



BIODESINFECCIÓN DEL SUELO E INVESTIGACIÓN PARTICIPATIVA EN CULTIVOS HORTÍCOLAS MEDITERRÁNEOS

*A Bello⁽¹⁾, MA Díez-Rojo, JA López-Pérez⁽²⁾, JM Torres⁽³⁾, MR González-López⁽¹⁾,
E Díaz-Jiménez⁽⁴⁾, J.Ballester⁽⁵⁾, MS Benítez⁽⁴⁾, JR Delgado⁽⁶⁾, J López-Cepero⁽⁴⁾,
MM Guerrero⁽⁷⁾, C Ros⁽⁷⁾, J López-Robles⁽⁸⁾, V García-Dorado⁽¹⁾, S C. Arcos⁽¹⁾,
M de Cara⁽³⁾, M Santos⁽³⁾, F Diáñez⁽³⁾, C Tascón⁽⁹⁾, F Cubas⁽⁹⁾,
E Trujillo⁽⁹⁾, S Perera⁽⁹⁾, D Rios⁽⁹⁾, MJ Zanón⁽¹¹⁾, V Bonora⁽⁵⁾, J Herrero⁽⁵⁾,
F Serrano-Comino⁽¹⁾, C Martínez-Martínez⁽¹⁾, JM Carreño⁽¹⁾, MM López-Borrego⁽¹⁾,
L Robertson⁽¹⁾, A García-Álvarez⁽¹⁰⁾, A Lacasa⁽⁷⁾, C Jorda⁽¹¹⁾, J Tello⁽³⁾*

(1) Dpto Agroecología, Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC, Serrano 115 dpdo, 28006, Madrid; (2) Centro Agrario de Marchamalo, JCCM, Cno de San Martín, 19010 Marchamalo, Guadalajara; (3) Dpto Producción Vegetal, Univ. Almería, Cañada de S. Urbano s/n 04120 Almería; (4) Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria (ETSIA), Universidad de La Laguna; (5) Cooperativa Unión Protectora de El Perelló, Crta Nazaret-Oliva Km 20, 46420 El Perelló, Valencia; (6) Cooperativa Agrícola de San Miguel (CASMI), Ctra General del Sur 5, San Miguel, 38620 Tenerife; (7) Biotecnología y Protección de Cultivos, Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA), C/ Mayor s/n, 30150 La Alberca, Murcia; (8) Dpto Química, Universidad de Burgos Pza Misael Bañuelos s/n, 09001 Burgos; (9) Servicio Técnico de Agricultura y Desarrollo Rural, Cabildo Insular de Tenerife, Pza de España, 38003 Santa Cruz de Tenerife; (10) Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) Avda Complutense 22, 28040 Madrid; (11) C. Jordá, Instituto Agroforestal Mediterráneo, Univ. de Valencia. Tfno: +34 91 7452500, Fax: +34 91 5640800, E-mail: antonio.bello@ccma.csic.es

*“Die Notwendigkeit zu entscheiden reicht weiter als die Möglichkeit zu erkennen”
(La necesidad de decidir supera las posibilidades de conocimiento)
I. Kant in Barres et al. (2008)*

*“En un momento de decisión lo mejor que se puede hacer es lo correcto.
Lo peor que se puede hacer es nada”
Theodore Roosevelt (1903)*

Summary

La complejidad que conlleva la utilización de materia orgánica para la gestión de los patógenos del suelo a través de la desinfección del mismo, pone de relieve la necesidad de la investigación participativa, donde los científicos "know how" se armonizan con la experiencia de técnicos y productores. Se analizan los cultivos hortícolas en la región mediterránea, y se señala que se deben de optimizar las técnicas de producción para gestionar eficazmente los hongos y los nematodos fitoparásitos. Los nematodos *Meloidogyne arenaria*, *M. incognita* y *M. javanica*, se localizan en zonas termófilas y en invernaderos. Otros organismos de cuarentena son *M. chitwoodi* y *M. fallax*, de climas más fríos, que también deben de ser estudiados para evitar su propagación en la región mediterránea. También hay que destacar los problemas asociados con los quistes de los nematodos de los géneros *Globodera* y *Heterodera*, sin embargo, estos organismos tienen un rango de hospedadores limitado, y pueden ser fácilmente controlados mediante el uso de la rotación de cultivos, así como los nematodos de los bulbos, las partes aéreas y las semillas de los géneros *Ditylenchus*, *Aphelenchoides* y *Anguina*. También se analizan los vectores de virus, los endoparásitos y un gran número de especies de ectoparásitos, sin olvidar los nematodos micofagos de hongos. La biodesinfección del suelo se describe no sólo desde la perspectiva de la salud de las plantas, sino también, como mejoramiento del suelo, aunque estas técnicas deben ser combinadas con otros métodos de producción, para incrementar la capacidad de autorregulación y diseñar sistemas de producción supresores. Los factores que han permitido mantener la viabilidad del cultivo en los sistemas tradicionales, son discutibles teniendo en cuenta que podrían ser fundamentales en la gestión de algunos sistemas de cultivos hortícolas usando criterios agroecológicos.

Palabras clave: hongos, nematodos, rotación de cultivos, materia orgánica, biodesinfección, agroecología.

Introducción

La investigación y transferencia de tecnología en Ciencias Agrarias para el diseño de sistemas de gestión de cultivos, debe tomar como referencia modelos de Investigación Participativa (IP), principalmente en el campo de la agronomía, que traten de armonizar el conocimiento científico con "el saber" de agricultores y ganaderos, teniendo en cuenta la importancia del conocimiento campesino que, junto a los empresarios agrarios, pueden dar respuesta a las demandas de los ciudadanos de una producción agraria de calidad y a un precio justo, que a su vez permita activar la economía mediante la dinamización del conocimiento (Monserrat 1961, Altieri 1997, Guzmán-Casado *et al.* 1999, Díaz-Jiménez 2007, Bello *et al.* 2008c,e)

La complejidad de los sistemas agrarios hace necesario involucrar no sólo a científicos y técnicos, sino también a los agricultores y ganaderos, así como a sus organizaciones agrarias, mediante la creación de programas de IP basados en criterios agroecológicos, pero teniendo en cuenta, al mismo tiempo, aspectos sociales, económicos y comerciales. Los programas de IP se inician con Rhoades y Booth (1982), tomando como referencia la teoría de difusión de innovaciones de Rogers (1962). Su metodología ha sido recientemente analizada para el caso de la papa por Ortiz *et al.* (2008), quienes además tienen en cuenta las ideas sugeridas por Engel (1997) y Biggs & Matsuert (2004) que tratan de identificar los componentes principales del sistema y su función, así como determinar las interacciones existentes entre ellos, lo que constituye las fuentes principales de información en los métodos de IP (Fig. 1). Hay que recordar, no obstante, que resulta esencial la participación de los propios agricultores, sus familias y las comunidades agrarias en el desarrollo del programa, destacando también el interés que tiene la contribución de los gobiernos locales. El método de IP permite a los

agricultores adquirir nuevos conocimientos y tecnologías, pero sobre todo reforzar su organización a nivel local, teniendo en cuenta que en determinadas épocas del año **el tiempo del agricultor es un factor escaso y debe ser utilizado de modo eficiente**. Sin embargo, llama la atención la falta de información y de expertos en IP como, por otro lado, la falta de coordinación entre las instituciones que participan, así como la inestabilidad de las relaciones entre tales instituciones. Esto último se manifiesta en la inseguridad en el puesto de trabajo que, generalmente, tienen los responsables de un proyecto de IP que, por otro lado, deben tener una dedicación plena a las actividades de IP, para que agricultores y organizaciones puedan hacer un uso más eficiente de los recursos, evitando duplicidad y competencias indeseables entre organizaciones (Ortiz *et al.* 2008)

El primer paso en el desarrollo de un programa de IP, es desmitificar “la ciencia, que como la cultura, debe ser patrimonio de todos los ciudadanos”. Esto se traduce en el esfuerzo que los científicos deben hacer para desarrollar modelos de transferencia del conocimiento, basados en el empleo de una terminología que sea asequible, especialmente a técnicos, agricultores y ganaderos, y que generen a su vez conocimientos para elaborar métodos de trabajo de fácil aplicación. Estos métodos deben propiciar, al mismo tiempo, el fomento de la situación económica de los productores mediante la elaboración de sistemas viables de transferencia del conocimiento y que incluyan, además, los aspectos relacionados con la calidad nutritiva, social y ambiental de los productos que demandan los ciudadanos (Perdomo Molina 2002, Bello 2008a,b)

En este trabajo se ha elegido como modelo el problema causado por nematodos parásitos de plantas (Fig. 2) tomando como sistemas de estudio los cultivos hortícolas, puesto que constituyen, desde el punto de vista de la sanidad del cultivo, una de las principales causas de la pérdida de rendimiento, por la presencia de nematodos formadores de nódulos de las especies *Meloidogyne arenaria*, *M. hapla* y *M. incognita* en Europa y América (Fig. 3), así como *M. javanica* en África y Asia. Dentro del género *Meloidogyne* recientemente se han descrito dos nematodos altamente patógenos, *M. chiwoodi* y *M. fallax* que causan problemas muy graves en el norte de Europa, habiendo sido considerados nematodos de cuarentena, por lo que es necesario prevenir su introducción en España (Bello *et al.* 2008a,b) así como la de los nematodos formadores de quistes *Globodera pallida* y *G. rostochiensis* (Greco *et al.* 1982, López-Cepero 1992, García Álvarez *et al.* 2005)

Entre los nematodos endoparásitos destacar el género *Pratylenchus* causantes de problemas en hortícolas, frutales y platanera, que son especies migratorias polífagas. Producen necrosis en las raíces que, además, como es el caso *P. penetrans*, puede estar asociada con hongos como *Rhizoctonia solani*, *Verticillium* y *Fusarium* en hortícolas. También hay que destacar los nematodos ectoparásitos migratorios polífagos transmisores de virus especialmente en el cultivo de papas, donde se han encontrado *Paratrichodorus pachydermus* y *Trichodorus primitivus* en Europa y *P. minor* en América del norte, habiéndose citado en Canarias *P. minor* y *P. teres* (López-Pérez *et al.* 2001) Por último se han encontrado diferentes especies de los géneros *Helicotylenchus*, *Hemicyclus*, *Nacobbus*, *Paratylenchus*, *Rotylenchulus*, *Rotylenchus*, *Tylechorhynchus*, y *Xiphinema*, pero se considera que no plantean problemas graves (Bello *et al.* 2008b)

No conviene olvidar que existen en el suelo otros nematodos saprófagos de los géneros *Rhabditidis* y *Diplogaster*, que pueden actuar como organismos patógenos secundarios en aquellos tubérculos que están afectados por otros patógenos, o especies del género *Ditylenchus*, que sin ser parásitos pueden favorecer la dispersión de bacterias y hongos patógenos. Hay que recordar también que cuando se trata de manejo de organismos del suelo, como son los nematodos, se deben tener en cuenta las especies descomponedoras de la materia orgánica del Orden Rhabditida, así como el interés en los mecanismos de autorregulación de las especies depredadoras de Monónquidos y

Discoláimidos, y el valor bioindicador del impacto de las prácticas de cultivo de las especies del Orden Dorylaimida. Por último, no hay que olvidar a los nematodos entomopatógenos, por su interés en la regulación de problemas causados por plagas (Kaya & Gaugler 1993)

Uno de los problemas principales de nematodos en los cultivos hortícolas es la selección de virulencia que ocurre cuando se emplean variedades resistentes para el manejo de nematodos formadores de nódulos como *Meloidogyne incognita* en pimiento y tomate (Robertson *et al.* 2006; Torres *et al.* 2007) y en el caso del manejo de los formadores de quistes del género *Globodera*, introducido principalmente a través de las papas de siembra (Bello *et al.* 2008b)

La rotación de cultivos podría ser una solución para el caso de nematodos específicos del género *Globodera* (*G. pallida* y *G. rostochiensis*) pero no es eficaz cuando existen especies polífagas. La posible introducción de *M. chitwoodi* y *M. fallax*, procedentes del norte de Europa, puede causar problemas por ser especies polífagas, afectando a las especies vegetales en áreas naturales. En la utilización de sustratos debe señalarse que los de origen natural como los enarenados de Almería, "jables" y las "sorribas" de Canarias, han sido la principal explicación para que se haya podido seguir cultivando hortalizas en Almería y Canarias, pero por falta de un control sanitario de las semillas, y sobre todo por el monocultivo, estos sustratos se han visto afectados por la introducción de organismos patógenos (López-Gálvez & Naredo 1996, Bello 2008b)

La solarización de suelos no es eficaz en el control de nematodos puesto que se ha comprobado que a medida que se incrementa la temperatura del suelo se produce una migración en profundidad por tratarse de organismos móviles (Cuadro 3) y, en el caso de los "jables", se trata de sustratos isotérmicos donde no se produce incremento de temperatura en profundidad, por lo que los agricultores han desarrollado la alternativa conocida como el "minado" que puede ser una solución al problema cuando se combina con otras técnicas de cultivo. El "minado" se basa en la combinación de la solarización con la biofumigación (biosolarización), actuando como una biodesinfección de suelos que, al mismo tiempo, reduce la cantidad de materia orgánica y con ello su impacto negativo sobre la tuberización (Katan & de Vay 1991, Bello *et al.* 2008b)

Borruey Aznar & Mula Acosta (2008) aplican las técnicas de biodesinfección en el manejo de la *sarna común* de la papa, causada por la bacteria *Streptomyces scabies*, en el término municipal de Bello (Teruel) mediante el aporte de 41 t/ha de estiércol ovino fresco y riego hasta saturación, cubriendo el suelo con plástico transparente de 400 galgas de grosor, que se puso el 19 de julio, y se retiró el 21 de octubre del 2005, transcurridos tres meses desde su aplicación. Con el suelo biodesinfectado se sembraron papas del cv "Agrida" en macetas de 5 litros, manteniéndose a temperatura de 22 °C y recogiendo a los 140 días de su plantación. En relación al índice de sarna en las parcelas tratadas los tubérculos estaban sanos (índice 0) o no tenían más del 5% de la superficie afectada (índice 1), mientras que en las parcelas testigo aparecieron tubérculos con índices 2 y 3, es decir el 10 y 25% respectivamente de la superficie con sarna. El primer efecto de la biodesinfección que se observó en campo fue en el momento de la retirada del plástico, puesto que mientras las parcelas-testigo estaban totalmente cubiertas de vegetación, la zona que había permanecido cubierta estaba prácticamente limpia. La producción se incrementó en un 36% en las parcelas biodesinfectadas (45.379 kg/ha frente a 33.476 kg/ha), mientras que la incidencia de sarna fue del 36,3% en el suelo biodesinfectado frente al 76,2% en el suelo testigo. Si se tiene en cuenta que los tubérculos con índice 1 de sarna son aptos para la comercialización, la incidencia de la sarna quedaría reducida a un 5,8% en el suelo tratado y el 33,5% en el suelo testigo. En consecuencia, el 93,2% de la producción en el suelo tratado con biodesinfección era comercial (42.573 kg/ha), frente a sólo el 57,7% de la producción en el suelo testigo (19.316 kg/ha). Esta circunstancia permitiría reducir a un

año las rotaciones tradicionales con cereal, frente a un período de tres - siete años de monocultivo de cereal. Se propone, por último, la utilización de abonos verdes en futuros estudios.

Por la gravedad de los problemas causados por nematodos en los cultivos de hortalizas, pero sobre todo por la gran complejidad de los problemas que plantean, hemos elegido como lema del trabajo la frase de I. Kant *in* Barres *et al.* (2007): “*La necesidad de decidir supera las posibilidades de conocimiento*”, tratando para ello de diseñar un proyecto de IP que armonice el conocimiento científico con el de técnicos y productores. Para ello tomamos como referencia los trabajos de Díaz-Jiménez (2007) y Torres *et al.* (2007), al mismo tiempo que contamos con la participación de los agricultores José Ballester (El Perelló, Valencia), Miguel S. Benítez-Gil (norte de Tenerife), y Juan Ramón Delgado Martín (Sur de Tenerife), que pertenecen a familias de productores de hortalizas de varias generaciones.

Material y métodos

Se comienza por revisar el trabajo de Bello *et al.* (2008b,c) con el fin de poder precisar con claridad los problemas fitonematológicos que existen en los cultivos hortícolas. Entre las alternativas no químicas de manejo, se han analizado las propuestas por el “Methyl Bromide Technical Options Committee” (MBTOC 2007) perteneciente al Protocolo de Montreal para la búsqueda de alternativas al bromuro de metilo (BM), un fumigante del suelo cuyas emisiones destruyen la capa de ozono estratosférico (Cuadros 1 & 2) Entre estas alternativas destacan las medidas sanitarias en el uso de semillas y material vegetal, agua de riego y maquinaria libre de patógenos, pero sobre todo las encaminadas a regular la introducción de organismos patógenos. La biodesinfección del suelo a través del manejo de la materia orgánica, los sustratos de origen natural, como los enarenados de Almería, los “jables” y sistemas en “sorribas” de Canarias, el uso de variedades resistentes, la rotación de cultivos, plantas trampa, y sobre todo las prácticas culturales, que dan lugar al diseño de sistemas de producción supresivos donde los problemas de plagas y enfermedades no sean frecuentes (Rodríguez-Kábana & Canullo 1992, Urbano & Moro 1992)

La **biodesinfección de suelos** se ha estudiado tanto para el manejo de nematodos como hongos del suelo, siguiendo la experiencia del equipo (Bello *et al.* 2003; 2008a) Se seleccionan aquellos ejemplos que, basados tanto en la aplicación de biodesinfectantes sólidos como líquidos, resultaron eficaces en el control de hongos y nematodos patógenos de vegetales (Bello 1998, Kirkegaard & Sarwar 1998, Blok *et al.* 2000, Bello *et al.* 2003, 2008a-d, Lazarovits *et al.* 2005)

Para poder diseñar los sistemas de rotación en el manejo de los nematodos formadores de nódulos del género *Meloidogyne* y mejorar la eficacia de los tratamientos de biodesinfección, se comenzó por caracterizar sus biotipos, siguiendo para ello los métodos desarrollados por Robertson *et al.* (2006) y Torres *et al.* (2007) tomando como referencia el esquema de caracterización de razas de Hartman & Sasser (1985) Se deben destacar también los trabajos recientes sobre la aplicación de la mejora vegetal, mediante la selección de variedades resistentes para el control de *Phytophthora infestans*, el tizón tardío de la papa, *Rhizoctonia*, *Synchytrium endobioticum*, *Nacobus aberrans*, *Globodera pallida* y *G. rostochiensis*, *Erwinia carotovora*, *Ralstonia solanacearum*, virus (Hernández *et al.* 2008)

Una vez recogida la información necesaria de los técnicos e investigadores, se plantean las alternativas seleccionadas a los equipos de campo para conocer su viabilidad en el manejo de los cultivos hortícolas, siguiendo para ello la metodología diseñada por Díaz-Jiménez

(2007) y Torres *et al.* (2007) mediante la utilización de una encuesta abierta y flexible en las zonas norte y sur de la isla de Tenerife, en diferentes cultivos, épocas y sistemas de cultivo, posibles interacciones entre los problemas encontrados de plagas y enfermedades, así como su viabilidad desde el punto de vista económico y la posibilidad de aplicación en cada área de un modelo de gestión basados en criterios agroecológicos (Fig. 1)

Resultados

Se analizan a continuación los problemas fitonematológicos según su orden de importancia, señalando los resultados de la aplicación de diferentes técnicas de biodesinfección de suelos y, por último, se determina su viabilidad en los sistemas de producción, contando con la participación de agricultores de Almería, la isla de Tenerife y Valencia.

Entre los nematodos fitoparásitos destacan los formadores de nódulos del género *Meloidogyne*, representados fundamentalmente por *M. arenaria*, *M. incognita* y *M. javanica* que están localizados en áreas termófilas o cultivos bajo invernadero. Sin embargo, en España, en los ambientes templados, predomina *M. hapla*. Las especies del género *Meloidogyne* causan en las raíces nódulos que son muy característicos y, desde el punto de vista del manejo, debe tenerse en cuenta, además, que son polífagos, por lo cual la rotación de cultivos no resulta siempre eficaz. La producción de deformaciones en las raíces y en los tubérculos hace que se pueda determinar con gran facilidad la presencia de estos nematodos en el cultivo (Fig. 3). En las zonas altas del norte de Tenerife se ha encontrado *M. fallax* que, conjuntamente con *M. chitwoodi*, son especies de ambientes fríos del norte de Europa, que si se llegan a desarrollar en los cultivos hortícolas, pueden ser un problema grave.

Los nematodos formadores de quistes del género *Globodera* están representados por *G. pallida* y *G. rostochiensis*, parásitos específicos de la papa, aunque también pueden parasitar tomate. Las papas de los cvs "Cara" y "Red Cara" presentan resistencia a *G. rostochiensis* pero no a *G. pallida*, por lo que después de varios años de su cultivo en la misma parcela se llega a seleccionar preferentemente *G. pallida* (Fig. 4) Por tratarse de nematodos específicos, lo más eficaz para su manejo es la rotación de cultivos, aunque se debe señalar que, por otro lado, estos nematodos han sido introducidos mediante los tubérculos utilizados como semillas. No conviene olvidar que los cultivos de papas se han mantenido en los últimos años en Canarias, fundamentalmente, por el diseño de sustratos de origen natural, los "jables" en el sur de Tenerife y las "sorribas" que se encuentran por todas las islas. Dentro de los "jables" se debe destacar una técnica de manejo, como es "el minado", que consiste en aplicar a los sustratos de "jable" un riego intenso hasta su saturación, siendo sólo eficaz mediante la aplicación conjunta de materia orgánica que actúa como biodesinfectante (Bello *et al.* 2008b)

Otras especies de nematodos, están representadas por patógenos de las partes aéreas y de los bulbos del género *Ditylenchus*, entre ellas se ha citado *D. dipsaci*, aunque también hay que tener en cuenta los géneros *Aphlenchoides* y *Anguina*. Se deben señalar también las especies endoparásitas del género *Pratylenchus* que causan problemas de necrosis en las raíces. Se han encontrado también diferentes especies y géneros de nematodos ectoparásitos como *Criconemoides mutabile*, *Helicotylenchus digonicus*, *H. dihystera*, *H. erythrinae*, *Quinisulcius acti* y *Rotylenchus hopperi*, que aunque son polífagos, no se conoce que causen problemas en los cultivos hortícolas.

Se debe destacar que, entre los nematodos asociados a los cultivos hortícolas, no se han citado en España *Ditylenchus destructor* y *M. chitwoodi*, estando *M. fallax* muy localizado en las zonas altas del norte de la isla de Tenerife. Están también las especies de

nematodos transmisores de virus de los géneros *Paratrichodorus* y *Trichodorus*, habiéndose citado en Canarias *Paratrichodorus minor* y *P. teres* (López-Pérez *et al.* 2001), así como especies de ambientes tropicales como *Nacobus*, *Radopholus* y *Rotylenchulus*.

La biodesinfección de suelos se basa en la utilización de los gases de la descomposición de la materia orgánica, para regular la presencia en suelo de las poblaciones de organismos patógenos de los vegetales, sin que se produzca ningún impacto negativo sobre la biodiversidad edáfica. La biodesinfección está fundamentada en la actividad biológica del suelo, por ello no suele ser eficaz cuando esta se aplica por primera vez en aquellos suelos de agricultura convencional donde se vienen utilizando fumigantes químicos de modo continuado, aunque mejora su eficacia con el tiempo y su aplicación reiterada. Hay que tener en cuenta que los biodesinfectantes pueden ser de naturaleza diversa, tanto sólidos como líquidos, pero que al descomponerse dan lugar a gases, principalmente amonio, que actúan como biodesinfectantes del suelo. En todo caso la biodesinfección de suelos debe formar parte de un sistema de manejo de producción (CPM) pudiéndose combinar con otras alternativas, principalmente rotaciones de cultivos o variedades resistentes, para manejar su eficacia en el tiempo. Se presentan a continuación algunos resultados de las investigaciones de nuestro equipo de trabajo.

Los primeros ensayos sobre biodesinfección se iniciaron en El Perelló (Valencia) mediante la utilización de materia orgánica, principalmente estiércol de origen animal, en cultivos de hortalizas (Cuadro 3) presentando una eficacia similar a los fumigantes químicos del suelo como el BM, especialmente en el manejo de nematodos formadores de nódulos del género *Meloidogyne*. Estos resultados aparecen recogidos en los trabajos de Bello *et al.* (2003) Teniendo en cuenta estos resultados, varios agricultores han aceptado la biodesinfección de suelos mediante el uso de estiércol ovino a las dosis de 4 a 5 kg/m² como una alternativa a los fumigantes tradicionales. Recientemente se ha diseñado un proyecto de IP, donde se han utilizado dosis de 2 l/m² de restos de la industria de los cítricos y vinazas de remolacha cubiertas y sin cubrir con plástico. La aplicación de vinaza inyectada al suelo, con riego a manta y localizada, ha dado como resultado, en una primera fase, una eficacia muy alta en el manejo de nematodos, con un índice medio de nodulación de 2,2, mientras que los residuos de cítricos y el testigo presentaban índices de 5,1 y 5,3 respectivamente. En relación con la producción se alcanzaron 4,5 kg/m², en el tratamiento con vinaza de remolacha inyectada, observándose una producción similar con la aplicación de los residuos de cítricos sin plástico. Si bien la media de la Cooperativa es de 7 kg/m² (Cuadro 4) se debe tener en cuenta que el experimento corresponde a un ciclo de cultivo tardío que tiene menor duración, donde la producción suele ser mucho más baja.

Ante la necesidad de la eliminación del BM, por ser un potente destructor de la capa de ozono estratosférico, el antiguo Ministerio de Medio Ambiente desarrolló un proyecto de alternativas, seleccionando la biodesinfección principalmente en cultivos de pimiento en El Campo de Cartagena (Murcia) puesto que fue una de las zonas donde se han permitido en nuestro país los usos críticos de BM. En esta zona se viene trabajando desde hace más de siete años mediante la utilización de mezclas de estiércol fresco de oveja y gallinaza, combinado con plantas resistentes para el control de *Meloidogyne incognita*, encontrando que resulta eficaz no sólo para nematodos sino también para hongos y plantas arvenses (Cuadros 5 & 6) De forma progresiva pueden ir reduciéndose las dosis de materia orgánica, tras la reiteración de su uso durante el verano, llegándose a una dosis de 2 kg/m² de estiércol ovino fresco combinado con 0,5 kg/m² de gallinaza a partir del 5º año.

En la finca experimental del Centro Agrario de Marchamalo (Guadalajara) de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, se viene investigando sobre el efecto de las vinazas de remolacha a la dosis de 1,5 kg/m², utilizando cubiertas de plástico, resultando eficaz en el control de *M. incognita* (Cuadro 7; Figs 5 & 6) en un suelo desarrollado sobre

sedimentos limo-arcillosos de aporte fluvial, estando la naturaleza de estos sedimentos marcada por los materiales por los que atraviesa el río Henares, en su mayor parte, poco consolidados, es decir, margosos, arcillosos y arenosos (Jimeno *et al.* 1987) En consecuencia, es un suelo profundo, de textura media a fuerte (franco arcillosa) con alta capacidad de retención de agua y sin pedregosidad superficial, de pH moderadamente básico, bien provisto en materia orgánica y nutrientes. Su capacidad de cambio es buena y la saturación del complejo coloidal es muy alta, con presencia de carbonato cálcico a partir de los 45 cm de profundidad.

Ante la importancia que tienen los nematodos en la agricultura, se debe señalar la presencia en el experimento, además de los fitoparásitos, los grupos de saprófagos y depredadores que tienen un gran interés en la descomposición de la materia orgánica y en el incremento de la capacidad de autorregulación del suelo, así como otros grupos de nematodos de vida libre, entre los que destacan los Doriláimidos, que tienen un gran valor como bioindicadores. En el grupo de los depredadores del orden Mononchida predomina la especie *Mylonchulus sigmaturus*, y entre los del orden Dorylaimida *Aporcelaimellus obtusicaudatus* y *Ecumenicus monohystera*, apareciendo además en las parcelas testigo *Mesodorylaimus litoralis* y *Nygolaimus* sp. La abundancia de estos nematodos es por lo general baja, y pueden pertenecer a restos de la nematofauna asociada a la vegetación original de la zona. Estos nematodos por ser muy sensibles a las técnicas de cultivo, podrían ser de gran utilidad como bioindicadores. Los nematodos saprófagos pertenecen al orden Rhabditida y a la familia Mesorhabditidae que son responsables de la descomposición de la materia orgánica, aunque el número de individuos no es alto, lo que hace pensar que se deberían incorporar mayores niveles de materia orgánica al suelo para incrementar la eficacia en la biodesinfección. También se ha encontrado en estudios anteriores entre los Mesorhabditidae como especie predominante *Cruzinema tripartitum*. Estos resultados sobre nematodos libres y saprófagos nos permiten destacar la importancia de los métodos de agricultura ecológica desde el punto de vista de la funcionalidad del suelo, ya que estas especies son poco abundantes o no aparecen en los suelos donde se aplican fumigantes químicos (Bello *et al.* 2008b)

La Universidad de Burgos está llevando a cabo trabajos experimentales en el manejo a nivel de laboratorio de poblaciones del nematodo formador de quistes de la papa, *Globodera rostochiensis*, mediante la utilización de purines de cerdo, así como con abonos verdes de *Raphanus sativus*, parte del experimento se mantuvo sin cubrir y el otro se cubrió con plástico para retener los gases, los resultados son altamente prometedores, especialmente cuando se cubre el experimento con plástico (Cuadro 8, Fig. 7)

González-López (2007) estudia el efecto de diferentes concentraciones de vinazas, procedentes de subproductos de la industria vitivinícola de la obtención de alcohol vínico, en suelos cultivados, tratando de buscar una mayor viabilidad agronómica, y optimizar las técnicas de aplicación. Para ello se plantearon los siguientes objetivos: 1º estudiar su influencia sobre las poblaciones de nematodos del suelo, en particular en el control de *Xiphinema index*, transmisor del virus causante del "entrenado corto infeccioso de la vid" (*fanleaf*), que es una de las causas principales de que la desinfección de los suelos para la replantación del viñedo sea obligatoria para los países de la UE, y estudiar también su efecto sobre los nematodos formadores de nódulos del género *Meloidogyne*, principalmente las especies *M. arenaria* y *M. incognita* que además de ser parásitos de la vid son uno de los principales problemas causantes de pérdidas en cultivos hortícolas; 2º determinar su efecto sobre la fertilidad del suelo tanto en viñedo como en cultivos hortícolas y conocer posibles efectos fitotóxicos y ambientales de las concentraciones seleccionadas y 3º determinar las dosis óptimas, así como la época, métodos, y la maquinaria adecuada para su aplicación, teniendo en cuenta los fundamentos científico-técnicos de la Fitotecnia en la utilización de subproductos agroindustriales. Se observó que el control *in vitro* del nematodo

X. index es eficaz con vinazas de industria vitivinícola a la concentración del 5%, siendo también eficaz para el control de las poblaciones de *Meloidogyne* un nematodo patógeno de los cultivos hortícolas. Se encuentra que los nematodos saprófagos del grupo de los rabdítidos, y los enquitréidos pertenecientes al grupo de los oligoquetos, que son fundamentales en la dinámica de la materia orgánica, se incrementan al realizar una biodesinfección con vinazas procedentes de la industria vitivinícola, especialmente cuando se aplican los subproductos sólidos. Se concluye que la biodesinfección debe aplicarse a todo el terreno para evitar la aparición de rodales con poblaciones de nematodos fitoparásitos. El empleo de la biodesinfección podría reducir los costes de la desinfección de suelos en la replantación del viñedo, actuando además como mejorador de las características de los suelos al incrementar su fertilidad, biodiversidad y mejorar sus propiedades físicas, al mismo tiempo que contribuye a la búsqueda de soluciones a las grandes cantidades de residuos generados por las industrias vitivinícolas.

Santos *et al.* (2008) estudian el efecto biocida de tres subproductos agroindustriales procedentes de la obtención de alcohol: las vinazas de caña de azúcar, remolacha, y de vino. En los trabajos analizan su comportamiento *in vitro* a distintas diluciones: 1, 3, 5, 7, 10 y 15%; frente a seis hongos fitopatógenos: *Fusarium oxysporum* f.sp. *melonis* raza 0 y 1, *F. oxysporum* f.sp. *radicis-cucumerinum*, *Phytophthora parasitica*, *Pythium aphanidermatum*, y *Sclerotinia sclerotiorum*. Posteriormente estudian la capacidad antagonista de las diluciones ensayadas *in vitro* sobre un suelo de cultivo de judía en condiciones de laboratorio para analizar el comportamiento de dichos subproductos sobre las poblaciones fusáricas. En los ensayos *in vitro* se comprobó que la vinaza de vino presenta una capacidad de supresión del crecimiento fúngico del 100% a diluciones entre el 5 y 7% para *F. oxysporum* f.sp. *melonis* raza 0 y 1, *P. aphanidermatum*, *P. parasitica* y *S. sclerotiorum* y entre el 10 y el 15% para *F. oxysporum* f.sp. *radicis-cucumerinum*. La vinaza de remolacha también presenta un efecto supresor del crecimiento fúngico aproximadamente del 100% para algunos de los hongos fitopatógenos ensayados, *P. aphanidermatum* a la dilución del 7% y *F. oxysporum* f.sp. *radicis-cucumerinum* cuando se expone a las concentraciones del 15%, no mostrando una inhibición del 100% en el control del de *F. oxysporum* f.sp. *melonis* razas 0 y 1 a ninguna dilución. A pesar de que la inhibición máxima se produce a altas diluciones, existen diferencias estadísticamente significativas a concentraciones menores con respecto al testigo, como ocurre con la del 1% para el caso de *F. oxysporum* f.sp. *radicis-cucumerinum*, en la del 3% para *P. aphanidermatum* y *P. parasitica* y en la del 7% para *S. sclerotiorum*. Por el contrario, con la vinaza de caña de azúcar no se consigue inhibir el desarrollo micelial para ninguno de los hongos ensayados, no teniendo ningún efecto sobre *P. aphanidermatum*, que presenta un crecimiento máximo en todas las diluciones ensayadas. En este estudio la vinaza de vino es sin lugar a dudas el producto que mejores resultados obtuvo en cuanto a la inhibición cercana al 100% para todos los hongos ensayados. Por el contrario, cuando se aplican los tres extractos de vinaza a muestras de un suelo cultivado de judía sin presencia de patogénesis alguna, se produce un incremento de las poblaciones fusáricas, considerándose que pueden actuar como mejoradores de suelo al favorecer su biodiversidad. Diáñez *et al.* (2007) obtienen resultados similares a los de la vinaza de vino cuando utilizando compost de orujo de vid, observan supresividad frente a nueve hongos fitopatógenos utilizando los "tes" aireados de dicho compost en estudios *in vitro*. En este caso obtiene una elevada inhibición del crecimiento micelial, siempre superior al 80% y a todas las concentraciones utilizadas.

El Cabildo de Tenerife está trabajando en biodesinfección de suelos en el cultivo de la papa en el norte de Tenerife obteniendo resultados eficaces con estiércol de vaca y abonos verdes en el control de *Rhizoctonia solani*, que están repercutiendo en el rendimiento de la cosecha (Tascón *et al.* 2007) La biodesinfección con estiércol es el único tratamiento que alcanzan la temperatura de 47 °C durante una hora, que es la temperatura crítica y el

tiempo de exposición requerido para matar el 90% de los propágulos de *R. solani*. Existen diferencias significativas en la producción entre el testigo y los tratamientos de solarización, biodesinfección con coliflor y con estiércol. Para la valoración de esclerocios de *R. solani* en tubérculos se obtiene la mayor eficacia en el tratamiento de biodesinfección con coliflor (63,7%) seguido del de solarización (19,6%) y por el de biodesinfección con estiércol (9,6%) por lo que se concluye que el efecto no se debe sólo a la temperatura requerida para matar el 90 % de los propágulos de *R. solana*, sino que pueden actuar otros factores. La mayor diferencia entre ingresos y gastos teniendo en cuenta únicamente la realización de la desinfección se obtiene con el tratamiento de solarización (2.188 €/1.000 m²) seguido del de biodesinfección con coliflor (2.020 €/1.000 m²) después el de biodesinfección con estiércol (1.834 €/1.000 m²) y por último por el testigo (1.430 €/1.000 m²)

Se ha estudiado el efecto biodesinfectante de la aplicación de materia orgánica combinada con solarización en suelos enarenados representativos de Almería (Figs 9 & 10) donde se han venido utilizando principalmente métodos químicos de desinfección de suelos (Torres *et al.* 2007). El objetivo general del trabajo fue el manejo de nematodos formadores de nódulos del género *Meloidogyne* mediante alternativas no químicas. Para ello, como objetivos específicos se pretenden recuperar y mejorar las técnicas tradicionales de aplicación de la materia orgánica en los enarenados de Almería, que podemos considerar están fundamentadas en las bases científicas que regulan los procesos de biodesinfección de suelos. Estos sistemas están además combinados con solarización (biodesinfección). Para ello, las investigaciones se centran en la evaluación del efecto biodesinfectante de la materia orgánica aplicada de forma tradicional en el manejo de los organismos de origen edáfico patógenos de los vegetales. Además, también se evalúa el efecto de la utilización de restos del cultivo de tomate, contribuyendo con ello al cierre de los ciclos de nutrientes en el sistema de cultivo. Se propone la biodesinfección combinada con otras alternativas de manejo, entre ellas el empleo de variedades resistentes, para lo que previamente se ha estudiado su comportamiento en relación con distintos biotipos de nematodos del género *Meloidogyne* para aumentar su eficacia, así como con otras prácticas culturales.

La eficacia de la biodesinfección depende fundamentalmente del método de aplicación, y no de factores aislados tales como dosis, composición o distribución de la materia orgánica en el suelo, estando los costes determinados por el método empleado, que debe tratar de reducir dosis y gastos de transporte, mediante el empleo de subproductos de origen local. Se resalta el interés del enarenado tradicional en el control de nematodos, observando que también modifica la distribución en profundidad del sistema radicular de los cultivos, lo que es un factor limitante al requerir el diseño de un sistema de manejo agronómico adaptado a cada una de las circunstancias. Con frecuencia, la presencia en los enarenados de Almería de complejos de especies o biotipos de nematodos del género *Meloidogyne*, hace que para su control sea necesario el diseño de un sistema de manejo basado en criterios agroecológicos, que tenga en cuenta la experiencia de los agricultores y las técnicas tradicionales de cultivo.

Discusión

Para la gestión de los sistemas agrarios con criterios agroecológicos, es necesario planteamientos ecológicos que nos permitan conocer el funcionamiento de los sistemas, tomando como referencia los conceptos de estructura y función, no con el fin de describir todos los elementos y procesos que constituyen el sistema, sino para definir aquellos elementos y procesos claves que rigen su funcionamiento. En una primera fase se puede definir el subsistema aéreo, que se caracteriza porque es un fenosistema, que se puede observar directamente y es simple, por lo tanto fácil de gestionar, encontrando la máxima dificultad en el hecho de que al ser un sistema abierto depende de la actividad de los

agricultores colindantes, por lo que es difícil de manejar especialmente en el caso de plagas y enfermedades, siendo este el principal factor limitante; el segundo elemento es el subsistema edáfico, que a diferencia del aéreo es un criptosistema difícil de observar, pero por el contrario se trata de un sistema con una gran diversidad, considerándose por ello como un sistema complejo y cerrado, dependiendo su funcionamiento de la capacidad de gestión de cada agricultor (Fig. 1) Estos criterios agroecológicos han servido de base para diseñar los sistemas tradicionales que han mantenido su viabilidad, a pesar del gran número de factores limitantes. Entre estos sistemas tradicionales destacan los "jables" de la comarca de Chasna (sur de Tenerife) que si hubiese habido una adecuada regulación sanitaria no tendrían porque haberse producido problemas de enfermedades y plagas del suelo, puesto que se trata de sustratos de origen natural; lo mismo ocurre con las "sorribas" donde, además las paredes de basalto y con la orientación a la salida del sol, hacen que los bordes estén sometidos a los fenómenos de solarización, permitiendo cultivos hortícolas muy sensibles a las enfermedades del suelo como batatas, cucurbitáceas, coles y pimiento (Figs 4 & 8)

Llama la atención la aparición de problemas producidos por nematodos formadores de nódulos, *Meloidogyne arenaria*, *M. incognita* y *M. javanica* en las áreas termófilas, especialmente en cultivos hortícolas. Se propone como medida de manejo optimizar las técnicas de biodesinfección de suelos, no sólo desde el punto de vista del manejo de patógenos, sino también para incrementar la fertilidad tanto química, física como biológica de los suelos, basándose para ello en el empleo del estiércol, abonos verdes, especialmente de brasicas, residuos agroindustriales y ganaderos, cerrando además ciclos de materia, con el fin de incrementar la capacidad de autorregulación del cultivo.

Se debe profundizar en el conocimiento de los procesos que regulan la biodesinfección de suelos, mediante la utilización de recursos locales como biodesinfectantes, que pueden ser de naturaleza diversa, tanto sólidos como líquidos, los cuales, a través de un proceso de descomposición dan lugar a gases con alto contenido amoniacal que actúan como biodesinfectantes. Las técnicas de biodesinfección deben formar parte de un programa armónico de gestión de cultivos, donde se logre la capacidad de autorregulación del cultivo, para dar lugar a sistemas supresivos, donde las plagas y enfermedades no sean frecuentes (Bello *et al.* 2003, 2008a)

Las variedades de cultivo deben seleccionarse teniendo en cuenta no sólo su calidad nutritiva, sino también su resistencia o tolerancia a los organismos patógenos y parásitos, su eficacia como plantas trampa, antagonistas o cubiertas vegetales para regular la temperatura del suelo que influye sobre la duración del ciclo de los patógenos y su contribución a la protección del suelo frente a fenómenos de erosión. Por otro lado, a través de los policultivos y cultivos asociados, complementados con setos para la creación de barreras, donde tienen una función importante las especies frutales, se contribuye a la diversificación del paisaje agrario, impidiendo, especialmente, la propagación de plagas y enfermedades.

La utilización de criterios basados en la biodiversidad funcional nos permite mantener la capacidad de autorregulación del agrosistema, al fomentar el aumento de micorrizas, rizobacterias o microorganismos endófitos, que tienen una función importante en el incremento de la fertilidad de los suelos, lo que repercute en la nutrición de las plantas, al mismo tiempo que pueden actuar como agentes de control biológico inducidos de modo natural. En este enfoque agroecológico se deben analizar también los aspectos funcionales de las prácticas culturales, época de plantación, labores, enmiendas orgánicas y aportes de compost, así como el manejo del agua. Un interés relevante dentro de la agroecología la adquieren los agrosistemas singulares, en este sentido se analizan los aspectos funcionales de los sustratos de origen natural que, en el caso de Canarias, están representados por

los "jables" del sur de Tenerife, los "enarenados" de Lanzarote y las "sorribas" por todas las islas, así como los sistemas enarenados de Almería, donde cada elemento del cultivo tiene una función destacable en la sustentabilidad del sistema (Figs 3, 8, 9 & 10) Es indispensable establecer programas de IP, que permitan armonizar el conocimiento científico con la experiencia de técnicos, agricultores y ganaderos, para que, con criterios agroecológicos, podamos diseñar sistemas de rotación apropiados a cada circunstancia, que tengan en cuenta no sólo los aspectos productivos, sino criterios de biodiversidad funcional, sin olvidar su función de complementariedad con la ganadería para lograr una mayor rentabilidad económica del sistema productivo y la reutilización de los subproductos agrarios, cerrando ciclos de materia y energía.

Las dificultades observadas en el desarrollo de un programa de IP han consistido, en primer lugar, en la organización y selección de los investigadores científicos, ya que la situación actual de la ciencia en nuestro país, donde la mayoría están interesados por el nivel de sus publicaciones dentro de la ciencia internacional, es difícil convencerles del interés que tienen sus experiencias para cambiar el modelo de gestión de los sistemas agrarios, puesto que la mayor parte de las veces no tienen relación aparente con sus investigaciones; por el contrario la constitución del grupo de técnicos no presentó mayor dificultad, para ellos suponía una oportunidad para poder diseñar nuevas metodologías de gestión y adquirir información sobre sus áreas de trabajo, aunque la mayor dificultad se encuentra en poder compaginar el desarrollo del proyecto a nivel experimental con sus funciones técnicas de transferencia de tecnología, pero sobre todo las administrativas. Por ello, los Servicios de Extensión Agraria y las organizaciones agrarias deberían destinar al menos un equipo de técnicos para experimentación en campo; por último los agricultores y ganaderos son la clave para la viabilidad del proyecto, puesto que cuando se establece el ambiente de trabajo adecuado aportan información sobre la gestión de los agrosistemas, no sólo a nivel espacial de comarca o región, sino por su proyección en el tiempo, ya que son depositarios del conocimiento de generaciones de productores, debiendo tenerse en cuenta que el tiempo para un agricultor o ganadero es un factor escaso y debe ser utilizado de modo eficiente.

Conclusiones

- Para la gestión de los sistemas agrarios con criterios agroecológicos, es necesario planteamientos que nos permitan conocer el funcionamiento de los sistemas, tomando como referencia los conceptos de estructura y función, con el fin de seleccionar los elementos y procesos claves que rigen el funcionamiento del cultivo. Estos criterios agroecológicos han servido de base en el diseño de los sistemas tradicionales que han mantenido su viabilidad, a pesar del gran número de factores limitantes.
- Se debe profundizar en el conocimiento de los procesos que regulan la biodesinfección de suelos, mediante la utilización de recursos locales, que pueden ser de naturaleza diversa, tanto sólidos como líquidos, los cuales a través de un proceso dinámico de descomposición dan lugar a gases con alto contenido amoniacal que actúan como biodesinfectantes. Las técnicas de biodesinfección deben formar parte de un programa armónico de gestión de cultivos, donde se logre su capacidad de autorregulación, para dar lugar a sistemas supresivos, donde las plagas y enfermedades no son frecuentes.
- Es indispensable establecer programas de IP, que permitan armonizar el conocimiento científico con la experiencia de técnicos, agricultores y ganaderos, para que con criterios agroecológicos, podamos diseñar sistemas de rotación

apropiados a cada circunstancia, los cuales deben tener en cuenta no sólo los aspectos productivos, sino criterios de biodiversidad funcional, sin olvidar la función de complementariedad de la ganadería, para lograr una mayor rentabilidad económica del sistema productivo y la reutilización de los subproductos de la agricultura, cerrando ciclos de materia y energía, y desarrollando técnicas para la gestión y aplicación de la materia orgánica.

- Las dificultades observadas en el desarrollo de un programa de IP han sido, en primer lugar, la selección y organización del equipo de científicos participantes, puesto que en la situación actual de la ciencia en nuestro país, donde la mayoría están interesados por el nivel de sus publicaciones dentro de la ciencia internacional, es difícil convencerles del interés que tiene su experiencia para poder cambiar el modelo de gestión en los sistemas agrarios; por el contrario, la constitución del grupo de técnicos no presentó mayor dificultad, puesto que para ellos suponía una oportunidad para poder diseñar nuevas metodologías de gestión, aunque la mayor dificultad se encuentra en poder compaginar el desarrollo del proyecto con sus funciones administrativas. Por ello, los Servicios de Extensión Agraria y las Cooperativas deberían destinar al menos un grupo de técnicos a experimentación de campo separado de responsabilidades administrativas. En cuanto a los agricultores y ganaderos, es evidente que cuando se establece el ambiente de trabajo adecuado no se presenta ningún problema; debiendo resaltarse que ellos son la clave para la viabilidad del proyecto, puesto que aportan información sobre la gestión de los agrosistemas, no sólo a nivel espacial de comarca o región, sino en una proyección en el tiempo al ser depositarios del conocimiento de generaciones de productores, aunque no hay que olvidar que, para los agricultores y ganaderos, el tiempo es un factor escaso y debe de ser utilizado de modo eficaz.

Agradecimientos

Queremos reconocer la colaboración de Desiré Afonso y Cristo Medina pertenecientes al Centro de Conservación de la Biodiversidad Agrícola, Cabildo Insular de Tenerife, pero especialmente a los agricultores canarios entrevistados en el trabajo: Modesto Bernardo, Manuel Díaz, Gregorio Gil, Antonio González, Eusebio Hernández, Sandra Kober, Pedro Naranjo, Daniel Romero y Onésimo Santos, también queremos expresar nuestros agradecimientos al personal del Laboratorio de Canarias Explosivos, S.A. por los análisis realizados; a la Cooperativa Unión Protectora de El Perelló (Valencia), y especialmente a la agricultora Concepción Puchares Miñana, por su colaboración en el desarrollo de la experimentación de campo; al Dr Francisco Camacho del Dpto de Producción Vegetal de la Univ. de Almería, así como a la SAT "Costa de Níjar", y a los agricultores Jesús Ochoa de Santo Domingo de la Calzada, perteneciente a la UAGR de La Rioja y a Jesús Sanchis de Liria (Valencia) perteneciente a la ULLYR por su colaboración. Especialmente queremos destacar la contribución de los Drs Alfonso Navas, Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid, Rodrigo Rodríguez-Kábana, Univ. de Auburn, Alabama, USA y Pedro Urbano, Dpto Producción Vegetal: Fitotecnia, Univ. Politécnica de Madrid, por que con sus ideas y apoyo moral han contribuido a que este trabajo llegue a ser una realidad.

References

- Altieri M.A. 1997. Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. CLADES, La Habana, Cuba, 249 pp.
- Barres MT, Bello A, Jordá C, Tello JC. 2007. La eliminación del bromuro de metilo en la

protección de cultivos como modelo mundial para la conservación del medio ambiente. MAPA, Madrid, 515 pp.

- Bello A. 1998. Biofumigation and integrated pest management. In: A Bello, JA González, M Arias, R Rodríguez-Kábana(Eds) Alternatives to methyl bromide for the Southern European Countries. Valencia, Spain. Phytoma-España, DG XI EU, CSIC, 99–126.
- Bello A, Díez-Rojo MA, López-Pérez JA, González López MR, Robertson L, Torres JM, De Cara M, Tello J, Zanón MJ, Font I, Jordá C, Guerrero MM, Ros C, Lacasa A. 2008a. The use of biofumigation in Spain. In: R Labrada (Edt) Workshop on non-chemical alternatives to replace methyl bromide as a soil fumigant. FAO, Rome, 79-86.
- Bello A, López-Pérez JA, Díez-Rojo MA, Díaz-Jiménez E, González-López MR, Benítez MS, Delgado JR, López-Cepero J, Robertson L, Escuer M, Guerrero MM, Ros C, López-Robles J, Perera S, C. Arcos S, Abolafia J, Jiménez-Guirado D, García-Dorado V, Serrano-Comino F, Torres JM, de Cara M, Bonora V, Herrero J, Martínez-Martínez C, Carreño JM, López-Borrego MM, García-Álvarez A, Navas A, Rodríguez-Kábana R. 2008b. Investigación y transferencia en el cultivo de papa ecológica. La importancia del conocimiento campesino. Seminario Internacional de la papa: “un cultivo y una cultura con valores agroecológicos”. Candelaria, Tenerife 24-25 Noviembre, 2008, 30 pp.
- Bello A, López-Pérez JA, Díez-Rojo MA, López-Cepero J, García-Álvarez A. 2008c. Principios ecológicos en la gestión de los agrosistemas. Arbor, Ciencia, Pensamiento y Cultura 729, 19-29.
- Bello A, López-Pérez JA, García Álvarez A. 2003. Biofumigación en agricultura extensiva de regadío. Producción integrada de hortalizas. CSIC-Caja Rural de Alicante, Mundi-Prensa, Madrid, 670 pp.
- Bello A, Porter I, Díez-Rojo MA, Rodríguez Kábana R. 2008d. Soil biodesinfection for the management of soil-borne pathogens and weeds. Third International Biofumigation Symposium, 21-25 July 2008, Canberra, Australia, 35 p.
- Bello A, Ríos D, Díez-Rojo MA, López-Pérez JA, Robertson L. 2008e. Perspectivas agroecológicas sobre la papa. In: J López Linage (Ed.) La patata en España. Historia y agroecología del tubérculo andino. MMARM, Madrid, 195-243.
- Biggs S, Matsuert H. 2004. Social science tools for use in promoting poverty reduction in natural resources innovation systems. In: AJ Hall, B Yoganand, RV Sulaiman, RS Raina, C Shambu Prasad, GC Naik, NG Clark (Eds) Innovations in innovation: reflections on partnership, institutions and learning. Crop Post-Harvest Programme (CPHP), South Asia International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT) and National Centre for Agricultural Economics & Policy Research (NCAP), India, 177-206.
- Blok WJ, Lamers JG, Termorshuizen AJ, Bolen GT. 2000. Control of soilborne plant pathogens by incorporating fresh organic amendments followed by tarping. Phytopathology 90, 253-259.
- Borruey Aznar AR, Mula Acosta J. 2008. Ensayo de técnicas no agresivas con el medio ambiente para el control de la sarna común de la patata (*Streptomyces scabies*) en la zona de Campo Bello (Teruel) dentro del entorno de la reserva natural de la laguna de Gallocanta. III Congreso Iberoamericano de Investigación y Desarrollo en Patata, 5-10 octubre, Vitoria, España, 93-99.
- Bridge J, Page SLJ. 1980. Estimation of root-knot nematode infestation levels using a rating chart. Tropical Pest Management 26, 296-298.
- Diáñez F, Santos M, Tello JC. 2008. Suppressive effects of grape marc compost on phytopathogenic oomycetes. Arch. Phytopathol. Plant Prot. 40, 1-19.
- Díaz-Jiménez E. 2007. El cultivo de la papa “Colorada de Baga” en el Rosario: comparación de tres sistemas de producción. Trabajo Fin de Carrera, Ingeniería Técnica Agrícola, Centro Superior de Ciencias Agrarias, Univ. de La Laguna, 203 pp.
- Díez-Rojo MA. 2006. Fundamentos fitotécnicos para la aplicación de subproductos agrarios en la mejora de suelos cultivados. Trabajo Fin de Carrera, Univ. Politécnica de Madrid, 251 pp.

- Engel P. 1997. The social organization of innovation: a focus on stakeholder interaction. Royal Tropical Institute, The Netherlands.
- García Álvarez A, Gutiérrez C, Escuer M, Bello A. 2005. Management of nematodes and landscape diversity in potato crops in La Rioja (Spain) *Russian Journal of Nematology* 13, 1-12.
- González-López MR. 2007. Valorización de subproductos de la industria vitivinícola como mejoradores del suelo. Trabajo Fin de Carrera, Universidad. Politécnica de Madrid, 212 pp.
- Greco N, di Vito M, Brandonisio A, Giordano I, de Marinis G. 1982. The effect of *Globodera pallida* and *G. rostochiensis* on potato yield. *Nematologica* 28, 379-386.
- Guerrero MM, Ros C, Díez-Rojo MA, López-Pérez JA, Martínez MA, Lacasa CM, Bello A, Lacasa A. 2008. Biosolarisation as an alternative to methyl bromide in protected pepper crops in Spain. Third International Biofumigation Symposium. Canberra, Australia 21 – 25 July, 2008, 67 p.
- Guzmán-Casado G, González de Molina M, Sevilla Guzmán E (Eds) 1999. Introducción a la agroecología como desarrollo rural sostenible. Editorial Mundi-Prensa, Madrid, 535 pp.
- Hartman K.M, Sasser J.N. 1985. Identification of *Meloidogyne* species on the basis of differential host test and perineal-pattern morphology. In: K.R Barker, C.C Carter, J.N Sasser (Eds) An advanced treatise on *Meloidogyne*, Vol.II. Methodology. North Carolina State University Graphics, Raleigh, 69-77.
- Hernández M, Ruíz de Galarreta JL, Ritter E. 2008. Detección de genes candidato de resistencia a *Phytophthora infestans*, mediante técnicas de expresión diferencial: cDNA-AFLP y microarrays. III Congreso Iberoamericano de Investigación y Desarrollo en Patata, 5-10 octubre, Vitoria, España, 115-119.
- Jimeno L, González R, Rodríguez J, Badorrey T, Serrano F, De La Horra JL, Sanz R, Carlevaris JJ, Labrandero JL. 1987. La fertilidad de los suelos de mayor interés agrícola de la provincia de Guadalajara. Inst. Edafología y Biología Vegetal y Consejería de Agricultura de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. Madrid, 294 pp.
- Katan J, de Vay J E. (Eds) 1991. Solarization. CRC Press Boca Ratón Ann Arbor, Boston, London, 267 pp.
- Kaya H, Gaugler R. 1993. Entomopathogenic nematodes. *Annual Review of Entomology* 38, 181-206.
- Kirkegaard JA, Sarwar M. 1998. Biofumigation potential of brassicas: I. variation in glucosinolate profiles of diverse field-grown brassicas. *Plant and Soil* 201, 71-89.
- Lazarovits G, Conn KL, Abbasi PA, Tenuta M. 2005. Understanding the mode of action of organic soil amendments provides the way for improved management of soilborne plant pathogens. *Acta Horticulturae* 689, 215-224.
- López-Cepero J. 1992. Las técnicas de cultivo en el control de los nematodos formadores de quistes de la papa (*Globodera* spp.) Trabajo Fin de Carrera. Ingeniería Técnica Agrícola, Centro Superior de Ciencias Agrarias, Univ. de La Laguna, 173 pp.
- López-Gálvez J, Naredo JM. 1996. Sistemas de producción e incidencia ambiental del cultivo en suelo enarenado y en sustratos. Fundación Argentaria y Visor Dis., Madrid, 294 pp.
- López-Pérez JA, Arias M, Bello A. 2001. Trichodoridae (Nematodo: Triplonchida) in Spain. *Nematology* 3, 403-409.
- MBTOC, 2007. 2006 Report of the methyl bromide technical options committee. UNEP, Nairobi, 453 pp.
- MBTOC, 2008. Evaluations of 2008 Critical Use nominations for methyl bromide and related matters. Report of the technology and economic assessment panel. Final Report. UNEP, Nairobi, 111 pp.
- Monserrat P. 1961. Las bases de la práticamente moderna. Caja de Pensiones de Cataluña. *Boletín Agropecuario*, 99-124.
- Ortiz O, Orrego R, Pradel W, Gildemacher P, Castillo R, Otiniano R, Gabriel J, Vallejos J, Torrez O, Woldegiorgis G, Damene B, Kakuhenzire R, Kashaija I, Kahiu I. 2008. La

investigación participativa y los sistemas de innovación de la papa: retos y perspectivas. III Congreso Iberoamericano de Investigación y Desarrollo en Patata, 5-10 octubre, Vitoria, España, Supl., 13-16.

- Perdomo Molina AC. 2002. Algunas reflexiones sobre la entrevista como herramienta de investigación en las ciencias sociales. *El pajar. Cuaderno de Etnografía Canaria* 11,65-68.
- Rhoades R, Booth R. 1982. Farmer back to farmer: a model for generating acceptable agricultural technology. *Agricultural Administration* 11, 127-137.
- Robertson L, López-Pérez JA, Bello A, Díez-Rojo MA, Escuer M, Piedra Buena A, Ros C, Martínez C. 2006. Characterization of *Meloidogyne incognita*, *M. arenaria* and *M. hapla* populations from Spain and Uruguay parasitizing pepper. *Crop Protection* 25, 440-445.
- Rodríguez-Kábana R, Canullo GH. 1992. Cropping systems for the management of phytonematodes. *Phytoparasitica* 20, 211-224.
- Rogers E. 1962. Diffusion of innovations. The Free Press, New York. pp
- Santos M, Diáñez F, Cara M de, Tello JC. 2008. Possibilities of the use of vinasses in the control of fungi phytopathogens. *Bioresource Technology* 99, 9040-9043.
- Tascón C, Cubas F, Trujillo E, Perera S, Ríos D. 2007. Ensayo sobre desinfección de suelos mediante solarización y biosolarización para el control de hongos de suelos, especialmente *Rhizoctonia solana*, en el cultivo de la papa. Área de Agricultura, Ganadería y Pesca, Servicio de Agricultura y Desarrollo Rural (Informe), 11 pp.
- Torres JM, Díez-Rojo MA, Robertson L, López-Pérez JA, de Cara M, Tello M, Bello A. 2007. Nematodos fitoparasitarios del género *Meloidogyne* Goeldi, 1892 y su manejo en cultivos enarenados de Almería. MAPA, Madrid, 189 pp.
- Urbano P, Moro M. 1992. Sistemas agrícolas con rotaciones y alternativas de cultivos. Edit. Mundi-Prensa, Madrid, 134 pp.

Tabla 1.- Alternativas no químicas a los fumigantes del suelo (MBTOC 2007)

1. Medidas sanitarias: uso de semillas, plantas, agua de riego y maquinaria libre de patógenos.
2. Biodesinfección de suelos: biofumigación, biosolarización.
3. Sustratos, cubiertas o acolchados a partir de recursos locales: enarenado, jables y sorribas.
4. Uso de variedades resistentes.
5. Rotación de cultivos, plantas trampa, plantas antagonistas.
6. Prácticas culturales:
 - 6.1. Época de siembra.
 - 6.2. Manejo del agua y riego.
 - 6.3. Labores.
 - 6.4. Enmiendas orgánicas y compost.
7. Resistencia inducida:
 - 7.1. Microorganismos endofitos, micorrizas, rizobacterias.
 - 7.2. Fertilización y nutrición de la planta.
8. Agentes de control biológico inducidos de modo natural.

Diseño de sistemas de producción con criterios agroecológicos y uso de recursos locales.

Tabla 2.- Consumo de BM para usos críticos como fumigante del suelo (MBTOC 2008)

País / año	2009	2010
Australia		
- Viveros de fresas	29,790	29,790
Canada		
- Viveros de fresas	7,462	7,462
Israel		
1. Jopo	125,000	-----
2. Flores y bulbos invernadero	85,431	-----
3. Flores campo	34,698	-----
4. Melón invernadero y campo	87,500	-----
5. Papa	75,500	-----
6. Producción de fresas invernadero	77,750	-----
7. Fresas viveros	28,075	-----
8. Batatas	95,000	-----
Total	608,454	-----
Japón		
1. Pepino	34,300	30,690
2. Jengibre campo	63,056	53,400
3. Jengibre protegido	8,325	8,300
4. Melón	91,100	81,720
5. Pimiento	81,149	72,990
6. Sandía	21,650	14,500
Total	299,580	261,600
USA		
1. Curcubitáceas	407,091	302,974
2. Berenjenas campo	48,691	32,820
3. Viveros forestales	122,060	117,826
4. Viveros frutales y flores	25,326	17,363
5. Replantación de frutales y viñedos	292,756	215,800
6. Ornamentales	107,136	84,617
7. Pimiento campo	548,984	463,282
8. Fresa producción campo	1.269,321	1.007,477
9. Fresas viveros	7,944	4,690
10. Batata	18,144	14,515
11. Tomates campo	1.003,876	737,584
Total	3.851,329	2.998,948

Tabla 3.- Experimento de biodesinfección en "El Perelló" (Valencia), 5 kg m⁻² estiércol ovino (Indiv. 100 cc⁻¹ suelo)

Puntos muestreo	1	2	3	4	5	6	7(**)	8	9	Total	Medio
Profundidad											
0-20 cm											
Vivos	0	0	0	0	0	2	0	2	0	4	0,4
Muertos	28	14	12	6	220	8	12	8	6	314	35
índice (*)	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2	0,2
20-40 cm											
vivos	0	0	0	0	0	4	0	28	0	32	3,6
muertos	290	118	6	24	210	0	48	92	16	804	89,3
índice (*)	4	2	1	0	0	1	3	1	1	13	1,4
> 40 cm											
vivos	0	0	0	0	0	0	0	46	2	48	5,3
muertos	2	0	0	4	10	2	4	152	4	178	19,8
índice (*)	0	1	0	0	1	0	0	2	2	6	0,7

(*) Índice de nodulación de Bridge & Page (1980) obtenido mediante cultivo de plantas de tomate cv. "Marmande" en laboratorio sobre 300 g de suelo biofumigado después de un mes; (**) Solarización.

Tabla 4.- Media de índices de nodulación por *Meloidogyne incognita* en cultivo de pepino, El Perelló (Valencia)*

	Con plástico	Sin plástico	Producción kg m ⁻²
Testigo	-----	5,3 ± 1,8 a	3,7
Vinaza remolacha aplicada a manta	3,5 ± 2,1 ab	5,1 ± 2,1 ab	3,2
Residuos cítricos	5,1 ± 1,6 a	5,1 ± 2,7 ab	3,6
Vinaza inyectada	2,2 ± 1,9 b	4,5 ± 1,9 ab	4,5

* Test no paramétrico de Kruskal-Wallis (significación asintótica = 0,004) Distintas letras indican diferencias significativas.

Tabla 5.- Efecto de la biodesinfección repetida (biosolarización, B+S) en la producción y sobre otros parámetros del cultivo de pimiento (Campo de Cartagena, Murcia) comparado con la utilización de BM. La biodesinfección duró entre 8 y 10 semanas y se realizó con estiércol ovino fresco + gallinaza: 6 kg en el 3º año y 2,5 kg m⁻² en el 5º, 6º y 7º

Tratamiento	Índice de plantas arvenses	% plantas infectadas <i>M. incognita</i>	Índice de nodulación	Altura (cm)	Producción (kg m ⁻²)
Control	1,58 b	83,33 d	3,97 d	158 b	6,34 b
B+S 3º año	0,42 a	73,33 cd	2,33 c	185 a	8,70 a
B+S 5º año	0,67 a	13,33 ab	0,67 a	179 a	9,23 a
B+S 6º año	0,67 a	40,00 bc	1,67 b	188 a	8,40 a
B+S 7º año	0,17 a	6,67 a	0,13 a	188 a	8,49 a
MB 98:230 g m ⁻²	0,50 a	6,6 a	0,20 a	183 a	5,93 b

(*) Comparaciones mediante ANOVA LSD (mínima diferencia significativa) La misma letra o letras en la misma columna no manifiestan diferencias estadísticamente significativas (α= 0,05) Las cifras corresponden a la media.

(Cuadro 9, Guerrero *et al.* 2008)

Tabla 6.- Dosis de estiércol utilizadas en el ensayo de biodesinfección repetida. La biodesinfección se inició entre la 2^a y 3^a semana de agosto, terminando el experimento en la última semana de octubre o en la 1^a de noviembre. Se utilizó plástico de polietileno transparente de 0,05 mm. El bromuro de metilo 98:2% se aplicó en la primera decena de noviembre, utilizando plástico VIF de 0,04 mm

Año de reiteración	Estiércol ovino fresco (kg/m ²)	Gallinaza (kg/m ²)	Total (kg/m ²)
1°	7	3	10
2°	5	2,5	7,5
3°	4	2	6
4°	3	1,5	4,5
5°	2	0,5	2,5
6°	2	0,5	2,5
7°	2	0,5	2,5

(Guerrero *et al.* 2008)

Tabla 7.- Biodesinfección de suelos con vinaza de remolacha (1,5 kg m⁻²) 3° año, Marchamalo (Guadalajara) Final experimento 07-08

Tratamiento	<i>Meloidogyne</i>	Doriláimidos	Rhabdítidos	Enquitreidos	Monónquidos
Testigo	218 ± 55,1 a	5 ± 4,2 a	73 ± 15,9 a	11 ± 3,5 a	0 ± 0 a
5% sin cubrir con plástico	143 ± 38,0 a	5 ± 2,5 a	84 ± 46,3 a	8 ± 1,9 a	0,5 ± 1 a
5% cubierto con plástico	62 ± 39,6 b	3 ± 2,0 a	81 ± 88,8 a	8 ± 2,8 a	1 ± 2 a
Significación asintótica*	0,017	0,630	0,694	0,439	0,573

* Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

Tabla 8.- Efecto sobre las poblaciones de *Globodera rostochiensis* de la aplicación de purín de cerdo (P), abono verde de *Raphanus sativus* (R) y testigo con agua (A). Experimento realizado en recipientes abiertos (a) y cerrados (c), después de un periodo de 60 días de biodesinfección en cámara a 30 °C (individuos viables y no viables / 100 cc)

		Tratamientos		Huevos y juveniles	
		1°	2°	No-viables (teñidos)	Viables (no teñidos)
P _a	Purín (10 cc)	abierto saturación H ₂ O		1653	125
P _c		cerrado saturación H ₂ O		1715	16
A _a	H ₂ O (10 cc)	abierto saturación H ₂ O		345	1263
A _c		cerrado saturación H ₂ O		421	1317
R _a	<i>Raphanus sativus</i> (8 g)	abierto saturación H ₂ O		895	643
R _c		cerrado saturación H ₂ O		1689	12
T	Testigo	-----		18	1762



Figura 1.- Ecología de los sistemas agrarios: estructura y función. Características de los subsistemas aéreo y edáfico

Figura 2.- Corte transversal de raíz y características de los diferentes grupos de nematodos.

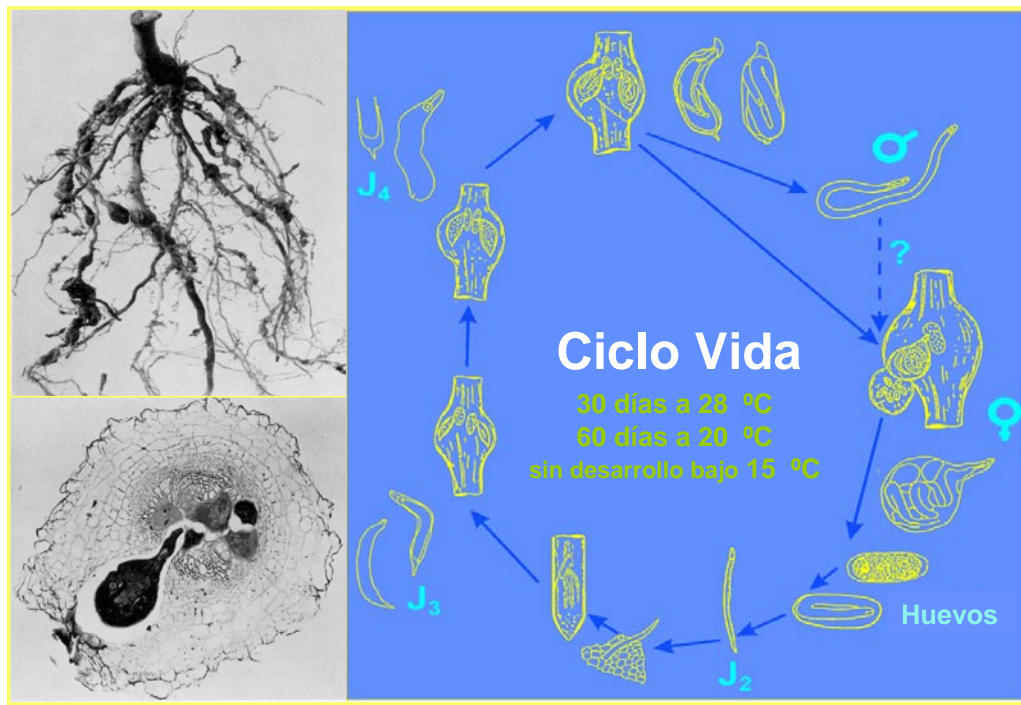


Figura 3.- Síntomas y ciclo de *M. incognita*. Efecto de la temperatura sobre la duración de su ciclo de vida

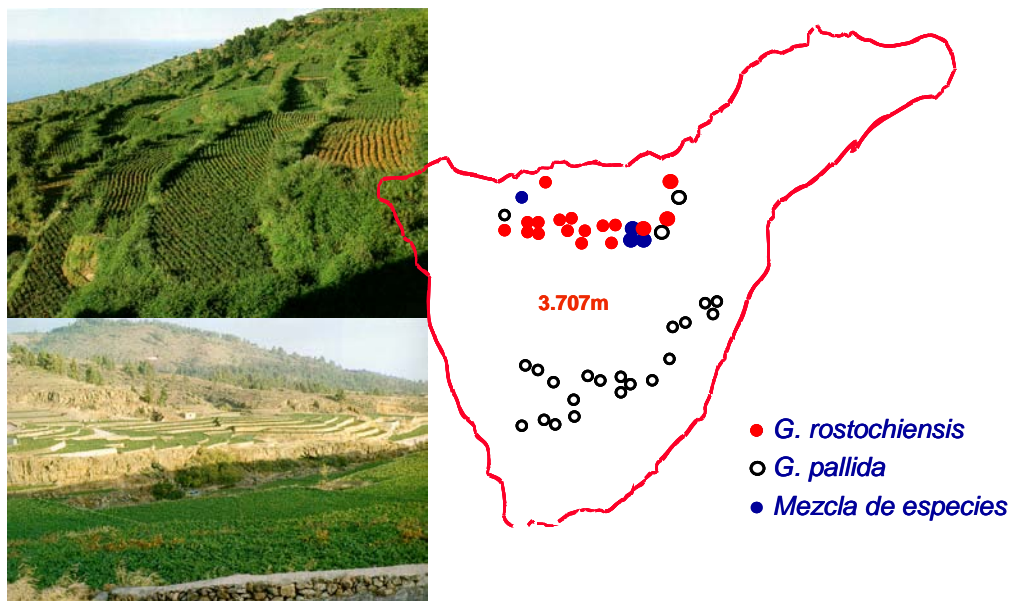


Figura 4.- Diversidad del paisaje y selección de virulencia en los nematodos formadores de quistes (*Globodera*) en Tenerife, por el uso de papas resistentes cvs "Cara" y "Red Cara".

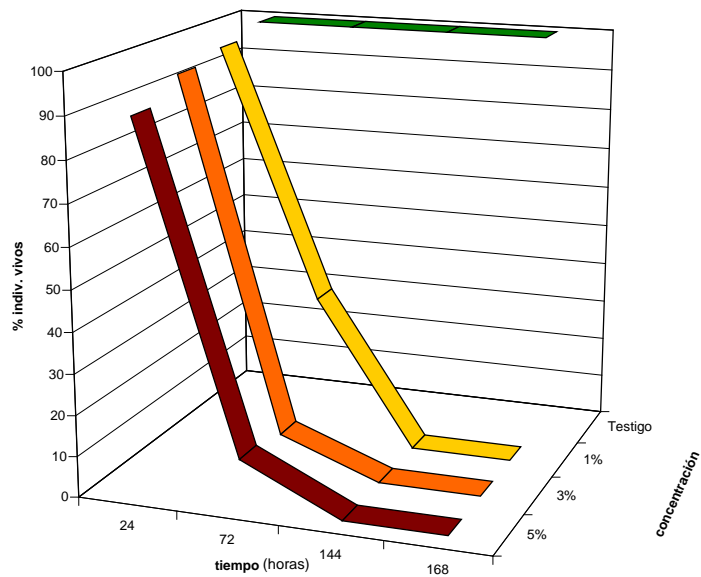


Figura 5.- Efecto nematostático de las vinazas de remolacha sobre *M. incognita*, ensayos *in vitro* (Díez-Rojo 2006)

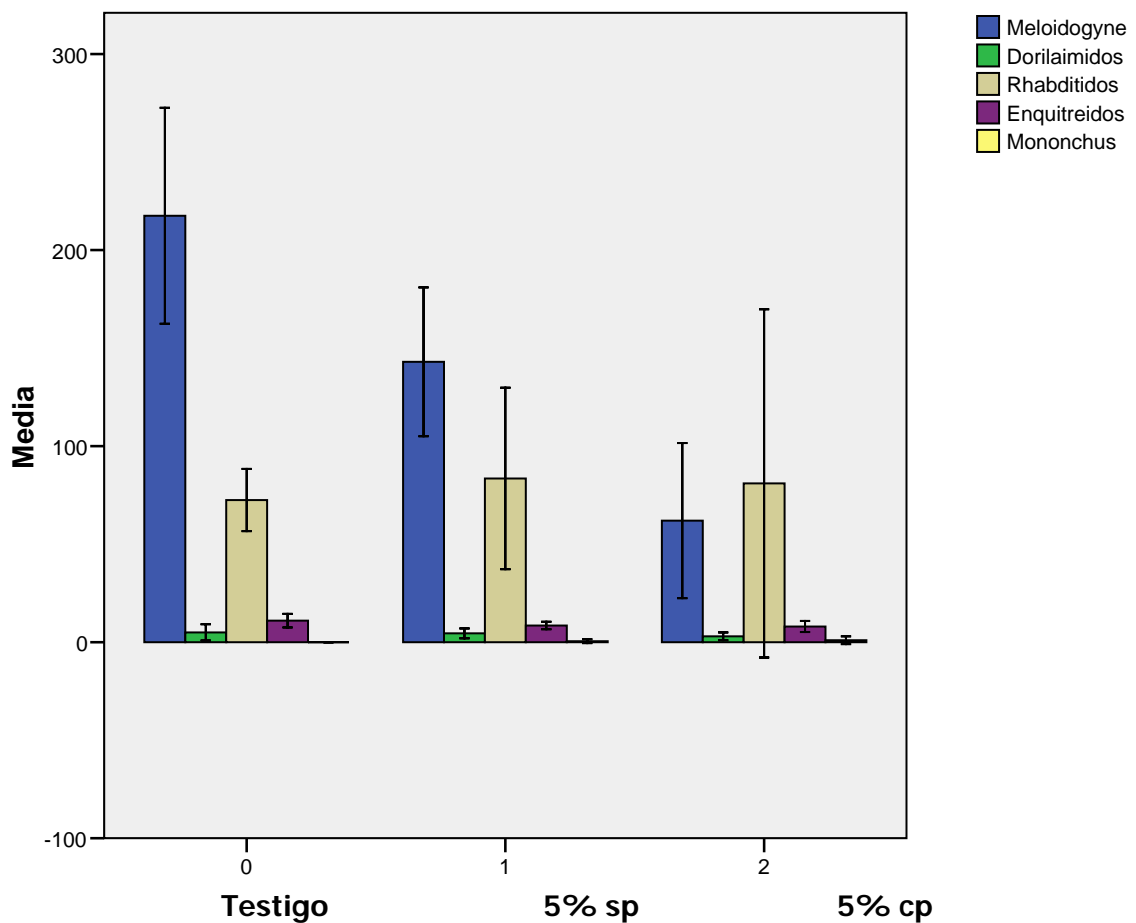


Figura 6.- Biodesinfección de suelos con vinaza de remolacha ($1,5 \text{ kg m}^{-2}$) en Marchamalo (Guadalajara), 3º año; sp = sin plástico; cp = con plástico

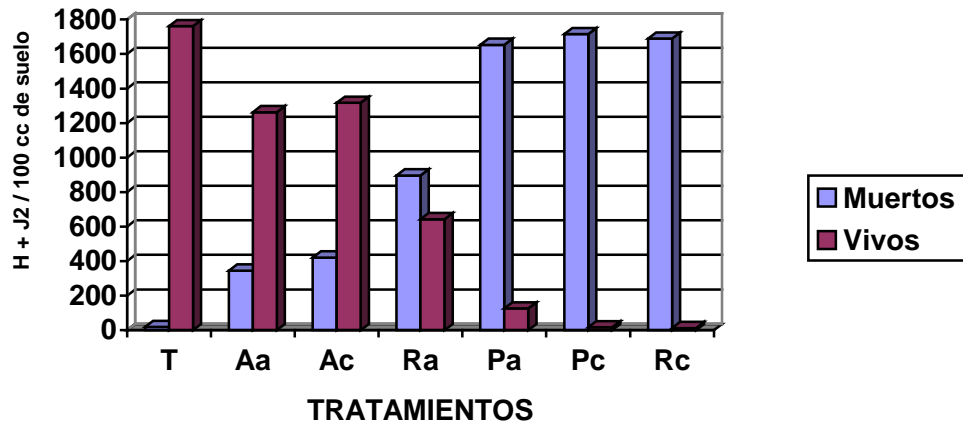


Figura 7.- Efecto sobre las poblaciones de *Globodera rostochiensis* de la aplicación de purín de cerdo (P); abono verde de *Raphanus sativus* (R) y testigo con agua (A). Experimento realizado en recipientes abiertos (a) y cerrados (c), después de un periodo de 60 días de biodesinfección en cámara a 30 °C (individuos vivos y muertos 100 cc)



Figura 8.- Cultivo de plataneras en "sorribas", Bco de Las Angustias, La Palma. Una estructura agraria de gran eficacia para regular los problemas causados por organismos del suelo patógenos de los vegetales en Canarias



VERANO



ALTA TEMPERATURA EN LA ARENA
DESCOMPOSICIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA

¿BIODESINFECCIÓN?

RETRANQUEO: APORTAR CAPA DE ESTIÉRCOL NUEVA

Figura 9.- Aspectos funcionales de los suelos enarenados de Almería en relación con la biodesinfección de suelos (Torres *et al.* 2007)

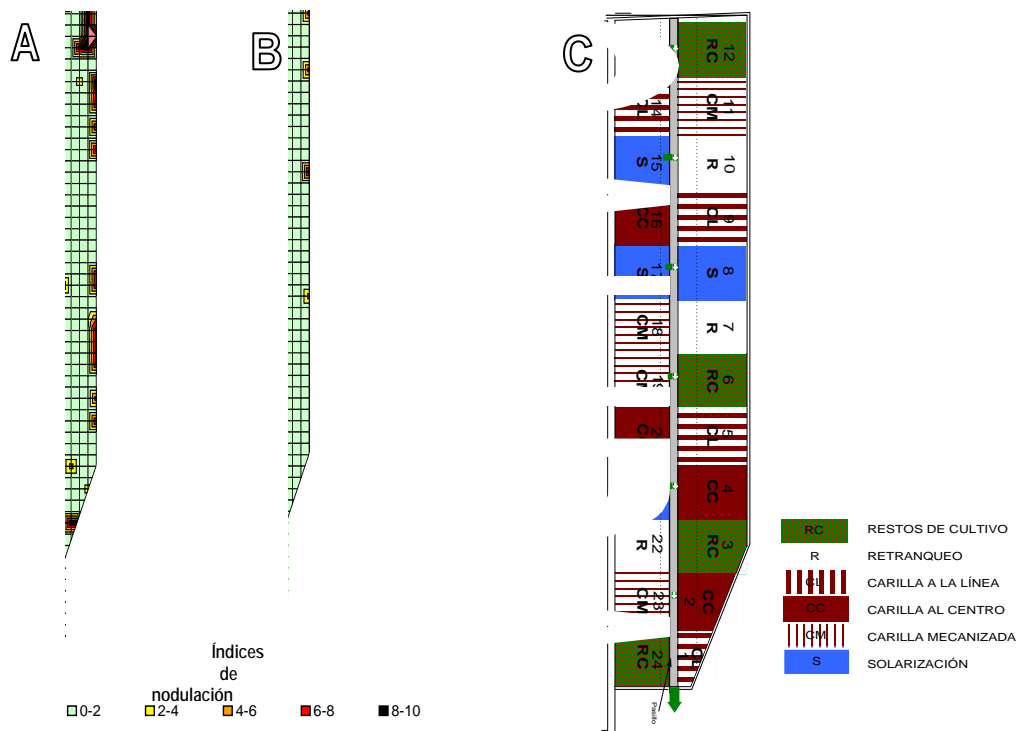


Figura 10.- Invernadero experimental: mapas de nodulación - A. antes de los tratamientos, B. después de la aplicación de materia orgánica combinadas con solarización; C. después de los tratamientos (Torres *et al.* 2007)