BIODESINFECCIÓN DE SUELOS EN PRODUCCIÓN ECOLÓGICA

Iván Castro Lizazo, Miguel A Díez Rojo, J Antonio López Pérez,

Luisa P Díaz Viruliche, Antonio Bello Pérez

Biodesinfección de Suelos
en
Producción Ecológica

Iván Castro Lizazo[1], Miguel A Díez Rojo[2], J Antonio López Pérez[2], Luisa P Díaz Viruliche[1], Antonio Bello Pérez[3]

1. Universidad Agraria de La Habana, UNAH, Cuba

2. Centro Agrario de Marchamalo, Guadalajara, JCCM

3. Centro de Ciencias Medio Ambientales, CCMA, CSIC, Madrid

A los agricultores

José Ballester Marco "El Curro", Cooperativa El Perelló (Valencia)
Ciriaco Alcolea Plaza, Viticultor, Socuéllamos (Ciudad Real, JCCM)

"Por todo lo que nos han venido enseñando en el manejo de la diversidad como un elemento fundamental en Agricultura"

"La agricultura es la madre fecunda que proporciona todas las materias primeras que dan movimiento a las artes y al comercio".

José Martí

INDICE

PRÓLOGO 7
INTRODUCCIÓN 9

1. DESINFECCIÓN QUÍMICA Y BIODESINFECCIÓN DE SUELOS 9
1.1. Antecedentes 9
1.2. Prohibición del bromuro de metilo (BM) 12
1.3. Desinfección de suelos con criterios ecológicos..... 14

2. AGROECOLOGÍA Y DIVERSIDAD EN LA GESTIÓN AGRARIA 19

3. BIODESINFECCIÓN DE SUELOS Y MANEJO AGRONÓMICO 21
3.1. Biodesinfección y manejo de cultivos 22
3.2. Biofumigación 24
3.3. Desinfestación biológica de suelos (BSD) 25
3.4. Vinazas de caña de azúcar, remolacha o vino en el manejo de nematodos fitoparásitos 25

4. VALORACIÓN AGROECOLÓGICA DE LA BIODESINFECCIÓN 28
4.1. Biodiversidad y diversidad ambiental en el diseño de sistemas supresivos..... 30
4.2. Suelos supresivos 32
4.3. Medio ambiente, materia orgánica y manejo de patógenos 34
4.4. Biodesinfección y producción ecológica 38

CONSIDERACIONES FINALES 43

AGRADECIMIENTOS 49
ABREVIATURAS 51
BIBLIOGRAFÍA 53

PRÓLOGO

La protección del medio ambiente es una preocupación prioritaria, dado que por la incorrecta gestión de los recursos de la naturaleza han surgido problemas de impacto ambiental graves, considerándose a la agricultura como uno de los principales agentes, por el uso indiscriminado de agroquímicos, tanto fertilizantes como pesticidas. El ser humano desde sus inicios como agricultor y ganadero comprendió que en el cultivo de plantas y producción de alimentos para su sustento, debía aportar al suelo estiércol de los animales o restos vegetales con una cierta regularidad, observando que las plantas se desarrollaban más sanas y presentaban mayor rendimiento. Hoy día, Por otro lado, los residuos agroindustriales son un problema grave a escala mundial, debido a los grandes volúmenes que se generan y a su impacto ambiental. En general, su gestión se limita al vertido o acumulación y sólo en forma muy concreta, donde se adopta una agricultura con criterios ecológicos, se les da un uso productivo valorizándolos al transformarlos en coproductos. Por ello, es necesario proponer modelos de gestión, evaluando su eficacia como biodesinfectante para desarrollar una alternativa ambiental en el manejo de organismos causantes de enfermedades o plagas, en particular de aquellos restos que se generan en los sistemas agrarios.

Se estudia el efecto de diferentes biodesinfectantes, entre ellos las vinazas de caña de azúcar, remolacha o vino comparando su acción con otros restos agrarios de origen orgánico, determinándose su eficacia en el manejo de nematodos fitoparásitos, tanto solos como combinados, así como sobre otros organismos benéficos por su función en el agrosistema, además se investigó el efecto de los restos agroindustriales sobre el desarrollo, producción de diversos cultivos y acción mejorante sobre las propiedades químicas del suelo. Los resultados obtenidos demuestran que los restos agroindustriales utilizados, fueron efectivos disminuyendo las poblaciones de nematodos formadores de nódulos (*Meloidogyne*) hasta un 98,9% en la mayoría de los tratamientos. Por otra parte se observó un efecto favorable sobre la fauna del suelo, aunque en los nematodos doriláimidos las poblaciones fueron bajas. En cuanto a la incidencia sobre las plantas se encontró un incremento en todas las variables estudiadas al compararlas con el testigo. Con respecto a la fertilidad del suelo, la biodesinfección ejerció una acción positiva, observándose un efecto mayor en los suelos arcillosos que en los arenosos.

Se considera la biodesinfección de suelos como un práctica cultural que puede ser integrada en los sistemas agrarios para la gestión de restos agroindustriales, ya que incrementa

a su vez la fertilidad de los suelos, así como mejora sus propiedades físicas, químicas, o biológicas y reduce el consumo de agua y fertilizantes. Además reduce costes de producción sin causar impacto en el medioambiente, dando un valor añadido a la materia orgánica, teniendo en cuenta que la naturaleza de la misma es diversa, pudiendo ser tanto sólida como líquida, que durante su descomposición da lugar a la formación de gases capaces de actuar sobre los microorganismos causando un efecto biostático, además no se observa ecotoxicidad, aumentando la fauna edáfica con la presencia de saprófagos, especialmente nematodos del grupo de los rabdítidos que tienen un gran valor ecológico, incrementando también el rendimiento de los cultivos. La utilización de restos de la agroindustria azucarera o del vino, así como los de cosecha, permiten cerrar ciclos de materia y energía, es más económico y sostenible debido a que se utilizan recursos locales, constituyendo la biodesinfección una alternativa agroecológica para mantener la capacidad de autorregulación del agrosistema, teniendo muy en cuenta los fundamentos de la agronomía.

Los resultados de la biodesinfección, solo evocados en este prólogo son fruto de investigaciones iniciadas hace más de tres lustros en los aledaños de la albufera valenciana, en el término de El Perelló, donde gracias a la acogida del agricultor D. José Ballester Marco (familiarmente, "El Curro") se comenzaron los ensayos de biodesinfección en hortalizas. Paralelamente, los experimentos en vid se debieron a la confianza, cimentada en su curiosidad, de D. Ciriaco Alcolea Plaza, labrador de Socuéllamos (Ciudad Real). Ambos, aunque no eran conscientes del hecho, comenzaron esa **investigación participativa** que, al menos en Agricultura, tan necesaria es para que los resultados lleguen a su fin: su aceptación por los usuarios que han participado, arriesgando, también, su dinero particular. Ciertamente estos agricultores están descritos en nuestra música y literaturas de finales del siglo XIV y principios del XX. Así, el carácter de El Curro está estereotipado en "Cañas y Barro" y en "La Barraca" de Blasco Ibánez. O el de Ciriaco bien lo instrumentó Jacinto Guerrero en su zarzuela "La Rosa del Azafrán". Hoy, desafortunadamente, sería difícil escribir sobre estos arquetipos. La razón, bien triste: la profesión de agricultor está desapareciendo.

Almería, 30 de Julio 2010

Julio C. Tello Marquina
Catedrático Producción Vegetal, Dpto Producción Vegetal
Escuela Politécnica Superior, Universidad de Almería

INTRODUCCIÓN

Los sistemas agrarios han evolucionado hacia una gran especialización, principalmente en cuanto a cultivos, mano de obra y mercados. **La presencia de patógenos de origen edáfico es uno de los principales factores limitantes de la producción agraria,** que puede estar relacionada con las prácticas del monocultivo, o con los cultivos anteriores en el sistema de rotación (TELLO y BELLO 1994, BELLO *et al.* 2003, 2004, DÍEZ ROJO 2006, TORRES *et al.* 2007). Las pérdidas económicas que ocasionan los patógenos de origen edáfico, **afectan a la viabilidad y diversidad de los sistemas agrarios.** La forma habitual de superar esa limitación ha sido el empleo sistemático de productos químicos de síntesis, con mayor o menor eficacia en el control de los organismos patógenos edáficos, destacando por su importancia el bromuro de metilo (BM), el 1,3-dicloropropeno (1,3-D), 1,3-dicloropropeno + cloropicrina (1,3-D+Pic), cloropicrina (Pic) y metam sodio (metam-Na), así como otros biocidas químicos, principalmente nematicidas, fungicidas del suelo o herbicidas (BARRES *et al.* 2006).

1. DESINFECCIÓN QUÍMICA Y BIODESINFECCIÓN DE SUELOS

Se hace una revisión del desarrollo tanto de la desinfección química como de la realizada con criterios ecológicos y biológicos a través de la biodesinfección de suelos. El objetivo es tratar de encontrar alternativas a los fumigantes químicos del suelo, especialmente al BM, un destructor de la capa de ozono estratosférico.

1.1. Antecedentes

El Servicio de Extensión Agraria (SEA) del antiguo Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), realizó una revisión de la desinfección de suelos (SANZ y DUEÑAS 1973). En está revisión señalan que los desinfectantes utilizados actúan por emisión de gases, teniendo en mayor o menor grado efecto fungicida, nematicida, herbicida o insecticida. En el año 1973 la desinfección química del suelo se había convertido en una práctica más de cultivo, especialmente en zonas costeras del sureste peninsular dedicadas a la producción de hortalizas "extratempranas" por los resultados satisfactorios de su aplicación. Entre las consideraciones generales para su empleo resaltan: "dejar el terreno limpio de restos vegetales antes del tratamiento" o que "las estercoladuras fuesen disminuyendo el efecto de los

desinfectantes", afirmaciones que resultan curiosas cuando **se conocen los fundamentos teóricos de la biodesinfección de suelos**, investigaciones basadas fundamentalmente en el uso de materiales orgánicos de origen animal o vegetal como estiércoles o restos de cultivo (LACASA *et al.* 2002, BELLO *et al.* 2003, 2008, BARRES *et al.* 2006, GARCÍA RUIZ *et al.* 2009, MARTÍNEZ *et al.* 2009, ZANÓN 2009, DÍEZ ROJO 2010, CASTRO LIZAZO 2010). Por otro lado, en el caso de los suelos enarenados, SANZ y DUEÑAS (1973) resaltan la necesidad de realizar un riego 5-8 días antes de su aplicación, sobre todo si se pretende que tenga efecto herbicida, aunque olvidan una vez más la importancia de la capa de materia orgánica que transforman a **los enarenados de Almería en sistemas singulares de producción supresores de patógenos por su efecto biodesinfectante** (TORRES *et al.* 2007). Señalan la necesidad de apelmazar el suelo y si es posible dar un riego ligero por aspersión, aspectos que están relacionados con la retención de los gases o con la creación de condiciones de anaerobiosis, ambas con efecto desinfectante, fenómenos que son claves en los procesos de biodesinfección. También analizan el riesgo del uso de abonos nitrogenados para algunas leguminosas como las judías, que causan un desarrollo vegetativo desordenado, hecho que puede hacerse extensivo a otras hortalizas, así como el efecto fitotóxico de los residuos de los desinfectantes químicos, para lo cual diseñaron un método de evaluación utilizando como indicadores semillas de lechuga, tomate, así como cebolla en el caso concreto de los suelos bromurados. Al mismo tiempo indican que son productos peligrosos para la salud humana (con categorías B ó C, según SANZ y DUEÑAS 1973). Los desinfectantes químicos recomendados para la época, la mayoría de los cuales en la actualidad no se pueden utilizar por su efecto negativo sobre la salud y el medioambiente, eran los siguientes:

- Bromuro de metilo (BM) con cloropicrina
- Dibromocloropropeno (DBCP, Nemagon)
- Cloropicrina
- Dicloropropano + dicloropropeno (DD)
- Dicloropropeno
- Dicloropropano + dicloropropeno + isotiocianato de metilo (Di-Trapex)
- Dazomet
- Metam-sodio (metam-Na),

La mayoría de los desinfectantes enumerados tienen acción parcial, actuando sólo como fungicidas o como nematicidas, herbicidas o insecticidas, señalándose una serie de

precauciones por su alta toxicidad para los seres vivos, por lo que deben ser aplicados por personas autorizadas. Las dosis de aplicación pueden llegar a 1.000 kg/ha como en el caso del BM ó 1.800 l/ha en el metam-Na, repercutiendo económicamente en el coste de la producción. Las temperaturas óptimas de aplicación recomendadas estaban entre 15-20 ºC, que coinciden con el período en el que los nematodos termófilos del género *Meloidogyne* están inactivos. Después de su aplicación recomendaban que el suelo "descansase" en la mayoría de los casos durante un mes. El uso de los desinfectantes químicos estaba recomendado en cultivos extensivos, cereales, remolacha, leguminosas o papas, para el control de nematodos formadores de quistes de los géneros *Heterodera* o *Globodera*, nematodos específicos que con una simple rotación de cultivos se pueden resolver los problemas que plantean. Se debe resaltar que el uso de cloropicrina no estaba autorizado en España, por motivos históricamente conocidos, aunque ahora si se puede utilizar (Fig. 1a,b).

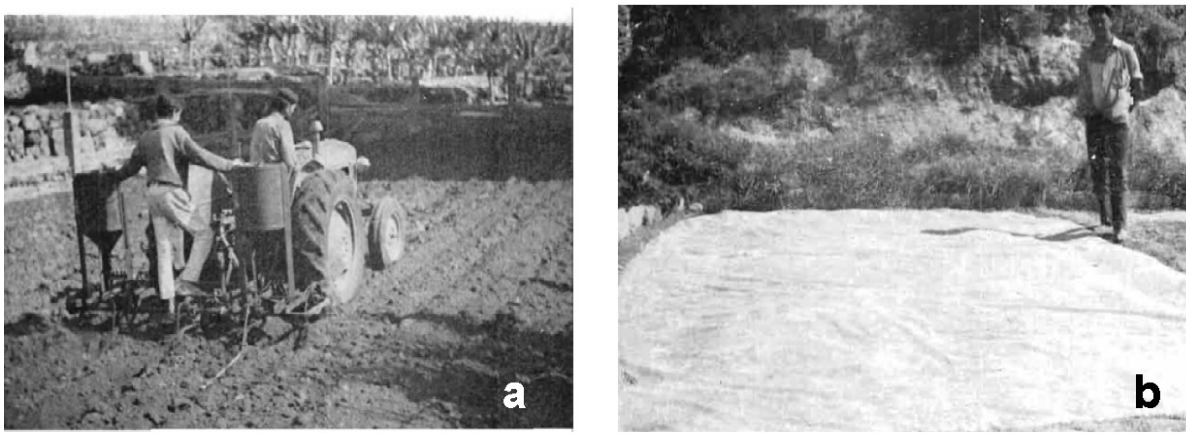

Figura. 1. Desinfección de suelos con BM y otros fumigantes: (a) maquinaria para desinfección del suelo, (b) desinfección bajo lámina plástica de polietileno en Hermigua (La Gomera) (SANZ y DUEÑAS 1973), metodología similar a la biodesinfección de suelos.

La acción letal del Di-Trapex, Dazomet y metam-Na se fundamenta en **la liberación de isotiocianato de metilo, que es la base de la biofumigación** cuando se utilizan brasicas. La biofumigación en un principio se basó en la liberación de isotiocianatos o compuestos nitrogenados originados durante la descomposición de enmiendas orgánicas (CHANYASAK *et al.* 1983, KIRKEGAARD *et al.* 1993a,b, BELLO 1998 , KIRKEGAARD y SARWAR 1998, AKHTAR 2000, BELLO *et al.* 2001a,b, 2003, 2008, LAZAROVITS 2001, 2004, LAZAROVITS *et al.* 2001, 2005, LAZZERI *et al.* 2004, 2008, DÍEZ ROJO 2006, 2010, ROUBTSOVA *et al.* 2007, TORRES *et al.* 2007, CASTRO LIZAZO 2010). Por último, destacan que la aplicación de desinfectantes químicos está relacionada con el diseño de maquinarias que se describen en la mayoría de las figuras que aparecen en la monografía, debiéndose señalar una sobre la desinfección de suelos en

Hermigua (La Gomera) (Fig. 1 a,b), que nos permite resaltar el gran desarrollo existente en el año 1973 para la aplicación de los desinfectantes químicos (BELLO *et al.* 2010).

Se estimó en 1995 que en España existía un consumo de BM para usos agrícolas en 4.238,56 t, según encuesta efectuada entre las Comunidades Autónomas (CCAA) por el antiguo MAPA (NOVAL ALONSO 2004). A partir de esta fecha las cantidades disminuyeron, tanto en lo relativo a los tipos de cultivos para los que se utilizaba, áreas geográficas en las que se practicaba la fumigación con BM, como en las cantidades (dosis y formulaciones) utilizadas por unidad de superficie en los cultivos donde no existían alternativas. Los consumos de BM en 1995 incluyen cultivos de tomate (Alicante, Almería, Murcia), papa (Valencia), judías verdes (Almería), sandía (Almería, Valencia), calabacín (Almería), melón (Almería), pepino (Almería), pimiento (Murcia, Alicante, Almería), zanahoria (Cádiz), otras hortalizas (Cádiz, Valencia, Barcelona), flor cortada (Cádiz, Sevilla, Barcelona), producción de fresa (Huelva, Barcelona, Mallorca), viveros de fresa (Segovia, Ávila, Navarra, Palencia, Huelva, Valladolid), con uso menor en cítricos (BELLO *et al.* 2000).

La desinfección química de suelos es una práctica habitual y especialmente necesaria en las zonas de agricultura intensiva del sureste peninsular (LACASA *et al*. 2002). La aplicación de alternativas a la fumigación de suelos con productos de síntesis química en cultivos hortícolas, flor cortada, fresas, frutales y viñedos, así como su eficacia en el manejo de organismos de suelos patógenos de plantas, han permitido la eliminación del BM como fumigante del suelo (BELLO *et al*. 2008, DÍEZ ROJO 2010, CASTRO LIZAZO 2010). El BM y sus usos críticos (CUNs) acabaron en España en el año 2009, pero se siguen realizando trabajos para la búsqueda de alternativas, que comenzaron de manera más intensa desde 1992, recogiéndose los resultados de estas investigaciones en BARRES *et al*. (2006), publicación que analiza la situación de BM a nivel mundial y aporta alternativas para el manejo de patógenos de vegetales de origen edáfico.

1.2. Prohibición del bromuro de metilo (BM)

La prohibición del BM se establece a partir del 1 de enero de 2005 en el caso de los países desarrollados (Países no-Art. 5) y del 1 de enero de 2015 en los países en vías de desarrollo (Países Art. 5), siguiendo las normas establecidas por MBTOC (1995, 1997, 1998, 2002, 2005, 2007, 2008, 2009). **Bajo dicho programa de eliminación, sólo se podrá utilizar en**

casos muy concretos como cuarentena y preembarque (QPS) o en los usos críticos (CUN´s), siempre y cuando se demuestre que no existe otra alternativa (BARRES *et al*. 2006), actualmente en la UE no se utiliza.

Debido a esta situación, **la ciencia agronómica debe estar comprometida en la búsqueda de alternativas para resolver los problemas creados por el uso de pesticidas y otros agroquímicos que tienen un fuerte impacto sobre los organismos del suelo y del medio ambiente en general**, teniendo principalmente como referencia los conocimientos de la biología y la ecología. La misión de las generaciones futuras es recuperar los bosques, cultivos y aguas que están alterados y devolverles su funcionalidad. **La sostenibilidad de los sistemas agrarios debe basarse en lograr una productividad agrícola que se mantenga en el tiempo y asegure unos rendimientos adecuados con los menores efectos sobre el ambiente, alcanzando seguridad alimentaria, estabilidad biológica y ambiental, conservación de los recursos y equidad social**. Entre las alternativas está el empleo del policultivo **(diversidad funcional),** que como agrosistema tiene diferentes propiedades pero destacando en especial la de mantener la productividad y sostenibilidad de los sistemas agrarios, teniendo en cuenta además la idea de que el sistema responderá como un todo a las modificaciones aunque se aplique de modo aislado a una de sus partes (ALTIERI 1997).

En la actualidad, **la ciencia ha visto en la agricultura orgánica o ecológica (AE), fundamentada en criterios agroecológicos, una de las vías para dar solución a los efectos negativos que desde hace muchos años han y están afectando a los suelos y en general el medio ambiente.** El uso indiscriminado y abusivo de fertilizantes químicos, a la larga empobrece los suelos agrícolas, afectando negativamente a las plantas y microorganismos edáficos. La **Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica** (IFOAM 2006) define la "agricultura ecológica como un sistema holístico de manejo de la producción que aumenta la salud del agroecosistema haciendo uso, tanto de conocimiento tradicional como del científico. Los sistemas de agricultura ecológica se basan más en el manejo de los ecosistemas que en el uso de insumos agrícolas externos". La **agricultura ecológica (AE)**, o sus sinónimos **orgánica** o **biológica**, es un sistema agrícola autónomo basado en la utilización óptima de los recursos naturales, sin emplear productos químicos de síntesis, u organismos genéticamente modificados (OGMs) - ni como enmienda para abono ni para manejar las plagas-, logrando de esta forma obtener alimentos orgánicos o ecológicos, a la vez que se conserva la fertilidad de la tierra y se respeta el medio ambiente. Todo ello de manera

sostenible y equilibrada (Oelhaf 1978). En relación con el manejo de patógenos y plagas de los vegetales de origen edáfico con criterios ecológicos mediante la incorporación de materiales de origen orgánico, existen estudios de alto contenido científico, con resultados satisfactorios para su transferencia en la gestión de los sistemas agrarios (Stirling 1991, Kirkegaard *et al.* 1994, Gullino 1995, Michel *et al.* 1997, Kirkegaard y Sawar 1998, Topp *et al.* 1998, Rojas y Marbán Mendoza 1999, Akhtar 2000, Companioni *et al*. 2001, Bello *et al.* 2001a,b, 2002, 2003, Lazarovits 2001, 2004, Lazarovits *et al.* 2001, 2005, Diánez *et al.* 2002, Medina 2002, Ros *et al.* 2002, Sikora 2002, Tenuta *et al.* 2002, Yélamos *et al.* 2002, Bailey y Lazarovits 2003, Stevens *et al.* 2003, García Álvarez *et al.* 2004, Reyes *et al.* 2004a,b, Segura *et al.* 2004, Zanón *et al.* 2004, Conn *et al.* 2005, 2007, Gómez Soriano *et al*. 2006, Guerrero *et al.* 2006, Santos *et al.* 2007, Vilaseca 2007, Fernández *et al.* 2008, García Ruíz 2008, Pascual *et al.* 2008, Porter *et al.* 2008, Garcia Ruíz *et al*. 2009, Martínez *et al.* 2009, Zanón 2009, Díez Rojo 2010, Castro Lizazo 2010).

1.3. Desinfección de suelos con criterios ecológicos

La biodesinfección de suelos se basa en la inducción de procesos y en la producción de sustancias volátiles que actúan fundamentalmente como fumigantes **(biofumigación)** para el manejo de organismos patógenos de los vegetales de origen edáfico, mediante la descomposición de enmiendas orgánicas como estiércoles, abonos verdes o residuos agroindustriales (Kirkegaard *et al.* 1993a,b, 1994, 2008, Bello 1998, Lazarovits *et al.* 2001, 2005, Díez Rojo 2006, 2010, Castro Lizazo 2010). El efecto de la biodesinfección sobre la actividad microbiana es selectivo, disminuyendo las poblaciones de fitoparásitos o fitopatógenos, favoreciendo a los saprófagos y a los organismos antagonistas. La susceptibilidad de los patógenos a **los compuestos volátiles que se desprenden durante la descomposición de la materia orgánica aumenta al elevarse la temperatura del suelo, por lo que su eficacia se incrementa cuando se combina con la solarización (biosolarización).** Así, la temperatura alcanzada mediante la solarización puede incrementar entre 2-3 ºC la temperatura del suelo incorporando materia orgánica, además actúa aumentando la profundidad del suelo a la cual llega el efecto desinfectante (Bello *et al*. 1999, 2001a,b, 2003). **Se propone el término de biodesinfección de suelos puesto que la descomposición de la materia orgánica está regulada por la acción de un gran número de microorganismos y la materia orgánica puede ser de naturaleza diversa**, tanto sólida como es el caso de los restos de cosecha y el estiércol, o líquida como las vinazas (de

remolacha, vino o caña de azúcar) o los purines de origen animal, que a través de los procesos de descomposición dan lugar a gases con efecto biodesinfectante (ZANÓN 2009, DÍEZ ROJO 2010, CASTRO LIZAZO 2010).

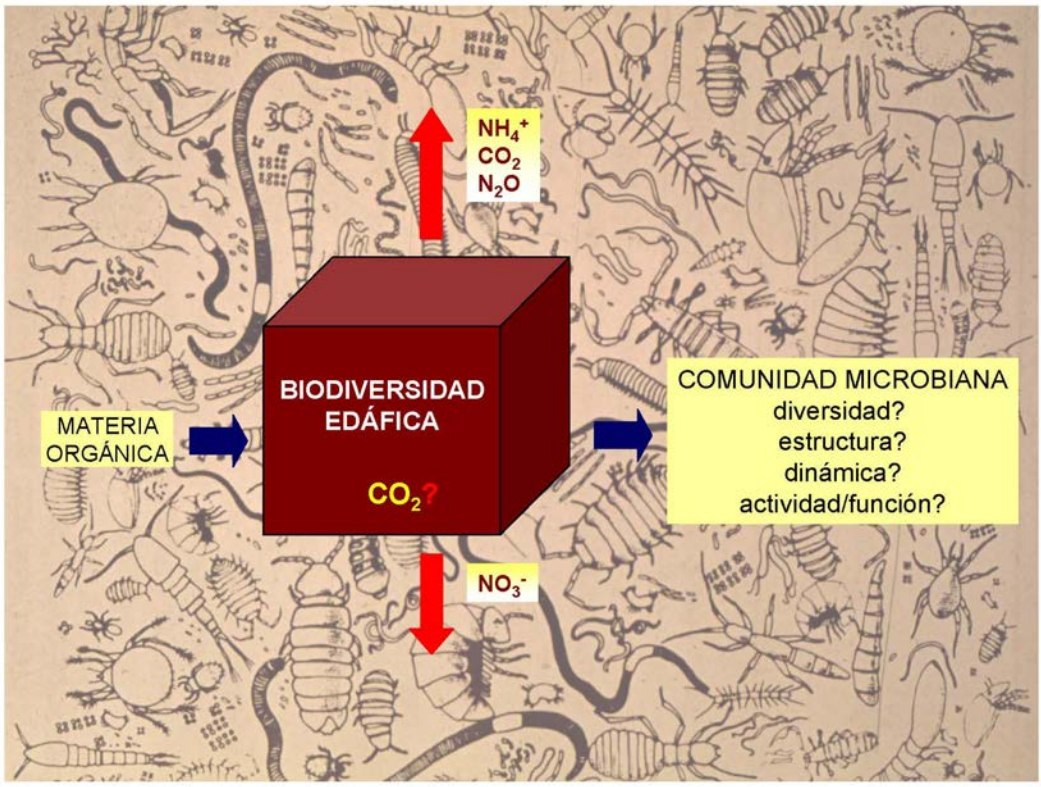

Figura 2. Descomposición de la materia orgánica.

La biodesinfección de suelos, basada en criterios ecológicos, permite la reutilización de recursos locales, cerrando ciclos, que a su vez eviten su impacto sobre los seres vivos y el ambiente (Fig. 2). El interés de la **biodesinfección** se analiza en los trabajos de BELLO (1998) y BELLO *et al*. (2001a,b, 2003, 2008) tratando de sintetizar los resultados de trabajos anteriores. Se han desarrollado diferentes alternativas al uso de fumigantes químicos del suelo, destacando entre las no químicas el uso de sustratos, rotaciones, variedades resistentes o el injerto, sobre todo en cucurbitáceas, solanáceas, frutales o viñedos, sin olvidar otras alternativas como vapor de agua o solarización. La eficacia de estas alternativas se incrementa cuando forma parte de un sistema de producción integrada de cultivos (IPM, *Integrated Pest Management*) o ecológica (AE). En general las alternativas propuestas tienen menor coste económico y riesgo ambiental, así como para la salud de agricultores y consumidores.

La biodesinfección que puede estar combinada con solarización (**biosolarización**), se ha desarrollado en cucurbitáceas (Almería, Castilla-La Mancha, Madrid, Murcia y Valencia), tomate (Canarias y Valencia), flor cortada (Cádiz y Valencia), cítricos y frutales (Valencia), viñedos (Castilla-La Mancha y Murcia), platanera (Canarias), acelgas (Madrid), zanahorias (Alicante y Andalucía). Se han utilizado como biodesinfectantes estiércol fresco, así como restos de cultivos entre ellos cascarilla de arroz, champiñón, olivo, brasicas, flores, restos de jardines y otros muchos. Los costes de los biodesinfectantes son similares a los que existen cuando se utilizan enmiendas orgánicas, práctica cultural que se realiza de forma habitual en agricultura ecológica (AE) e integrada (ICP, IOPC, OILB). La biodesinfección es eficaz en el manejo de bacterias, hongos, insectos, flora arvense o nematodos de modo similar a los pesticidas convencionales, pudiendo también regular los problemas de virosis. Es además una alternativa que permite reducir el uso de desinfecciones químicas en la eliminación de BM por mandato del protocolo de Montreal, por su efectos destructivo de la capa de ozono estratosférico (Barres *et al*. 2006, Bello *et al.* 2008, MBTOC 2008, Figueredo 2010, Díez Rojo 2010, Castro Lizazo 2010).

La gran complejidad de los procesos químicos, físicos y biológicos que regulan la biodesinfección de suelos, no es un factor limitante para que pueda ser una alternativa de fácil aplicación por técnicos y agricultores. Su eficacia depende fundamentalmente de la materia orgánica utilizada y del método de aplicación. Por ello se recomienda que la materia orgánica debe tener una relación C/N entre 8-20 para que puedan generar compuestos con **efectos biocidas o biostáticos** y complementarse para la retención de los gases con la utilización de plásticos impermeables (VIF) o la creación de una capa aislante de arcilla a través de la aplicación de riego, **siendo necesario que los suelos tengan humedad y actividad biológica**. Las dosis del biodesinfectante a utilizar dependen del material a incorporar. Como ejemplo cuando trabajamos con estiércoles de ovino, se puede comenzar con dosis de materia orgánica altas de 50 t/ha que se pueden ir reduciendo a lo largo de los años hasta 25 t/ha. La biodesinfección debe integrarse dentro de un programa de producción basada en criterios ecológicos y de manejo biológico de plagas y enfermedades, según la *United States Environmental Agency* (EPA) y *Sustainable Agricultura Research and Education* (SARE). La reiteración de la biodesinfección mejora gradualmente las propiedades del suelo, produciéndose mejoras en la calidad biológica, química, tanto en macronutrientes y micronutrientes, como el N_{total}, P, K ó en microelementos, sobre todo en Fe asimilable, densidad aparente, permeabilidad e infiltración con respecto a los suelos que no incorporan

enmiendas orgánicas, observando una disminución en el agua drenada, optimizando con ello su aprovechamiento en la fertilidad del suelo. La lixiviación de NO_3^-, es similar e incluso menor a la que se obtiene en suelos en los que no se han incorporado enmiendas orgánicas, incluso a las dosis de 100 t/ha. Sobre el riesgo de acumulación de metales pesados en suelos sometidos a biodesinfecciones sucesivas **no se observó acumulación de los metales estudiados por lo que se consideran una alternativa sin riesgos ambientales y para los seres vivos** (BELLO *et al.* 2003, 2008, FLORES *et al.* 2006, PASCUAL *et al.* 2008, DÍEZ ROJO 2010).

TORRES *et al.* (2007) estudian el efecto biodesinfectante de la materia orgánica en suelos enarenados de Almería, donde se ha venido utilizando la desinfección química de suelos para el manejo de nematodos formadores de nódulos del género *Meloidogyne*, tratando de recuperar como alternativa las técnicas tradicionales de aplicación de la materia orgánica mediante el "retranqueo", que podemos considerar están fundamentadas en las bases científicas que regulan los procesos de biodesinfección. Se han realizado experiencias en campo para cultivos de flor cortada en Chipiona (Cádiz) mediante la utilización de gallinaza y restos de clavel del cultivo anterior mostrando resultados prometedores para el manejo de enfermedades y nematodos del género *Meloidogyne*, obteniendo resultados similares a los fumigantes químicos (GARCÍA RUÍZ *et al*. 2009). Se han utilizado restos del cultivo de pimientos en el manejo *Meloidogyne*, destacando los trabajos de PIEDRA BUENA *et al.* (2006, 2007), así como los resultados obtenidos por LÓPEZ CEPERO *et al.* (2007) cuando utilizan restos de jardinería, naranjo, olivo, adelfa, y pino, comparándolos con estiércol y brasicas. En el cultivo de fresas se ha estudiado el efecto de la biofumigación y de la biosolarización con gallinaza fresca, a razón de 3 kg/m^2, para conocer su comportamiento en la calidad de producción y sobre la flora arvense (AGUIRRE *et al*. 2004, LÓPEZ MARTÍNEZ *et al*. 2004). También se ha estudiado el efecto de la biodesinfección en cultivos extensivos, tanto sola como combinada con solarización utilizando hojas de olivo, en un olivar para determinar su acción herbicida, crecimiento de los olivos, producción y realizándose una valoración económica, resultados que han sido revisados en BELLO *et al.* (2003), ZANÓN (2009), DÍEZ ROJO (2010), CASTRO LIZAZO (2010).

La biodesinfección tiene una eficacia similar a la desinfección química, sobre todo en el control de nematodos, resaltando el interés como desinfectante de suelos, especialmente cuando se combina con solarización, como parte de un sistema de producción ecológica (AE) o integrada (ICP, IPM), siendo además una alternativa para los desinfectantes

químicos como el 1,3-D. Se debe señalar que el 1,3-D es un contaminante de las aguas subterráneas que limita su empleo, presentándose también casos de fitotoxicidad. Se debe destacar lo que ha supuesto el empleo de la biodesinfección como fumigante de suelos en la eliminación de unas 60.000 t anuales de bromuro de metilo en los Países no- Art. 5, de las cuales un 87% pasaba a la atmósfera como gas con lo que ello significa por su impacto ambiental ante la destrucción de la capa de ozono (MBTOC 2008, BELLO *et al.* 2010, FIGUEREDO 2010, DÍEZ ROJO 2010, CASTRO LIZAZO 2010).

Se plantea que la biodesinfección de suelos debe ser complementada con el manejo agronómico de la diversidad, siendo fundamental para diseñar sistemas agrarios de gestión de cultivos como una alternativa eficaz y viable desde el punto de vista, no sólo de la rentabilidad económica del cultivo, sino sobre todo por su importancia ambiental y para la salud de los seres vivos, dentro de un modelo de producción con una alta cohesión y estabilidad social. En esta línea es fundamental recordar que es necesario establecer las bases científicas para evaluar la calidad y seguridad de las enmiendas orgánicas, incluyendo los aspectos ecotoxicológicos que nos permita establecer un proyecto iberoamericano en la gestión de los recursos agrarios (FIGUEREDO 2010, CASTRO LIZAZO 2010). Estos principios básicos en la gestión del territorio no es algo que se haya logrado sólo a través del manejo de genes, enzimas, nuevas variedades de plantas o razas de animales, sino que son parte fundamental de la creatividad de los pueblos, que mediante ideas y el uso racional de la tecnología han permitido a través de siglos seleccionar modelos viables en la gestión de los sistemas agrarios y en la alimentación. Por ello, **debemos recordar que los problemas complejos como son la protección del territorio y del medio ambiente sólo se resuelven con ideas y creatividad, siendo problemas que deben ser tenidos en cuenta por todos los ciudadanos.**

Es fundamental conocer y conservar los sistemas tradicionales de gestión del territorio, como es el caso de los **sistemas agrarios singulares** con el fin de investigar y conocer cuáles son los elementos y procesos claves que han intervenido en su gestión y conservación correcta, tratando de corregir las disfunciones que puedan existir (BELLO *et al*. 2008). Entre estos sistemas agrarios singulares constituyen un modelo de referencia los **sistemas tradicionales de las Islas Canarias,** de modo especial l**os sistemas de "sorribas"**, en los que se incluiría con matices diferenciadores, la "Cultura del Jable" del Sur de Tenerife, que deberían ser declarados **Patrimonio de la Humanidad**, estableciendo una producción agraria de calidad

con “Denominación de Origen” (DO), rindiendo con ello un homenaje de reconocimiento a los agricultores y ganaderos canarios. Cabe señalar a modo de ejemplo que las “sorribas” con paredes de basalto (material de origen volcánico) son uno de los pocos casos en el mundo donde los fenómenos de solarización resultan eficaces, al captar directamente la energía solar que permite la desinfección a lo largo de todo el perfil del suelo, y no sólo en su parte superficial como ocurre en otros sistemas agrarios, donde la eficacia es menor cuando se trata de controlar organismos patógenos móviles, que al incrementar la temperatura pueden desplazarse en profundidad (BELLO *et al.* 2009).

2. AGROECOLOGÍA Y DIVERSIDAD EN LA GESTIÓN AGRARIA

Cuando se toma como modelo el cultivo de tomate en Canarias, nos encontramos que se trata de un monocultivo, siendo su diversidad biológica prácticamente cero puesto que se ha estado cultivando no sólo tomates, sino incluso el mismo cultivar (cv) o variedad (var), manteniéndose la rentabilidad del cultivo a través del “saber” campesino, que ha seleccionado técnicas de cultivo que permiten gestionar la **diversidad ambiental,** mediante el diseño de invernaderos, o una orientación correcta del cultivo e incluso seleccionando la época de plantación durante los meses de otoño e invierno, período en el que los patógenos termófilos que necesitan de temperaturas de suelo superiores a 15 ºC no se pueden desarrollar. Se han manejado las sombras o las cubiertas del suelo para reducir la temperatura y prolongar la duración del ciclo del patógeno, disminuyendo el crecimiento de sus poblaciones. También se ha actuado a través de la flora arvense - “malas hierbas”- que pueden servir como **“**plantas trampa**”** impidiendo, al ser eliminadas en el momento oportuno, que se complete el ciclo de los patógenos que parasitan las plantas. Por otro lado, con el aporte al suelo de biodiversidad funcional mediante la incorporación de materia orgánica de origen animal se consigue añadir el valor de la **ganadería como un elemento de complementariedad funcional e incluso económica.** Por todo ello, el manejo de la diversidad funcional y ambiental a través de la cultura agraria ha permitido mantener en Canarias un cultivo de tomate de modo sustentable (BELLO 2008).

Actualmente existen cultivares (cvs) comerciales de tomate portadores de genes de resistencia a los nematodos del suelo del género *Meloidogyne,* “la batatilla” de las raíces, que constituyen uno de sus principales patógenos en Canarias. Estos patógenos están representados principalmente por dos especies: *M. incognita* y *M. javanica*, en áreas termófilas

características del cultivo, aunque en las zonas de umbría y en las "Medianías" de Canarias pueden aparecer también otras especies como *M. arenaria*. Los cultivares resistentes de tomate se han venido recomendando de modo general para el control de los nematodos "formadores de nódulos", cuando en realidad sólo presentan resistencia a ocho de los veinte biotipos que pueden existir de *M. incognita,* y en ningún caso a *M. arenaria* y *M. javanica* (TORRES *et al.* 2007). La utilización de esta " resistencia" ha dado lugar a la selección de poblaciones de *M. javanica*, nematodo termófilo **(*M. javanica* 1 tomate *Mi*)**, que sólo se reproduce a temperaturas superiores a 15 ºC, y **que parasita a los cultivares de tomates portadores del gen (*Mi*) de resistencia, pudiéndose afirmar que es el biotipo de nematodo que predomina no sólo en Canarias sino también en todas las áreas de monocultivo de tomate, donde se han venido utilizando cultivares resistentes como Almería y Murcia.**

Definido el problema principal en el cultivo de tomate en Canarias, que coincide con los que presentan otras áreas para el monocultivo del tomate donde predomina *M. javanica*, como son Almería, Cataluña y Murcia, hay que buscar alternativas con criterios agroecológicos de fácil aplicación para los agricultores, siendo necesario caracterizar las poblaciones del biotipo virulento seleccionado (*M. javanica* 1 tomate *Mi*), y estudiar su comportamiento sobre diferentes cultivos. **De modo sorprendente se ha encontrado que estos biotipos no parasitan las variedades de pimientos ensayadas, constituyendo por ello una alternativa de manejo la rotación con pimientos.** Sin embargo, se debe tener en cuenta que en un cultivo de tomate pueden existir mezclas de diferentes biotipos de *M. incognita*, que pueden parasitar a pimientos susceptibles. Cuando esto ocurre, una alternativa es la utilización de portainjertos con pimientos portadores de genes de resistencia, entre ellos el cultivar "Atlante", así como una rotación posterior con otro cultivo para evitar la selección de poblaciones virulentas para estos genes de resistencia. En estos casos hay que diseñar un manejo mediante la colaboración de expertos en la caracterización de los biotipos de nematodos u otros patógenos, con la utilización de cultivares resistentes o susceptibles de pimientos y tomates (BELLO 2008).

Se ha propuesto como objetivo general del trabajo evaluar la biodesinfección de suelos complementada con el manejo agronómico de la diversidad. Entre los objetivos específicos para el desarrollo de dicho proyecto se señalan: 1. estudiar la eficacia biodesinfectante de materiales orgánicos sobre patógenos de origen edáfico mediante ensayos en función de las diferentes dosis, técnicas de aplicación y características de cada uno de los

sistemas agrarios; 2. evaluar el efecto de los biodesinfectantes sobre la fertilidad del suelo y conocer sus posibles efectos en la estructura y función de la nematofauna edáfica; 3. Realizar un análisis de la contribución de los biodesinfectantes como alternativa agroecológica para mantener el equilibrio en los agrosistemas teniendo muy en cuenta los fundamentos científico-técnicos de la agronomía (agroecología) (CASTRO LIZAZO 2010).

Las investigaciones sobre biodesinfeción de suelos han sido evaluadas teniendo en cuenta tanto el ámbito internacional como el nacional o local, valorando la importancia y novedad científica del mismo, extrapolando de forma genérica esta aproximación holística de manera que sea viable para cualquier condición y país, sobre todo para aquellos países donde aun se siguen aplicando productos de síntesis que causan un efecto impactante sobre el medio ambiente, estableciendo a la vez una metodología que sea capaz de dar respuesta a la hipótesis planteada al comienzo del trabajo, que permita realizar una caracterización agroecológica de las áreas objeto de estudio, así como la descripción de las técnicas empleadas para determinar los efectos de los biodesinfectantes utilizados sobre los nematodos u otros patógenos, el suelo y la planta. Se valorará los aportes nutricionales que puedan conferir este modelo, así como la viabilidad que presentan los biodesinfectantes sobre el ambiente mediante análisis ecotoxicológicos. Por último se realizó una valoración de los resultados obtenidos, teniendo en cuenta los antecedentes revisados, destacando la posibilidad de uso que ofrecen los biodesinfectantes, su impacto sobre el cultivo objetos de estudio y la evaluación económica para cada caso. Para poder diseñar un modelo de manejo que permita ser utilizado en diferentes agrosistemas, se tendrá muy en cuenta diversos escenarios de análisis como por ejemplo las particularidades que plantea la diversidad cultural (CASTRO LIZAZO 2010).

3. BIODESINFECCIÓN DE SUELOS Y MANEJO AGRONÓMICO

Se pone de manifiesto que la eficacia de la biodesinfección de suelos con el empleo de restos agrarios es una alternativa a los fumigantes químicos, teniendo un efecto positivo para el manejo de organismos patógenos causantes de enfermedades en los cultivos, permitiendo diseñar sistemas agrarios de producción dentro de un criterio ecológico, al mismo tiempo que la conservación del medio ambiente, siempre que se cuente con un grupo de expertos (técnicos y científicos) que nos permita diseñar modelos agronómicos que se complementen con el conocimiento de los agricultores. Se debe destacar que la gestión de los sistemas agrarios mediante la utilización de criterios ecológicos se basa en un principio fundamental de

la **diversificación del sistema**, que se entiende en un sentido amplio, puesto que no abarca sólo la **diversidad biológica**, sino también la **diversidad ambiental** y **cultural** (TELLO 2000, BELLO *et al.* 2003, 2008). El modelo agrario a seguir se basa en la adaptación a las condiciones ambientales, está especialmente representado en la cultura agraria que ha logrado transformar diferentes áreas gestionando los factores ambientales, teniendo en cuenta las distintas estaciones del año y las áreas geográficas, pero sobre todo, su capacidad de armonizar agricultura y ganadería con la conservación del territorio, así como teniendo muy en cuenta la utilización de los recursos locales, permitiendo la **diversificación del paisaje, que se complementa con el incremento de los rendimientos.**

3.1. Biodesinfección y manejo de cultivos

En el informe del MBTOC (2007) se recoge como otra alternativa al BM el uso de **enmiendas orgánicas, abonos verdes y compost,** sin atribuirles en este caso ningún efecto "biodesinfestante", señalando que en la actualidad no es una alternativa eficaz al uso de BM, pero que a largo plazo puede reducir las poblaciones de los patógenos de los vegetales de origen edáfico, debido a las alteraciones que se producen en las poblaciones de microorganismos del suelo contribuyendo al desarrollo de "suelos supresivos". El conocimiento de los mecanismos por los que la materia orgánica regula las poblaciones de organismos patógenos y qué factores del suelo están relacionados con su eficacia, debe de ser la primera fase para desarrollar el uso de la materia orgánica como alternativa de manejo (CONN y LAZAROVITS 2000, TENUTA y LAZAROVITS 2002a,b, CONN *et al*. 2005, OZORES-HAMPTON *et al*. 2005). En una primera parte se toman como referencia los trabajos realizados por el grupo del Profesor LAZAROVITS que consideran que los principales mecanismos por los cuales la materia orgánica reduce las poblaciones de patógenos son de naturaleza química. Los AGV y la producción de compuestos nitrogenados tóxicos son los principales responsables del control (LAZAROVITS 2001, 2004, LAZAROVITS *et al*. 2005). Por otro lado se ha estudiado el efecto de diferentes productos desinfectantes para el control de *M. incognita* en el cultivo de pepino en rotación con acelga en cultivo protegido (invernadero) en Villa del Prado (Madrid) (LÓPEZ PÉREZ *et al*. 2003a,b,c), comparando tres tratamientos: uso de compost de champiñón agotado, metam-Na y BM.

Figura 3. Biodesinfección en hortícolas (Marchamalo, Guadalajara).

En los ensayos de campo no fue necesario la utilización de plástico en aquellos suelos con alto contenido de arcilla, especialmente caolinita, y en los suelos poco profundos, el plástico se puede sustituir, añadiendo al biodesinfectante sustancias líquidas como vinazas (Fig. 3). Se puede reducir la dosis del biodesinfectantes cuando se conoce la distribución de los patógenos en los suelos. Es necesaria una correcta distribución de los biodesinfectantes y especialmente el estiércol por ser sólido, al mismo tiempo es fundamental mantener los niveles de humedad puesto que favorece la fermentación y la producción de gases, aspecto importante para producir un efecto similar al BM, incrementando el número de rabdítidos y otros saprófagos que contribuyen a prolongar en el tiempo la eficacia, al mismo tiempo que incrementa la proporción de nematodos del grupo de los doriláimidos que son un buen indicador de los efectos no tóxicos en los suelos. Todo ello demuestra el interés de los estudios agronómicos que permiten el empleo de modelos que tomen como referencia una agricultura sustentable. Se observó que el compost de champiñón era eficaz en el manejo de *M. incognita*, con una eficacia similar o superior a la que se obtiene con metam-Na y BM. Por otro lado el compost de champiñón produjo un incremento de las poblaciones de nematodos omnívoros y depredadores, que sin embargo se redujeron con el BM. La producción de pepino fue similar en los tratamientos con compost de champiñón y BM, con un coste más bajo donde se aplicó el compost de champiñón.

La utilización de tagetes como cultivo supresivo se viene realizando en varios países para determinados cultivos, aunque por su selectividad no se puede considerar por ahora como una alternativa al uso de BM (Bell *et al*. 1998). Los tagetes son eficaces en la reducción del uso de BM cuando se integran en una rotación de cultivos para el manejo de nematodos, puesto que sus poblaciones se reducen por debajo del umbral de daño económico y el rendimiento del cultivo aumenta después del cultivo de tagetes (Reynolds *et al*. 2000). Se utilizan con frecuencia *Tagetes erecta, T. minuta* y *T. patula* para el control de *Meloidogyne* en los

cultivos de tomate, cucurbitáceas y otras hortalizas en Marruecos, así como y en otros países, observándose que la reducción de las poblaciones de nematodos mediante *T. erecta* fue eficaz en Marruecos cuando forman parte de una rotación con otras hortalizas (LUNG 1997, SIDDIQUI y MASHKOOR 1998).

3.2. Biofumigación

Se hace referencia a los efectos supresivos asociados a la liberación de isotiocianatos generados durante la hidrólisis de los glucosinolatos, mediante la acción de la enzima mirosinasa, presente en brasicas que tienen una proporción alta de glucosinolatos con actividad biológica, que por la acción de los microorganismos se transforman en compuestos biocidas, principalmente isotiocianatos y nitritos (ANGUS *et al.* 1994, LAZZERI *et al*. 2004). En este sentido AVILÉS GUERRERO *et al*. (2008) sugieren que existe una relación entre la actividad de las poblaciones microbianas y la reducción de la densidad del patógeno. KIRKEGAARD *et al.* (2008) señalan que en el manejo de nematodos formadores de nódulos del género *Meloidogyne* con cualquier tipo de materia orgánica es supresora de la enfermedad, por lo que parece que los glucosinalatos no son la única clave de su eficacia, sino los diferentes procesos que ocurren durante la descomposición de la materia orgánica. Sin embargo, en la supresión de bacterias como *Ralstonia solanacearum* observan como se reducen las poblaciones a los pocos días por la acción de los glucosinolatos y existe otra reducción posterior debida a la materia orgánica. Además en el trabajo sugieren que durante la supresión de las enfermedades no se produce un cambio general de la comunidad biológica del suelo, pero sí cambios más específicos de la comunidad microbiana, señalando que esta pequeña parte que se modifica es suficiente para realizar un manejo eficaz.

BELLO *et al.* (1999, 2000, 2001a,b, 2003) posteriormente amplían el concepto de biofumigación a la utilización de cualquier tipo de materia orgánica, no sólo la hacen atribuible a las brasicas, definiendo la biofumigación en sentido amplio como "la acción de las sustancias volátiles producidas en la degradación de la materia orgánica en el manejo de los patógenos de las plantas". Otra vez se pone de manifiesto que las sustancias volátiles se producen por la descomposición de la materia orgánica, que la realizan tanto los microorganismos presentes en el suelo como los que se incorporan con la materia orgánica. Dentro de la biofumigación hay que tener en cuenta la **micofumigación**. En este caso es el propio microorganismo, *Muscodor albus,* el que realiza la función de desinfección del suelo,

puesto que es el hongo el que posee la capacidad de producir una mezcla de compuestos orgánicos volátiles capaces de controlar un amplio rango de hongos y bacterias patógenos de las plantas, así como de los humanos (STROBEL *et al.* 2001, WORAPONG *et al*. 2001), entre ellos los de origen edáfico (STINSON *et al*. 2003, MERCIER y MANKER 2005). Sin embargo para el caso de los nematodos formadores de nódulos su acción es limitada, aunque se han obtenido buenos resultados (RIGA *et al*. 2008).

3.3. Desinfestación biológica de suelos (BSD)

Consiste en la **creación de condiciones de anaerobiosis** en el suelo por incremento de la respiración microbiana, mediante la incorporación de enmiendas orgánicas frescas, con alto contenido en carbono orgánico debiéndose su efecto a que se produce una fuerte reducción del potencial redox (BLOK *et al.* 2000, GOUD *et al.* 2004, SHINMURA 2004). De nuevo la actividad biológica del suelo es fundamental, puesto que es la responsable de causar las condiciones de anaerobiosis, debido a un incremento en la respiración microbiana y ayudado por la presencia de un plástico impermeable al oxigeno, para evitar que se produzca una recolonización del oxigeno. Además **la descomposición anaerobia de la paja de trigo es fitotóxica** debido a la producción de ácido acético (LYNCH 1977, 1978). La acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV) es temporal, rompiéndose sus moléculas cuando se vuelve a las condiciones aeróbicas, por lo que esta rápida degradación explica su ineficacia en algunas ocasiones (LAZAROVITS 2001).

3.4. Vinazas de caña de azúcar, remolacha o vino en el manejo de nematodos fitoparásitos

Los materiales de origen orgánico utilizados para el manejo de los patógenos de los vegetales del suelo, suelen ser heterogéneos, no sólo en cuanto a su composición química, sino también en cuanto a su composición microbiológica, así como a su grado de maduración, lo cual puede hacer que su funcionamiento relacionado con la biodesinfección de suelos sea totalmente diferente, por lo que pueden variar los procesos o compuestos que regulan las poblaciones de organismos patógenos. Por otro lado, el suelo es un medio también muy diverso y heterogéneo en relación sobre todo en cuanto a su composición química, mineralógica, textura, y en cuanto a su biodiversidad. La incorporación de materia orgánica con fines de su

desinfección puede tener una eficacia diferente en función de las características del suelo en el que se realicen los tratamientos.

Con respecto a la vinaza de caña de azúcar o remolacha en el manejo de los cultivos es una alternativa eficaz en la eliminación de organismos patógenos, de igual manera ayuda a la mejora de la estructura y la actividad biológica del suelo, destacando en este caso su acción selectiva sobre diferentes microorganismos que causan su efecto en la descomposición de la materia orgánica. Los estiércoles de origen animal estudiados, estiércol de vaca solo o combinado con otro biofumigante, han resultado altamente eficaces en el control de *M. incognita*, con un 100% de mortandad, presentando al final del cultivo índices de nodulación por debajo de dos e inferiores al índice del testigo. En el caso del estiércol, se incrementan los nematodos saprófagos del grupo de los rabdítidos y los oligoquetos del grupo de los enquitréidos de gran interés en la descomposición de la materia orgánica, aumentando también los doriláimidos, puesto que se observa que se recuperan cuando pasan varios meses de la aplicación de los biodesinfectantes. La fertilidad del suelo así como su estructura se incrementa con el empleo de la biodesinfección. Es necesario para ello, tener un buen conocimiento tanto de los materiales de origen orgánico a utilizar, que pueden ser de naturaleza diversa tanto sólidos como líquidos, así como de las poblaciones de nematodos presentes en el suelo que se pretende desinfectar, sin olvidarnos del comportamiento de las plantas portadoras de genes de resistencia.

Las alternativas seleccionadas no resultan eficaces si no se introducen dentro de un concepto agronómico de manejo, que debe de ser la base para que se incremente su eficacia, siendo necesario el conocimiento del funcionamiento de cada producto utilizado, el método de aplicación, duración del tratamiento, comportamiento de las poblaciones de nematodos y la relación con su hospedante. Cuando se armonizan todos y cada uno de los factores señalados estamos en disposición de incrementar su eficacia. En muchos casos, por cuestiones que pueden ser económicas, socioculturales o ciclos de producción, los tratamientos se han de realizar en condiciones que no son óptimas. Por todo ello se deben plantear programas de investigación y transferencia de tecnología para tratar de optimizarlos.

Se comprobó que los residuos agroindustriales aplicados como biofumigantes han sido altamente eficaces en la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, por ende se favorece el medio ambiente. Como se observó, se produce un incremento en MO,

$C_{orgánico}$, N_{total}, P_2O_5, K, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+} y Mn, mientras que al aumentar tanto el sodio como el calcio, no causan cambios aparentes en el pH del suelo, respecto a los valores de conductividad eléctrica y Zn disminuyen respecto al análisis inicial y el resto de los elementos mantiene comportamiento medio aceptable. De esto se deriva que con la utilización de vinazas a una u otra concentración, además la biodesinfección para el control de fitoparásitos aporta un valor añadido que es la mejora de la fertilidad del suelo, ya que las concentraciones de formas asimilables tanto de macro y microelementos aumentan, entre otras cosas queremos hacer referencia a la disminución de las concentraciones de Zn, uno de los elementos considerados como contaminantes de suelos. Estos efectos adicionales favorecen la política agraria actual que están encaminadas a promover la utilización de sustancias no contaminantes con la finalidad de proteger el medio ambiente y disminuir su impacto en el cambio climático. Los biodesinfectantes utilizados fueron altamente eficaces en el manejo de *M. incognita* e incrementan los nematodos saprófagos y enquitréidos, proporciona un aumento ligero de los doriláimidos. Las dosis aplicadas de los biodesinfectantes (vinazas de caña de azúcar, remolacha o vino) influyen positivamente en la biodiversidad funcional del suelo, se observa un incremento en el número de hojas, longitud de la raíz y tallo, no apareciendo fenómenos de fitotoxicidad. Se observa en general un incremento de saprófagos y oligoquetos enquitréidos, especialmente en las dosis superiores a 12.000 l/ha, y no sufren alteraciones los doriláimidos, que son nematodos muy sensibles a los cambios producidos por el impacto de otros agroquímicos. No se observa influencia negativa alguna sobre la fertilidad del suelo ni en la nutrición de la planta.

Los nematodos del género *Meloidogyne* constituyen uno de los principales factores limitantes en la producción mundial de los cultivos, especialmente hortícolas. Una vez detectada la infección del suelo utilizando como indicadores las plantas propias del cultivo, es difícil mantener poblaciones con niveles bajos o suprimirlas sin la aplicación reiterada de tratamientos desinfectantes, ya sean químicos, biológicos o biodesinfección. Los problemas de nematodos se plantean incluso en cultivos donde se vienen aplicando nematicidas comerciales y utilizado variedades resistentes. En el caso de los monocultivos se pueden seleccionar poblaciones de *M. arenaria*, *M. incognita* y *M. javanica* que son altamente virulentas. Se propone el diseño de sistemas de manejo mediante rotaciones con cultivos hortícolas, que deben ser seleccionados teniendo en cuenta las condiciones de cada país o área geográfica, pero sobre todo que se fundamenten en la caracterización previa de especies, razas o biotipos de nematodos. Se han encontrado cultivares de boniato, judías, pimiento y tomate

que son resistentes, pero se debe tener en cuenta además de la biodiversidad funcional, la diversidad ambiental que está relacionada directamente con las técnicas de cultivo. Se encuentra que todas las variedades de pimientos ensayadas son resistentes a *M. arenaria* raza 2 y *M. javanica* raza 1. El algodón es resistente a *M. arenaria, M. incognita* raza 1 y 2, *M. javanica,* al mismo tiempo que el cacahuete es resistente a *M. arenaria* raza 2 y 3, *M. incognita* y *M. javanica.* Debemos tener en cuenta que es frecuente la existencia de mezclas de poblaciones de *M. arenaria, M. incognita* y *M. javanica*, que pueden parasitar a pimientos susceptibles, y en ese caso se pueden utilizar como alternativa portainjertos resistentes, pero sobre todo conocer la dinámica de los estados juveniles de *Meloidogyne* spp. en el suelo (J_1, J_2, J_3, J_4). Existe la posibilidad de que con una repetición en su aplicación se seleccionen organismos del suelo que actúen en su biodescomposición, como ocurre con el 1,3-D, que se degrada por la acción de los microorganismos, disminuyendo su eficacia (Ou *et al*. 1995, Verhagen *et al*. 1996, Dungan y Yates 2003).

4. VALORACIÓN AGROECOLÓGICA DE LA BIODESINFECCIÓN

Los aspectos económicos relacionados con los fundamentos de la biodesinfección, basados en el manejo agronómico, ha sido especialmente estudiada por Webster (1972), aunque, por sus interacciones con otros patógenos es difícil calcular su efecto en los rendimientos de los cultivos. En hortalizas tienen una importancia económica grande las enfermedades producidas por nematodos, especialmente por el género *Meloidogyne*, que pueden llegar a niveles catastróficos. Su influencia ha sido revisada por Jensen (1972) y conviene destacar el estudio sobre pérdidas estimadas por la "Society of Nematologist" (1971), quienes han calculado para los EE UU, una media anual del 11%. Las mayores pérdidas con un 20% se producen en judías, coles de Bruselas, zanahoria, pepino y melón, alcanzando hasta un 15% en pimiento y tomate. La influencia en otras hortalizas no se conoce bien, pero se pueden considerar unas pérdidas medias del 11%. Por otro lado, hay que tener en cuenta que las pérdidas en la mayoría de los casos son causadas por la interacción con otros patógenos, como bacterias, hongos o virus. En platanera se determinan pérdidas comprendidas entre 30-60%, que fueron valoradas teniendo en cuenta el incremento de producción después del tratamiento (Blake 1972).

En nuestro trabajo, se han realizado experimentos de campo según cultivos y áreas agroecológicas diferentes en relación con la biodesinfección, su eficacia, coste así como el

incremento de producción. El sistema de cultivo de hortalizas se basa en una rotación de cultivos con pimiento, acelga y calabacín, de octubre a marzo-abril y cultivo de tomate con el gen *Mi* de resistencia a *M. incognita*. Se utiliza estiércol de vaca y vinazas de remolacha, caña de azúcar o vino a diferentes dosis, esto supone un coste de 1.440 €/ha, cantidad muy inferior a los costes de ioduro de metilo (IM) de 6.000 €/ha, producto que se considera la alternativa viable al bromuro de metilo (BM) en el futuro, por otro lado su aplicación presupone un incremento del rendimiento entre 75-91%. El coste de mano de obra para este modelo se podría considerar cero ya que este sistema de producción es de tipo familiar, logrando que todos los miembros de la familia estén incorporados al sistema productivo. También, es necesario plantear que no se utilizan agroquímicos ni fertilizantes, empleándose como alternativa en la biodesinfección los restos vegetales del cultivo, que actúan además como abono orgánico, permitiendo la mejora de las propiedades químicas, físicas y en especial las biológicas del suelo, siendo también selectiva al aumentar los microorganismos benéficos, en este caso los nematodos del grupo de los rabdítidos que son descomponedores de la materia orgánica, además de mejorar la calidad de la producción al no utilizar ningún biocida en tratamientos de suelo. Para este sistema sólo el factor limitante desde el punto de vista económico, es el valor de la planta y el agua como en el caso de Almería y Canarias, ya que son zonas de ambiente áridos donde este recurso no llega con facilidad y depende de la lluvia, debido al mismo tiempo de ser comprada para poderla aplicar en el riego (Castro Lizazo 2010).

Con respecto al cultivo del plátano, a pesar de ser un monocultivo se ha ido perfeccionando a través del tiempo con la creatividad de los productores, pudiendo llegar a diseñar verdaderos **"sistemas supresores"** de organismos patógenos de los vegetales, donde las plagas o enfermedades son poco frecuentes y se pueden manejar sin causar problemas. Todo esto, junto al principio ecológico de cierre de ciclos de materia y energía mediante la incorporación de restos agrarios y las "basuras", hace que los "residuos" pasen a ser **coproductos**, **ya que desde el punto de vista económico por su funcionalidad pueden alcanzar un valor similar al del cultivo, debido a sus servicios ambientales que deberían ser reconocidos y recompensados por los ciudadanos cuando eligen los alimentos**. El monocultivo del plátano es además una enorme masa verde que debe ser valorado de un modo justo, ahora que se están planteando a nivel mundial los graves problemas del cambio climático y la desertificación donde los suelos tienen una función importante en su regulación. Destacar también que los sistemas tradicionales canarios se han desarrollado dentro de **modelos de gestión familiar** que permiten desde el punto de vista económico incrementar su rentabilidad

a más del 95% por reducir gastos en insumos y mano de obra, permitiendo crear riqueza y empleo (BELLO *et al*. 2009).

4.1. Biodiversidad y diversidad ambiental en el diseño de sistemas supresivos

El esquema visual del índice de nodulación de BRIDGE y PAGE (1980), se presenta como la técnica más adecuada y fiable de análisis en campo de la eficacia de la desinfección de suelos (Fig. 4). Se trata de una técnica de fácil aplicación por los agricultores que permite obtener datos fiables de los niveles de infección y de distribución de los nematodos del género *Meloidogyne* dentro de un cultivo sin necesidad de realizar análisis en laboratorio. Los análisis de laboratorio son más adecuados para estudiar el funcionamiento de los tratamientos después de que se haya aplicado biodesinfección. En el diseño de sistemas supresores es necesario tener en cuenta los fenómenos de resistencia inducida (*Systemic Acquired Resistance*, SAR), especialmente la función de las micorrizas (*Vesicular arbuscular mycorrhiza*, VAM) en la regulación de las enfermedades de las plantas.

Con respecto al manejo de la diversidad ambiental puede dar lugar a sistemas supresivos con capacidad de autorregularse dentro de un contexto ecológico. Esto se observó cuando se trabajó en la platanera, observándose que mantenían la presencia de organismos patógenos regulados mediante el manejo de la temperatura tanto aérea como del suelo, aspectos importantes en la regulación del manejo de los nematodos fitoparásitos, especialmente del género *Meloidogyne,* que son capaces de causar pérdidas altas en los cultivos (DÍEZ ROJO 2010, CASTRO LIZAZO 2010). Se señala la necesidad de centrarse en la selección de criterios agronómicos que nos permitan manejar y regular la complejidad de los problemas planteados por los nematodos fitoparásitos y otros organismos patógenos, sobre todo ante la dificultad de encontrar alternativas eficaces de manejo, tanto desde el punto de vista de la utilización de productos químicos, como biológicos mediante el uso de variedades portadoras de genes de resistencia, cuya durabilidad en el tiempo depende fundamentalmente del sistema de cultivo, así como para la optimización de la eficacia mediante biodesinfección de suelos utilizando materiales de origen orgánico que suelen ser heterogéneos (DÍEZ ROJO *et al.* 2008a,b). Por todo ello es fundamental realizar planteamientos desde el punto de vista agronómico, mediante estudios de ecología de los sistemas agrarios que nos permitan definir cuáles son los elementos y procesos claves en la gestión de un cultivo, centrándonos en el manejo de la diversidad, pero no sólo de la **diversidad biológica, especialmente sus aspectos funcionales**, mediante la utilización de variedades portadoras de

genes de resistencia, siendo también importante el manejo de la **diversidad ambiental teniendo en cuenta las variaciones de las estaciones a lo largo del año y la variabilidad espacial,** especialmente en los ambientes mediterráneos, pero sobre todo, a través de la síntesis de ambas que están relacionadas directamente con las técnicas de cultivo **(diversidad cultural)** (Fig. 5).

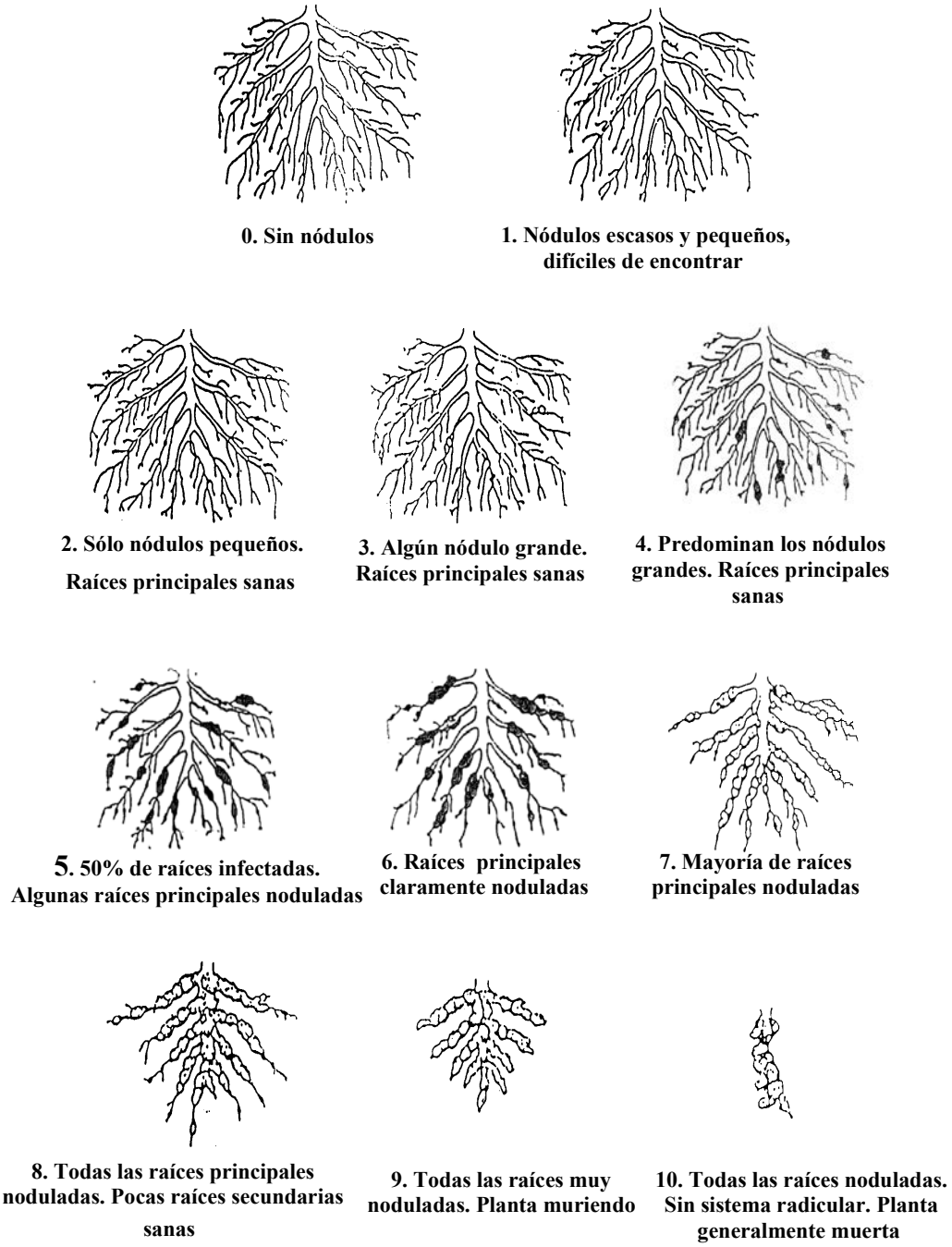

Figura 4. Índice visual de nodulación de BRIDGE y PAGE (1980).

4.2. Suelos supresivos

CAZORLA (2003) señala que, durante la década de los 60, comenzaron a analizarse las propiedades de distintos suelos que suprimían determinadas enfermedades en plantas **(suelos supresivos)**. La consecuente reducción de los síntomas de estas enfermedades era debida, entre otras causas, a la presencia de microorganismos con características particulares. Varios patógenos que habitan en el suelo, como *Fusarium oxysporum* (causante de los marchitamientos vasculares), *Phytophthora cinnamomi* (que causa las pudriciones de la raíz de muchos árboles frutales y forestales), *Pythium* sp. (ocasiona el ahogamiento de las plántulas) y *Heterodera avenae* (el nematodo formador de quistes de los cereales), se desarrollan bien y causan enfermedades severas en algunos suelos, conocidos como **suelos receptivos o conductivos**, pero se desarrollan mucho menos y causan enfermedades con efectos mucho más moderados en otros suelos, conocidos como **suelos supresivos o supresores.** Los mecanismos por medio de los cuales los suelos inhiben el desarrollo de los diferentes patógenos pueden ser consecuencia de la interacción de diferentes factores bióticos o abióticos e incluso variar de acuerdo al patógeno, en la mayoría de los casos gracias a la presencia, en esos suelos, de uno o varios microorganismos antagónicos al patógeno. Dichos antagonistas, gracias a los biocidas que producen, por competencia por el alimento o al parasitar directamente al patógeno, evitan que este último alcance poblaciones suficientemente altas para causar enfermedades severas (AGRIOS 1998, AGRAWAL *et al*. 1999).

Suelos supresivos son aquellos en los que el patógeno no puede establecerse o en los que existe el patógeno, pero la cantidad de enfermedad que se desarrolla es inferior a la que correspondería por la cantidad de inóculo y las características ambientales. Esta propiedad de los suelos fue mencionada por primera vez por ATKINSON (1889, 1892) hace más de un siglo en relación con "la Fusariosis Vascular del Algodonero" (*Fusarium oxysporum vasinfectum*), y ha sido descrita extensamente en la literatura especializada en relación con las enfermedades producidas por hongos (*F. oxysporum, Phytophthora cinnamoni, Pythium* spp*., Rhizoctonia solani*, etc.) como por nematodos (*Heterodera avenae, H. glycines* y *Meloidogyne* spp.). Aunque la supresión sobre una determinada enfermedad puede ser de tipo generalizado, y estar relacionada con el nivel general de actividad microbiana en el suelo durante una(s) fase(s) crítica de la patogénesis (como la germinación de los propágulos, crecimiento rizosférico, etc.), el aspecto que más ha llamado la atención de los investigadores es la naturaleza en ciertos casos específicos de la supresividad, sobre determinados fitopatógenos. Ejemplos de ello son la supresividad ejercida sobre: a) *Fusarium oxysporum* por poblaciones no patogénicas de *F. oxysporum y Pseudomonas fluorescens*; b) *H. avenae* por las actividades

de *Nematophthora gynophila y Verticillium clamydosporium*; c) *R. solani* por *Trichoderma hamatum* (RODRÍGUEZ KÁBANA y CALVET 1994).

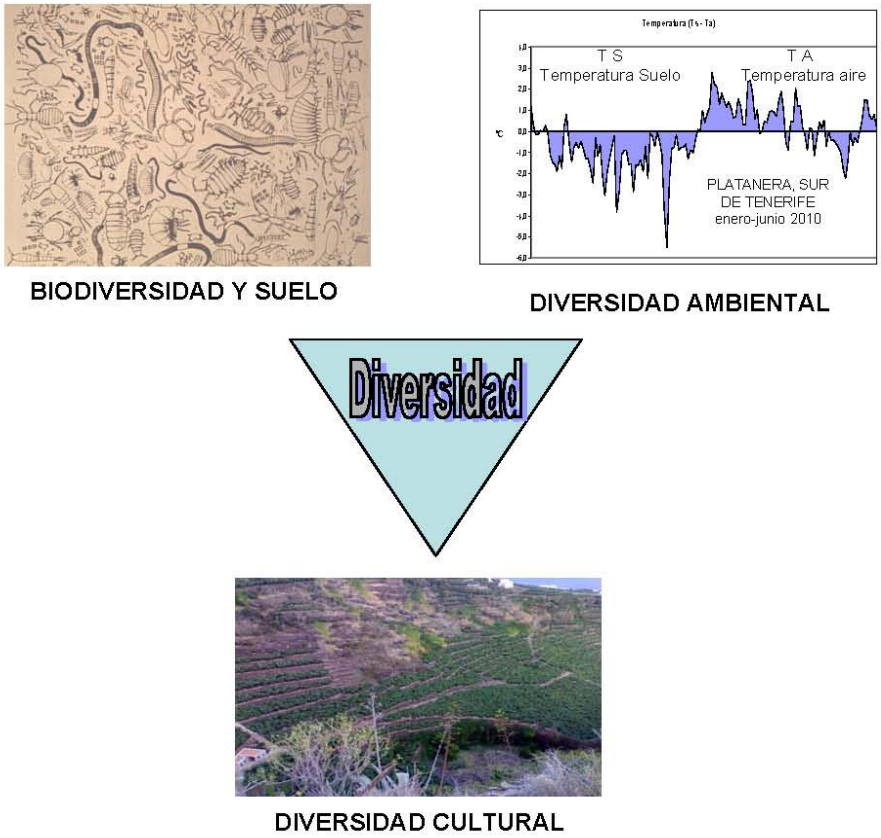

Figura 5. Diversidad y armonía como base de un modelo agrario familiar.

Se ha observado que diferentes microorganismos antagónicos prosperan en los suelos supresivos; también se ha encontrado con frecuencia que la supresión tanto del patógeno como de la enfermedad se debe a hongos como *Trichoderma, Penicillium* y *Sporodesmium* o bien a bacterias del género *Pseudomonas, Bacillus,* etc. La supresividad a las enfermedades, supresividad natural, está relacionada con la actividad microbiología del suelo. Investigaciones recientes indican que la antibiosis (producción de antibióticos por un organismo de biocontrol) tiene un importante papel en la reducción de la enfermedad en los suelos supresivos (CARBALLO 2002). El fenómeno de supresividad del suelo se debe a la presencia de microorganismos antagonistas, se puede demostrar al pasteurizar suelo a 60 °C durante 30 minutos, lo cual elimina por completo dicho efecto (AGRIOS 1998).

La existencia de suelos supresivos a nematodos ha sido observada en ciertos suelos de Centroamérica, estudios microbiológicos han demostrado que **la actividad microbiológica en los suelos supresivos es superior a la de los no supresivos**. La microflora de los suelos probablemente es una de las razones de la supresividad que presentan. Asimismo, la actividad biológica de estos suelos ha sido relacionada con el sistema de producción de las fincas bananeras, intensivas, semicomerciales y orgánicas, así como con la edad de la plantación (POCASANGRE 2002). La aplicación de alternativas de manejo agronómico, permitió una disminución de los nematodos fitoparásitos. Éstas, mejoraron la eficacia en las plantaciones, aunque se deben tener muy en cuenta diferentes factores bióticos y abióticos, además se comprobó que cuando se maneja el sistema donde están presentes "monocultivos", se debe tener en cuenta las especies de patógenos que habitan en este ambiente, en este caso la platanera, se controlan fundamentalmente *M. javanica*, especie que no se desarrolla cuando las temperaturas del suelo son inferiores a los 20 ^{o}C, aspecto importante a la hora de realizar un manejo adecuado. También se comprobó que con la planificación del momento de la brotación de los hijos en la platanera, su selección y eliminación se puede realizar una verdadera estructura de comercialización dentro del sistema, ya que para este caso se producen la mayor cantidad de piñas en los meses de junio a julio.

4.3. Medio ambiente, materia orgánica y manejo de patógenos

El aporte de materia orgánica al suelo para aumentar la fertilidad y el manejo de patógenos es una práctica que se ha venido realizando desde el inicio de la agricultura, con efectos beneficiosos sobre los parámetros físicos, químicos o biológicos. La mejora de las propiedades físicas se traduce en una mayor estabilidad de los agregados, disminución de la compactación, mayor absorción de la radiación solar (debido al color oscuro del humus), aumento de porosidad, aireación y circulación de agua en suelos arcillosos, mejora de la infiltración de agua, disminución de la evaporación de agua desde el suelo y mayor capacidad de retención de agua. En cuanto a los parámetros químicos, posee un efecto tampón, disminuyendo las variaciones de pH en el suelo, aumenta la capacidad de intercambio catiónico y aporta nutrientes. El efecto sobre los parámetros biológicos se traduce en un estímulo de la actividad biológica y el desarrollo vegetal. Esto afecta a las plantas de forma positiva, favoreciendo su desarrollo. La mejora en la aireación por el aporte de materia orgánica favorece la respiración radicular, la germinación de semillas, el desarrollo de órganos vegetales subterráneos y la actividad metabólica de los organismos edáficos. Además,

la mayor actividad microbiana produce CO_2, que acidifica el suelo y favorece la solubilización de compuestos minerales de baja solubilidad (D'Addabbo 1995, Labrador 2004).

En estos experimentos se seleccionaron las dosis óptimas para su empleo en campo mediante análisis de suelo y planta, se estudió la posible fitotoxidad existente, así como la influencia de los subproductos sobre otros grupos de nematodos y oligoquetos del suelo, comprobándose que las dosis propuestas en el trabajo son eficaces en el manejo de nematodos, confirmándose que las vinazas son eficaces, además no se observa fitotoxicidad y que la influencia es positiva sobre las demás poblaciones de nematodos ya que existe una tendencia al incremento de la fauna edáfica en el suelo. El estudio del efecto de la biodesinfección en relación con la ecotoxicología de los biodesinfectantes utilizados muestra fitotoxicidad en la vinaza de vino, ya que ésta en su composición química puede contener productos con efecto biodesinfectante, aspecto este importante en la eliminación de organismos fitoparásitos, no afectando a otros organismos que no constituyen plagas y enfermedades. En relación con los doriláimidos, por lo general, existen poblaciones con bajos números de individuos, llegando en algunos casos a desaparecer, aunque se observa que las poblaciones se recuperan cuando las muestras se toman después de varios meses de su aplicación. No se observa, por lo general, efecto fitotóxico de la biodesinfección, aunque se ha desarrollado un protocolo para poder determinar la fitotoxicidad mediante la determinación del efecto de los biodesinfectantes sobre la germinación de semillas, encontrando que en la mayoría de los casos se presenta efecto mejorador, no siendo de la misma manera cuando se realizó el ensayo con vinaza de vino utilizando semillas de berro sobre las que causa un efecto fitotóxico pudiendo servir esta planta como indicador, lo cual demuestra la efectividad de los biodesinfectantes utilizados, calculando su poder germinativo y analizando la longitud de la radícula y del tallo. La biodesinfección, por lo general, incrementa los porcentajes de germinación, así como una germinación más rápida (Castro Lizazo 2010).

El MBTOC (1995) considera el aporte de enmiendas orgánicas, ya sean aguas residuales, composts, residuos agrícolas, forestales o agroindustriales, como una alternativa no química al uso del BM para el control de patógenos de suelo. Cook y Baker (1983), Hoitink (1988) y D'Addabo (1995) revisaron los trabajos realizados donde se han utilizado diferentes materiales orgánicos para el control de nematodos. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que en muchos casos los autores no diferencian si el modo de aplicación de esta materia orgánica

en los trabajos revisados es como enmienda o como biodesinfectante. Se han estudiado una amplia gama de materiales para ser utilizados como enmiendas orgánicas para el manejo de organismos fitoparásitos, como bacterias, hongos, nematodos fitopatógenos y flora arvense. En suelos infestados con nematodos fitoparásitos el aporte de materiales orgánicos ha mostrado ser un método de manejo satisfactorio para varios de ellos, con una eficacia dependiente de la composición química y las propiedades físicas del material, que determinan el tipo de microorganismos involucrados en su descomposición en el suelo y los productos que se obtendrán de esta descomposición. Los materiales utilizados han sido extremadamente variados, incluyendo abonos verdes (residuos frescos de cultivos, partes de plantas ornamentales y de malezas), abonos de granja (cerdo, pollo, gallina, vaca), camas de animales (serrín y paja), composts, residuos sólidos urbanos, tortas derivadas de la extracción de aceites de semillas (mostaza, ricino, cacahuete) y otros residuos agroindustriales (cáscaras de arroz, cacao, etc., pieles de cítricos, restos de té y café, almidón, bagazo de caña de azúcar, melaza, residuos de industrias hortofrutícolas y de mariscos, quitina, celulosa). Muchos de estos materiales han demostrado buen efecto nematicida, pero en dosis altas pueden producir fitotoxicidad (D'Addabbo 1995). Sin embargo, se necesitan dosis de al menos 50 t/ha para que el tratamiento sea efectivo (MBTOC 1995). Para evitar los efectos fitotóxicos sobre el cultivo sin perder actividad biocida, según Rodríguez Kábana *et al.* (1987) recomiendan que las enmiendas orgánicas tengan una relación C/N entre 8-20.

El efecto nematicida de la materia orgánica se produce por diversos mecanismos (Stirling 1991), los estudios realizados indican que el efecto nematicida de las enmiendas puede provenir de la liberación de compuestos tóxicos para los nematodos, así como la función que la materia orgánica tiene en el suelo, por ser un sustrato que favorece el desarrollo de la microfauna y microflora, e incluso puede introducir microorganismos antagonistas. Con respecto a los compuestos tóxicos contenidos en las enmiendas orgánicas, los mismos pueden estar pre-formados dentro de la planta, como los fenoles, taninos, azadiractina y ricinina (Mian y Rodríguez Kabana 1982, Rossner y Zebitz 1987, Rich *et al.* 1989), o derivar del proceso de descomposición de la materia orgánica en el suelo, como amoniaco, nitritos, acetaldehído, formaldehído, isotiocianatos y sulfuro de hidrógeno (Rodríguez Kábana 1986, Gamliel y Stapleton 1993). Los materiales con alto contenido de nitrógeno generan amoniaco u otros productos nitrogenados con efecto nematicida (urea y guanidinas), entre ellos la quitina y otros materiales quitinosos que no sólo generan amoniaco, sino que también estimulan la actividad de la microflora quitinolítica del suelo (Godoy *et al.* 1983, Rodríguez

KÁBANA *et al*. 1983, 1989, 1990, CULBREATH 1985, CHIAN 1990, CANULLO *et al.* 1992). Los microorganismos quitinolíticos son efectivos para degradar huevos de nematodos y micelio de algunos hongos fitopatógenos. Por otra parte, los enemigos naturales pueden actuar de forma directa, como depredadores (algunos microartrópodos) o parásitos (ciertos hongos y bacterias), o de forma indirecta, a través de la producción de enzimas o metabolitos tóxicos capaces de afectar al nematodo o sus huevos (RODRÍGUEZ KABANA *et al*. 1983; GALPER *et al*. 1990, 1991, MBTOC 1995). Algunos estudios han combinado con éxito la aplicación de enmiendas orgánicas con el uso de enemigos naturales, agregando hongos parásitos de nematodos (GODOY *et al.* 1983, ZAKI y BHATTI 1990, PATEL *et al.* 1991, JAFFEE *et al.* 1994, VAN DER BOOGERT *et al*. 1994) u hongos saprófitos quitinolíticos, que producen enzimas capaces de destruir la cutícula de los nematodos (GALPER *et al.* 1991).

Todas las materias orgánicas utilizadas en biodesinfección del suelo incrementan la fertilidad de los suelos, por lo que se debe de tener en cuenta a qué parámetros afecta para posteriormente proponer un plan de fertilización en función de las necesidades de los cultivos, así reducimos costes de producción y mejoramos las propiedades físicas, químicas o biológicas del suelo. Se debe destacar que con todos los materiales utilizados en el trabajo producen incrementos en el K. Además se ha observado que los materiales orgánicos son buenos fertilizantes en micronutrientes como el Fe asimilable que en los suelos con alto pH pueden provocar carencias. Por otro lado las vinazas de vino disminuyen la conductividad eléctrica, mientras que las de remolacha la incrementan. Sin embargo al finalizar los cultivos este aumento de la conductividad eléctrica no es tan patente en los tratamientos con vinazas de remolacha no observándose problemas de acumulación de Na^+ en los suelos, mientras que el descenso si se mantiene en los tratamientos con vinazas de vino. Mediante la aplicación reiterada de vinazas de remolacha o de estiércol no ha provocado por otro lado acumulación de metales pesados como Cu y Zn, a pesar de que sus valores se incrementan después de realizar cada tratamiento.

Se confirma la eficacia de diversas alternativas al uso del BM u otros fumigantes del suelo, afirmando que éstas son eficaces. Sin embargo, los avances obtenidos nos pueden plantear nuevos interrogantes que necesita de investigaciones para un manejo más racional de las técnicas propuestas. En un futuro las investigaciones para el manejo de nematodos se deben centrar en mejorar la eficacia de las alternativas seleccionadas de manera que se pueda armonizar el conocimiento científico con la realidad agraria, debiéndose estudiar cuáles son

los mecanismos, procesos o sustancias que causan la disminución de los organismos patógenos y a partir de estos estudios potenciarlas en aquellas situaciones que parecen ser más favorables. Esta línea de actuación, se debe complementar mediante conocimientos de agronomía que es la base del funcionamiento de los sistemas agrarios mediante un enfoque en el que la cultura agraria, tradicional de cada área, sea tenida muy en cuenta (Díaz Viruliche 2000, 2006, Urbano 2008).

4.4. Biodesinfección y producción ecológica

Se debe destacar que la producción vegetal (Fitotecnia), parte del conocimiento de los agricultores que durante muchos años han diseñado sistemas de producción con plantas de ciclo corto, intercalándolas con otras plantas que son utilizadas como plantas trampas (Bello 1998). El **concepto de biodesinfección** incrementa la abundancia y diversidad de los nematodos saprófagos del grupo de los rabdítidos, que son fundamentales en la descomposición de la materia orgánica, observándose una reducción de sus poblaciones en los tratamientos con estiércoles, hecho que ocurre también en algunos suelos donde la aplicación de agroquímicos es alta, por todo ello debe tenerse muy en cuenta las dosis de aplicación. No se observa, por lo general, efecto fitotóxico de la biodesinfección, aunque se ha desarrollado un método para poder determinar la fitotoxicidad mediante la determinación del efecto de los biodesinfectantes sobre la germinación de semillas, encontrando que en la mayoría de los casos se presenta efecto mejorador, no siendo de la misma manera cuando se realizó el ensayo en semillas de berro en las que causa un efecto fitotóxico sirviendo como indicadora en un test de toxicidad, lo que puede señalar la efectividad como herbicida de los biodesinfectantes utilizados. La biodesinfección, por lo general, incrementa el porcentaje de germinación así como una germinación más rápida (Castro Lizazo 2010).

En gran parte, la gestión de los residuos agroindustriales se limita al vertido o acumulación y sólo en forma muy localizada, en aquellos lugares donde se ha adoptado un modelo de agricultura con criterios ecológicos, se les da un uso productivo, dándoles un valor añadido, por ello es necesario proponer alternativas para su gestión. Para valorar la potencialidad de estos materiales se evaluó la biodesinfección en laboratorio como una alternativa ambiental para su gestión, en particular de aquellos que se generan en mayor cantidad en Cuba. Se ha estudiado el potencial biodesinfectante de la cascarilla de arroz, paja de caña de azúcar, pulpa

de café y en menor medida restos de tabaco, así como vinaza de caña, que se estudiaron tanto solos como combinados entre ellos, o con otros materiales como gallinaza y vinazas. Se determinó el efecto de los tratamientos de biodesinfección en laboratorio sobre nematodos fitopatógenos del género *Meloidogyne,* así como sobre organismos beneficiosos del suelo, en particular nematodos de vida libre (rabdítidos y doriláimidos) y oligoquetos del suelo (enquitréidos). Además, se estudió su efecto sobre el crecimiento, contenido de nutrientes e índice de nodulación en raíces de tomate cv Marmande, así como sobre la fertilidad del suelo.

Los resultados obtenidos mostraron que los coproductos evaluados disminuyeron eficazmente las poblaciones de nematodos formadores de nódulos, alcanzando el 100% de mortalidad en la mayoría de los tratamientos. Los índices de nodulación en las raíces de las plantas, indicadoras del efecto producido por *Meloidogyne*, también se redujeron en la mayoría de los tratamientos, incluso hasta valores de cero. En cuanto al efecto de la biodesinfección en el crecimiento de las plantas, en general se incrementaron todas las variables evaluadas: altura, número de hojas y peso de plantas. Para los parámetros de fertilidad del suelo, se observó un efecto positivo, especialmente en relación con la capacidad de intercambio catiónico, con efecto variable en función del tipo de suelo, dando mejores resultados en los arcillosos que en los arenosos. Se valoraron además otras prácticas agrarias para ser combinadas con la biodesinfección, como las asociaciones y rotaciones de cultivos, así como la aplicación de cubiertas vegetales muertas, con **el objetivo de que la biodesinfección no se considere como una práctica aislada sino como una alternativa a incluir en el diseño de sistemas de manejo agrícola sostenibles, con el fin de aumentar su eficacia**. La biodesinfección se puede utilizar en agricultura como una alternativa medioambiental en la gestión de residuos agroindustriales que disminuye su potencial contaminante y permite utilizarlos como mejoradores de suelo, tanto desde el punto de vista de la fertilidad como del manejo de patógenos edáficos, reduciendo la utilización de agroquímicos (Figueredo *et al*. 2010, Castro Lizazo 2010).

Oka (2010) hace una excelente revisión de los mecanismos relacionados con la supresión de organismos del suelo patógenos de vegetales, mediante la aplicación de gran variedad de materiales de origen orgánico, tales como abonos verdes y estiércoles, compost, plantas con efecto nematicida, materiales de origen proteico y otros, señalando que la eficacia en el control de nematodos no es siempre satisfactoria. Plantea que los mecanismos de control son muy complejos, destacando los aspectos siguientes: 1. existencia de compuestos con efecto

nematicida en los materiales aplicados al suelo; 2. generación de compuestos nematicidas, tales como amoniaco y ácidos grasos volátiles, durante los procesos de descomposición; 3. incremento e introducción de microorganismos antagonistas; 4. inducción de tolerancia y resistencia a patógenos en la planta; 5. cambios en las características del suelo que actúan con efecto negativo sobre el comportamiento de patógenos, todos estos mecanismos pueden actuar de modo combinado para producir a través de materiales de origen orgánico su efecto supresor sobre nematodos. Se resalta el interés de evaluar no sólo su eficacia sino también la seguridad de los materiales de origen orgánico seleccionados, siendo necesario que se realicen, junto a las investigaciones multidisciplinares que propone el autor, como aspectos fitoquímicos, microbiológicos del suelo, química y ecología, así como sobre los conocimientos en nematodos del suelo. En el trabajo se incluye, además, una excelente revisión bibliográfica, destacando las aportaciones recientes sobre el valor de los hongos endofíticos en la supresión de nematodos parásitos de plantas (Sikora *et al.* 2008), el potencial antagonista de las bacterias endofíticas en café para el manejo de *M. incognita* (Mekete *et al.* 2009); control de *M. javanica* con *Trichoderma harzianum* (Sahebani y Hadavi 2008); efecto de la materia orgánica en el incremento de hongos nematófagos (Wachira *et al.* 2009); potencial de los purines de cerdo en el manejo de nematodos de la soja (Xiao *et al.* 2007); pero sobre todo la necesidad de tener muy en cuenta los riesgos de salinización de los suelos por la aplicación reiterada de materia orgánica (Yao *et al.* 2007). Se debe señalar que es imprescindible el establecimiento de bases agronómicas para la utilización de estos materiales orgánicos en biodesinfección de suelos, que ha sido el objeto de nuestros trabajos por Díez Rojo *et al.* (2006, 2008a,b,c, 2009), fundamentadas en el estudio agroecológico de los nematodos formadores de nódulos del género *Meloidogyne*, cuyas características han sido descritas por Orton Williams (1972, 1973, 1974, 1975). Por último resaltar los trabajos sobre el interés de la materia orgánica para el manejo de los hongos del suelos de Bonanomi *et al.* (2007) y Martínez *et al.* (2009), así como sobre bacterias y virus por Zanón *et al.* (2004) y Vilaseca (2007). Todos estos trabajos han sido revisados en las tesis doctorales de Zanón (2009), Díez Rojo (2010) y Castro Lizazo (2010).

Recientemente Coello *et al.* (2010) señalan que existen distintos métodos de biodesinfección de suelos, que pueden fundamentarse en tres procesos principales: solarización, biosolarización y biofumigación, describiendo los pasos a seguir en cada proceso. En el caso de la **Solarización**, se aró con un cultivador rotativo y posteriormente se riega el terreno hasta su saturación, procediendo al día siguiente a sellarlo con plástico transparente de polietileno

de 200 galgas de espesor (50 μm) generalmente de 4 m de ancho para cubrir el suelo, que se retira entre los 40-45 dias; **Biosolarización**, que consiste en distribuir sobre el terreno y cortar los restos (hojas y tallos) del cultivo anterior de coles (*Brassica oleracea*), que a razón de 6-8 kg/m^2 se incorporan al suelo entre 20-30 cm de profundidad con el cultivador rotativo, después se riega el suelo y se coloca un plástico transparente de 200 galgas; y **Biofumigación**, **que consiste en trocear e incorporar al suelo restos de coles (6-8 kg/m^2),** mediante un cultivador rotativo, y posteriormente se aplica el riego. Se resalta la importancia del estiércol o los abonos verdes en los procesos de biodesinfección.

Estos planteamientos deben ser desarrollados a través de un modelo de investigación participativa para poder conocer sus bases científicas, ecológicas y sociales. Por ello, es necesario que los Centros y Programas de Investigación armonicen el conocimiento científico con el **"Saber"** de agricultores y técnicos, mediante un diseño conjunto de proyectos donde se fijen y seleccionen los objetivos, se lleve un seguimiento participativo de los trabajos de investigación y transferencia tecnológica, para obtener resultados que nos permitan lograr modelos propios en la gestión del territorio y el desarrollo rural. Paralelamente, **los ciudadanos han de seleccionar un modelo alimentario solidario y responsable, estableciendo precios justos para agricultores y consumidores, teniendo muy en cuenta los servicios ambientales del sector agrario, pero sobre todo la concienciación de que los problemas del campo son responsabilidad de todos** (Bello *et al*. 2009).

No existe una contradicción entre el concepto de biodesinfección de suelos y los principios de la AE, debido a que aunque tradicionalmente una desinfección química del suelo tiende a destruir vida (biocida), y a que su génesis está vinculada al aprovechamiento de residuos agrarios que generalmente pueden tener sustancias químicas a veces prohibidas en el cultivo ecológico. Se debe resaltar en el caso de la biodesinfección de suelos, que el efecto sobre la actividad microbiana y la fauna del suelo es positivo, disminuyendo el nivel de las poblaciones de fitoparásitos o fitopatógenos, al mismo tiempo que incrementa los organismos antagonistas y saprófagos, pudiendo elevar la temperatura del suelo entre 2-3º C. En la gran mayoría de los casos no se manifiesta un efecto letal **(biocida)** o de esterilización de suelos, sino una acción de **biostasis**, que tiene un efecto selectivo sobre los organismos beneficiosos saprófagos y antagonistas con mayor adaptación a las condiciones de anaerobiosis por ser los responsables de la descomposición de la materia orgánica (Blok *et al.* 2000, Goud *et al.* 2004).

Respecto a la aplicación de la biodesinfección en AE, debemos señalar que se podrá utilizar cuando los restos industriales y agrarios empleados cumplan el Reglamento UE 889/2008 de AE para este fin, o sea, aquellos restos procedentes de la industria o de sistemas de producción que estén certificados como ecológicos. La biodesinfección de suelos contribuye a reestablecer el equilibrio de los suelos afectados por las prácticas convencionales, especialmente durante el **periodo de conversión,** si se utilizan materias orgánicas procedentes de la producción ecológica conforme al reglamento que las rige, pero una vez pasado este periodo de conversión, su utilización debería aplicarse bajo asesoramiento técnico, ya que los suelos manejados ecológicamente tienden de modo natural a establecer su equilibrio y no siempre presentan problemas de plagas y enfermedades, actuando en este último caso la biodesinfección con una función preventiva.

CONSIDERACIONES FINALES

Se confirma la eficacia de diversas alternativas fundamentadas en criterios ecológicos al uso del BM u otros fumigantes del suelo, afirmando que estas son eficaces. Sin embargo, los avances obtenidos nos pueden plantear nuevos interrogantes que necesita de investigaciones para un manejo más racional de las técnicas propuestas. En un futuro las investigaciones para el manejo de nematodos se deben centrar en mejorar la eficacia de las alternativas estudiadas de manera que se pueda armonizar el conocimiento científico con la realidad agraria. En este sentido, se deben estudiar cuáles son los mecanismos, procesos o sustancias que causan la disminución de los organismos patógenos, que se debe complementar mediante conocimientos de agronomía que son la base del funcionamiento de los sistemas agrarios, mediante un enfoque en el que la cultura agraria tradicional de cada área sea tenida muy en cuenta. Se resaltan a continuación las principales conclusiones obtenidas:

La **biodesinfección de suelos** con el empleo de restos agrarios puede ser una alternativa a los desinfectantes químicos, con un efecto positivo para el manejo de organismos del suelo patógenos causantes de enfermedades en los cultivos, permitiendo diseñar sistemas agrarios de producción bajo criterios ecológicos, al mismo tiempo que la conservación del medio ambiente, siempre que se cuente con un grupo de expertos (técnicos y científicos) que nos permitan diseñar modelos agronómicos de gestión que se complementen con el conocimiento de los agricultores. **Los biodesinfectantes estudiados incrementan la abundancia y diversidad de los nematodos saprófagos** del grupo de los rabdítidos, que son fundamentales en la descomposición de la materia orgánica, observándose en algunos casos una reducción de sus poblaciones en los tratamientos con estiércoles, hecho que ocurre también en algunos suelos donde la aplicación de agroquímicos es alta, por ello debe tenerse muy en cuenta las dosis de aplicación. No se observa, por lo general, efecto fitotóxico de la biodesinfección, aunque se ha desarrollado un protocolo para poder determinar la fitotoxicidad mediante la determinación del efecto de los biodesinfectantes sobre la germinación de semillas, encontrando que en la mayoría de los casos se presenta efecto mejorador.

Los estiércoles de origen animal estudiados, han resultado altamente eficaces en el manejo de nematodos formadores de nódulos del género *Meloidogyne*, pudiendo alcanzar hasta un 100% de mortandad, presentando al final del cultivo índices de nodulación en las raíces menores a

dos e inferior al testigo. En el caso de la incorporación de estiércol, se incrementan los nematodos saprófagos del grupo de los rabdítidos y oligoquetos del grupo de los enquitréidos de gran interés en la descomposición de la materia orgánica, aumentan también los nematodos del grupo de los doriláimidos, puesto que se ha observado que se recuperan después de varios meses de la aplicación de los biodesinfectantes. La fertilidad del suelo, así como su estructura física se incrementa con el empleo de la biodesinfección. **Los residuos agroindustriales aplicados como biofumigantes han sido altamente eficaces en la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.** Estos restos son también altamente eficaces en el manejo de los nematodos del género *Meloidogyne* e incrementan los nematodos saprófagos y oligoquetos del grupo de los enquitréidos, proporciona un ligero aumento de los doriláimidos. Las dosis aplicadas de los biodesinfectantes (vinazas de remolacha, caña de azúcar o vino) influyen positivamente en la biodiversidad funcional del suelo, observándose un incremento del número de hojas, longitud de la raíz y el tallo, señalando que no apareció ningún fenómeno de fitotoxicidad en las plantas utilizadas como bioindicadoras. Se produce en general un incremento de saprófagos y oligoquetos enquitréidos, especialmente en las dosis superiores a 12.000 l/ha, manteniéndose sin modificar las poblaciones de organismos saprófagos estudiados (rabdítidos y enquitréidos) al final del experimento y no sufren alteraciones los doriláimidos, que son nematodos muy sensibles a los cambios producidos por la aplicación de agroquímicos. No se observa influencia negativa alguna sobre la fertilidad del suelo y los nutrientes de la planta. **La aplicación de subproductos agrarios líquidos como las vinazas de vino, remolacha o caña de azúcar permitió una disminución de los nematodos fitoparásitos sin causar problemas de fitotoxicidad.** Su uso reiterado mejoró la eficacia de los tratamientos anteriores sin observarse efectos negativos sobre la planta, aunque se deben tener muy en cuenta las dosis, época y método de aplicación.

Se puede concluir de los experimentos de campo que **no es necesaria la utilización de plástico en aquellos suelos con alto contenido de arcilla, especialmente caolinita, y en los suelos poco profundos.** El plástico se puede sustituir, además, añadiendo a los biodesinfectantes sólidos como en el caso del estiércol, sustancias líquidas como las vinazas que son biodegradables y pueden favorecer además la retención de los gases. Se puede reducir la dosis del biodesinfectante cuando se conoce previamente la distribución de los patógenos en los suelos. Es necesaria una distribución homogénea de los biodesinfectantes o el estiércol, al mismo tiempo es fundamental mantener los niveles de humedad puesto que favorece la fermentación y la producción de gases, aspecto importante para lograr un efecto similar al

bromuro de metilo (BM) o los fumigantes químicos, incrementando el número de rabdítidos que prolonga en el tiempo la eficacia, al mismo tiempo que incrementa la proporción de doriláimidos que son un buen indicador de los efectos tóxicos en los suelos.

Se señala la necesidad de centrarse en la selección de criterios agronómicos que nos permitan regular la complejidad de los problemas planteados por los nematodos fitoparásitos y otros organismos patógenos, sobre todo ante la dificultad de encontrar alternativas eficaces de manejo, tanto desde el punto de vista de la utilización de productos químicos, como biológicos mediante el uso de variedades portadoras de genes de resistencia, cuya durabilidad en el tiempo depende fundamentalmente del sistema de cultivo, así como para la optimización de la eficacia mediante biodesinfección de suelos utilizando materiales de origen orgánico que suelen ser heterogéneos. Por todo ello, es fundamental realizar planteamientos desde el punto de vista agronómico, mediante estudios de ecología de los sistemas agrarios que nos permitan definir cuáles son los elementos y procesos claves en la gestión de un cultivo, **centrándonos en el manejo de la diversidad, pero no sólo de la biológica, especialmente por sus aspectos funcionales**, mediante la utilización de variedades portadoras de genes de resistencia, siendo también importante el manejo de la **diversidad ambiental teniendo en cuenta las variaciones de las estaciones a lo largo del año y la variabilidad espacial,** especialmente en los ambientes mediterráneos, pero sobre todo, a través de la armonización de ambas que está relacionada directamente con las técnicas de cultivo **(diversidad cultural).**

El esquema visual del índice de nodulación de Bridge y Page (1980), se presenta como la técnica más adecuada y fiable de análisis en campo de la eficacia de la desinfección de suelos. Se trata de una técnica de fácil aplicación por los agricultores que permite obtener datos fiables de los niveles de infectación y de distribución de los nematodos del genero *Meloidogyne* dentro de un cultivo sin necesidad de realizar análisis en laboratorio.

En el estudio de la ecotoxicología de los biodesinfectantes se encontró sólo fitotoxicidad en la vinaza de vino, ya que ésta en su constitución puede presentar compuestos con efecto biodesinfectante que deben ser estudiados, aspecto que es importante en la eliminación de fitoparásitos, no afectando negativamente a otros organismos que no constituyen plagas y enfermedades. En relación con los doriláimidos, por lo general, existen poblaciones de bajo número de individuos llegando en algunos casos a desaparecer, aunque se observa que se recuperan después de varios meses de su aplicación. En estos experimentos se seleccionaron

las dosis óptimas para emplear en campo mediante análisis de suelo y planta, se estudió la posible fitotoxidad existente y la influencia de los subproductos sobre otros grupos de nematodos y oligoquetos del suelo, comprobándose que las dosis propuestas en el trabajo son eficaces en el manejo de nematodos fitoparásitos, además no se observan efectos negativos sobre las poblaciones de nematodos saprófagos y de vida libre, ya que se encontró en general, una tendencia al incremento de la fauna edáfica beneficiosa.

Todas las materias orgánicas utilizadas en biodesinfección del suelo incrementan la fertilidad de los suelos, por lo que se debe de tener en cuenta a qué parámetros afecta para posteriormente proponer un plan de fertilización en función de las necesidades de cada cultivo, así reducimos costes de producción y mejoramos las propiedades físicas, químicas o biológicas del suelo. Se debe destacar que con todos los materiales utilizados en el trabajo se producen incrementos en MO, $C_{orgánico}$, N_{total}, P_2O_5, K, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+} y Mn. Además se observó que aunque aumentan tanto el sodio como el calcio, estos no causan cambios aparentes en el pH del suelo, respecto a los valores de conductividad eléctrica y Zn disminuyen respecto al análisis inicial, manteniéndose en el resto de elementos un comportamiento medio aceptable. **Se concluye que la biodesinfección como manejo agronómico puede ser utilizada en los sistemas agrarios y en la gestión de restos agrarios, incrementando la fertilidad del suelo, sus propiedades físicas, químicas y biológicas,** reduciendo costes de producción, su impacto en el medioambiente, dando valor añadido a la materia orgánica, debiéndose tener en cuenta que su naturaleza es diversa, pudiendo ser sólida o líquida, que durante su descomposición dan lugar a gases capaces de actuar sobre los microorganismos causando un efecto biostático, reduce el consumo de agua y fertilizantes, no observándose ecotoxicidad, aumenta la fauna edáfica con la presencia de nematodos saprófagos, especialmente los rabdítidos, así como los rendimientos de los cultivos. La utilización de restos de la agroindustria azucarera o del vino y de los cultivos permite cerrar ciclos de materia y energía, es más económico y sostenible por la utilización de recursos locales. La biodesinfección es una alternativa agroecológica para mantener el equilibrio en los agrosistemas siguiendo criterios agronómicos, se complementan con el manejo armónico de la diversidad, no sólo biológica sino sobre todo ambiental y cultural, diseñando técnicas de cultivos que sean flexibles y adaptadas a cada circunstancia agroecológica.

Se pudo confirmar que la biodesinfección de suelos, se basa en la inducción de procesos y en la producción de sustancias volátiles que actúan fundamentalmente como fumigantes **(biofumigación)** para el manejo de organismos patógenos de vegetales, mediante la descomposición de las enmiendas orgánicas y restos agroindustriales, **teniendo en cuenta su efecto sobre la actividad microbiana de manera selectiva, disminuyendo el nivel de las poblaciones de fitoparásitos o fitopatógenos, favoreciendo a los organismos antagonistas. Se propone el término de biodesinfección de suelos puesto que la materia orgánica puede ser de naturaleza diversa, tanto sólida como es el caso de los restos agrarios y el estiércol, o líquida como las vinazas de remolacha, vino o caña de azúcar** e incluso los purines de origen animal que a través de los procesos de descomposición dan lugar a gases con efectos biofumigante. La biodesinfección de suelos incrementa su eficacia al aumentar la temperatura especialmente cuando se combina con la solarización **(biosolarización).**

Las investigaciones futuras deben centrarse en el conocimiento de los procesos implicados en la acción de los biodesinfectantes, teniendo en cuenta los diferentes cultivos, suelos y regiones agroclimáticas, con el fin de optimizar los métodos de aplicación, principalmente a través de mejorar los métodos propuestos por la fitotecnia (agronomía) en el manejo de la materia orgánica y la fertilización. Se plantea además que la diversidad como elemento armonizador es el elemento clave en la gestión del territorio y la conservación de la cultura rural, puesto que nos permite diseñar un modelo agroambiental y alimentario a nivel mundial para la protección del medio ambiente, sin causar problemas de salud a los seres vivos y que sobre todo ayude a eliminar la pobreza, sin olvidar que dentro de la diversidad biológica (biodiversidad) existen también organismos causantes de plagas o enfermedades, tanto para plantas como animales, así como para el ser humano, por lo que debemos hablar siempre de **biodiversidad funcional.** Pero sobre todo, no debemos olvidar la **diversidad cultural** que nos permite manejar el ambiente a través de las culturas agrarias, teniendo en cuenta un compromiso social que se fundamente en **una alimentación responsable y solidaria,** usando **criterios de soberanía alimentaria** que permite a los ciudadanos elegir los alimentos en función de su repercusión sobre el medio ambiente, la salud de los seres vivos y la equidad social, así como su contribución a dar solución a los problemas de pobreza, al mismo tiempo que se reduzca su impacto ambiental.

AGRADECIMIENTOS

Queremos hacer un reconocimiento a todas las personas que de una forma u otra han hecho posible que se realice este trabajo, del cual estamos satisfechos por aportar nuestro grano de arena al desarrollo de la Ciencia y Tecnología Agraria. Quisiéramos ir nombrando a cada una de ellas pero si en algún momento nos faltara alguno, por favor no lo tomen a mal sino que sepan que también están siempre con nosotros. El primer lugar dar las gracias al Profesor Dr Javier C. Tello Marquina por la presentación del trabajo que se recoge en el prólogo de la monografía, al Dr Navas del Museo Nacional de Ciencias Naturales por la revisión del trabajo, a la Dra M. Arias, quien como jefa del Dpto de Agroecología contribuyó al hecho de que la investigación participativa en agronomía fuese una realidad.

Nuestro especial reconocimiento a todos los compañeros que han estado trabajando durante estos años en el Dpto de Agroecología, del Centro de Ciencias Medioambientales (CCMA, CSIC), por su gran apoyo técnico, científico y moral, considerándolos una gran familia: Casimiro Martínez Martínez, Lee Robertson, Susana Arcos Cobacho, Miguel Escuer, Carmen Gutiérrez, Víctor García Dorado, Rosa González López, Mª del Mar López Borrego, José María Carreño. Resaltar al Dr Miguel Ángel Díez Rojo un reconocimiento muy especial, puesto que ha puesto a nuestra disposición todos los conocimientos recogidos en su tesis doctoral: "Bases Agronómicas para la utilización de restos agrarios en biodesinfección de suelos" (Díez Rojo 2010), para que los podamos adaptar a los modelos de desarrollo de los sistemas agrarios en ambientes tropicales (Castro Lizazo 2010). Amigos todos de conferencias, eventos, talleres, días festivos, alegría y tristeza, **gracias Equipo.**

Quisiéramos hacer un agradecimiento muy especial a la familia **Concha Amores y Santiago Palacios,** por el comportamiento que han tenido al compartir su casa con Iván Castro Lizazo durante su estancia en Madrid, estaremos siempre en deuda con ustedes, aquí tienen otro hijo que permanecerá siempre unido a la **familia ibérica Palacios-Amores.** También debo dar nuestro agradecimiento al Dr Gonzalo Almendros Martín, Octavio Cenedilla Martín, por todo el Servicio de Análisis, así como Dr Eduardo de la Peña, Araceli Pillco y Antonia Martínez López, quienes aportaron el estudio ecotoxicológico de las vinazas. Por otro lado nuestro agradecimiento a los compañeros que han venido colaborando en el trabajo, Javier López Cepero, Ana Piedra Buena, Rodrigo Rodríguez Kábana, Mayra Rodríguez Hernández, Lucia Gómez, Roberto Delgado. Agradecer a todos los amigos que compartieron bellos momentos

durante el trabajo, especialmente a José Manuel Torres Nieto técnico de Níjar (Almería), José Ballester Marco "El Curro" de la Cooperativa El Perelló (Valencia) y Ciriaco Alcolea Plaza agricultor de Socuéllamos (Ciudad Real, JCCM), por sus comunicaciones siempre certeras para la gestión de los cultivos, así como a la Cooperativa de El Perelló (Valencia), especialmente a sus técnicos y directiva, D. Emilio Martínez, Jose Luis Beltrán y José M. Herrero.

Nuestro reconocimiento a la Encomienda de Gestión financiada con el Ministerio de Medio Ambiente (MARM): **"Reducción del impacto ambiental de subproductos agroindustriales mediante su empleo como biodesinfectantes para la sustitución de agroquímicos"** (Ref. OTT2007X1317), a la Agencia de Cooperación Internacional y Desarrollo (AECID) por la ayuda concedida a Iván Castro Lizazo para culminar su trabajo, así como la colaboración de la FEPEX (Federación Española de Productores y Exportadores), Instituto Murciano de Investigaciones Agrarias (IMIDA), Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA), Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT), las diferentes Comunidades Autónomas (CCAA), especialmente la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha (JCCM), el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y Ministerio de Educación y Ciencia (MEC). También a nivel internacional queremos hacer un reconocimiento muy especial a una serie Organizaciones como CSIRO (*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation*), FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*), ONTA (Organización de Nematólogos de los Trópicos Americanos), PNUMA (Programa de Naciones Unidas de Medio Ambiente), SECH (Sociedad Española de Ciencias Hortícolas) que han venido colaborando con nosotros.

A todos los que de una forma u otra han hecho posible que este trabajo se haga realidad, a todos **Muchas Gracias**.

ABREVIATURAS

AE	Agricultura Ecológica
AECID	Agencia de Cooperación Internacional y Desarrollo
AGV	Ácidos grasos volátiles
APS	*American Phytopathological Society*
BM (MB)	Bromuro de metilo (*methyl bromide*)
BSD	*Biological Soil Desinfestation*
CABI	Commonwealth Agricultural Bureau International
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CCAA	Comunidades Autónomas
CCMA	Centro de Ciencias Medioambientales
CICYT	Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología
CIH	*Commonwealth Institute of Helminthology*
CLADES	Centro Latinoamericano de Desarrollo Sustentable
C/N	Relación carbono-nitrógeno
CSIC	Consejo Superior de Investigaciones Científicas
CSIRO	*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation*
CUN (CUNs)	*Critical Use Nomination*
cv	Cultivar
DBCP	dibromocloropropano
DD	Dicloropropano + dicloropropeno
DO	Denominación de orígen
EC	*European Commission*
EE UU	Estados Unidos de América
EPA	*Environmental Protection Agency*
ETSI	Escuela Técnica Superior de Ingenieros
FAO	*Food and Agriculture Organization of the United Nations*
FEPEX	Federación Española de Productores y Exportadores
GTZ	*Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, Deutsche*
ICP	*Integrated Crop Protection*
IFOAM	Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica
IM	Ioduro de metilo
IMIDA	Instituto Murciano de Investigaciones Agrarias
INIA	Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias
IOPC	*International Organisation for Biological and Integrated Control*
IPM	*Integrated Pest Management*

J_1, J_2, J_3, J_4	Estadios juveniles de nematodos fitoparásitos (*Meloidogyne*)
JCCM	Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha
MAPA	Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación
MARM	Ministerio de Medioambiente y Medio Rural y Marino
MBTOC	*Methyl Bromide Technical Options Committee*
MEC	Ministerio de Educación y Ciencia
Metam- Na	Metam- sodio
Mi	Gen de resistencia a *Meloidogyne incognita*
MO (%)	Porcentaje de materia orgánica
OGMs	Organismos genéticamente modificados
OILB	Organización Internacional de Lucha Biológica e Integrada
ONTA	Organización de Nematólogos de los Trópicos Americanos
Países Art. 5	Países Artículo 5
Países no-Art. 5	Países no-Artículo 5
PepMV	*Pepino Mosaic Virus*
Pic	Cloropicrina
PNUMA	Programa de Naciones Unidas de Medio Ambiente
UNEP	*United Nations Enviromment Programme*
QPS	*Quarantine and Pre-shipment*
SAR	*Systemic Acquired Resistance*
SARE	*Sustainable Agriculture Research and Education*
SEA	Servicio de Extensión Agraria
SEAE	Sociedad Española de Agricultura Ecológica
SECH	Sociedad Española de Ciencias Hortícolas
SEF	Sociedad Española de Fitopatología
ToMV	*Tomato Mosaic Virus*
UE	Unión Europea
UNAH	Universidad Agraria de La Habana
UNEP	*United Nations Environment Programme*
UNEX	Universidad de Extremadura
USA	*United States of America*
VAM	*Vesicular Arbuscular Mycorrhiza*
var	Variedad
VIF	*Virtually Impermeable Film*
1,3-D	1,3-dicloropropeno
1,3-D + Pic	1,3-dicloropropeno + cloropicrina

BIBLIOGRAFÍA

Agrawal AA, Tuzun S, Bent E (Eds). 1999. *Induced Plant Defenses*. APS Press, St. Paul, Minnesotta, 390 pp.

Agrios GN. 1998. *Fitopatología. Control de las Enfermedades de las Plantas.* Trad. M. Guzmán Ortiz, México, Limusa, 193-194.

Aguirre I, Carmona I, López Martínez N, Cuaresma I, González Zamora JE, Avilla C, López Medina I. 2004. Influencia de la biofumigación en la productividad y precocidad del cultivo ecológico de fresón. *VI Congr. SEAE*, 27 sept.-2 oct., Almería, 303-312.

Akhtar M. 2000. Effect of organic and urea amendments in soil on nematode communities and plant growth. *Soil Biology and Biochemistry* 32, 573-575.

Altieri MA. 1997. *Agroecología. Bases Científicas para una Agricultura Sustentable.* CLADES, La Habana, Cuba, 249 pp.

Angus JF, Gardner PA, Kirkegaard JA, Desmarchelier JM. 1994. Biofumigation: Isothiocyanates released from *Brassica* roots inhibit growth of the take-all fungus. *Plant and Soil* 162, 107-112.

Atkinson GF. 1889. A preliminary report upon the life-history and metamorphoses of a root-gall nematode, *Heterodera radicicola* (Greef.) Mueller, and the injuries caused by it upon the roots of various plants. *Alabama Agricultural Experiment Station Bulletin* 9, 1-54.

Atkinson GF. 1892. Some diseases of cotton. *Alabama Agricultural Experiment Station Bulletin* 41, 1-65.

Avilés Guerrero M, Rodríguez Jurado D, Castillo Jurado S, Castillo Fernández ML, Borrero Vega C, Bejarano Alcázar J. 2008. Mecanismos involucrados en la supresión de *Verticilliun dahliae* en el suelo mediante la aplicación de enmiendas de cruciferas. *XIV Congr. SEF*, 15-19 sept., Lugo, 358 p.

Bailey KL, Lazarovits G. 2003. Suppressing soilborne diseases with residue management and organic amendments. *In*: AV Sturz, BR Christie (Eds). **Soil Agroecosystems: Impacts of Management on Soil Health and Crop Diseases**. *Soil and Tillage Research* 72, 169-180.

Barres MT, Bello A, Jordá C, Tello J. 2006. **La Eliminación del Bromuro de Metilo en la Protección de Cultivos como Modelo Mundial para la Conservación del Medio Ambiente**. Univ. Almería, MAPA, Madrid, 515 pp.

Bell A, Boye J, Muck O. 1998. **Methyl Bromide Substitution in Agriculture**. GTZ, Eschborn, 159 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*. EC DG XI-CSIC, Valencia, 99-126.

Bello A. 2008. La crisis del cultivo del tomate en Canarias. Alternativa desde la Agroecología. *Agropalca* 3, 16 p.

Bello A, Arias M, López Pérez JA, García Álvarez A, Fresno J, Escuer M, Arcos SC, Lacasa A, Sanz R, Gómez P, Díez Rojo MA, Piedra Buena A, Goitia C, Horra JL de la, Martínez C. 2004. Biofumigation, fallow, and nematode management in vineyard replant. *Nematropica* 34, 56-64.

Bello A, Castro Lizazo I, Díez Rojo MA, López Cepero J, Torres Nieto JM. 2010. Importancia ambiental y eficacia de la biodesinfección de suelos. *Vida Rural* 313, 36-39.

Bello A, Castro Lizazo I, Rodríguez Kábana R. 2009. Un proyecto agroambiental y alimentario solidario para conservar el territorio y la cultura rural. *Agropalca* 6, 28 p.

Bello A, López Pérez JA, Arias M, Lacasa A, Ros C, Herrero M, Fernández P. 2001a. Biofumigation and grafting in pepper as alternative to MB. *Annual Internat. Research Confer. MB Alternatives and Emissions Reductions,* 5-9 nov., San Diego, California, 31.1-31.2.

Bello A, López Pérez JA, Díaz Viruliche L, Sanz R, Arias M. 1999. Bio-fumigation and local resources as methyl bromide alternatives. *3rd Internat. Workshop Alternatives to Methyl Bromide for the Southern European Countries*, 7-10 dic., Heraclion, Creta, Grecia, 17 p.

Bello A, López Pérez JA, Díaz Viruliche L, Tello JC. 2001b. Alternatives to methyl bromide for soil fumigation in Spain. *In*: R Labrada, L Fornasari (Eds). **Global Report on Validates Alternatives to the Use of Methyl Bromide for Soil Fumigation.** *FAO Plant Production and Protection Paper* 166, 33-46.

Bello A, López Pérez JA, Díez Rojo MA, López Cepero J, García Álvarez A. 2008. Principios ecológicos en la gestión de los agrosistemas. *Arbor, Ciencia, Pensamiento y Cultura* 729, 19-29.

Bello A, López Pérez JA, García Álvarez A. 2002. Biofumigation as an alternative to methyl bromide. *In*: T Batchelor, JM Bolivar (Eds). *Internat. Confer. Alternatives to MB*, 5-8 marzo; Sevilla. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 221-225.

Bello A, López Pérez JA, García Álvarez A. 2003. **Biofumigación en Agricultura Extensiva de Regadío**. **Producción Integrada de Hortícolas**. CSIC-Caja Rural de Alicante, Mundi-Prensa, Madrid, 670 pp.

Bello A, López Pérez JA, Sanz R, Escuer M, Herrero J. 2000. Biofumigation and organic amendments. *Regional Workshop on MB Alternat. for North Africa and Southern EC*. UNEP, Francia, 113-141.

Blake CD. 1972. Nematode diseases of banana plantations. *In:* JM Webster. *Economic Nematology.* Academic Press, London, 245-267.

Blok WJ, Lamers JG, Termorshuizen AJ, Bollen GJ. 2000. Control of soilborne plant pathogens by incorporating fresh organic amendments followed by tarping. *Phytopathology* 90, 253-259.

Bonanomi G, Antignani V, Pane C, Scala F. 2007. Suppression of soilborne fungal diseeases with organic amendments. *J. Plant Pathology* 89, 311-324.

Bridge J, Page SLJ. 1980. Estimation of root-knot nematodes infestation levels using a rating chart. *Tropical Pest Management* 26, 296-298.

Canullo G, Rodríguez Kábana R, Kloepper J. 1992. Changes in populations of microorganisms associated with the application of soil amendments to control *Sclerotium rolfsii. Plant and Soil* 144, 59-66.

Carballo M. 2002. **Control Biológico y Bioplaguicidas**. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Notas para publicar. SN.

Castro Lizazo I. 2010. **Biodesinfección de Suelos en Relación con la Diversidad en Hortalizas y Platanera**. Tesis Doctoral, ETSI Agrónomos, Univ. Almería, 309 pp.

Cazorla FM. 2003. *Pseudomonas por los suelos: Biocontrol en la rizosfera*. Madrid. Consultado 8 nov. http://www.ciencias.uma.es/publicaciones/encuentro61/pseudomonas.html.

Chanyasak V, Katayama A, Hirai MF, Mori S, Kubota H. 1983. Effects of compost maturity on growth of Komatsuna (*Brassica rapa* var. *pervidis*) in Neubauer's pot. II. Growth inhibitory factors and assessment of degree of maturity by org.-C/org.-N ratio of water extract. *Soil Sci. Plant Nutr.* 29, 251-259.

Chian R. 1990. **Inorganic Nitrogen Compounds as Amendments to Soil for Nematode Control**. Auburn University, 143 pp.

Coello A, Trujillo L. Perera S. 2010. Informe de la parcela demostrativa sobre distintos métodos de biodesinfección de suelos. *Servicio de Agricultura del Cabildo de Tenerife,* 8 pp. [http://www.agrocabildo.org/publicaciones_detalle.asp?id=254]

Companioni N, Ojeda Y, Páez E, Murphy C. 2001. La Agricultura Urbana en Cuba. *In:* F Funes, L García, M Bourque, N Pérez, P Eosset (Eds). **Transformando el Campo Cubano: Avances de la Agricultura Sostenible**. Ciudad de la Habana, 93-110.

Conn KL, Lazarovits G. 2000. Soil factors influencing the efficacy of liquid swine manure added to soil to kill *Verticillium dahliae*. *Can. J. Plant Pathol.* 22, 400-406.

Conn KL, Tenuta M, Lazarovits G. 2005. Liquid swine manure can kill *Verticillium dahliae* microsclerotia in soil by volatile fatty acid, nitrous acid, and ammonia toxicity. *Phytopathology* 95, 28-35.

Conn KL, Topp E, Lazarovits G. 2007. Factors influencing the concentration of volatile fatty acids, ammonia, and other nutrients in stored liquid pig manure. *J. Environ. Qual.* 36, 440–447.

Cook RJ, Baker KF. 1983. *The Nature and Practice of Biological Control of Plant Pathogens*. St. Paul American Phytopathology Society, 539 pp.

Culbreath A. 1985. **Studies on the Use of Chitin Soil Amendments for Control of Root-knot Nematodes.** Auburn University, 96 pp.

D´Addabbo T. 1995. The nematicidal effect of organic amendments: a review of literature, 1982-1994. *Nematol. medit.* 23, 299-305.

Diánez F, Santos Hernández M, Blanco MR, Chebaani M, Castillo P, Yelamos JA, Gea FJ, Trillas MI, Avilés M, Sinobas J, Tello JC. 2002. Supresividad de la microbiota bacteriana presente en el compost de orujo de vid frente a hongos fitopatógenos. *V Congr. SEAE, I Congr. Iberoamericano de Agroecología.* Gijón, 983-991.

Díaz Viruliche LP. 2000. **Interés Fitotécnico de la Biofumigación en los Suelos Cultivados**. Tesis Doctoral, ETSI Agrónomos, Univ. Politécnica Madrid, 600 pp.

Díaz Viruliche LP. 2006. Alternativa de manejo para los sistemas de producción en cultivos hortícolas. *III Congr. Agrociencia,* UNAH, 26-30 abril, San José de las Lajas, Cuba.

Díez Rojo MA. 2006. **Fundamentos Fitotécnicos para la Aplicación de Subproductos Agrarios en la Mejora de Suelos Cultivados**. Trabajo Experimental Fin de Carrera, ETSI Agrónomos, Univ. Politécnica Madrid, 251 pp.

Díez Rojo MA 2010. **Bases Agronómicas para la Utilización de Restos Agrarios en Biodesinfección de Suelos**. Tesis Doctoral, ETSI Agrónomos, Univ. Politécnica Madrid, 409 pp. (Anexos l y ll).

Díez Rojo MA, Bello A, Escuer M, López Pérez JA, García Álvarez A. 2006. **Nematodos Fitoparásitos Encontrados en Castilla y León. Alternativas no Químicas de Control**. MAPA, Madrid, 254 pp.

Díez Rojo MA, Castro Lizazo I, López Pérez JA, González López MR, Martínez Martínez C, Bello Pérez A. 2009. Biodesinfección de suelos como alternativa a los fumigantes químicos. *Agropalca* 5, 24-25.

Díez Rojo MA, López Pérez JA, Arcos SC, González López MR, Robertson L, Guerrero M, Ros C, Lacasa A, Torres JM, Cara de M, Tello JC, Bello A. 2008a. Soil biodisinfection as an alternative to soil fumigants. *5th Int. Congr. Nematology*, 13-18 julio, Brisbane, Australia, 133 p.

Díez Rojo MA, López Pérez JA, González López R, Arcos SC, García Dorado V, Iglesias González C, Bello A. 2008b. The use of by products from the wine industry in the control of plant parasitic nematodes. *3rd Internat. Biofumigation Symp.*, 21-25 julio, Canberra, Australia, 40 p.

Díez Rojo MA, Torres JM, López Pérez JA, Robertson L, Arcos SC, González López R, García Dorado V, Cara M de, Tello JC, Bello A. 2008c. Biofumigation and management of soil-borne organism of crops on sandy soils in Almería (Spain). *3rd Int. Biofumigation Symp.,* 21-25 jul., Canberra, Australia, 38 p.

Dungan RS, Yates SR. 2003. Degradation of fumigant pesticides. 1,3-dicholopropene, methyl isothiocyanate and methyl bromide. *Vadose Zone Jour.* 2, 279-286.

Fernández P, Pascual JA, Lacasa A. 2008. Aspectos físicos, químicos y medioambientales de la biosolarización en invernaderos de pimiento. *VIII Congr. SEAE*. 17-20 sept., Bullas, Murcia, 97.

Figueredo M. 2010. **Biodesinfección como Alternativa Medioambiental para la Gestión de Residuos Agroindustriales**. Tesis Doctoral, Univ. Alcalá de Henares, España, 294 pp.

Figueredo M, Piedra Buena A, Díaz A, Bello A. 2010. Biodesinfección de suelos y los restos agroindustriales como alternativa en Cuba. *Agropalca* 8, 30.

Flores P, Hellín P, Lacasa A, Fernández P, Ruiz M, Marin C, Fenoll J. 2006. Estudio de la acumulación de metales pesados en suelo después de sucesivas desinfecciones con biofumigación + solarización. *VII Congr. SEAE,* 18-23 sep., Zaragoza, 109.

Galper S, Cohn E, Spiegel Y, Chet I. 1990. Nematicidal effect of collagen-amended soil and the influence of protease and collagenase. *Rev. Nematol.* 13, 67-71.

Galper S, Cohn E, Spiegel Y, Chet I. 1991. A collagenolytic fungus, *Cunninghamella elegans*, for biological control of plant parasitic nematodes. *J. Nematology* 23, 269-274.

Gamliel A, Stapleton J. 1993. Characterization of antifungal volatile compounds evolved from solarized soil amended with cabbage residues. *Phytopathology* 83, 899-905.

García Álvarez A, Bello A, Sanz R, Piedra Buena A, Diez Rojo MA. 2004. Biofumigation as an alternative to methyl bromide for the production of tomatoes and other vegetables. *In*: TA Batchelor, F Alfarroba (Eds). *5th Internat. Conf. Alternatives to MB*, 27-30 sept., Lisboa, 171-175.

García Ruíz A. 2008**. Etiología, Epidemiología y Control no Químico de las Enfermedades Edáficas del Cultivo del Clavel en Invernaderos de la Costa Noroeste de Cádiz**. Tesis doctoral, Univ. Almería, 321 pp.

García Ruíz A, Tello JC, Avilés Guerrero M, Ordovás Ascaso J. 2009**. Fusariosis del Clavel. *Fusarium oxysporum* f.sp. *dianthi*. Últimos Avances en su Control**. Edit. Agrotécnicas, 275 pp.

Godoy G, Rodríguez Kabana R, Shelby R, Morgan Jones G. 1983. Chitin amendments for control of *Meloidogyne arenaria* in infested soil. II. Effects on microbial population. *Nematropica* 13, 63-74.

Gómez Soriano P, Díez Rojo MA, Sanz de la Morena R, García Álvarez A, López Martínez R. 2006. **Desinfección de Suelos Mediante Biofumigación en Replantación de Viñedo**. Consejería de Medio Ambiente Agricultura y Agua, Región de Murcia, Programa de Innovación Tecnológica 19, 44 pp.

Goud JKC, Termorshuizen AJ, Blok WJ, Van Bruggen AHC. 2004. Long-term effect of biological soil disinfestation on verticillium wilt. *Plant Dis.* 88, 688-694.

Guerrero MM, Ros C, Lacasa CM, Martínez V, Fernández P, Bello A, Lacasa A. 2008. Control de nematodos en invernaderos de pimiento mediante biosolarización con enmiendas orgánicas. *VIII Congr. SEAE*, 16-20 sept., Bullas, Murcia, 87 p.

Gullino ML. 1995. Use of biocontrol agents against fungal diseases. *Proc. Conf. Microbial Control Agents in Sustainable Agriculture,* Saint Vincent, 50-59.

Hoitink HAJ. 1988. Basis for the control of soilborne plant pathogens with compost. *Ann. Rev. Phytopathology* 24, 93-114.

IFOAM. 2006. **Agricultura Ecológica y Desarrollo**. IFOAM, 2 pp. http://www.ifoam.org/intranet/outreach/presentations/pdf/IFOAM_RuralDevelopment_Leaflet_es_screen.pdf

Jaffee B, Ferris H, Stapleton J, Norton M, Muldoon A. 1994. Parasitism of nematodes by the fungus *Hirsutella rhossiliensis* as affected by certain organic amendments. *J. Nematology* 26, 152-161.

Jensen HJ. 1972. Nematode pests of vegetable and related crops. *In:* JM Webster (Edit.). *Economic Nematology.* Academic Press, London, 377-408.

Kirkegaard JA, Akiew S, Pattison T, Young A, Prior L. 2008. Understanding mechanism of plant pest supression using *Brassica* green manures. *3rd Int. Biofumigation Symp.* 21-25 julio, Canberra, Australia, 21 p.

Kirkegaard JA, Angus JF, Gardner PA, Cresswell HP. 1993a. Benefits of brassica break crops in the Southeast wheatbelt. *7th Aust. Agron. Cons.*, 19-24 sept., Adelaide 282-285.

Kirkegaard JA, Gardner PA, Angus JF, Koetz E. 1994. Effect of Brassica crops on the growth and yield of wheat. *Aust. J. Agric. Res*. 45, 529-545.

Kirkegaard JA, Gardner J, Desmarchelier JM, Angus JF. 1993b. Biofumigation using *Brassica* species to control pest and diseases in horticulture and agriculture. *In:* N Wrather, RJ Mailes (Eds). *9th Australian Research Assembly on Brassicas (Wagga Wagga*), 77-82.

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.

Labrador J (Ed.). 2004. **Conocimientos, Técnicas y Productos para la Agricultura y Ganadería Ecológica**. SEAE, UNEX, MAPA, 423 pp.

Lacasa A, Guerrero MM, Guirao P, Ros C. 2002. Alternatives to methyl bromide in sweet pepper crops in Spain. *In*: T Batchelor, JM Bolivar (Eds). *Int. Confer. Alternatives to MB*. *"The remaining challenges"*. 5-8 marzo, Sevilla. EC, Luxembourg, 187-192.

Lazarovits G. 2001. Management of soil-borne plant pathogens with organic soil amendments: a disease control strategy salvaged from the past. *Can J. Plant Pathol* 23, 1-7.

Lazarovits G. 2004. Managing soilborne plant diseases through selective soil disinfestation by a knowledge based application of soil amendments. *Phytoparasitica* 32, 427-431.

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.

Lazarovits G, Tenuta M, Conn KL. 2001. Organic amendments as a disease control strategy for soilborne diseases of high-value agricultural crops. *Australias Plant Path* 30, 111-117.

Lazzeri L, Leoni O, D´Avino L, Malaguti L. 2008. Biorefinery - Brassicaceae plants as more than biofumigants!. *3rd Int. Biofumigation Symp.*, 21-25 julio, Canberra, Australia, 22 p.

Lazzeri L, Leoni O, Manici LM. 2004. Biocidal plant dried pellets for biofumigation. *Industrial Crops and Products* 20, 59-65.

López Cepero J, Piedra Buena A, Díez Rojo MA, Regalado R, Brito E, Hernández Z, Figueredo M, Almendros G, Bello A. 2007. Evaluation of soil biodesinfestation with crop and garden residues in root-knot nematodos populations. *Comunications in Agricultural and Applied Biological Sciences*, Ghent Univ. 72, 703-712.

López Martínez N, Castillo S, Cuaresma IM, Carmona I, González Zamora JE, Avilla C, López-Medina J, Aguirre I. 2004. Efecto de la biofumigación sobre la flora arvense del fresón. *VI Congr. SEAE*, 27 sept. -2 oct., Almería, 1531-1538.

López Pérez J.A, M. Arias, R. Sanz, M. Escuer. 2003a. Evaluation of alternatives to methyl bromide to control *Meloidogyne incognita* in cucumber. *Nematropica* 33, 189 - 196.

López Pérez JA, Arias M, Sanz R, Escuer M. 2003b. Alternatives to the methyl bromide in greenhouse crops in Madrid community. (Alternativas al bromuro de metilo en cultivos protegidos de la Comunidad de Madrid). *Bol. San .Veg., Plagas* 29, 481- 489.

López Pérez JA, Bello A, Sanz R, García Álvarez A. 2003c. Agroecología del nematodo formador de nódulos *Meloidogyne incognita*. *In*: A Bello, JA López Pérez, A García Álvarez (Eds). **Biofumigación en Agricultura Extensiva de Regadío. Producción Integrada de Hortícolas**. CSIC-Caja Rural de Alicante, Mundi-Prensa, Madrid, 321-339.

Lung G. 1997. Biological control of nematodes with the enemy plants *Tagetes* sp. Integrated Production and Protection. *Int. Symp.* 6-9 may, Agadir, 296-303.

Lynch VM. 1977. Phytotoxicity of acetic acid produced in the anaerobic decomposition of wheat straw. *J. Appl. Bacteriol.* 42, 81–87.

Lynch VM. 1978. Production and phytotoxicity of acetic acid produced in anaerobic soils containing plant residues. *Soil Biol. Biochem*. 10, 131–135.

Martínez MA, Lacasa L, Tello JC. 2009. **Ecología de la Microbiota Fúngica de los Suelos de los Invernaderos de Pimiento y su Interés Agronómico**. MARM, 374 pp.

MBTOC. 1995. **Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee. Assessment**. Montreal Protocol on substances that deplete the ozone layer. UNEP, Nairobi, Kenia, 309 pp.

MBTOC. 1997. **Report of the Technology and Economic Assesment Panel**. UNEP, Nairobi, Kenia, 221 pp.

MBTOC. 1998. **Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee**. Assesment of Alternatives to Methyl Bromide. UNEP, Nairobi, Kenia, 354 pp.

MBTOC. 2002. **Report of the Methyl bromide Technical Options Committee**. UNEP, Nairobi, Kenia, 468 pp.

MBTOC. 2005. **Report of the Technology and Economic Assesment Panel**. UNEP, Nairobi Kenia, 100 pp.

MBTOC. 2007. **Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee. 2006. MBTOC Assessment Report**. UNEP, Nairobi, Kenia, 453 pp.

MBTOC. 2008. **October 2008 Report of the Technology and Economic Assessment Panel. Evaluations of 2008 Critical Use Nominations for Methyl Bromide and Related Matters**. **Final Report**. Ozone Secretariat UNEP, Nairobi, Kenia, 111 pp.

MBTOC. 2009. **Report of the 21st Meeting of the Parties to the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer**. UNEP, 4-8 nov., Port Ghalib, Egypt 66 pp.

Medina JJ. 2002. Soil solarization and biofumigation in strawberry in Spain. *In*: T Batchelor, JM Bolivar (Eds). *Internat. Alternatives MB "The remaining challenges"*, 5-8 marzo, Sevilla EC, Luxembourg, 123-125.

Mekete T, Hallmann J, Kiewnick S, Sikora R. 2009. Endophytic bacteria from Ethiopian coffee plants and their potential to antagonise *Meloidogyne incognita*. *Nematology* 11, 117-127.

Mercier J, Manker DC. 2005. Biocontrol of soil-borne diseases and plant growth enhancement in glasshouse soilless mix by the volatileproducing fungus *Muscodor albus*. *Crop Protection* 24, 355-362.

Mian I, Rodríguez Kábana R. 1982. Organic amendments with high tannin and phenolic contents for control of *Meloidogyne arenaria* in infested soil. *Nematropica* 12, 221-234.

Michel VV, Wang JF, Midmore DJ, Hertman GL. 1997. Effects of intercropping and soil amendment with urea and calcium oxide on the incidence of bacterial wilt of tomato and survival of soil-borne *Pseudomonas solanacearum* in Taiwan. *Plant Pathology* 46, 600-610.

Noval Alonso C. 2004. Uso del BM en España. *Actas de Horticultura*. Comunicaciones Técnicas SECH, IX Jornadas Grupo Horticultura, 7-9 sept., Derio, Bizkaia, 42, 53-59.

Oelhaf RC. 1978. **Organic Agriculture: Economic and Ecological Comparisons with Conventional Methods**. J Wiley (Ed.), New York, 271 pp.

Oka 2010. Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments. A review. *Applied Soil Ecology* 44, 101–115

Orton Williams KJ. 1972. *Meloidogyne javanica. CIH Descrip.* Plant Parasitic Nematodes, Set 1, Nº 3, 4 pp.

Orton Williams K.J. 1973. *Meloidogyne incognita*. *CIH Descrip.* Plant Parasitic Nematodes, Set 2, Nº 18, 4 pp.

Orton Williams KJ. 1974. *Meloidogyne hapla*. *CIH Descrip.* Plant Parasitic Nematodes, Set 3, Nº 31, 4 pp.

Orton Williams KJ. 1975. *Meloidogyne arenaria*. *CIH Descrip.* Plant Parasitic Nematodes, Set 5, Nº 62, 4 pp.

Ou LT, Chung KY, Thomas JE, Obreza TA, Dickson DW. 1995. Degradation of 1,3-dichloropropene (1,3-D) in soils with different histories of field applications of 1,3-D. *J. Nematol.* 25, 249-257.

Ozores Hampton M, Stansly PA, McSorley R, Obreza TA. 2005. Effects of long-term organic amendments and soil solarization on pepper and watermelon growth, yield, and soil fertility. *HortScience* 40, 80-84.

Pascual JA, Lloret E, Mercader D, Fernández P, Lacasa A. 2008. Implicaciones medioambientales de la biosolarización en cuanto a la lixiviación de nitratos. Estudios sobre columnas de suelo inalteradas. *VIII Congr. SEAE*. 17-20 sept., Bullas, Murcia, 97 p.

Patel R, Patel D, Patel B. 1991. Influence of organic amendments on growth and sporulation of nematophagous fungus, *Paecilomyces lilacinus* (Thom.) Samson. *Current Nematology* 2, 39-40.

Piedra Buena A, García Álvarez A, Díez Rojo MA, Bello A. 2006. Use of crop residues for the control of *Meloidogyne incognita* under laboratory conditions. *Pest Management Science* 62, 919-926.

Piedra Buena A, García Álvarez A, Díez Rojo MA, Ros C, Fernández P, Lacasa A, Bello A. 2007. Use of pepper crop residues for the control of root-knot nematodes. *Bioresource Technology* 98, 2846-2851.

Pocasangre L. 2002. Mejoramiento biológico de vitroplantas de banano mediante la utilización de hongos endofíticos para el control del nematodo barrenador (*Radopholus similis*). *In:* AS Riveros, L Pocasangre, FE Rosales (Eds). **Inducción de Resistencia y Uso de Tecnologías Limpias para el Manejo de Plagas en Plantas**. Memoria del Taller Internacional realizado en CATIE, 27-30 agosto, Turrialba, Costa Rica, 33-39.

Porter IJ, Mattner SW, Lazarovits G. 2008. Soil biofumigation – a strategy for the new world or a complexity too hard to get right?. *3th Internat. Biofumigation Symp.*, 21-25 julio, Canberra, Australia, 12 p.

Reyes JM, Cara M de, Diánez F, Santos M, Blanco R, Segura JM, Sánchez JA, Tello JC. 2004a. Desinfección de suelos mediante biofumigación, solarización y biosolarización en el olivar. *VI Congr. SEAE,* 27 sept.-2 oct., Almería, 599-613.

Reyes JM, Cara M de, Diánez F, Santos M, Segura JM, Blanco R, Sánchez J.A, Tello J.C. 2004b. Efecto de la solarización, biofumigación y biosolarización sobre una fracción de la microbiota fúngica del suelo del olivar. *VI Congr. SEAE,* 27 sept.-2 oct., Almería, 583-597.

Reynolds LB, Potter JW, Ball-Coelho BR. 2000. Crop rotation with *Tagetes* sp is an alternative to chemical fumigation for control of root-lesion nematodes. *Agronomy Journal* 92, 957-966.

Rich J, Rahi G, Oppermann C, Davis E. 1989. Influence of the castor bea (*Ricinus communis*) lectin (ricin) on motility of *Meloidogyne incognita. Nematropica* 19, 99-103.

Riga E, Lacey L.A, Guerra N. 2008. *Muscodor albus*, a potential biocontrol agent against plant-parasitic nematodes of economically important vegetable crops in Washington State, USA. *Biological Control* 45, 380–385.

Rodríguez Kábana R. 1986. Organic and inorganic nitrogen amendments to soil as nematode suppressants. *J. Nematol.* 18, 129-135.

Rodríguez Kábana R, Boube D, Young R W. 1989. Chitinous materials from blue crab for control of root-knot nematode. I. Effect of urea and enzymatic studies. *Nematropica* 19, 53-74.

Rodríguez Kábana R, Boube D, Young R W. 1990. Chitinous materials from blue crab for control of root-knot nematode. II. Effect of soybean meal. *Nematropica* 20, 153-168.

Rodríguez Kábana R, Calvet C. 1994. Capacidad del suelo para controlar enfermedades de origen edafico. *Fitopatologia Brasileira* 19,129-138.

Rodríguez Kábana R, Godoy G, Morgah-Jones G, Shelby R. 1983.The determination of soil chitinase activity: conditions for essay and ecological studies. *Plant and Soil* 75, 95-106.

Rodríguez Kábana R, Morgah-Jones G, Chet Y. 1987. Biological control of nematodes: soil amendments and microbial antagonists. *Plant and Soil* 100, 237-247.

Rojas MT, Marbán Mendoza N. 1999. *Pasteuria penetrans* y parasitismo en *Meloidogyne incognita* y *M. arabicida*. *Nematrópica* 29, 233- 240.

Ros M, Pascual JA, García C, Hernández T, Guerrero MM, Lacasa A, Fernández P, Ros C, Guirao P. 2002. Efectos de la biofumigación con solarización sobre las propiedades de los suelos para cultivos de pimiento en agricultura ecológica. *V Congr. SEAE, I Congr. Iberoamericano Agroecología,* 16-21 sept., Gijón, Asturias, Tomo II, 1021 p.

Rossner J, Zebitz C. 1987. Effect of the neem products on nematodes and growth of tomato (*Lycopersicon esculentum)* plants. *In:* H Schmutterer, K Ascher (Eds). **Natural Pesticides from the Neem Tree (*Azadirachta indica* A. Juss) and other Tropical Plants**. *3rd Internat. Neem Confer.,* 10-15 julio 1986, Nairobi, Kenia, 611-621.

Roubtsova T, López Pérez JA, Edwards S, Ploeg AT. 2007. Effect of broccoli (*Brassica oleracea*) tissue, incorporated at different depths in a soil column, on *Meloidogyne incognita. J. Nematology* 39, 111-117.

Sahebani N, Hadavi N. 2008. Biological control of the root-knot nematode *Meloidogyne javanica* by *Trichoderma harzianum*. *Soil Biol. Biochem.* 40, 2016–2020.

Santos M, Vicente N, Diánez F, Cara M de, Tello J.C. 2007. Vinazas y hongos del suelo. *Agroecología* 2, 39-45.

Sanz M, Dueñas R. 1973. **Desinfección de Suelos**. *Hojas divulgadoras*, SEA, MAPA, 24 pp.

Segura JM, Cara M de, Diánez F, Reyes JM, García Gámez I, Martínez R, Santos M, Boix A, Tello JC. 2004. Evaluación de la biosolarización con restos de cosecha en un cultivo de tomate raf en un abrigo de malla en el Campillo de Gata (Níjar, Almería). *VI Congr. SEAE,* 27 sept. -2 oct., Almería, 625-633.

Shinmura A. 2004. Principle and effect of soil sterilization method by reducing redox potential of soil. *Soilborne Disease Workshop Report* 22, 2-12.

Siddiqui MAM, Mashkoor A. 1998. Control of plant parasitic nematodes by *Tagetes tenuifolia*. *Rev. nematol*. 11, 369-370.

Sikora RA. 2002. Characterization and importance of microbial biodiversity in agricultural soil-ecosystems for plant root health. *In:* AS Riveros, L Pocasangre, FE Rosales. **Inducción de Resistencia y Uso de Tecnologías Limpias para el Manejo de Plagas en Plantas**. Memoria del Taller Internacional Realizado en CATIE 27-30 agosto, Turrialba, Costa Rica, 11-12.

Sikora RA, Pocasangre L, Zum Felde A, Niere B, Vu TT, Dababat AA. 2008. Mutualistic endophytic fungi and *in-planta* suppressiveness to plant parasitic nematodes. *Biol. Control* 46, 15–23.

Society of Nematologist. 1971. Estimated crop losses from plant-parasitic nematodes in the United States. *Spec.Publ.Soc.Nematologist, USA* 1, 7 pp.

Stevens C, Khan VA, Rodríguez Kábana R, Ploper LD, Backman PA, Collins DJ, Brown JE, Wilson MA, Igwegbe ECK. 2003. Integration of soil solarization with chemical, biological and cultural control for the management of soilborne diseases of vegetables. *Plant and Soil* 253, 493-506.

Stinson AM, Zidack NK, Strobel GA, Jacobsen BJ. 2003. Mycofumigation with *Muscodor albus* and *Muscodor roseus* for control of seedling diseases of sugar beet and Verticillium wilt of eggplant. *Plant Dis.* 87, 1349-1354.

Stirling GR (Edt.) 1991. **Biological Control of Plant Parasitic Nematodes: Progress, Problems and Prospects**. CAB Int., Wallingford, Oxon, 282 pp.

Strobel GA, Dirske E, Sears J, Markworth C. 2001. Volatile antimicrobials from *Muscodor albus*, a novel endophytic fungus. *Microbiology* 147, 2943-2950.

Tello JC. 2000. Tomato production in Spain without methyl bromide. *Regional workshop on methyl bromide alternatives for North Africa and Southern EC*, UNEP, Ministerio del Ambiente de Italia y GTZ, julio 1998, Roma, 161-172.

Tello JC, Bello A. 1994. El suelo como ente vivo. La rizosfera, los hongos y los nematodos fitopatógenos en la "memoria del suelo". *I Cong. SEAE*, 28-29 sept., Toledo, 506-516.

Tenuta M, Conn KL, Lazarovits G. 2002. Volatile fatty acids in liquid swine manure can kill microsclerotia of *Verticillium dahliae. Phytopathology* 92, 548-552.

Tenuta M, Lazarovits G. 2002a. Ammonia and nitrous acid from nitrogenous amendments kill the microsclerotia of *Verticillium dahliae*. *Phytopathology* 92, 255-264.

Tenuta M, Lazarovits G. 2002b. Identification of specific soil properties that affect the accumulation and toxicity of ammonia to *Verticillium dahliae*. *Can. J. Plant Pathol.* 24, 219-229.

Topp E, Millar S, Bork H, Welsh M. 1998. Effects of marigold (*Tagetes* sp.) roots on soil microorganisms. *Biology and Fertility of Soils* 27, 149-154.

Torres JM, Díez Rojo MA, Robertson L, López Pérez JA, Cara M de, Tello J, Bello A. 2007. **Nematodos Fitoparásitos del Género Meloidogyne Goeldi, 1892 y su Manejo Ecológico en Cultivos Enarenados de Almería.** MAPA, Madrid, 203 pp.

Urbano P. 2008. **Fitotecnia. Ingeniería de la Producción Vegetal**. 2ª Edit., Mundi-Prensa, 528 pp.

Van der Boogert P, Velvis H, Hettema C, Bouwman L. 1994. The role of organic matter in the population dynamics of the endoparasitic nematophagous fungus *Drechmeria coniospora* in microcosms. *Nematologica* 40, 249-257.

Verhagen C, Lebbink G, Bloem J. 1996. Enhanced biodegradation of the nematicides 1,3-dichloropropene and methyl isothiocyanate in a variety of soils. *Soil Biol. Biochem.* 28, 1753-1756.

Vilaseca JC. 2007. **Papel Biofumigante de los Restos de Cosecha en el Control de ToMV, PepMV y *O. brassicae***. Tesis Doctoral. Dpto Ecosistemas Agroforestales, Univ. Polit. Valencia, 478 pp.

Wachira PM, Kimenju JW, Okoth SA, Mibey RK. 2009. Stimulation of nematode-destroying fungi by organic amendments applied in management of plant parasitic nematode. *Asian J. Plant Sci.* 8, 153–159.

Webster JM. 1972. **Economic Nematology**. Academic Press, London, 563 pp.

Worapong J, Strobel GA, Ford E, Li JY, Baird G, Hess WM. 2001. *Muscodor albus* anam. gen. et sp. nov, an endophyte from *Cinnamomum zeylanicum*. *Mycotaxon* 79, 67-69.

Xiao J, Zhu J, Chen S, Ruan W, Miller C. 2007. A novel use of anaerobically digested liquid swine manure to potentially control soybean cyst nematode, *J. Environ. Sci. Health* 42, 749–757.

Yao LX, Li GL, Tu SH, Sulewski G, He ZH. 2007. Salinity of animal manure and potential risk of secondary soil salinization through successive manure application. *Sci. Total Environ.* 383, 106–114.

Yélamos JA, Castillo P, Diánez F, Villaescusa J, Santos M, Chebâani M, Blanco R, Lacasa A, Tello J.C. 2002. Efectos del bromuro de metilo y la biofumigación con solarización sobre la microbiota fúngica, actinomicética y bacteriana de suelos cultivados con pimiento en Murcia. *V Congr. SEAE*, 16-21 sept., Gijón, Asturias, 1023-1025.

Zaki F, Bhatti D. 1990. Effect of castor (*Ricinus communis*) and the biocontrol fungus *Paecilomyces lilacinus* on *Meloidogyne javanica. Nematologica* 36, 114-122.

Zanón MJ. 2009. **Efecto de la Biofumigación y Biosolarización en el Control de Bacterias Fitopatógenas**. Tesis Doctoral, Escuela Universitaria de Ingenieros Agrónomos. Univ. Polit. Valencia, 301 pp.

Zanón MJ, Vilaseca JC, Rodríguez JM, Heliodoro JS, Jordá C. 2004. La biofumigación como alternativa ecológica para el control de virus y bacterias fitopatógenas. *VI Congr. SEAE*, 27 sept.-2 oct., Almería, 691-699.

FIGURAS

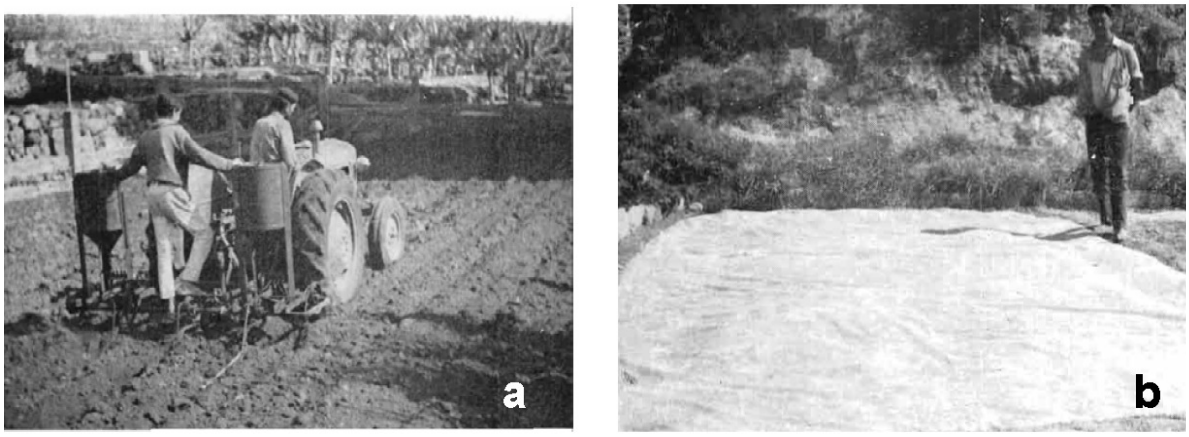

Figura. 1. Desinfección de suelos con BM y otros fumigantes: (a) maquinaria para desinfección del suelo, (b) desinfección bajo lámina plástica de polietileno en Hermigua (La Gomera) (SANZ y DUEÑAS 1973), metodología similar a la biodesinfección de suelos.

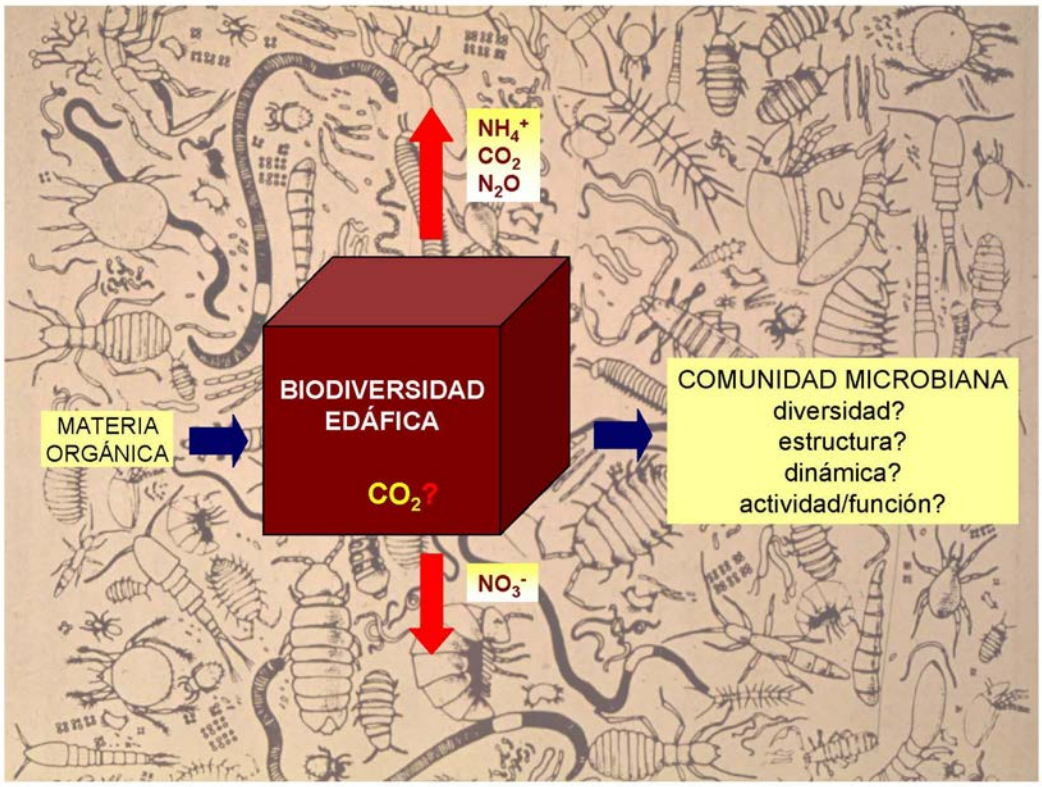

Figura 2. Descomposición de la materia orgánica.

Figura 3. Biodesinfección en hortícolas (Marchamalo, Guadalajara).

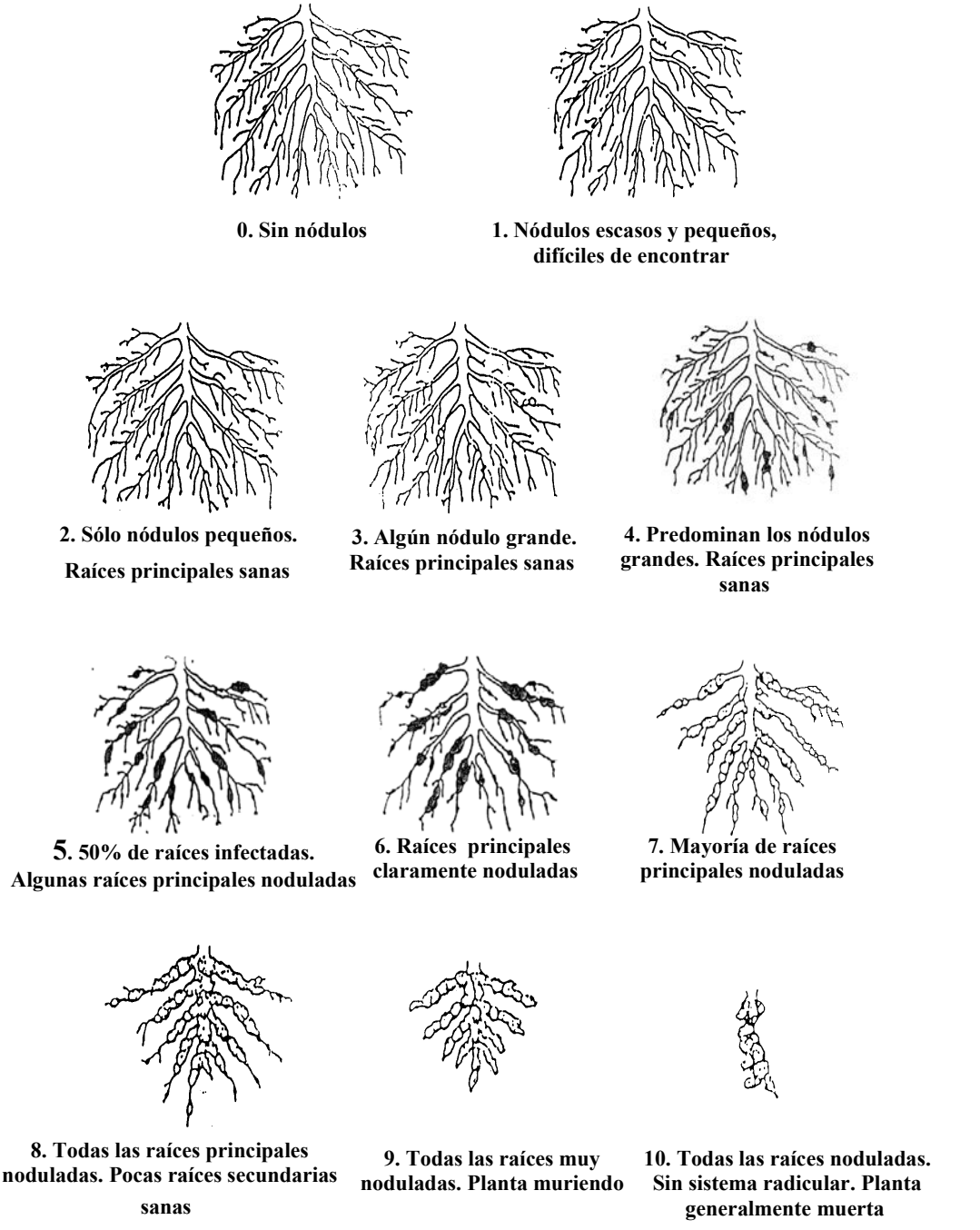

Figura 4. Índice visual de nodulación de BRIDGE y PAGE (1980).

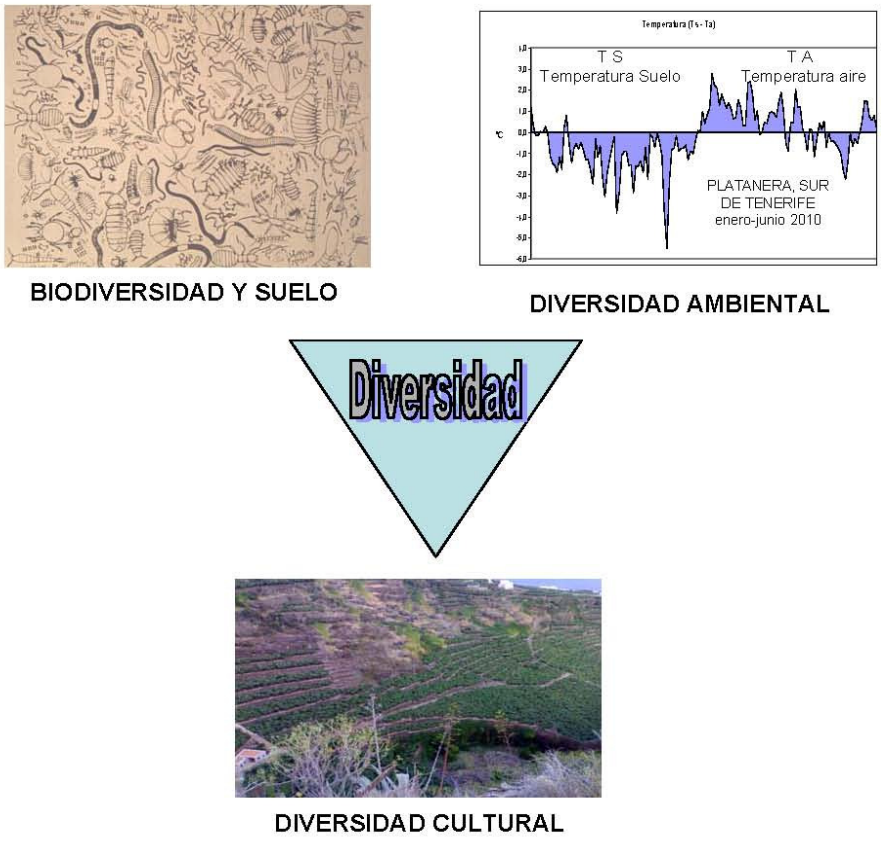

Figura 5. Diversidad y armonía como base de un modelo agrario familiar.