Belart, M.P. Alvira. 1985. *Nematodos de los Cítricos*. Publicaciones del Ayuntamiento de Castellón de la Plana, 222 pp.

- Bello A., J.M. Rey, M. Arias, J.A. González. 1996. Valores agroambientales de los viñedos de La Mancha y protección de cultivos. *Problemática Vitivinícola en Castilla-La Mancha*. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, 60-81.
- Bello A., P.B. Topham, T.J.W. Alpey, A. Dale. 1986. Biogeographical classification of some plant parasitic nematode species groups in Spain. *Nematologia mediterranea* 14, 55-72.
- Bird A.F., P.G. Brisbane. 1988. The influence of *Pasteuria penetrans* in field soils on the reproduction of root-knot nematodes. *Revue Nématol.* 11, 75-81.
- Bridge J., S.L.J. Page. 1980. Estimation of root-knot nematodes infestation levels on roots using a rating chart. *Tropical pest management* 26, 296-298.
- Brown R.H., B.R. Kerry. 1987. *Principles and Practice of Nematode Control in Crops*. Academic Press, London, 447 pp.
- Evans K., D.L. Trudgill, J.M. Webster. 1993. *Plant Parasitic Nematodes in Temperate Agriculture*. CAB International. Inst. Parasitology, U.K., 648 pp.
- Jiménez Millán F., M. Arias, A. Bello, J.M. López Pedregal. 1965. Catálogo de los nematodos fitoparásitos y perirradiculares encontrados en España. *Boletín Real Sociedad Española Historia Natural Sección Biología* 63, 47-104.
- Lamberti F. 1981. Plant nematode problems in Mediterranean region. *Helminthological Abstracts Series B, Plant Nematology* 50, 145-166.
- Luc M., R.A. Sikora, J. Brigde. 1990. *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture*. CAB International. Inst. Parasitology, U.K., 629 pp.
- MAPA. 1993. *Anuario de Estadística Agraria*. Secretaría General Técnica, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, 707 pp.
- MBTOC. 1995. *UNEP 1994 Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee*. Montreal Protocol on Substances that Deplet the Ozone Layer, UNEP, Kenya, 304 pp.
- Sasser J.N., D.W. Freckman. 1987. A world perspective on nematology: The role of the society. In: J.A. Veech, D.W. Dickson (Eds). *Vistas on Nematology: A commemoration of the Twenty-fifth Anniversary of the Society of Nematologist*. Society of Nematologist, Hyal-tilsville, Maryland, USA, 7-14.
- Siddiqi M.R. 1986. *Tylenchida: Parasites of Plants and Insects*. Farnham Royal, Slough SL2 BN, UK; Commonwealth Agricultural Bureaux, 645 pp.
- Society of Nematologist. 1971. Estimated crop losses from plant-parasitic nematodes in the United States. *Spec. Publ. Soc. Nematologist*, USA 1, 7 pp.

Capítulo 17

ALTERNATIVAS AL BROMURO DE METILO COMO DESINFECTANTE DEL SUELO, CON ESPECIAL REFERENCIA A LA SITUACIÓN EN ITALIA

M. L. GULLINO, G. MINUTO
Dpto Patología vegetal, Univ. Turin. Italia.

Resumen

Se señala entre los desinfectantes químicos del suelo el metam sodio y el dazomet como los más usados en Italia, junto con el 1,3 DD para el control de nematodos. Entre los tratamientos físicos del suelo destaca el vapor de agua especialmente en floricultura y la solarización en áreas de alta temperatura, aunque su aplicación tiene limitaciones para el control de nematodos. Se considera que las medidas de control biológico pueden jugar un papel importante en el futuro y por último se indica el interés de la combinación de pesticidas, prácticas culturales, medidas de control físico y biológico como alternativa al BM.

Se concluye que, desde el punto de vista técnico, debería mantenerse el BM en el arsenal de plaguicidas disponibles, particularmente en la situación italiana, pero por su efecto ambiental su uso debe ser cuidadosamente planificado y regulado, no solo mediante la legislación, sino a través de mejores servicios de extensión y dentro de una estrategia de control integrado, mediante reducción de dosis o en combinación con solarización o agentes de control biológico. Se considera que, en el futuro, la solarización puede ser una alternativa a la desinfección química de suelos.

Palabras clave: Fumigantes, solarización, control integrado, floricultura, horticultura

Introducción

La plantación repetida de un mismo cultivo, práctica muy común para el caso de cultivos de alto valor, produce en el suelo un incremento de factores biológicos negativos para el cultivo en el suelo. La agresividad y la velocidad con que se acumulan los diferentes agentes patógenos en los suelos depende de factores como la susceptibilidad del hospedador al patógeno, la historia del cultivo, características químicas, físicas y biológicas del suelo, las prácticas culturales, el clima, las medidas de control adoptadas y la higiene del terreno.

La desinfección del suelo es un método complejo, caro pero efectivo para el control de organismos patógenos de plantas de origen edáfico así como para malas hierbas y artrópodos causantes de plagas en el suelo (Gullino y Garibaldi, 1992, 1995a). Las desinfecciones se realizan principalmente en cultivos hortícolas protegidos de alto valor y en algunos casos también al aire libre mediante vapor, fumigantes químicos o calor solar (Katan, 1984). Además, suelen aplicarse fungicidas para com-

batir algunos hongos patógenos específicos. Entre los fumigantes químicos, el BM ha sido y es utilizado ampliamente debido a su alta eficacia. Actualmente, Italia es el segundo país en el mundo después de EEUU y el primero en Europa en consumo de BM (Gullino y Garibaldi, 1995b). A continuación se hace una revisión crítica de las alternativas al BM, con especial referencia a la situación en Italia.

Desinfección química del suelo

La desinfección química del suelo se lleva a cabo bien utilizando sustancias volátiles que se difunden en el suelo o mediante la utilización de productos que se aplican al suelo por el sistema de riego o empapado de éste (ej. metam sodio). Además, la aplicación al suelo de algunos fungicidas permite combatir patógenos del suelo específicos.

El metam sodio y el dazomet son los más usados en Italia contra patógenos de origen edáfico. Ambos fumigantes contienen metil isotiocianato (MIT) como materia activa. La cloropicrina, ampliamente utilizada en muchos países (van Berkum y Hoestra, 1979), está prohibida en Italia, donde aún se la considera como un gas de guerra.

Aparte de utilizarse en cultivos protegidos, estos fumigantes se están aplicando cada vez más en cultivos al aire libre, por ejemplo contra *Sclerotinia* spp en lechuga, *Sclerotium cepivorum* en cebolla, contra nematodos, *Verticillium dahliae*, *Rhizoctonia solani* y *Pythium* spp en patata y remolacha azucarera.

Los compuestos que liberan MIT son efectivos frente a muchos patógenos y plagas, aunque en la práctica los resultados que se obtienen son decepcionantes o incompletos. Ello se debe, casi siempre, a la distribución irregular del fumigante en el suelo. Es más, las dosis admitidas, sólo permiten un control parcial de algunas enfermedades. Se han realizado varios intentos para mejorar la eficacia de la aplicación y distribución de los compuestos que generan MIT mediante varios tipos de formulaciones. Un formulado con xilol se ha utilizado para inyectar en el suelo y una formulación de metam sodio se diluye en agua y se usa con riego a manta. Los formulados granulares, se incorporan al suelo generalmente mediante rotovator. Las mezclas con otros productos químicos (como el 1,3 dicloropropeno), ahora prohibidas en Italia, también se han desarrollado para aumentar su espectro de actividad.

Los resultados más efectivos con compuestos que generan MIT se obtienen cuando se labra el suelo hasta una profundidad un poco superior a la que se requiere tratar. El suelo debe estar húmedo (aprox. al 70% de la capacidad de campo) o seco si éste se va a mojar, y la temperatura no debe ser inferior a 7 °C a 15 cm de profundidad. Si la temperatura es baja o desciende poco después de la aplicación, aumenta la dificultad para liberar en el suelo de residuos tóxicos. Generalmente cuanto menor es la temperatura del suelo, mayor es el tiempo necesario entre el tratamiento y la plantación. En suelos ligeros, arenosos, los tratamientos son más efectivos; en suelos con alto contenido en materia orgánica (> 5%) los tratamientos son por lo general menos efectivos. Cuando el tratamiento se realiza mojando toda la superficie, éste es más efectivo cuanto mayor es el volumen de agua en el cual se ha diluido el fumigante, dado que se incrementa la posibilidad de penetración.

Después de las aplicaciones mediante inyección, riego o laboreo, la superficie del terreno se sella bien mediante un rulo, riego superficial o cubriéndolo con plástico durante 7 a 10 días. Deben transcurrir generalmente unas 2 semanas antes de que el invernadero sea bien ventilado y el suelo rotovariado. Si la temperatura del suelo baja es necesario esperar más tiempo. En el caso del metam sodio el control de los patógenos en las capas superficiales del suelo -especialmente contra *Pythium* spp y *Rhizoctonia solani*- puede mejorarse mediante la aplicación en dos veces y arando el suelo entre ambas aplicaciones (lo que se denomina aplicación partida).

Los fumigantes que liberan MIT son probablemente más efectivos para el control de "damping-off" (muerte de plántulas y marras de nascencia), podredumbres de cuello y patógenos radiculares, nematodos, plagas de insectos del suelo y semillas de malas hierbas. Por el contrario son menos efectivos contra los patógenos vasculares o contra otros patógenos cuando el inóculo es muy alto (Fletcher, 1984).

La principal ventaja sobre el BM es su relativo bajo costo, pero este aspecto con frecuencia se sobreestima debido a la desventaja que representa el período de tiempo necesario entre la aplicación y la plantación, así como los fallos que se producen esporádicamente debido a la irregular distribución y penetración en el suelo.

Los fumigantes con una actividad más restringida, como el 1,3 dicloropropeño, se aplican frecuentemente en cultivos al aire libre, especialmente para el control de nematodos en patata y remolacha azucarera, así como para resolver los problemas de replantación causados por nematodos (*Xiphinema* y *Trichodorus*) en viña y manzano (Garibaldi y Gullino, 1983).

Los suelos dedicados a cultivos de bulbos, viveros y rosas se desinfectan a veces con nematicidas frente a *Pratylenchus*, *Meloidogyne* y *Trichodorus*, incluso cuando estos nematodos no presentan un problema serio. Los tratamientos se justifican debido a la mejora del crecimiento observado y a la posibilidad de controlar malas hierbas perennes como *Agropyron*.

Fungicidas. Cuando hay presencia de patógenos fúngicos muy específicos, pueden utilizarse fungicidas para el tratamiento de suelos. De hecho, los benzimidazoles permiten un control satisfactorio de las marchiteces causadas por *Verticillium* en muchos cultivos; también dan un control parcial de fusariosis. Las fenilamidas, propamocarb y el fosetil aluminio pueden utilizarse satisfactoriamente para el control de enfermedades causadas por fomicetos. Los fungicidas del tipo metil tolchlofos e iprodiona se usan ampliamente contra *Rhizoctonia solani* en muchos cultivos. Sin embargo, en muchos casos, el tratamiento exclusivo con fungicidas no es suficiente. En la actualidad, los fungicidas se aplican al suelo para mejorar el control de problemas específicos, después de la desinfección del suelo.

La elección del producto a utilizar para desinfectar el suelo está con frecuencia determinado por los requerimientos del agricultor. Si él quiere hacer la plantación con un intervalo de tiempo mínimo entre cultivos, debe elegir una sustancia de acción rápida y que se libere fácilmente en el suelo después del tratamiento, en este caso su elección se limita al BM. Si el agricultor puede permitirse mantener un intervalo mayor entre el tratamiento y la plantación, entonces puede utilizar otros fumigantes como los que son productores de MIT como sustancia activa. Debido a su alta efica-

cia y versatilidad, y a pesar de su alto coste y efectos colaterales negativos, el BM es muy competitivo frente a otros fumigantes.

Desinfección física del suelo

El procedimiento tradicional consiste en calentar el suelo con vapor de agua a una temperatura entre 80-100 °C. La efectividad de los tratamientos con calor radica en el hecho de que la mayoría de los patógenos de origen edáfico, así como las semillas de malas hierbas mueran por calor a temperaturas relativamente bajas. Este fenómeno incluye incluso muchos virus que se inactivan a temperaturas inferiores a 80 °C. Los tratamientos son muy efectivos pero de alto coste. De hecho, en Italia, el coste de la desinfección utilizando vapor oscila entre las 1.700 y 2.500 liras m⁻²

El tratamiento con vapor bajo cubierta es el más usado en Italia, especialmente en floricultura. Por el contrario la técnica de tratamiento con vapor utilizando tuberías de drenaje apenas se utiliza en nuestro país. Aunque muy efectivo, especialmente cuando se realiza en bancadas, la desinfección por vapor es con frecuencia muy drástica, produciendo vacío biológico y fitotoxicidad por manganeso.

La utilización de vapor aireado, (una mezcla de vapor y aire por 30 min a 60-70 °C), produce una mortalidad selectiva de los microorganismos del suelo sin causar un efecto grande en la microflora antagonista (Baker, 1970). Otras ventajas de este método son una mayor comodidad en el manejo de los equipos por alcanzar menor temperatura y tener un enfriamiento más rápido. Por todas estas razones, la pasteurización del suelo mediante una mezcla de vapor aire es bastante interesante. Sin embargo, existen varios inconvenientes, como son un mayor gasto de electricidad y de costes laborales. Por esas razones, este método de desinfección del suelo no tiene un interés práctico para nuestro país, ni siquiera en el caso de cultivos ornamentales (Garibaldi y Gullino, 1991; Gullino y Garibaldi, 1995a,b).

La desinfección física del suelo puede llevarse a cabo también mediante otros medios, ejem. tratamiento del suelo con microondas (Ferris, 1984). Sin embargo, en el momento actual, el uso de microondas no se considera una técnica aplicable desde el punto de vista práctico.

Solarización

La solarización se basa en el calentamiento del suelo por la irradiación solar, al cubrir éste con una lámina de plástico transparente durante la estación cálida. El incremento de la temperatura mata las plagas, incluyendo muchos patógenos del cultivo (Katan y de Vay, 1991). Mediante la solarización se consigue una elección moderada de la temperatura del suelo que va desde los 35-50 °C en los primeros 30 cm. Aunque el calor es el principal agente letal, existen evidencias de que determinados procesos biológicos pueden contribuir al control alcanzado por la solarización, especialmente cuando las temperaturas alcanzadas no son lo suficientemente altas como para justificar el control observado. Se puede producir un control biológico en suelos solarizados mediante la promoción de microorganismos antagonistas y/o

mediante cambios en el equilibrio en favor de microorganismos que previenen la reinfestación del suelo por patógenos (de Vay y Katan, 1991).

Se puede mejorar la solarización, incluso en aquellas zonas marginales del sur de Europa, bajo las siguientes condiciones:

1. Cubrir el suelo en el periodo de temperaturas altas e intensa radiación solar.
2. Mantener la humedad del suelo para aumentar la conductividad térmica de las estructuras y mejorar las condiciones de calentamiento.
3. Usar un plástico transparente lo más fino posible (25 a 30 μm) para reducir costes y aumentar la efectividad.
4. Usar capas de plástico doble.
5. Prolongar el periodo de cubrición (4 semanas o más) para conseguir un control en profundidad. Los periodos prolongados de cubrición favorecen la muerte de patógenos a mayores profundidades.
6. Combinar la solarización con el control biológico u otros medios de control si es posible.

Aunque la solarización se desarrolló en zonas cálidas como Israel, California y Egipto, su uso se extendió rápidamente a regiones más frías como Italia. Debido a las temperaturas más bajas de nuestro país, en comparación con otras zonas tropicales y templadas, el calentamiento solar para la desinfección del suelo se comenzó en el norte de Italia hacia 1978 bajo invernaderos de vidrio (Garibaldi y Gullino, 1991).

Después de solarización en invernaderos de vidrio cerrados, se obtuvo una reducción de raíz corchosa (*Pyrenochaeta lycopersici*) y de la severidad de los marchitamientos causados por *Verticillium dahliae* en tomate. El control ejercido sobre la raíz corchosa continuó siendo significativo a los 7-8 meses después del tratamiento. Bajo condiciones de invernaderos de plástico, el efecto de la solarización sobre la enfermedad de la raíz corchosa fue en algunos casos menos patente, debido probablemente a que las temperaturas del suelo fueron inferiores que las alcanzadas en invernaderos de cristal. La solarización ha sido también efectiva frente a *Sclerotium cepivorum* en puerro, *Rhizoctonia solani* en judía y albahaca, y *Fusarium oxysporum* f.sp. *dianthi* en claveles. Las temperaturas que se alcanzaron al aire libre y en invernaderos de cristal llegaron a 52.2 °C. El cerrar el invernadero mejoró el calentamiento del suelo. La solarización mostró también buena actividad frente a malas hierbas.

En Italia central, donde en suelo cubierto se alcanzan 47 °C, en comparación con los 38 °C que se alcanzan en suelo desnudo a 15 cm de profundidad, la solarización redujo de forma significativa la incidencia de los problemas causados por *Sclerotinia minor* en lechuga. El tratamiento redujo la densidad del inóculo de *S. minor* en el suelo. Los esclerocios fueron colonizados por hongos de los géneros *Penicillium*, *Aspergillus* y *Fusarium* en los suelos solarizados. Bajo las mismas condiciones climáticas, la solarización fue efectiva frente a *R. solani* en rabanitos.

En el sur de Italia (Sicilia), donde las temperaturas del suelo a 15 cm en invernadero de cristal varía entre 36 y 51 °C, la solarización controló *P. lycopersici* en tomate y *V. dahliae* en tomate y berenjena, *Phoma lycopersici* en tomate, *Phytophthora capsici* en pimiento y enfermedades causadas por *Sclerotinia* en zanahoria. Los

tratamientos también redujeron la incidencia de la necrosis basal del tallo del pimiento (agente causal desconocido) y el daño causado por *Meloidogyne incognita* y *M. javanica*. En los suelos solarizados se observó un fuerte incremento de las poblaciones de *Trichoderma*. Debido a que los diferentes plásticos varían con respecto a sus características de transmitancia térmica y en el calentamiento resultante, la elección de los materiales plásticos es un tema crucial en países como Italia.

En el norte de Italia el PVC permitió alcanzar unas temperaturas más altas que el polietileno. También, el uso de láminas dobles de polietileno que se mantienen separados, dió lugar a resultados similares a los obtenidos con plásticos con pequeñas burbujas de aire (Tristar), con un coste inferior.

Desde 1988, la solarización se aplica en los tomates bajo invernaderos de plástico en la región de Liguria (norte de Italia), y en la actualidad se aplica con éxito en más de 10 ha en esta región. También, este método de desinfección del suelos se ha comenzado a aplicar de forma comercial en Sicilia. Los resultados obtenidos por los agricultores de Liguria son muy prometedores: la solarización redujo la incidencia de la raíz corchosa y la verticiliosis en tomates, la fusariosis de la albahaca (*Fusarium oxysporum* f.sp. *basilici*) y malas hierbas en muchos cultivos. Es más, los costes del tratamiento es bajo en comparación con el de otros métodos de control de patógenos de origen edáfico. Su uso se puede extender a muchos otros cultivos.

Aunque la eficacia de la solarización está demostrada, la solarización para el control de nematodos en algunos sistemas de cultivo, debe cuestionarse por el momento, como una estrategia de aplicación limitada (Stapleton y Heald, 1991).

Medidas de control biológico

Es de esperar que en el futuro, cuando se necesite resolver problemas muy específicos, los agentes de biocontrol pueden jugar un importante papel. Por ejemplo, la supresividad de los suelos podría proporcionar una buena oportunidad para el control de los patógenos de origen edáfico. Se han descrito en diferentes áreas suelos supresivos para muchos patógenos (ej. varias formas especializadas de *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani*, *Phytium ultimum*, *Phytophthora* spp, *Thielaviopsis basicola*, ...). En esos suelos, las enfermedades de origen edáfico o no ocurren o su incidencia es menos severa. Antagonistas, aislados de dichos suelos y que son responsables de su supresividad, pueden utilizarse con éxito frente algunos patógenos de origen edáfico. Sin embargo, aunque existen algunas formulaciones de dichos organismos en proceso de ser registrados, hasta ahora no existen casos prácticos de su aplicación. En el futuro, el uso de antagonistas como *Fusarium* spp y/o *Pseudomonas fluorescentes* que son activos contra algunas formas especiales de *Fusarium oxysporum* (*F. dianthi*, *F. lycopersici*, *F. cyclaminis*, *F. melonis*, *F. basilici*, etc), permitirán un mejor control de las fusariosis. Sin embargo, en el caso de los antagonistas, su espectro de actividad es por lo general muy limitado, es más, a menudo su actividad varía de forma significativa en suelos diferentes y de forma más general bajo diferentes condiciones ambientales y de cultivo.

También algunos sustratos, utilizados principalmente en floricultura pueden tener efectos supresivos. Cuando se utiliza corteza de madera compostada o no, se

observa por lo general una mejora en el crecimiento de las plantas, especialmente en plantas en maceta. La supresividad y la mejora del vigor de las plantas en tales sustratos de cortezas, se debe a las características físicas del compost de cortezas y a los altos niveles de antagonistas que se encuentran en ellos. Los composts de cortezas han mostrado una buena actividad antagonista frente a *Phytophthora* spp, *Phytium* spp and *Rhizoctonia solani*. Algunos sustratos disponibles para cultivos de flores son supresivos al desarrollo de fusariosis de varios cultivos.

También el uso de *Trichoderma* spp como recubrimiento de semillas o como tratamientos de suelo proveerá, en el futuro, mejores oportunidades para el control del "damping-off" y pudriciones radiculares en varios cultivos. Sin embargo debe hacerse hincapié en que, cuando estén disponibles, debido a su reducido espectro de actividad la mayoría de los agentes de biocontrol serán capaces sólo de resolver problemas muy específicos, como se ha mencionado ya para el caso de fungicidas. Es más, su aplicación, por lo general, se recomienda después de una desinfección del suelo. En otras palabras, el uso de antagonistas para el control de patógenos de origen edáfico puede considerarse una alternativa real al uso de fungicidas más que al uso de fumigantes. En la actualidad existen ejemplos de buenas combinaciones mediante el uso de agentes de biocontrol y solarización del suelo (Minuto et al., 1995a,b).

Combinación de diferentes métodos de control

La combinación de pesticidas, prácticas culturales, medidas de control físicas y cuando sea posible biológicas, puede mejorar el control de las enfermedades de origen edáfico.

La necesidad de reducir los problemas ambientales, particularmente aquellos relacionados con los residuos de bromo, condujo al desarrollo de mezclas de BM con otros fumigantes. Un paso más allá hacia el uso más seguro desde el punto de vista ambiental de BM lo representa la combinación de dosis reducidas del fumigante con medidas de control físicas o biológicas.

Dosis reducidas de BM o metam sodio combinado con solarización resulta a menudo en un mejor control de la enfermedad. La combinación de bajas dosis de BM (30 g m⁻²) con solarización en invernadero de cristal, controló la raíz corchosa (*Pyrenochaeta lycopersici*) y nematodos de nódulos (*Meloidogyne incognita* y *M. javanica*) en pimiento (Cartia et al., 1989). En Grecia, BM (34 g m⁻²), en combinación con solarización, controló de forma efectiva *Verticillium dahliae* en alcachofa durante al menos 3 años (Tjamos y Paplomatas, 1988). Se han obtenido resultados positivos también mediante la utilización de dosis reducidas de dazomet y solarización (Minuto et al., 1995a,b).

La combinación de solarización con metam sodio (1.5 o 25 ml m⁻²) resultó más efectiva para el control de *V. dahliae* y *F. oxysporum* f. sp. *vasinfectum* en algodón al compararlo con los resultados obtenidos mediante solarización o BM sólo (Ben Yehphet, 1988). Frank et al. (1986) compararon los efectos del metam sodio a 900 l ha⁻¹, solarización y los dos tratamientos juntos, encontrando que en la cosecha de cacahuate, la proporción que no presentaba manchas necróticas aumentó en un 114, 440 y 893 % respectivamente. Esos autores sugirieron que humedeciendo

el suelo con metam sodio en lugar de agua para prepararlo para solarización puede ser útil para el control de otros patógenos de origen edáfico. Ben Yephet (1988) encontró que la dosis fumigante de metam sodio que se requiere para matar el 50 % de las poblaciones de *V. dahliae* o *F. oxysporum* f. sp. *vasinfectum* era 4 veces mayor a 25 °C que a 35 °C. Experimentos de campo confirman los resultados anteriores, cuando la solarización y metam sodio se utilizaron combinados, mejoró su efectividad frente a *V. dahliae* y *F. oxysporum* f. sp. *vasinfectum*.

Los tratamientos con metam sodio a 25 ml m⁻² redujeron la viabilidad de los microesclerocios a un 18% de la del testigo después de 6 semanas. Sin embargo, la combinación de metam sodio y solarización eliminó el 100% de propágulos en una semana (de Vay y Katan, 1991). También, nuevos estudios han demostrado el control excelente cuando se combina con dosis bajas de nematicidas, incluso BM, dibromuro de etileno, 1,3 DD y ectoprosfos (Stapleton y Heald, 1991).

En estudios de campo, una combinación de BM y *T. harzianum* controló *Rhizoctonia solani* y *S. rolfisii* en tomate, cacahuete y fresa (Elad et al., 1981; 1982). Aunque una aplicación reducida de BM no controló *R. solani* en zanahoria, la aplicación de una cantidad subletal al suelo junto con una preparación de salvado-turba de *T. harzianum* fue tan efectiva como la dosis completa de BM (Strashnow et al., 1985).

La incidencia de la pudrición en cuello y raíz del tomate, causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*, se redujo en el campo después de la introducción de conidias de *Aspergillus*, *Penicillium* o *Trichoderma* en suelos previamente fumigados con BM (Marois et al., 1981).

Los intentos para suprimir enfermedades mediante la combinación de sustancias químicas y hongos como agentes de biocontrol, no siempre han tenido éxito. Por ejemplo, la combinación de BM y *T. harzianum* no consiguió reducir las enfermedades en patata o incrementar la cosecha con referencia al fumigante solo (Elad et al., 1980). La combinación de tratamientos con *Myrothecium verrucaria* y *Streptomyces* sp. y BM, se han usado para prevenir las reinfestaciones de *Phytophthora cinnamomi* en aguacate. Las poblaciones de antagonistas se establecieron en el suelo durante 5-7 meses, redujeron el desarrollo de la enfermedad y su gravedad, sin embargo no se consiguió suprimirla (Munnecke, 1984).

Los efectos nematicidas y debilitadores de la solarización son ideales para combinarlos con métodos biológicos de control.

Conclusiones

El manejo de las enfermedades de origen edáfico, dependerá cada vez más de la combinación de métodos, preferiblemente con una reducción del uso de pesticidas (Gullino, 1992).

Después de décadas de uso, debido a sus muchas propiedades positivas, el BM aún permanece, desde un punto de vista estrictamente técnico, como un fumigante muy interesante. Particularmente, su alta eficacia a dosis relativamente bajas frente a muchos patógenos, hace que el BM sea muy útil para muchos cultivos hortícolas (Garibaldi y Gullino, 1995).

Sin embargo, debido a sus efectos negativos para el ambiente, su uso debe regularse y ser más restrictivo en el futuro, aplicándose sólo en aquellos casos en que su eficacia sea mucho mayor en comparación con otros fumigantes (los llamados usos críticos). Métodos de aplicación seguros desde el punto de vista ambiental, ayudarán a mantener por algún tiempo este compuesto en el arsenal de compuestos de que dispone el agricultor. Por ejemplo el uso de láminas impermeables a los gases permitirá, también mediante la reducción de dosis (Gullino *et al.*, 1996), disminuir las fugas hacia la atmósfera, con consecuencias ambientales y técnicas positivas.

En un futuro próximo, el BM debe encontrar más posibilidades de uso dentro de estrategias de control integrado: reducción de dosis del fumigante, en combinación con solarización o agentes de control biológico, permitirá el control de enfermedades de importancia económica con unos efectos negativos colaterales menores. También el uso alternado de los diferentes fumigantes puede ser una estrategia alternativa. Desde un punto de vista técnico, sería útil mantener el BM en el arsenal de plaguicidas disponibles, particularmente en la situación Italiana. Sin embargo, debido a sus efectos indeseables, que en este caso parecen mayores a los de otros fumigantes, su uso futuro debe ser cuidadosamente planificado y regulado. Ello puede hacerse, no sólo mediante la legislación, sino a través de mejores servicios de extensión.

Como perspectiva a largo plazo, la solarización puede considerarse una alternativa válida a la desinfección química de suelos, que puede usarse en combinación con medidas de control culturales y biológicas. De forma realista, por muchos años, aún necesitamos un buen arsenal de pesticidas, que puedan usarse en programas de manejo integrado de plagas.

Abstract

Among chemical soil disinfectants, metam sodium and dazomet are pointed out as the most commonly used agents in Italy, together with 1,3 DD for nematode control. Among physical soil treatments, the sheet steaming method stands out, especially in the floricultural industry, and solarization in areas with high temperatures, although its application is limited for nematode control. It is considered that biological control strategies could play an important role in the future and, finally the interest of combining the use of pesticides, cultural practices, physical and biological control agents is pointed out as an alternative to MB.

It is concluded that, from a technical point of view, MB ought to be maintained in the arsenal of available pesticides, particularly in the Italian situation. However due to its environmental side effects, its use should be carefully regulated and planned, not only through legislation, but also through a better extension service and within a strategy of integrated control, by means of dosage reduction or in combination with solarization or biological control agents. It is considered that solarization may represent an alternative to chemical soil disinfection in the future.

Keywords: Fumigants, solarization, integrated control, floriculture, horticulture

Bibliografia

- Baker, K.F. 1970. Selective killing of soil microorganisms by aerated steam. In: T.A. Toussoun, R.V. Bega, P.E. Nelson (Eds). *Root Diseases and Soilborne Pathogens*. University California Press, 234-239.
- Ben-Yephet Y. 1988. Control of sclerotia and apothecia of *Sclerotinia sclerotiorum* by methamsodium, methyl bromide and soil solarization. *Crop Protection* 7, 25-27.
- Cartia G., T. Cipriano, N. Greco. 1989. Effect of solarization and fumigants on soil-borne pathogens of pepper in greenhouse. *Acta Horticulturae* 255, 111-115.
- Elad Y., I. Chet, Y. Henis. 1981. Biological control of *Rhizoctonia solani* in strawberry fields by *Trichoderma herzianum*. *Plant and Soil* 60, 245-250.
- Elad Y., Y. Hadar, I. Chet, Y. Henis. 1982. Prevention with *Trichoderma herzianum* Rifai aggr. of reinfestation by *Sclerotium rolfsii* Sacc. and *Rhizoctonia solani* Kuhn of soil fumigated with methyl bromide, and improvement of disease control in tomatoes and peanuts. *Crop Protection* 1, 199-211.
- Elad Y., J. Katan, I. Chet. 1980. Physical, biological and chemical control integrated for soil-borne diseases in potatoes. *Phytopathology* 70, 418-422.
- Ferris R.S. 1984. Effects of microwave oven treatment on microorganisms in soil. *Phytopathology* 74, 121-126.
- Fletcher J.T. 1984. *Diseases of Greenhouse Plants*. Longman, London and New York, 351 pp.
- Frank Z.R., Y. Ben-Yephet, J. Katan. 1986. Synergistic effect of metham and soil solarization in controlling delimited shell spots of peanut pods. *Crop Protection* 5, 199-102.
- Garibaldi A., M.L. Gullino. 1983. Present situation of soil disinfection in Italy. *Acta Horticulturae* 152, 77-85.
- Garibaldi A., M.L. Gullino. 1990. Disease management of ornamental crops: a never ending challenge. *Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent* 55, 189-201.
- Garibaldi A., M.L. Gullino. 1991. Soil solarization in southern European countries, with emphasis on soilborne disease control of protected crops. In: J. Katan, J.E. de Vay (Eds), *Soil Solarization*. CRC Press, Boca Raton, 227-235.
- Garibaldi A., M.L. Gullino. 1995. Focus on critical issues in soil and substrate disinfection towards the year 2000. *Acta Horticulturae* 382, 21-36.
- Gullino M.L. 1992. Integrated control of diseases in closed systems in the subtropics. *Pesticide Science* 36, 335-340.
- Gullino M.L., A. Garibaldi. 1992. Methyl bromide: efficacy against fungi. *Proc. International Workshop on Methyl Bromide*, Bari.
- Gullino M.L., A. Garibaldi. 1995 a. La disinfezione del terreno: aspetti innovativi e critici. *Informatore Fitopatologico* 45, 41-48.
- Gullino M.L., A. Garibaldi. 1995 b. Le difficili alternative al bromuro di metile. *Informatore Agrario* 51, 65-71.
- Gullino M.L., G. Minuto, M. Mocioni, A. Garibaldi. 1996. Reduction of dosages of methyl bromide for soil disinfection in Italy. *Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent*, in press.

- Katan J. 1984. The role of soil disinfestation in achieving high production in horticulture crops. *Proc. Br. Crop Prot. Conf.* 3, 1189-1193.
- Katan J., J.E. de Vay. 1991. Soil Solarization. CRC Press, Boca Raton, 267 pp.
- Marois J.J., D.J. Mitchell, R.M. Sonoda. 1981. Biological control of *Fusarium* crown rot of tomato under field conditions. *Phytopatology* 71, 1257-1260.
- Minuto G., Q. Migheli, A. Garibaldi. 1995 a. Integrated control of soil-borne plant pathogens by solar-heating and antagonistic microorganisms. *Acta Horticulturae* 382, 138-143.
- Minuto G., A. Minuto, A. Garibaldi, M.L. Gullino. 1995 b. Disinfezione del terreno con l'impiego combinato di dazomet e della solarizzazione. *Colture Protette* 25, 95-101.
- Munnecke D.E. 1984. Establishment of micro-organisms in fumigated avocado soil to attempt to prevent reinvasion of the soils by *Phytophthora cinnamomi*. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 83, 287-297.
- Stapleton J.J., C.H. Heald. 1991. Management of phytoparasitic nematodes by soil solarization. In: J. Katan, J.E. de Vay (Eds). *Soil Solarization*. CRC Press, Boca Raton, 51-59.
- Strashnow Y. Y. Elad, A. Sivan, I. Chet. 1985. Integrated control of *Rhizoctonia solani* by methyl bromide and *Trichoderma harzianum*. *Plant Path.* 34, 146-151.
- Tjamos E.C., E.J. Pappalomas. 1988. Long term effect of soil solarization in controlling *Verticillium* wilt of globe artichokes in Greece. *Plant Path.* 37, 507-515.
- Van Berkum J.A., H. Hoestra. 1979. Practical aspects of the chemical control of nematodes in soil. In: D. Mulder (Ed.). *Soil Disinfection*. Elsevier, 53-134.
- Vay J.E. de, J. Katan. 1991. Mechanisms of pathogen control in solarized soils. In J.: Katan, J.E. de Vay (Eds). *Soil Solarization*. CRC Press, Boca Raton, 87-101.

Capítulo 18

PRODUCCIÓN INTEGRADA Y ALTERNATIVAS AL BROMURO DE METILO EN CALIFORNIA

S. DAAR

The Bio-Integrated Resource Center (BIRC)
Berkeley, California. EE.UU

Resumen

California conjuntamente con Florida consume la mayor parte del bromuro de metilo utilizado en los Estados Unidos como fumigante de suelos. En California se aplica especialmente en fresas, viñedos y viveros de plantas ornamentales. Se pretende en este trabajo hacer una evaluación de las publicaciones científicas y los resultados de entrevistas a productores e investigadores con el fin de hallar alternativas al bromuro de metilo. Se encuentra que en la mayoría de los casos las alternativas se basan en la integración de varios métodos de control de plagas, pero principalmente en métodos preventivos que impiden el desarrollo de los patógenos. Son alternativas viables en la sustitución del bromuro de metilo la utilización de materia orgánica, vapor de agua y solarización, que son complementarias puesto que pueden ser aplicadas en áreas con características climáticas diferentes. Las investigaciones futuras deben centrarse en la búsqueda de alternativas dentro de un modelo de agricultura sustentable, mediante el desarrollo de programas de producción integrada que mejoren la formación de técnicos y agricultores.

Palabras clave: Solarización, vapor de agua, fresas, viñedos, viveros

Introducción

California y Florida consumen más de 22 millones de kilos de BM del utilizado anualmente en Estados Unidos como fumigante de suelo. En California se aplica en más de 70 cultivos, especialmente en fresas, viñedos y viveros de ornamentales (Tabla 1). En este trabajo se pretende hacer una síntesis de una publicación anterior sobre el manejo integrado de plagas (IPM) como alternativa al BM (Quarles y Daar, 1996). Según la ley "U.S. clean Air Act" de los Estados Unidos de América, el BM debe ser eliminado en el año 2001, por ser una sustancia que afecta a la capa de ozono, y a nivel internacional en el año 2010, según el Protocolo de Montreal.

Muchos agricultores, industriales y técnicos en el manejo de plagas serán afectados por la eliminación del BM, uno de los plaguicidas más utilizados en el mundo, existiendo una gran confusión sobre el impacto que su eliminación supone sobre aquellos cultivos cuya producción depende del BM. Por todo ello, durante cuatro años el equipo de científicos y técnicos de campo especializados en manejo integrado de plagas (IPM) del BIRC, ha evaluado publicaciones científicas y entrevista-

do a productores e investigadores con el fin de encontrar alternativas al BM. En este trabajo se hace un análisis de las técnicas de cultivo utilizadas por aquellos agricultores que no utilizan BM como fumigante del suelo, centrándonos en los cultivos de fresa, vid y viveros. En la mayoría de los casos estas técnicas se basan en la integración de varios métodos de control de plagas, pero fundamentalmente en métodos preventivos que impiden el desarrollo de los patógenos.

Tabla 1. Principales usos del BM en California en el año 1992

Cultivos	Usos (t)	%
Fresas	2.128	25
Viveros y flores	950	12
Viñas	909	10
Almendros	645	7.5
Batata	596	7.0
Frutales de hueso	552	6.5
Albaricoqueros	4	
Cerezos	83	
Ciruelos	85	
Melocotoneros	323	
Nectarinas	57	
Zanahorias	162	2.0
Total	5.942	70

Por último, se señalan las investigaciones necesarias para desarrollar nuevos métodos alternativos al BM, siempre dentro de la filosofía del manejo integrado de los sistemas agrícolas que permitan la eliminación del BM en el año 2001, a la vez que sean económica y ambientalmente aceptables.

Fresas

En California se utilizan cada año unas 2.128 t de BM en la fumigación de suelos para cultivar fresas, en una mezcla típica de 2:1 con cloropicrina, que representa el 25 % del uso en California, el 7 % de Estados Unidos y el 3 % del mundo. La importancia de estas aplicaciones hacen necesario encontrar alternativas como la solarización, control biológico, variedades resistentes, rotación de cultivos y prácticas culturales, a ser posible dentro de programas de producción integrada.

El rendimiento del cultivo de fresas es de 59 t/ha, siendo un cultivo perenne, que en muchas partes del mundo se cultivan durante varios años. Una de las características del cultivo de fresa en California, que es la base de su alta producción, es el hecho de que se cultiva cada año. Se aplican dosis de BM-cloropicrina de 392 kg ha⁻¹, el gas se introduce en el suelo a 0.3-0.5 m de profundidad. La cloropicrina es mejor fungicida que el BM. El suelo se cubre con plástico transparente durante el proceso de inyección del gas, ello incrementa su eficacia al aumentar la penetración y su distribución uniforme.

La frecuencia de la fumigación viene determinada por las rotaciones realizadas por el agricultor. En el Sur de California se planta fresa cada año y se fumiga antes de cada cultivo. En la Costa Central los agricultores rotan con leguminosa-cebada, pasto, lechuga, brócoli, coliflor o apio, y se fumiga cada dos años. Los únicos suelos que no se fumigan son los de agricultura ecológica (40 ha) y suelos que se plantan cada dos años. Hay varios factores que hacen que los cultivadores de fresas se resisten a eliminar el BM:

- El cultivo tiene un coste elevado (32.110 \$ ha-1).
- Los costos de fumigación son relativamente bajos (3.458 \$ ha-1) si se compara con la producción obtenida (54.350 \$ ha-1).
- La fumigación del suelo da gran seguridad de altos rendimientos.
- La fumigación del suelo resulta muy efectiva en el control de plagas.
- El cultivador de fresa sólo recientemente ha recibido ayudas para encontrar alternativas al BM.

La retirada del uso de BM en California tendría un gran impacto en el cultivo de la fresa, habiéndose calculado por USDA (1993) una pérdida del 13%.

Alternativas. Se han propuesto numerosos fumigantes como alternativa al BM, pero realmente no hay un solo tratamiento que presente su misma eficacia, por ello la única alternativa se centra en el diseño de programas de producción integrada (IPM).

La **solarización** con plásticos transparentes elevan la temperatura y eliminan los organismos causantes de plagas y enfermedades, se puede utilizar en áreas cálidas y es eficaz contra malas hierbas, hongos y nematodos. La solarización sola incrementa en un 12 % el rendimiento de la fresa, cuando se combina con dosis bajas de metam-sodio se incrementa el rendimiento en un 29% que es equivalente al del BM. La solarización se puede complementar con residuos de coles bajo plástico (Ramírez-Villapudua y Munnecke, 1988), utilización de plásticos impermeables con residuos de crucíferas, o la combinación de la solarización con control biológico (Gamliel y Katan, 1993; Gamliel y Stapleton, 1993). El buen control sanitario de viveros, los tratamientos con agua caliente, utilización de *Trichoderma*, adición de materia orgánica, incremento de la fertilidad del suelo, mejora del drenaje del suelo, manejo del suelo o la selección de las plantas en los viveros son también buenas alternativas.

El gran problema de la fresa está en el hecho de que en California los mejoradores han centrado sus esfuerzos en incrementar el rendimiento en lugar de su resistencia a plagas y enfermedades o estudiar las causas de la podredumbre negra de la raíz de la fresa. La rotación de cultivos es altamente eficaz en el control de los patógenos de la fresa, especialmente con veza, centeno, avena y tagetes. Es necesario desarrollar programas de producción integrada que mejoren la formación de técnicos y agricultores.

Hay muchos casos de cultivos de fresa que no utilizan BM, como es el de los agricultores ecológicos que están representados por 22 agricultores en California, que aunque alcanzan producciones que llegan al 65% en comparación con la forma convencional de cultivar, pero consiguen precios más altos por la cali-

dad de su producción. La producción convencional en Oregón es de 2.834 ha y sólo se bromura el 10%. No se utiliza BM en Alemania y Suiza, introduciendo sistemas de rotación de una duración de 3 a 5 años y variedades resistentes, mientras que en Holanda cultivan sobre sustratos artificiales.

Las **malas hierbas** se controlan seleccionando los campos antes de la plantación, con el empleo de cubiertas vegetales, rotación de cultivos, técnicas culturales, herbicidas, por el fuego y agua caliente, el deshierbe a mano o el uso de plásticos negros.

Viñedos

En 1992 se utilizaron 909 toneladas de BM en preplantación en unas 2.264 ha de viñedos, que representó el 10 % de California y el 1.3 % del utilizado en el mundo, ocupando el tercer lugar después de las fresas y los viveros, aunque solamente se fumigan la mitad de los viñedos replantados cada año, puesto que en general los viticultores tienen gran experiencia en el manejo de plagas sin utilizar BM. La eliminación del BM será una gran oportunidad para lograr una viticultura que no emplee productos químicos tóxicos y desarrollar prácticas de cultivo más sustentables.

El BM se emplea principalmente en el control de *Xiphinema index*, un nematodo que es vector del virus del "entrenudo corto de la vid" (GFLV), también en el control de la filoxera (*Daktuslophaira vitifoliae*), el hongo *Amillaria mellea* y gran número de malas hierbas. Las fumigaciones con BM se realizan principalmente en suelos que han estado plantados de viñedos y frutales o bosques de encinas y van a ser replantados con viñedos, puesto que la vid se desarrolla mejor si se protege de plagas y enfermedades cuando el viñedo es joven, pudiéndose desarrollar el cultivo a lo largo de 25 a 80 años. Las dosis de aplicación son de 337-561 kg ha⁻¹, mezclado con un 2 % de cloropicrina, que se utiliza para detectar por el olor la presencia de BM. Se suele cubrir el suelo con plástico durante la fumigación, con el fin de aumentar su eficacia.

Alternativas químicas. Entre los productos químicos utilizados como alternativas se encuentra el 1,3-dicloropropeno (Telone), metam-sodio (Vapam), disulfuro de carbono (CS₂) que se aplica como gas o como líquido (Enzone), o productos que se aplican después de la plantación como el nematicida fenamifos (Nemacur) o carbofuran (Furadán). Estos productos tienen grandes limitaciones debido a su influencia en la salud o su impacto en el medioambiente, problemas de registro, o una eficacia limitada, puesto que ninguno tiene un amplio espectro de acción como el BM. Se considera que los viticultores deben desarrollar programas de control de plagas, que permitan integrar el control biológico, físico y las prácticas culturales, en lugar de centrar las investigaciones en la obtención de otros productos químicos que sustituyan al BM.

Alternativas de producción integrada. La primera razón para encontrar alternativas es económica, puesto que es necesario reducir el coste de producción (1.482-3.458 \$ ha⁻¹), otro de los problemas es la dificultad para realizar las fumigaciones en zonas de colina y montaña y, por último, los peligros de realizar

fumigaciones en zonas próximas a edificios habitados, así como por la poca eficacia del BM en los suelos arcillosos sometidos a lluvias frecuentes y porque destruyen las micorrizas.

En la búsqueda de alternativas hay que recordar en primer lugar que existen cientos de hectáreas dedicadas a agricultura ecológica, que existen variedades resistentes, y que las cubiertas vegetales, el estiércol y la fertilización mineral contribuyen a reducir el nivel poblacional de las plagas e incrementar el vigor de la planta.

Existen algunos ejemplos de viticultores que no usan BM, utilizando cubiertas vegetales, más de tres años de barbecho, uso frecuente de alfalfa en la rotación de cultivos, así como cereal y veza que se entierra durante la primavera. Las cubiertas vegetales reducen la aparición de malas hierbas, el empleo de materia orgánica verde reduce los problemas de nematodos formadores de nódulos. La mayoría de los agricultores ecológicos utilizan estiércol, con cierto aumento del daño debido a plagas y reducción del rendimiento, obteniendo a cambio un precio más alto al incrementar la calidad de los productos orgánicos. EL barbecho es el tratamiento más eficaz.

Necesidad de nuevas investigaciones. Es necesario investigar las bases del control biológico y ecológico, la aplicación del método ELISA (**Enzyme Linked Inmune Solvent Assay**) para determinar la presencia de virus en las plantas utilizadas en la plantación, la utilización de la energía solar a través de la solarización (Katan y De Vay, 1991) y mejora de la eficacia de la aplicación de residuos vegetales y compost (Ramírez Villapudua y Munnecke, 1988). Por otro lado existe un gran número de pies que son resistentes a la filoxera y a otros patógenos (Flaherty *et al.*, 1992).

Es importante el manejo del suelo, tratando de mejorar la estructura mediante la aplicación de compost, estiércol y abonos verdes (Flaherty *et al.*, 1992), la adición de quitina estimula el desarrollo de actinomicetos que parasitan nematodos. La utilización de cubiertas vegetales reduce la erosión, creando hábitats para el desarrollo de antagonistas de interés en el control de insectos productores de plagas, suprime las malas hierbas e incrementan los niveles de nitrógeno. Por último, la utilización de *Trichoderma* en el control de *Amillaria* (Ohr *et al.*, 1973) y el control de viveros libres de virus.

Viveros

El BM se utiliza bastante en viveros, representando el 20% del uso de BM en el mundo (MBTOC, 1995). Las alternativas en vivero son vapor de agua, sustratos supresivos, control biológico, solarización, agua caliente, especies resistentes o la combinación de diferentes alternativas.

El uso de sustratos supresivos es una buena alternativa al uso de BM, especialmente de restos agroindustriales y de jardines municipales (Renkow *et al.*, 1994). La supresión de los patógenos vegetales en un compost comienza en la fase de calentamiento, puesto que alcanza de 65-71 °C, y los patógenos de las

plantas se elimina (Bollen, 1993). Los organismos termófilos se mantiene y el compost comienza a enfriarse siendo recolonizado por organismos antagonistas y competidores (Hoitink et al., 1991). El compost urbano presenta como principal problema el pH elevado y el relativo alto contenido de sal, así como la posible existencia de metales pesados. Se utilizan también restos de coco y corteza de pino, mientras que se está abandonando el uso de la turba por su impacto ambiental. En Australia se utilizan restos de Eucaliptus y en otras partes del mundo los restos de la fabricación del vino y del aceite.

Los sustratos supresores hacen innecesario el BM. Una pequeña cantidad de estiércol de caballo se utiliza como fuente de nitrógeno y se pueden añadir también agentes de biocontrol. Lo más difícil es establecer la calidad de cada sustrato, la fabricación del compost es un arte, como la fabricación del vino o aquellos otros productos que dependen de la acción de los microorganismos.

El vapor de agua es una buena alternativa al BM en invernaderos y viveros, principalmente en flor cortada, aunque a gran escala su utilización no es práctica. Este método se utiliza ampliamente en Holanda, aunque hay algunas dificultades cuando los suelos son arenosos. Existe la posibilidad de integrar el vapor con control biológico.

La solarización del suelo utiliza la energía del sol para elevar la temperatura del suelo, eliminando los organismos patógenos e incrementando los beneficios. Se debe utilizar sólo en verano, aunque se pretende desarrollar la técnica en los países fríos y en épocas frías, muchos invernaderos y viveros en el mundo utilizan solarización. Existen numerosas alternativas como la utilización de plásticos dobles para aumentar la temperatura, cubiertas biodegradables, o añadir biomasa para producir biofumigación.

La solarización tiene algunas ventajas sobre el vapor de agua, puesto que los plásticos cuestan menos que el calentamiento del agua, la única desventaja es que el suelo debe mantenerse cierto tiempo sin cultivar, esto se puede resolver con la doble capa de plástico (Ben-Yephet et al., 1987), o la combinación de programas de IPM con solarización. La utilización de materia orgánica (Duff y Cornelly, 1993) por la acción fumigante de los gases reduce la duración de la solarización, este método es de gran interés en áreas frías (Stapleton y Gamliel, 1994). Una de las vías para aumentar la eficacia de la biofumigación es la utilización de plásticos impermeables que impiden la pérdida de gases, y la utilización de plásticos biodegradables.

Vapor de agua y solarización son soluciones complementarias y altamente eficaces como alternativas al uso de BM, que pueden ser aplicadas en regiones frías o con temperaturas altas respectivamente.

Conclusiones

La integración de diversos métodos en el control de los patógenos del suelo, dentro de un modelo de producción integrada, es la mejor alternativa al BM, junto a los métodos preventivos. Se describen a lo largo del trabajo varios

métodos alternativos que han resultado eficaces en los cultivos de fresas, viñedos y viveros. Estos métodos se pueden aplicar en el control de problemas de plagas similares en otros cultivos.

En la búsqueda de alternativas hay que recordar que existen miles de hectáreas de cultivos donde no se utiliza BM y cuyos métodos deben investigarse, especialmente aquellos basados en la utilización de estiércol, empleo de variedades resistentes, mejora de la estructura del suelo, rotaciones, cubiertas vegetales, barbechos, saneamiento de viveros y, sobre todo, conocer las bases del control biológico y ecológico.

La utilización de estiércol, vapor de agua y solarización son alternativas complementarias y viables en la sustitución del BM, que pueden ser aplicadas en áreas con características climáticas diferentes.

Las futuras investigaciones deben centrarse en la búsqueda de alternativas basadas en el control biológico, físico y las prácticas culturales, antes que en la obtención de nuevos fumigantes químicos, a fin de encontrar alternativas que sean económica y ambientalmente aceptables, dentro de un modelo de agricultura sustentable.

Abstract

California together with Florida, are the major consumers of methyl bromide for soil fumigation in the U.S. Main uses in California are strawberries, grapes and ornamental nursery crops. This article evaluates the existing scientific literature and includes also interviews with growers, pest control advisors, research and extension personnel, in order to identify economically viable alternatives to methyl bromide. It is found that to solve the pest problems, in most situations, methyl bromide alternatives are based on a combination of different, mainly preventive, methods of pest control that hinders pathogen development. Viable alternatives to methyl bromide are the use of organic amendments, steaming and solarization. These are complementary because they can be used in areas of different climatic characteristics. Future research ought to be centered on the research for within a sustainable agricultural model by means of the development of integrated production programs which improve the training of technicians and growers.

Key words: Solarization, steaming, strawberries, grapes, nursery.

Agradecimientos

A los Drs. Arias y Bello por su colaboración en la elaboración del trabajo en castellano.

Bibliografía

Ben-Yephet Y., J.J. Stapleton, R.J. Wakeman, J.E. DeVay. 1987. Comparative effects of soil solarization with single and double layers of polyethylene film on survival of *Fusarium oxysporum* f.sp. *vasinfectum*. *Phytoparasitica* 15, 181-185.

- Bollen G.J. 1993. Factors involved in inactivation of plant pathogens during composting of crop residues. In: H.A. J. Hoitink, H.M. Keener (Eds). *Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological Aspects*. Renaissance Publication. Worthington, OH, 301-318.
- Duff D.J., M.I. Cornelly. 1993. Effect of solarization using single and double layer of clear plastic mulch on *Phytium*, *Phytophthora* and *Sclerotium* species in a nursery potting mix. *Australasian Plant Pathology* 22, 28-35.
- Flaherty D.L., L.P. Christensen, W.T. Lanini, J.J. Marois, P.A. Philis, L.T. Wilson. 1992. *Grape Pest Management*. 2nd ed. University of Californis, Division of Agriculture and Natural Resources, Oakland, CA. 400 pp.
- Gamliel A., J. Katan. 1993. Suppression of major and minor pathogens by florescent pseudomonans in solarized and non - solarized soil. *Phytopathol.* 83, 68-75.
- Gamliel A., J.J. Stapleton. 1993. Characterization of antifungal volatile compounds evolved from solarized soil amended with cabbages residues. *Phytopathol.* 83, 899-905.
- Hoitink H.A.J., Y.Inbarn, M.J. Boehm. 1991. Status of compost-admended potting mixes naturally suppressive to soil borne diseases of floricultural crops. *Plant Dis.* 75, 869-873.
- Katan J., J.E. De Vay. 1991. *Soil Solarization*. CRC Press, boca Raton, FI, 267 pp.
- MBTOC, 1995. 1994. *Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee*. 1995. *Assessment of the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer*. United Nations Environment Programme, Kenya,. 304 pp.
- Ohr H.D., D.E. Munnecke, J.L. Bricker. 1973. The interaction of *Armillaria mellea* and *Trichoderma* spp. as modified by methyl bromide. *Phytopathol.* 63, 965-973.
- Quarles W., S. Daar. 1996. IPM Alternatives to Methyl Bromide. *IPM Practitioner*. Birc, Berkeley, CA, 57pp.
- Ramírez-Villapudua J., D.E. Munneske. 1988. Effect of solar heating and soil amendments of cruciferous residues on *Fusarium oxysporum* f.sp. *conglutinans* and other organisms. *Phytopathol.* 28, 289-295.
- Renkow M., C. Safley, J. Chaffin. 1994. *A cost analyses of municipal trimmings composting*. *Compost Sci. and Util.* Spring, 22-34.
- Stapleton J.J., A. Gamliel. 1994. *Feasibility of soil fumigation by sealing soil amended with fertilizers and crop residues containing biotoxic volatile compounds*. *Sus. Agric. Tech. Rev.* 6, 7-9.
- USDA . 1993. *Alternatives to Methyl Bromide. Assesment of Research Needs and Priorities. Proccedings from the USDA Wrokshop on Alternatives to Methyl Bromide*, 85 pp.

