

Tesis Doctoral

LA BIODESINFECCIÓN COMO ALTERNATIVA MEDIOAMBIENTAL PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

MARBELIS FIGUEREDO RODRÍGUEZ

Madrid, 2010

**Universidad de Alcalá (UAH)
Alcalá de Henares, Madrid
Programa de Doctorado en Cambio Global y Desarrollo Sostenible**

Tesis Doctoral

**LA BIODESINFECCIÓN COMO ALTERNATIVA
MEDIOAMBIENTAL PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS
AGROINDUSTRIALES**

**MARBELIS FIGUEREDO RODRÍGUEZ
Ingeniera Agrónoma**

Director: Dr Antonio Bello Pérez

Co-Director: Dra Ana Piedra Buena Díaz

Alcalá de Henares, Enero 2010

*“A veces sentimos que lo que hacemos
es tan solo una gota en el mar,
pero el mar sería menos
si le faltara una gota.”*

Madre Teresa de Calcuta.

Agradecimientos.

El lograr culminar este trabajo para mi ha representado un gran reto, sobre todo por los momentos difíciles que hubo que afrontar referidos a la salud y a cuestiones personales, por lo cual considero que no habría sido posible sin el apoyo de muchas personas a las cuales hoy quiero agradecer y que sé será imposible mencionarlas a todas. En primer lugar mi familia, especialmente mis padres, Miguel y Dora y hermano Miguel, por estar siempre pendiente de mi y comprender que no podía brindarles toda la atención necesaria por el esfuerzo que requería culminar este trabajo, y porque estuvieron siempre a mi lado en los momentos más difíciles. Agradecer también a Eliosbel y familia, que a pesar de ya no estar cerca también me brindó mucho apoyo y cariño durante varios años de mi vida, y en la etapa inicial de este proyecto siempre pude contar con él.

Mi agradecimiento a Ana Guerrero, una de las primeras personas que conocí al llegar a España, y a la cual le estaré eternamente agradecida por el apoyo y cariño que me brindó siempre, por acogerme en su casa y permitirme compartir con ella y su familia. Al Dr. José María Rey Benayas por darme la posibilidad de formar parte del programa de doctorado y por brindarme su apoyo. Al colectivo de profesores y personal del Departamento de Ecología de la Universidad de Alcalá por la formación brindada y el apoyo recibido.

Mi agradecimiento al Dr Antonio Bello Pérez, por acogerme en el Centro de Ciencias Medio Ambientales del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CCMA-CSIC) y darme la posibilidad de trabajar con él en sus proyectos de investigación, por los conocimientos aportados y por el apoyo brindado para la realización de esta investigación.

Especial agradecimiento a la Dra Ana Piedra Buena Díaz, la cual ha sido de las personas que más me ha brindado su apoyo incondicional, por acceder a ser mi Co- Directora de tesis, por ser protagonista en que haya logrado la actual estancia de investigación en España y por la dedicación y todo el esfuerzo en la revisión y aporte de conocimientos para la culminación de este trabajo; porque se ha convertido en una gran amiga, por lo que le estaré eternamente agradecida.

A la Dra Carmen Gutierrez por darme la posibilidad actual de trabajar en uno de sus proyectos de investigación, por confiar en mí, por alentarme en todo momento y por continuar dándome su apoyo. A D. Octavio Cedenilla por su colaboración durante la realización de los análisis químicos de laboratorio. Al Dr Lee Robertson e Ing Miguel Angel Díez Rojo, por su colaboración. A D. Casimiro Martínez, D. José María Carreño, D. María Rosa González; y demás personal técnico de los laboratorios del CCMA-CSIC los cuales también son protagonistas de la labor realizada para la culminación de esta investigación, así como a todos aquellos investigadores que de una u otra forma tuvieron que ver con este trabajo.

Al profesor Reinaldo Quiñones, especialista en Estadística de la Universidad Central de las Villas (UCLV), en Cuba, por el asesoramiento brindado para la realización de las pruebas estadísticas, por tantas horas dedicadas en el trabajo y en la definición de las pruebas más adecuadas a aplicar en cada caso, gracias profesor por su amistad y apoyo. A varios profesores e investigadores de la UCLV que de alguna u otra forma me brindaron apoyo.

A los amigos, gracias a Dios tantos, que es imposible mencionarlos a todos, pero en estos momentos los que están al tanto de todo, a Jose Miguel por su apoyo, confianza y esa palabra de ánimo que siempre me ofreció, Brook y Alejandro por su apoyo, amistad y cariño, Marisol porque se ha convertido en una buena amiga y me ha brindado su apoyo y cariño, a Romero por su amistad y apoyo incondicional, a mi amiga Adis. A todos mis amigos en general, especialmente a los de Sancti Spíritus que siempre confiaron en mí y me alentaron para la culminación de este proyecto, los cuales no menciono porque gracias a Dios son muchos y sería imposible nombrarlos.

A todos “gracias” porque de una forma u otra forman parte de esta obra.

	Pág.
PRESENTACIÓN.....	I
RESUMEN.....	3
SUMMARY.....	4
INTRODUCCIÓN.....	5
OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO.....	11
I. ANTECEDENTES.....	17
I.1 Sostenibilidad y problemas ambientales.....	19
I.2 La agroecología como base científica de la agricultura sostenible.....	26
I.3 Importancia del modelo agroecológico en Cuba.....	31
I.4 Manejo agroecológico de plagas en Cuba.....	34
I.5 Manejo agroecológico del suelo.....	41
I.6 Los restos de cultivos y la agricultura sostenible.....	43
I.7 Los nematodos del suelo.....	45
I.8 Nematodos formadores de nodulos.....	47
I.9 Manejo de los nematodos formadores de nodulos.....	55
I.10 Biodesinfección y uso de la materia orgánica.....	66
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	79
II.1 Caracterización de los suelos utilizados en los ensayos de biodesinfección.....	81
II.2 Residuos agroindustriales utilizados en los ensayos de biodesinfección en laboratorio.....	86
II.2.1 Ensayos de biodesinfección en laboratorio.....	87
II.3 Procedimiento y evaluación de los ensayos de biodesinfección en condiciones de laboratorio.....	91
II.3.1 Evaluación del efecto de la biodesinfección sobre <i>M. incognita</i> y la microfauna beneficiosa estudiada.....	93
II.3.2 Efecto de la biodesinfección sobre la planta.....	96
II.3.3 Efecto de la biodesinfección sobre la composición química de la planta.....	98
II.3.4 Efecto de la biodesinfección sobre la fertilidad del suelo.....	99
II.4 Análisis estadístico.....	103
III.RESULTADOS.....	107
III.1. Efecto de la biodesinfección en el ensayo 1.....	109
III.1.1 Efecto de la biodesinfección sobre las poblaciones de <i>M. incognita</i>	109
III.1.2 Efecto de la biodesinfección sobre la microfauna beneficiosa.....	110
III.1.3 Efecto de la biodesinfección sobre el índice de nodulación en las plantas de tomate cv "Marmande".....	113
III.1.4 Efecto de la biodesinfección en el crecimiento de las plantas de tomate cv "Marmande".....	114

	Pág.
III.1.5 Efecto de la biodesinfección en el contenido de nutrientes en plantas de tomate cv "Marmande"	115
III.1.6 Efecto de la biodesinfección sobre la fertilidad del suelo	116
III.1.7 Distribución de variables de suelos y los tratamientos en función del Análisis de Componentes Principales	119
III.2 Efecto de la biodesinfección en el ensayo 2	121
III.2.1 Efecto de la biodesinfección sobre la poblaciones de <i>M. incognita</i>	121
III.2.2 Efecto de la biodesinfección sobre la microfauna beneficiosa	122
III.2.3 Efecto de la biodesinfección sobre el índice de nodulación en las raíces de plantas de tomate cv "Marmande"	124
III.2.4 Efecto de la biodesinfección en el crecimiento de plantas de tomate cv "Marmande"	124
III.2.5 Efecto de la biodesinfección sobre la fertilidad del suelo	126
III.2.6 Distribución de variables de suelos y tratamientos en función del Análisis de Componentes Principales	129
III.3 Efecto de la biodesinfección en el ensayo 3	131
III.3.1 Efecto de la biodesinfección sobre la poblaciones de <i>M. incognita</i>	131
III.3.2 Efecto de la biodesinfección sobre la microfauna beneficiosa	132
III.3.3 Efecto de la biodesinfección sobre el índice de nodulación en las raíces de plantas de tomate cv "Marmande"	133
III.3.4 Efecto de la biodesinfección sobre el crecimiento de plantas de tomate cv "Marmande"	134
III.3.5 Efecto de la biodesinfección sobre la fertilidad del suelo	135
III.3.6 Distribución de variables de suelos y tratamientos en función del Análisis de Componentes Principales	137
III.4 Efecto de la biodesinfección en el ensayo 4	139
III.4.1 Efecto de la biodesinfección sobre la poblaciones de <i>M. incognita</i>	140
III.4.2 Efecto de la biodesinfección sobre la microfauna beneficiosa	140
III.4.3 Efecto de la biodesinfección sobre el índice de nodulación en las raíces de plantas de tomate cv "Marmande"	142
III.4.4 Efecto de la biodesinfección en el crecimiento de plantas de tomate cv "Marmande"	143
III.4.5 Efecto de la biodesinfección en el contenido de nutrientes en plantas de tomate cv "Marmande"	144
III.4.6 Efecto de la biodesinfección sobre la fertilidad del suelo	146
III.4.7 Distribución de variables de suelos y tratamientos en función del Análisis de Componentes Principales	148
III.5 Efecto de la biodesinfección en el ensayo 5	151
III.5.1 Efecto de la biodesinfección sobre la poblaciones de <i>M. incognita</i>	151
III.5.2 Efecto de la biodesinfección sobre la microfauna beneficiosa	152

	Pág.
III.5.3 Efecto de la biodesinfección sobre la fertilidad del suelo	153
III.5.4 Distribución de variables de suelos y tratamientos en función del Análisis de Componentes Principales	156
III.6 Efecto de la biodesinfección en el ensayo 6	158
III.6.1 Efecto de la biodesinfección sobre las poblaciones de <i>M. incognita</i>	158
III.6.2 Efecto de la biodesinfección sobre la microfauna beneficiosa.....	159
III.6.3 Efecto de la biodesinfección sobre la fertilidad del suelo	160
III.6.4 Distribución de variables de suelos y tratamientos en función del Análisis de Componentes Principales	163
III.7 Efecto de la biodesinfección en el ensayo 7	165
III.7.1 Efecto de la biodesinfección sobre las poblaciones de <i>M. incognita</i>	165
III.7.2 Efecto de la biodesinfección sobre la microfauna beneficiosa.....	166
III.7.3 Efecto de la biodesinfección sobre el índice de nodulación en las raíces de plantas de tomate cv "Marmande"	168
III.7.4 Efecto de la biodesinfección en el crecimiento de las plantas de tomate cv "Marmande".....	169
III.7.5 Efecto de la biodesinfección en el contenido de nutrientes en plantas de tomate cv "Marmande"	170
III.7.6 Efecto de la biodesinfección sobre la fertilidad del suelo	171
III.7.7 Distribución de variables de suelos y los tratamientos en función del Análisis de Componentes Principales.....	175
IV.DISCUSIÓN	177
IV.1 Efecto de la biodesinfección sobre el nematodo <i>M. incognita</i> y la microfauna beneficiosa.....	179
IV.2 Efecto de la biodesinfección sobre el índice de nodulación en plantas de tomate suceptibles a nematodos del género <i>Meloidogyne</i>	184
IV.3 Efecto de la biodesinfección sobre el crecimiento de las plantas.....	186
IV.4 Efecto de la biodesinfección sobre la nutrición de las plantas.....	188
IV.5 Efecto de la biodesinfección sobre la fertilidad del suelo.....	190
IV.6 Consideraciones generales sobre la biodesinfección	199
IV.7 Otras alternativas agroecológicas factibles de ser utilizadas con la biodesinfección.....	200
CONCLUSIONES	209
BIBLIOGRAFÍA.....	215
ANEXOS	247
Anexo 1 Hoja de recuento de nematodos	249
Anexo 2 Hoja para el estudio del efecto de la biodesinfección sobre la planta	250
Anexo 3 Soluciones para la determinación del fósforo asimilable y carbono orgánico	251

Índice de Tablas

	Pág.
Tabla I.1. Efectividad de diferentes bioplaguicidas sobre plagas en organopónicos en Cuba.....	65
Tabla II.1. Caracterización química de los materiales ensayados	86
Tabla II.3. Tratamientos y dosis de los diferentes ensayos de biodesinfección..	90
Tabla III.1. Efecto de los materiales biodesinfectantes evaluados en el ensayo 1 sobre las poblaciones de J2 de <i>M. incognita</i>	110
Tabla III.2. Efecto de los biodesinfectantes evaluados en el ensayo 1 sobre la microfauna beneficiosa.....	111
Tabla III.3. Índices de nodulación en raíces de tomate cv “Marmande” en el ensayo 1	113
Tabla III.4. Efecto de los tratamientos de biodesinfección sobre el crecimiento de las plantas de tomate cv “Marmande” en el ensayo 1	114
Tabla III.5. Análisis químico de las plantas de tomate cv “Marmande” en el ensayo 1.....	115
Tabla III.6. Efecto de la biodesinfección sobre las propiedades químicas del suelo en el ensayo 1.....	118
Tabla III.7. Valores propios de las componentes principales y correlaciones entre las variables y las componentes en el ensayo 1	119
Tabla III.8. Efecto de los biodesinfectantes evaluados en el ensayo 2 sobre las poblaciones de J2 de <i>M. incognita</i>	122
Tabla III.9. Efecto de los biodesinfectante evaluados en el ensayo 2 sobre la microfauna beneficiosa.....	123
Tabla III.10. Índices de nodulación en raíces de tomate cv “Marmande” en el ensayo 2	124
Tabla III.11. Efecto de los tratamientos de biodesinfección sobre el crecimiento de las plantas de tomate cv “Marmande” en el ensayo 2	125
Tabla III.12. Efecto de la biodesinfección sobre las propiedades químicas del suelo en el ensayo 2.....	127
Tabla III.13. Valores propios de las componentes principales y correlaciones entre las variables y las componentes en el ensayo 2	129
Tabla III.14. Efecto de los materiales biodesinfectantes evaluados en el ensayo 3 sobre las poblaciones de J2 de <i>M. incognita</i>	131
Tabla III.15. Efecto de los biodesinfectante evaluados en el ensayo 3 sobre la microfauna beneficiosa.....	132
Tabla III.16. Índices de nodulación en raíces de tomate cv “Marmande” en el ensayo 3	133
Tabla III.17. Efecto de los tratamientos de biodesinfección sobre el crecimiento de las plantas de tomate cv “Marmande” en el ensayo 3	134
Tabla III.18. Efecto de la biodesinfección sobre las propiedades químicas del suelo en el ensayo 3.....	136
Tabla III.19. Valores propios de las componentes principales y correlaciones entre las variables y las componentes en el ensayo 3	138
Tabla III.20. Efecto de los materiales biodesinfectantes evaluados en el ensayo 4 sobre las poblaciones de J2 de <i>M. incognita</i>	140

	Pág.
Tabla III.21. Efecto de los biodesinfectante evaluados en el ensayo 4 sobre la microfauna beneficiosa.....	141
Tabla III.22. Índices de nodulación en raíces de tomate cv “Marmande” en el ensayo 4 ..	142
Tabla III.23. Efecto de los tratamientos de biodesinfección sobre el crecimiento de las plantas de tomate cv “Marmande” en el ensayo 4	143
Tabla III.24. Análisis químico de las plantas de tomate cv “Marmande” en el ensayo 4.....	145
Tabla III.25. Efecto de la biodesinfección sobre las propiedades químicas del suelo en el ensayo 4.....	147
Tabla III.26. Valores propios de las componentes principales y correlaciones entre las variables y las componentes en el ensayo 4	149
Tabla III.27. Efecto de los materiales biodesinfectantes evaluados en el ensayo 5 sobre las poblaciones de J2 de <i>M. incognita</i>	151
Tabla III.28. Efecto de los biodesinfectante evaluados en el ensayo 5 sobre la microfauna beneficiosa.....	152
Tabla III.29. Efecto de la biodesinfección sobre las propiedades químicas del suelo en el ensayo 5.....	154
Tabla III.30. Valores propios de las componentes principales y correlaciones entre las variables y las componentes en el ensayo 4	156
Tabla III.31. Efecto de los materiales biodesinfectantes evaluados en el ensayo 6 sobre las poblaciones de J2 de <i>M. incognita</i>	158
Tabla III.32. Efecto de los biodesinfectante evaluados en el ensayo 6 sobre la microfauna beneficiosa.....	159
Tabla III.33. Efecto de la biodesinfección sobre las propiedades químicas del suelo en el ensayo 6.....	162
Tabla III.34. Valores propios de las componentes principales y correlaciones entre las variables y las componentes en el ensayo 6	163
Tabla III.35. Efecto de los materiales biodesinfectantes evaluados en el ensayo 7 sobre las poblaciones de J2 de <i>M. incognita</i>	165
Tabla III.36. Efecto de los biodesinfectante evaluados en el ensayo 7 sobre la microfauna beneficiosa.....	167
Tabla III.37. Índices de nodulación en raíces de tomate cv “Marmande” en el ensayo 7 ..	168
Tabla III.38. Efecto de los tratamientos de biodesinfección sobre el crecimiento de las plantas de tomate cv “Marmande” en el ensayo 7	170
Tabla III.39. Análisis químico de las plantas de tomate cv “Marmande” en el ensayo 7.....	171
Tabla III.40. Efecto de la biodesinfección sobre las propiedades químicas del suelo en el ensayo 7.....	173
Tabla III.41. Valores propios de las componentes principales y correlaciones entre las variables y las componentes en el ensayo 7	175
Tabla IV.1. IET en diferentes experiencias de policultivos realizadas en Cuba	205

Índice de Figuras

	Pág.
Figura I.1. Ciclo biológico del género <i>Meloidogyne</i>	49
Figura I.2. Nivel de utilización de las alternativas para el manejo de nematodos. Resumen de nueve equipos en ejercicios participativos en organopónicos y parcelas.	66
Figura I.3. Producción de arroz y residuos generados en Cuba (millones de t) 2001-2005....	76
Figura I.4. Producción y residuos de la caña de azúcar en Cuba (millones de t) 2001-2005.....	76
Figura I.5. Producción, total de residuos y pulpa de café en Cuba (millones de t) 2001-2005.....	77
Figura II.1. Esquema de biodesinfección en laboratorio	91
Figura II.2. Tratamientos de biodesinfección en cámara a temperatura controlada	92
Figura II.3. Separación de muestras de suelo para evaluación de nematodos, plantas y suelo ..	92
Figura II.4. Esquema del método de centrifugación con azúcar ..	93
Figura II.5. Placas de Petri preparadas para el recuento de nematodos	95
Figura II.6. Plantas de tomate cv "Marmande" recién transplantadas y en cámaras de crecimiento	96
Figura II.7. Índice de nodulación de Bridge y Page (1980).....	97
Figura III.1. Poblaciones de J 2 de <i>M. incognita</i> y microfauna beneficiosa en los diferentes tratamientos y el testigo en el ensayo 1	112
Figura III.2. Distribución de las variables de suelo de acuerdo al ACP en el ensayo 1.....	120
Figura III.3. Distribución de los tratamientos de acuerdo al ACP en el ensayo 1	121
Figura III.4. Poblaciones de J 2 de <i>M. incognita</i> y microfauna beneficiosa en los diferentes tratamientos y el testigo en el ensayo 2	123
Figura III.5. Distribución de las variables de suelo de acuerdo al ACP en el ensayo 2.....	130
Figura III.6. Distribución de los tratamientos de acuerdo al ACP en el ensayo 2.....	130
Figura III.7. Poblaciones de J 2 de <i>M. incognita</i> y microfauna beneficiosa en los diferentes tratamientos y el testigo en el ensayo 3	133
Figura III.8. Distribución de las variables de suelo de acuerdo al ACP en el ensayo 3.....	138
Figura III.9. Distribución de los tratamientos de acuerdo al ACP en el ensayo 3.....	139
Figura III.10. Poblaciones de J 2 de <i>M. incognita</i> y microfauna beneficiosa en los diferentes tratamientos y el testigo en el ensayo 4	142
Figura III.11. Distribución de las variables de suelo de acuerdo al ACP en el ensayo 4.....	150
Figura III.12. Distribución de los tratamientos de acuerdo al ACP en el ensayo 4.....	150
Figura III.13. Poblaciones de J2 de <i>M. incognita</i> y microfauna beneficiosa en los diferentes tratamientos y el testigo en el ensayo 5	153

	Pág.
Figura III.14. Distribución de las variables de suelo de acuerdo al ACP en el ensayo 5.....	157
Figura III.15. Distribución de los tratamientos de acuerdo al ACP en el ensayo 5.....	157
Figura III.16. Poblaciones de J 2 de <i>M. incognita</i> y microfauna beneficiosa en los diferentes tratamientos y el testigo en el ensayo 6	160
Figura III.17. Distribución de las variables de suelo de acuerdo al ACP en el ensayo 6.....	164
Figura III.18. Distribución de los tratamientos de acuerdo al ACP en el ensayo 6.....	164
Figura III.19. Poblaciones de J 2 de <i>M. incognita</i> y microfauna beneficiosa en los diferentes tratamientos y el testigo en el ensayo 7	167
Figura III.20. Distribución de las variables de suelo de acuerdo al ACP en el ensayo 7.....	176
Figura III.21. Distribución de los tratamientos de acuerdo al ACP en el ensayo 7.....	176
Figura IV.1. Porcentaje de mortalidad de J 2 de <i>Meloidogyne</i> en los diferentes tratamientos de de biodesinfección ensayados en condiciones de laboratorio.....	181

Los residuos agroindustriales constituyen un problema grave a nivel mundial debido a los grandes volúmenes que se generan y a su potencial efecto contaminante sobre el ambiente. En su mayor parte, la gestión de estos residuos se limita al vertido y sólo en forma muy localizada se les da un uso productivo, confiriéndoles un valor añadido. Por ello, existe la necesidad de proponer alternativas para su gestión adecuada. Este estudio tuvo como objetivo fundamental la evaluación de la biodesinfección en condiciones de laboratorio, como una alternativa medioambiental para la gestión de residuos agroindustriales, en particular de aquellos residuos que se generan en mayores cantidades en Cuba, como es el caso de cascarilla de arroz, paja de caña y pulpa de café, y en menor medida los restos de tabaco y la vinaza de caña de azúcar, los cuales se estudiaron solos y combinados entre ellos, así como con otros materiales, como la gallinaza y la vinaza de remolacha.

Se determinó el efecto de los diferentes tratamientos de biodesinfección en condiciones de laboratorio sobre los nematodos fitoparásitos de la especie *Meloidogyne incognita*, así como sobre organismos considerados beneficiosos por su función en el sistema edáfico, en particular nematodos de vida libre (Rabdítidos y Doriláimidos) y Enquitreidos. Además, se analizó el efecto de los residuos agroindustriales utilizados como materiales biodesinfectantes sobre el crecimiento, nutrición e índice de nodulación en raíces de plantas de tomate cv "Marmande" (susceptibles a nematodos formadores de nódulos), así como sobre las propiedades químicas del suelo. Los resultados obtenidos mostraron que los residuos agroindustriales evaluados fueron efectivos para disminuir las poblaciones de *Meloidogyne*, alcanzando el 100% de mortalidad en la mayoría de los tratamientos. Por otra parte, se observó un efecto generalmente favorable de estos materiales sobre la microfauna beneficiosa evaluada, incrementándose las poblaciones de Rabdítidos y Enquitreidos, mientras que en el caso de los Doriláimidos las poblaciones en general fueron bajas y no se observó un efecto significativo de los tratamientos aplicados.

En cuanto a la influencia de los tratamientos de biodesinfección sobre el crecimiento de las plantas, en general se observó un incremento de todas las variables evaluadas, al compararlos con el testigo. Con respecto a los parámetros relacionados con la fertilidad del suelo, la biodesinfección ejerció un efecto positivo, aunque variable en función del tipo de suelo utilizado en los ensayos, observándose mejores resultados en los suelos arcillosos, en comparación con los arenosos. Se valoraron además otras alternativas agroecológicas factibles de ser combinadas con la biodesinfección, para que ésta no sea considerada como una práctica aislada sino como una alternativa a incluir en el diseño de sistemas de manejo agrícola sostenibles. Se concluye que la biodesinfección puede ser utilizada en los sistemas agrarios como una alternativa medioambiental para la gestión de residuos agroindustriales.

Agroindustrial wastes are a major problem worldwide due to their large amounts of generation and their potential effect as environmental pollutants. The management of most of these wastes is just landfilling, their productive use being restricted to small areas, where added value is given to them. Therefore, it is needed to propose alternatives for their adequate management. This study mainly aimed to evaluate biodisinfection under laboratory conditions, as an environmentally-friendly alternative for the management of agro-industrial wastes, mainly those generated in greater volumes in Cuba, such as rice husk, sugarcane straw and coffee pulp, and to a lesser extent tobacco wastes and sugarcane vinasses, which were studied alone and combined with other biodisinfectant materials, such as chicken manure and beet vinasses.

The effect of different biodisinfection treatments under laboratory conditions was determined on plant parasitic nematodes of the species *Meloidogyne incognita*, as well as on organisms considered beneficial for their role in the soil system, including free-living nematodes (Rhabditids and Dorylaimids) and Enchytraeids. In addition, the effect of the agro-industrial wastes used as biodisinfectants on growth, nutrition and root-galling indices of tomato plants cv "Marmande" (susceptible to root-knot nematodes), and on soil chemical properties was assessed. The results showed that the evaluated agro-industrial wastes were effective in reducing *Meloidogyne* populations, reaching 100% mortality in most of the treatments. Moreover, there was a generally favourable effect of these materials on the beneficial microfauna evaluated, increasing populations of Rhabditids and Enchytraeids, whereas in the case of Dorylaimids populations were generally low and no significant effect of the biodisinfection treatments was observed.

Regarding the influence of biodisinfection treatments on plant growth, a general increase in all variables was observed, compared to the control treatment. Respect those parameters related to soil fertility, biodisinfection exerted a positive effect, although variable depending on the soil type in each trial, with better results in clayey soils compared to sandy soils. Besides, other agroecological alternatives feasible to be combined with biodisinfection were considered, in order to avoid taking biodisinfection as an isolated practice but as an alternative to be included in the design of sustainable agricultural management systems. It can be concluded that biodisinfection can be used in agricultural systems as an environmental alternative for the management of agro-industrial wastes.

La situación mundial en el presente se caracteriza por el desarrollo socioeconómico desigual, el uso insostenible de los recursos naturales, el agravamiento de los efectos del cambio climático y la persistencia de la pobreza y la malnutrición. La mala alimentación y los productos alimentarios de mala calidad son en parte responsables del aumento de enfermedades crónicas. La agricultura está íntimamente relacionada con estos problemas, así como con la pérdida de la biodiversidad, el calentamiento global y la disponibilidad del agua. Históricamente, el desarrollo agrícola se ha orientado hacia el aumento de la productividad y la explotación de los recursos naturales, ignorando las complejas interacciones entre las actividades agrícolas, los ecosistemas locales y la sociedad (IAASTD 2008).

La agricultura y la sanidad vegetal a nivel mundial han estado influenciadas por diversas corrientes tecnológicas, principalmente después de la Segunda Guerra Mundial, en que se desarrolló el paradigma de la “Revolución Verde” con el auge de los agroquímicos, el mejoramiento genético, la mecanización de la agricultura y la subvención de las producciones, todos para lograr altos rendimientos. Este enfoque puramente tecnológico y sin considerar las dimensiones sociales y medioambientales de la producción agraria, condujo a un período de crisis e incertidumbres, que ha continuado con un período de diferentes propuestas o alternativas (VÁZQUEZ 2007).

A nivel mundial anualmente se incrementan las dosis de agroquímicos que se utilizan en la agricultura. Por una parte, con el paso de los años aparecen mayores cantidades de suelos degradados por lo que para lograr hacer aptas las tierras para cultivos se incrementan las dosis de fertilizantes que se necesitan aplicar; por otra parte, debido al modelo de producción existente basado en el monocultivo se necesita un control fitosanitario estricto que permita mantener los volúmenes de producción, lo cual trae consigo que se tengan que aplicar mayores dosis de plaguicidas, las que se incrementan continuamente ya que los organismos patógenos van creando resistencia a los productos aplicados. Todo lo anterior da lugar a una constante dependencia de agroquímicos y un incremento en la contaminación ambiental que afecta el suelo, el agua, el aire, y la salud del ser humano y otros seres vivos.

De acuerdo con lo planteado por LAL (2000), a nivel mundial 1100 millones de hectáreas de tierra agrícola presentan erosión hídrica; 550 millones de hectáreas tienen erosión eólica; 235,8 millones de hectáreas corresponden a degradación química y 78,6 millones de hectáreas a degradación física, correspondiendo a los países subdesarrollados el 75 % de las tierras con degradación hídrica, el 83% de la degradación eólica, el 90% de la degradación química y el 60% de las áreas con degradación física.

Por otra parte, cada año se generan grandes toneladas de residuos agrarios, los cuales en su mayoría son desechados, y en pocos lugares y muy localmente, se les da un uso productivo atribuyéndoles un valor añadido. Los residuos agrarios generalmente se desechan constituyendo un foco de contaminación ambiental. De acuerdo a lo planteado por LAL (1995) la cantidad de residuos producidos es estimada en 2562 millones de t para los cereales, 238 millones para las leguminosas y 162 millones para las oleaginosas, con un total mundial de 2962 millones de t por año. SMIL (1981, citado por LAL 1995) estimó que el total de residuos de cultivos producidos en el mundo fue de 2355 millones de t por año, 47% de los cuales producidos en países desarrollados y 53 % en países en vías de desarrollo.

Uno de los mayores retos al que se están enfrentando los investigadores y técnicos en agricultura intensiva en los últimos años es el de encontrar alternativas al bromuro de metilo (BM) y a los plaguicidas en general, por sus efectos negativos para el ambiente y la salud de las personas. Por otro lado, el incremento en la producción de residuos de la sociedad actual es un hecho ineludible, así las condiciones socioeconómicas actuales y previsibles exigen una gestión de los mismos diferente de la efectuada en las décadas pasadas. Las distintas alternativas para mitigar los efectos negativos de estos residuos constituyen una preocupación en los distintos niveles de la población ya que únicamente atribuyendo un valor a estos residuos dejarán de serlo, pudiendo ser tenidos en cuenta como un recurso o subproducto (VICENTE *et al.* 2007).

Lograr establecer una relación armónica entre la producción de alimentos y la conservación del medio ambiente es un gran reto al que hace frente la humanidad hoy en día. Existe la necesidad de mantener volúmenes productivos que permitan satisfacer las necesidades de todos, y a su vez garantizar que los recursos se

gestionen de forma tal que puedan ser conservados para las actuales y futuras generaciones. En virtud de lograr lo anterior, es imposible mantener el ritmo de degradación medioambiental que hasta ahora se ha tenido, por lo que existe la necesidad de valorar y accionar sobre los posibles impactos ambientales provocados por las diferentes actividades productivas, dentro de estas actividades se encuentra el manejo que se le da a los residuos agrarios (FIGUEREDO RODRÍGUEZ 2005).

Existen varias alternativas mediante las cuales se le podría dar un valor añadido a los residuos agroindustriales convirtiéndolos en subproductos y de esta forma evitar la contaminación ambiental generada por el manejo inadecuado que se les da a los mismos, dentro de estas alternativas consideramos que puede ser viable y al alcance de los productores, la biodesinfección, la cual se puede combinar a su vez con otras alternativas agroecológicas para la gestión de los residuos.

Cabe destacar, por tanto, la necesidad e importancia que presentan las investigaciones sobre el efecto biocida de subproductos agroindustriales y ganaderos que sirvan de base para el registro de bioplaguicidas, que serían de gran utilidad, al tiempo que permitiría cumplir con compromisos internacionales sobre el medio ambiente y la salud como son el Protocolo de Montreal en el caso del bromuro de metilo y el Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes (VICENTE *et al.* 2007).

La biodesinfección se basa en la acción desinfectante de las sustancias volátiles procedentes de la biodescomposición de la materia orgánica y de los residuos agroindustriales en el control de patógenos de los vegetales. Su efectividad se incrementa cuando se incorpora en un sistema de manejo integrado, prolongando su efecto en el tiempo por medio de la rotación de cultivos, uso de barbechos, variedades resistentes, injertos, solarización y, en general, prácticas culturales como la época y modo de siembra, labores, manejo del agua, cubiertas, control sanitario, uso de sustratos naturales y artificiales, y el empleo de agentes biológicos de control (MBTOC 1998, BELLO *et al.* 2000a, b).

El uso de la biodesinfección, como alternativa no química para el control de los organismos patógenos de los vegetales, ha sido aceptada sin dificultad por aquellos productores y técnicos con gran experiencia en la gestión de los sistemas agrarios y

en el manejo de la materia orgánica. Para estos agricultores, el establecimiento de las bases teóricas de la biodesinfección, vino a confirmar sus conocimientos empíricos sobre la implicación de la materia orgánica en el incremento de la rentabilidad de los cultivos y, sobre todo, descubrir su función en la regulación de las enfermedades de las plantas que tiene su origen en el suelo (BELLO *et al.* 2001).

De acuerdo a lo planteado por BELLO *et al.* (2003) y GARCÍA ÁLVAREZ *et al.* (2004) el uso de la biodesinfección está resultando una alternativa eficaz a la desinfección convencional de suelos por métodos químicos, con excelentes resultados en el control de patógenos vegetales de origen edáfico. La biodesinfección además de que permite la utilización de los recursos locales en la protección de los cultivos, evita el impacto de los plaguicidas sobre la salud de los seres vivos y el ambiente, como es el caso del bromuro de metilo (BM), un fumigante del suelo que contribuye notablemente a la degradación de la capa de ozono. En la IV Reunión del Protocolo de Montreal en Copenhague (noviembre, 1992) se planteó la retirada del BM por su efecto destructor de la capa de ozono estratosférico (BELLO & TELLO 1997).

Tomando en consideración la necesidad que existe de proponer alternativas para la gestión de residuos agroindustriales debido a que los mismos son desechados en su mayoría provocando un impacto negativo sobre el medio ambiente, y que a su vez pueden ser usados como biodesinfectantes y como coberturas en el suelo para mejorar la fertilidad de los mismos y para reducir plagas evitando el uso indiscriminado de agroquímicos, este trabajo se propone la evaluación de la biodesinfección como alternativa medioambiental para la gestión de los residuos agroindustriales.

OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

Tanto en Cuba como a nivel mundial se generan anualmente grandes volúmenes de residuos agroindustriales cuya gestión, en su mayor parte, se limita al vertido, convirtiéndose en focos de contaminación ambiental. Sin embargo, estos residuos constituyen una fuente potencial de materia orgánica que podría ser incorporada al suelo y que es desaprovechada, a pesar de que la degradación de los suelos constituye uno de los principales problemas ambientales a nivel mundial, que requiere del aporte de nutrientes para su mejoramiento. Por otra parte, una de las formas en que la agricultura contribuye a los problemas ambientales es mediante el uso de productos químicos, como el bromuro de metilo, usado ampliamente en la agricultura por su efectividad en el control de nematodos fitopatógenos, y para el cual es necesario proponer alternativas debido a que se ha prohibido su uso por ser altamente destructor de la capa de ozono estratosférico.

Esto pone de manifiesto, por una parte, la disponibilidad de una fuente de nutrientes constituida por los residuos agroindustriales, los cuales podrían ser valorados como subproductos y no como residuos, y por otro lado, la existencia de problemas ambientales ante los cuales es necesario proponer alternativas. En este sentido, los residuos agroindustriales podrían jugar un rol fundamental, por lo que es necesario el estudio y evaluación de alternativas para su utilización. Por ello, esta investigación se centra en el estudio de la biodesinfección como una alternativa medioambiental para la gestión de residuos agroindustriales, destacando la importancia de utilizar este proceso de biodesinfección no de forma aislada, sino como una alternativa agroecológica más en los agroecosistemas, a manejar de conjunto con otras alternativas que puedan contribuir al objetivo de trabajar por el logro de una agricultura sostenible.

En base a esto, se propone como **objetivo general** de esta investigación *evaluar la biodesinfección como alternativa medioambiental para la gestión de los residuos agroindustriales generados en mayores volúmenes en Cuba mediante el estudio del efecto de los mismos sobre las poblaciones de nematodos del género *Meloidogyne*, la microfauna beneficiosa, la fertilidad del suelo y el crecimiento y nutrición de las plantas.*

Para dar cumplimiento a este objetivo general se plantean los siguientes **objetivos específicos**:

- Determinar la influencia de los residuos agroindustriales estudiados sobre las poblaciones de nematodos del género *Meloidogyne* y sobre la microfauna beneficiosa constituida por los Rabdítidos, Doriláimidos y Enquitreidos
- Evaluar el efecto de los residuos agroindustriales utilizados como materiales biodesinfectantes sobre la fertilidad del suelo, así como sobre la nutrición, el crecimiento y los índices de nodulación en raíces de plantas de tomate cv “Marmande”, susceptible a *Meloidogyne*.
- Realizar un análisis de otras alternativas agroecológicas factibles de ser utilizadas junto con la biodesinfección para incrementar el equilibrio ecológico en el agroecosistema y contribuir a su sostenibilidad.

Para alcanzar los objetivos propuestos, en primer lugar se realiza una revisión bibliográfica de los diferentes temas planteados, reuniendo de esta forma la información necesaria para el desarrollo de la investigación. Se recopilan los resultados de las investigaciones realizadas hasta ahora tanto en Cuba como a nivel internacional en relación con esta temática, en particular en relación al uso de la biodesinfección, y se analizan los aspectos relacionados con la importancia del manejo adecuado de los residuos agroindustriales, así como con el enfoque agroecológico en la agricultura. La mayor parte de esta información se recoge en el capítulo de **Antecedentes**.

Seguidamente se describen los **Materiales y métodos** utilizados en el trabajo, los cuales incluyen en primer lugar la caracterización de los materiales biodesinfectantes ensayados, así como de los suelos utilizados en los ensayos de biodesinfección. A continuación se describen: el protocolo de biodesinfección de suelos en condiciones de laboratorio, la metodología para el recuento de nematodos fitófagos y de la microfauna beneficiosa, los procedimientos analíticos para la determinación de las variables de fertilidad del suelo, la metodología para evaluar el efecto de la biodesinfección en el crecimiento y nutrición de las plantas, así como los tratamientos estadísticos aplicados a los datos obtenidos en cada caso.

En el capítulo de **Resultados** se recogen los datos obtenidos en las evaluaciones realizadas, una vez sometidos a los análisis estadísticos correspondientes. En primer lugar se muestran los resultados de los conteos de *Meloidogyne*, así como de los Rabdítidos, Doriláimidos y Enquitreidos, los cuales constituyen la microfauna beneficiosa estudiada. Seguidamente se muestra la información referida a la influencia de los materiales biodesinfectantes sobre el crecimiento, nutrición e índice de nodulación de las plantas de tomate cv “Marmande”. Por último se presentan los datos de las variables de fertilidad de suelo en los suelos biodesinfectados.

En el apartado de **Discusión** se establece la relación entre lo planteado en el apartado de Antecedentes y la información presentada en los Resultados del trabajo, valorando la posibilidad de utilizar los residuos agroindustriales como materiales biodesinfectantes. Se destaca su eficacia para el manejo de las poblaciones de nematodos fitoparásitos del género *Meloidogyne*, así como su efecto favorable sobre la microfauna beneficiosa estudiada. Además, se pone de manifiesto el efecto que tienen los residuos agroindustriales ensayados sobre la fertilidad del suelo y cómo repercute este efecto sobre la nutrición y el crecimiento de las plantas. Finalmente, en el apartado dedicado a las **Conclusiones** se exponen las aportaciones de este trabajo en relación al uso de los residuos agroindustriales como materiales biodesinfectantes, y se señalan las posibles líneas de investigación futuras.

En este capítulo se presentan los resultados de la revisión bibliográfica, comenzando primeramente con una exposición de los aspectos relacionados fundamentalmente con el desarrollo sostenible, así como de los principales problemas ambientales a nivel global y en Cuba en particular (Apartado I.1). Seguidamente se presenta a la agroecología como la base científica para el desarrollo de una agricultura sostenible (Apartado I.2), puesto que en este estudio el uso de residuos como biodesinfectantes de suelo se considera una alternativa agroecológica para el manejo de nematodos fitoparásitos, y en consecuencia es necesario conocer los principios de la agroecología y las alternativas de producción que se pueden implementar junto con la biodesinfección para alcanzar la sostenibilidad del sistema. En el Apartado I.3 se analiza la importancia que ha tenido la adopción del modelo agroecológico en Cuba, profundizando en el Apartado I.4 en el manejo agroecológico de plagas, el cual se intensificó durante la etapa de crisis económica por la que atravesó la isla en los años 90. Los Apartados I.5 y I.6 hacen referencia al manejo agroecológico del suelo y a la importancia de los residuos agrarios en este contexto, respectivamente. En el Apartado I.7 se hace una caracterización de los nematodos del suelo, profundizando en los nematodos formadores de nódulos del género *Meloidogyne* en el apartado siguiente (Apartado I.8). Finalmente, en el Apartado I.9 se analizan las alternativas de manejo de los nematodos formadores de nódulos dentro del marco de la agroecología, con énfasis en biodesinfección y el uso de la materia orgánica.

I.1. Sostenibilidad y problemas ambientales

Varios autores coinciden en señalar que el origen del movimiento y acciones dirigidas al desarrollo de la agricultura sostenible parte de la publicación del libro de la bióloga norteamericana Rachel Carson, "*Primavera Silenciosa*" en 1962, en el que se advertía a los Estados Unidos y al mundo entero de los peligros de las aplicaciones excesivas de pesticidas agrícolas para las aves migratorias y otras especies (FUENTES 1996). Esta publicación impactó a la sociedad norteamericana, que vio en peligro sus ambientes naturales, y comenzó a presionar hasta lograr, años más tarde, que el gobierno prohibiera el uso del DDT en todos los Estados de la Unión, medida que fue adoptada posteriormente en otras partes del mundo (URBINA 1996, citado por FUENTES 2004).

Durante la década de los '60 las preocupaciones ambientales comenzaron a revelarse con mayor intensidad y se inició el desarrollo de una creciente sensibilidad ante estos problemas por parte de diferentes sectores de la sociedad. En este proceso tienen lugar una serie de acontecimientos a escala internacional, que provocaron un cambio sustancial en la forma de tratar e interpretar el deterioro ambiental del planeta (CITMA 2002). A manera de resumen se pueden señalar:

- **1971. Informe del Club de Roma “Los límites del crecimiento”.** Cuestiona la racionalidad de la meta habitual del crecimiento económico y argumenta que de continuar sin cambios las tendencias de crecimiento de la población mundial, la industrialización, la contaminación, la producción de alimentos y el agotamiento de los recursos naturales, se alcanzarían los límites de las potencialidades del planeta para la supervivencia humana en un período aproximado de 100 años.
- **1972. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano.** Los grandes problemas ambientales existentes se resumieron en 27 principios y se expresó la necesidad de tomar conciencia de ellos por parte de todas las esferas de la sociedad. Se aprobó un plan de acción que se convertiría en un compromiso colectivo de cooperación internacional. El mensaje central fue: “Preservar la naturaleza y elevar la calidad de vida en el planeta para el bienestar presente y futuro de los hombres que lo habitan”. Además, se abordó el subdesarrollo y la pobreza como los principales problemas que afectan la calidad de vida, y se discutió sobre sus consecuencias nocivas en el ambiente. Todo esto sentó las bases para la creación del Programa de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente.
- **1973-1984. Conferencias y eventos internacionales,** que incluyen la Cumbre Mundial sobre Población, la Cumbre Mundial sobre Asentamientos Humanos, la Conservación sobre el Derecho del Mar y la elaboración de la Estrategia Mundial de Conservación de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). En esta etapa se comienzan a analizar y evaluar problemas ambientales globales, tales como la reducción de la capa de ozono y el calentamiento global.
- **1984. Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo.** Esta comisión elaboró un informe denominado “Nuestro Futuro Común”, conocido también como “Informe Brutland”, en el que se destacó su concepción del

ambiente como una esfera integrada a las acciones humanas y se reconoció a la pobreza como uno de los principales problemas que inciden sobre el mismo. Por otra parte, se expusieron las limitaciones del concepto vigente de desarrollo y se planteó la necesidad de una nueva ética del mismo en torno a la equidad, con cambios en los patrones de producción y consumo. Se definió el concepto de desarrollo sostenible como: “el desarrollo que permite satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades”. Además, se propusieron las metas para alcanzarlo a partir de sus tres dimensiones: la económica, la social y la ambiental.

- **1987. Presentación en la Asamblea General de las Naciones Unidas del Informe Nuestro Futuro Común** anteriormente mencionado. Esto permitió que se comenzaran a ampliar y profundizar los debates sobre los problemas ambientales en los foros políticos.
- **1992. Conferencia sobre Medio Ambiente y Desarrollo, conocida como “Cumbre de la Tierra” o “Cumbre de Río”.** Rescató el contenido y los conceptos del informe “Nuestro Futuro Común” y postuló un nuevo régimen ambiental internacional, a partir de nuevos principios y conceptos éticos globales. Allí se aprobó la Declaración de Río, que formuló nuevos postulados y principios de la problemática ambiental: la adopción de la Agenda 21, que definió metas a alcanzar para el siglo XXI, y las Convenciones Marco de Cambio Climático y de Diversidad Biológica. El logro más trascendental alcanzado radicó en que se creó una mayor conciencia acerca de los problemas ambientales y de las relaciones entre medio ambiente, economía y sociedad (CITMA 2002). Después de la Cumbre de Río la tendencia a la interpretación limitada de los problemas ambientales, dirigida a la protección de los recursos naturales de forma aislada comienza a cambiar. La valoración de estos problemas se realiza a través de un nuevo enfoque, integrando las esferas económica y social, al mismo tiempo que teniendo en cuenta la deuda ecológica del mundo desarrollado, la existencia de un círculo vicioso entre pobreza y deterioro ambiental, así como los efectos de las formas de desarrollo económico sobre los recursos naturales, de los que dependen la vida y el bienestar humano.

- **1997. Cumbre sobre Cambio Climático de Kyoto (Japón).** En esta cumbre se aprueba el Protocolo de Kyoto, el cual incluye un acuerdo para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, causantes principales del calentamiento global, con énfasis en la reducción de las emisiones de CO₂. Las tasas de reducción no son uniformes para todos los países, siendo en promedio un 5,2% de los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero en el año 1990.
- **2002. Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible celebrada en Johannesburgo (Sudáfrica).** Se enfatiza la necesidad de alternativas a la problemática ambiental existente. Su objetivo fue evaluar la Cumbre de la Tierra celebrada diez años antes en Río y adoptar medidas para lograr un desarrollo aceptable para las futuras generaciones. En esta Cumbre se reconoció que el desarrollo sostenible involucra, como uno de los objetivos fundamentales, la reducción de la pobreza sin dañar al medio ambiente.

De manera general, todas estas cumbres y reuniones han analizado los principales problemas ambientales a nivel global y las diferentes alternativas posibles, tanto a nivel internacional como local, para hacer frente a esta problemática. Los principales **problemas ambientales** a nivel global, de acuerdo a lo planteado por CITMA (2002) son:

- **La degradación del suelo.** La formación de un par de centímetros de capa superficial de suelo puede tardar más de 1000 años. Sin embargo, esa misma cantidad de tierra puede ser erosionada por un solo aguacero. Así, cada año el planeta pierde millones de hectáreas de tierra cultivable y de pastos. La desertificación, originada por la acción combinada de diferentes procesos de degradación del suelo, provoca anualmente la pérdida de unos 42.000 millones de dólares. La erosión del suelo amenaza el sustento de más de 1.000 millones de personas y, si continúa al ritmo actual, el volumen de cosechas en África, por citar un ejemplo, podría reducirse a la mitad dentro de 40 años (FAO 2000).
- **La contaminación ambiental.** Existen muchos contaminantes provenientes de fuentes naturales, pero la contaminación originada por la actividad industrial, agrícola, urbana y comercial es la responsable de la mayoría de los problemas de degradación ambiental. El rápido crecimiento industrial del mundo en el último siglo, sobre todo en los países desarrollados, ha

producido cada vez mayores cantidades de sustancias contaminantes. Por eso, la disposición final de los desechos producidos por la actividad humana se ha convertido en un serio problema y es una de las principales causas del deterioro de la calidad del aire, el suelo y el agua.

- **El agotamiento de la capa de ozono.** El deterioro de la capa de ozono de la estratosfera representa uno de los grandes problemas causados por la actividad humana, debido a la emisión a la atmósfera de sustancias de elevada actividad química que provocan la descomposición del ozono (como el bromuro de metilo, que se usa para el control de nematodos, y cuya utilización se ha ido eliminando). La capa de ozono actúa como un filtro natural para los rayos ultravioletas provenientes de la radiación solar, que tienen efectos sumamente nocivos sobre los ecosistemas en general y la salud humana en particular. A partir de la firma del Protocolo de Montreal en 1992 ha comenzado un programa mundial para la eliminación de la producción y el consumo de las sustancias agotadoras de la capa de ozono.
- **El cambio climático.** Están ocurriendo cambios en los procesos de la atmósfera que determinan el clima, cuyos efectos tienen graves implicaciones para el desarrollo de la vida humana, la economía y la sociedad. Los incrementos previstos de la temperatura del aire pueden tener, entre otros, importantes repercusiones sobre los mecanismos de la circulación de la atmósfera, los regímenes de lluvia y la frecuencia de eventos meteorológicos severos, los que a su vez repercutirán sobre aspectos claves como la salud humana, la agricultura y la disponibilidad de agua. Igualmente, el incremento previsto en el nivel medio del mar podrá inundar deltas y zonas costeras habitadas por millones de personas y sumergir algunas islas. También podrá provocar que se produzca la ocurrencia de un mayor avance del oleaje sobre la tierra, producidos por eventos meteorológicos tales como huracanes y frentes fríos.
- **La pérdida de diversidad biológica.** La diversidad de las especies vivientes está amenazada en gran medida por las presiones que ejercen los seres humanos, estimándose que cada 24 horas se extinguen entre 150 y 200 especies. Se calcula que dos tercios de todas las especies del planeta podrían desaparecer dentro de los próximos 100 años. Entre las causas que conllevan a la pérdida de la diversidad biológica, destacan las relacionadas directamente con la tala y quema de bosques en gran escala, la pérdida y

fragmentación del hábitat natural, la contaminación ambiental, la caza furtiva, el sobrecultivo, el sobrepastoreo, la sobreexplotación pesquera, la destrucción de ecosistemas como los arrecifes de coral y manglares, el comercio ilegal de especies, el uso de pesticidas y otros productos químicos, la conversión de terrenos silvestres para usos agrícolas y urbanos, así como el deterioro de los suelos.

En cada uno de estos problemas la agricultura ha tenido una implicación directa debido al modelo de producción que se ha seguido en la segunda mitad del siglo XX, basado en el monocultivo de grandes extensiones de terreno. Este modelo ha traído aparejada una gran dependencia de un paquete tecnológico basado en el uso de grandes cantidades de agroquímicos y de maquinaria agrícola, lo cual ha ocasionado la degradación de los suelos y contaminación ambiental en sentido general.

En la mayoría de los círculos científicos relacionados con temas agrícolas se ha llegado a la percepción general de que la agricultura moderna enfrenta una crisis ambiental (CONWAY Y BARBIER 1990). La raíz de esta crisis se encuentra en la aplicación de prácticas agrícolas intensivas basadas en altos insumos, las cuales llevan a la degradación de los recursos naturales a través de procesos de erosión de suelos, salinización, contaminación con pesticidas, desertificación y pérdida de la biomasa, que finalmente repercuten en reducciones progresivas de la productividad. La pérdida de rendimiento por plagas en muchos cultivos, a pesar del incremento sustancial en el uso de pesticidas es un síntoma de esta crisis (PIMENTEL *et al.* 1980). Las plantas cultivadas en monocultivos genéticamente homogéneos no poseen las defensas necesarias para resistir o tolerar el impacto de poblaciones de insectos fitófagos (ALTIERI Y LETOURNEAU 1982).

Dentro de los problemas más serios en la agricultura destaca la manifestación de diferentes procesos de degradación de los suelos, tales como la erosión, la compactación, la acidificación y la salinización, que traen consigo la disminución de los rendimientos agrícolas. En particular, la erosión es un proceso que altera las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y afecta a los procesos que regulan la productividad de los ecosistemas agrícolas. Dependiendo de los agentes actuantes, puede ser erosión hídrica (provocada por el agua) o la erosión eólica (originada por el viento). En ambos casos, la cobertura del suelo con residuos contribuiría a atenuar este efecto. El efecto de la erosión se expresa sobre las propiedades físicas de los suelos disminuyendo el espesor de la capa superficial o capa arable; en las químicas, a través del lavado o remoción de los elementos

nutritivos del suelo; y en las biológicas, afectando negativamente la materia orgánica y la biota edáfica.

En el caso específico de Cuba los principales problemas ambientales también consisten fundamentalmente en la degradación de los suelos, junto a otros problemas como las afectaciones a la cobertura forestal, la contaminación, la pérdida de la diversidad biológica y la falta de agua (CITMA 2007). La superficie agrícola de Cuba es de 6.655 millones de ha, lo que representa 60,56% de su superficie terrestre. La superficie cultivada constituye el 54,0% de la superficie agrícola. Los cultivos permanentes (2.397 millones de ha) son los más significativos, de los cuales las mayores extensiones corresponden a la caña de azúcar (69,7%). La nocividad atribuida a los cultivos permanentes proviene de la falta de rotaciones y del agotamiento que provocan en los suelos, debido a un incorrecto manejo agrotécnico y a una protección insuficiente de la fertilidad. Entre los cultivos temporales, se presta particular atención al cultivo de arroz, que ocupa 207,4 millones de ha, debido a las condiciones de hidromorfía en que se desarrolla, y a la importancia del manejo incorrecto y la calidad de las aguas que se emplean para el riego (CITMA 2007).

El Programa Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía señala que 11 de las 14 provincias están afectadas por falta de materia orgánica, erosión, compactación, acidez o exceso de sales. Estos problemas tienden a ser más dramático hacia la región oriental, donde predominan ecosistemas frágiles (de montaña, humedales y zonas costeras), más vulnerables frente a los impactos negativos asociados a la intensificación de la sequía y a las irregularidades en la distribución de las precipitaciones (ALONSO Y CARROBELLO 2002)

Los resultados de los estudios realizados sobre los cultivos de importancia económica en el ámbito cubano muestran que el 23,2% del área estudiada se clasifica como productiva a poco productiva, mientras que el 76,8% restante lo constituyen suelos de poca a muy poca productividad, afectados por factores edáficos limitantes que impiden alcanzar los rendimientos potenciales. En estos casos es necesario aplicar medidas de acondicionamiento y mejoramiento de los suelos para aumentar la productividad (MINAGRI 2001). Estudios recientes indican que el 60% de la superficie de Cuba se encuentra afectada por diferentes factores de degradación (e incluso por más de un factor a la vez), que pueden conducir a procesos de desertificación (CITMA 2007): los procesos erosivos afectan 2,5 millones de hectáreas de suelos en Cuba, alrededor de 3,4 millones de ha presentan

elevados grados de acidez, cerca de 1 millón de ha poseen elevada salinidad y modicidad, unas 2,5 millones de ha son afectados por compactación, y 2,7 millones de ha muestran problemas de drenaje. Estos factores pueden ser de carácter natural o antrópico, y su efecto se acumula en el transcurso de los años. Existe una marcada preponderancia de los factores antrópicos, aunque en los últimos años se han intensificado procesos naturales como la sequía y la incidencia de huracanes, con las consiguientes inundaciones, lavado de los suelos y movimientos de masa, que están incidiendo en su deterioro.

Como ya se ha mencionado, la agricultura ha tenido gran importancia en la problemática ambiental existente, por el papel que ha jugado en la degradación de los recursos naturales y de afectación al ambiente en general, implicando que se ponga en riesgo la capacidad de producir alimentos para las presentes y futuras generaciones. Por ello existe la necesidad de proponer un nuevo modelo de producción agrícola que sea más compatible con el medio ambiente y que contribuya a lograr una agricultura sostenible, para lo cual es necesario tomar en consideración varios principios ecológicos, por lo que se propone a la agroecología como la base científica para el desarrollo de una agricultura sostenible.

I. 2. La agroecología como base científica de la agricultura sostenible

A nivel mundial, está emergiendo un consenso en cuanto a la necesidad de nuevas acciones de desarrollo agrícola para asegurar una producción estable de alimentos y acorde con la calidad ambiental. Los objetivos que se persiguen son: la seguridad alimentaria, la erradicación de la pobreza, así como la conservación y protección del ambiente y los recursos naturales. La agricultura es una actividad que implica la artificialización de los ecosistemas, lo cual se asocia al agotamiento de algunos recursos. La reducción de la fertilidad del suelo, la erosión, la contaminación de aguas, la pérdida de recursos genéticos, etc., son manifestaciones claras de las externalidades de la agricultura. Además de implicar costos ambientales, estas externalidades también implican costos económicos. Así, a medida que la degradación es más aguda, los costos de conservación se incrementan. Uno de los principales desafíos es el de analizar estos costos ambientales como parte del análisis económico que se realiza rutinariamente en actividades agrícolas. La contabilidad ambiental que incluye costos tales como la erosión o la contaminación

por plaguicidas debiera ser un aspecto crucial en el análisis comparativo de diferentes tipos de agroecosistemas (ALTIERI Y NICHOLLS 2000).

Recientemente, la problemática de la producción agrícola ha evolucionado de una dimensión meramente técnica a dimensiones de tipo social, económico, político, cultural y ambiental. En este sentido, el concepto de sostenibilidad es útil porque reúne un conjunto de preocupaciones sobre la agricultura concebida como un sistema tanto económico, como social y ecológico. La comprensión de estos aspectos más amplios sobre la agricultura requiere entender la relación entre ésta y el ambiente, ya que su desarrollo depende de la interacción de subsistemas biofísicos, técnicos y socioeconómicos. Este concepto ha provocado mucha discusión y ha promovido la necesidad de realizar ajustes en la agricultura convencional hacia una agricultura ambiental, social y económicamente viable y compatible (EWUARDS *et al.* 1990). La idea es desarrollar agroecosistemas con mínima dependencia de insumos agroquímicos y energéticos, con énfasis en las interacciones y sinergismos entre los componentes biológicos de los agroecosistemas, mejorando así la eficiencia biológica y económica, así como la protección del ambiente (ALTIERI 1987).

En este marco ha surgido y se ha desarrollado la **agroecología**, que es la parte de la ecología que tiene por objeto de estudio los sistemas agrícolas. En la esencia de esta ciencia está la concepción de que un campo de cultivo es un ecosistema dentro del cual se dan los procesos ecológicos que ocurren en las formaciones naturales. La agroecología incorpora un enfoque de la agricultura ligado al ambiente y sensible socialmente, centrado no sólo en la producción, sino también en la sostenibilidad ecológica del sistema agrícola (HECHT 1991). De esta manera, la agroecología se centra en las relaciones ecológicas en los sistemas agrícolas y su propósito es esclarecer la estructura, las funciones y la dinámica de estas relaciones. El enfoque agroecológico considera a los ecosistemas agrícolas como las unidades fundamentales de estudio, en las cuales los ciclos minerales, las transformaciones de la energía, los procesos biológicos y las relaciones socioeconómicas son investigados y analizados como un todo (ALTIERI Y NICHOLLS 2000). La idea implícita es que, mediante el conocimiento de estos procesos y relaciones, los sistemas agrícolas se pueden manejar mejor, con menores impactos negativos sobre el ambiente y la sociedad, más sosteniblemente y con menor uso de insumos externos.

Esta concepción sitúa a la agroecología como la base científica de la agricultura sostenible (ALTIERI 1989; HECHT 1991).

La **agricultura sostenible** es definida como el manejo y conservación de los recursos naturales, así como la orientación de cambios tecnológicos e institucionales, de manera de asegurar la satisfacción de las necesidades humanas de forma continuada para las generaciones presentes y futuras. Tal como lo define la FAO (1991), la agricultura sostenible conserva el suelo, el agua y los recursos genéticos tanto animales como vegetales, no degrada el ambiente, es técnicamente apropiada, económicamente viable y socialmente justa. Dicho de otro modo, permite obtener producciones estables de forma económicamente viable y socialmente aceptable, en armonía con el ambiente (CAMACHO Y AIROSA 2000).

El concepto de agricultura sostenible generalmente se refiere a un modo de agricultura que intenta proporcionar rendimientos sostenidos a largo plazo, mediante el uso de técnicas de manejo ecológicas. Esto requiere que el sistema agrícola sea considerado como un ecosistema (de aquí el término de **agroecosistema**) donde no se buscan altos rendimientos de un producto en particular, sino la optimización del sistema como un todo. Además, requiere ver más allá de la producción económica y tomar en consideración aspectos de sostenibilidad y estabilidad ecológica (ALTIERI 1997).

Los elementos básicos de un agroecosistema sustentable son la conservación de los recursos renovables, la adaptación del cultivo al ambiente y el mantenimiento de niveles moderados, pero sustentables, de productividad (ALTIERI Y NICHOLLS 2000). Para enfatizar la sustentabilidad ecológica de largo plazo frente a la productividad de corto plazo, el sistema de producción debe:

- Reducir el uso de energía y recursos, regulando la inversión total de energía para obtener una alta relación entre producción e inversión.
- Aumentar el reciclaje de biomasa de modo de optimizar la disponibilidad y el flujo balanceado de nutrientes. Implica reducir las pérdidas de nutrientes mediante la contención efectiva de la lixiviación, escurrimiento y erosión, así como mejorar su reciclado, mediante la utilización de leguminosas, abonos orgánicos y composts.

- Estimular la producción de cultivos locales adaptados al contexto natural y socioeconómico.
- Minimizar la degradación del suelo y asegurar condiciones favorables para el crecimiento de las plantas, particularmente a través del manejo de la materia orgánica y aumentando la actividad biológica del suelo.
- Reducir los costos, aumentando la eficiencia y viabilidad económica de las fincas de pequeño y mediano tamaño, promoviendo sistemas agrícolas diversos y flexibles.

Desde el punto de vista de manejo, los componentes básicos de un agroecosistema sustentable incluyen (ALTIERI Y NICHOLLS 2000):

- Medidas efectivas de conservación del suelo y el agua, tales como cubiertas vegetales, prácticas de labranza cero, uso de “mulchs”, etc.
- Aporte regular de materia orgánica mediante la incorporación de abono orgánico y composts, que incremente la actividad biológica del suelo.
- Prácticas para favorecer el reciclado de nutrientes, tales como las rotaciones de cultivos, sistemas agropastoriles y agroforestales, intercultivos basados en leguminosas, etc.
- Diversificación específica y genética del agroecosistema tanto en el tiempo como en el espacio, para aumentar las interacciones biológicas y los sinergismos entre los componentes del sistema, promoviendo así procesos y servicios ecológicos fundamentales.
- Regulación de plagas mediante el estímulo de la actividad de los agentes de control biológico, a través del incremento de la biodiversidad, o introduciendo enemigos naturales.

El objetivo final del diseño agroecológico es armonizar los componentes del sistema de manera que permita aumentar la eficiencia biológica general y mantener la capacidad productiva y la autosuficiencia del agroecosistema. La producción sostenible se logra cuando existe un equilibrio entre el suelo, los cultivos, los nutrientes, la luz solar, la humedad y los sinergismos existentes entre los organismos del agroecosistema. El agroecosistema es productivo cuando este equilibrio se mantiene y las plantas cultivadas se adaptan para tolerar el estrés y las

condiciones adversas. Las alteraciones ocasionales se pueden superar si el agroecosistema es robusto, adaptable y lo suficientemente diversificado para recuperarse una vez que el estrés haya pasado. Ocasionalmente puede ser necesario intervenir aplicando insecticidas botánicos o fertilizantes alternativos para el manejo de plagas, enfermedades o problemas de suelo, pero la agroecología provee las directrices para un manejo cuidadoso del agroecosistema de manera de no dañarlo en forma irreparable. Al tratar de regular las plagas, enfermedades o deficiencias del suelo, el agroecólogo se esfuerza por restablecer el equilibrio y vigor del agroecosistema. Si la causa de la enfermedad, plaga o degradación del suelo se entiende como desbalance, entonces el objetivo del tratamiento agroecológico es recuperar el equilibrio (ALTIERI 1998).

El comportamiento óptimo de los sistemas de producción agrícola depende del nivel de interacciones entre sus componentes. Las interacciones potenciadoras del sistema son aquellas en las cuales los productos de un componente son utilizados para la producción de otro (ej. plantas adventicias utilizadas como forraje, estiércol utilizado como fertilizante, o uso de rastrojos para pastoreo animal). Para esto, la diversificación es una estrategia clave. La biodiversidad funcional, que potencia los sinergismos, también puede subsidiar el funcionamiento del agroecosistema al proveer servicios ecológicos tales como la activación de la biología del suelo, el reciclaje de nutrientes, el control biológico de plagas y la conservación del agua y del suelo (ALTIERI 1998).

En definitiva, la sustentabilidad de los sistemas de producción dependerá fundamentalmente del mantenimiento de la productividad de los suelos a través del desarrollo, la restauración y mantenimiento de sus condiciones físicas, químicas y biológicas, regulada en gran medida por la capacidad de reciclaje la materia orgánica y la actividad de los microorganismos, que deben ser favorecidos por las prácticas de manejo que se realicen (HERNÁNDEZ *et al.* 2005). En este sentido, la reincorporación al suelo de la materia orgánica mediante el uso de restos vegetales constituye una práctica de fundamental importancia dentro de la estrategia de manejo.

Un aspecto a destacar es la frecuente confusión que se produce entre **los componentes de una agricultura sustentable** y lo que significa **la sustentabilidad del sistema**. El empleo de abonos verdes, el control biológico de plagas, el uso de un compuesto orgánico, son componentes importantes en una propuesta de agricultura sustentable, pero el empleo aislado de cualquiera de ellos no brinda garantías de sustentabilidad al sistema donde se emplean. Ello puede parecer obvio, pero muchas veces se encuentran investigadores o productores que afirman "estar en la línea" de la agricultura sustentable solamente por emplear algunas de las técnicas más comunes de ésta. Como ejemplos se pueden mencionar los monocultivos de uva que usan abono verde, compost y además gran cantidad de pesticidas, o de caña, donde se usa control biológico de plagas junto con fertilizantes químicos (VON DER WEID 1994).

I. 3. Importancia del modelo agroecológico en Cuba

A principios de la década de los 90, al desintegrarse el bloque soviético, Cuba perdió su mayor fuente de alimentos, combustible e insumos agrícolas, y entró en crisis. La pérdida de más del 85% de los mercados externos provocó un colapso total de su economía. Esta crisis golpeó con particular fuerza a la agricultura cubana debido a cuatro razones principales:

- Su sistema agrícola estaba muy industrializado, al punto que utilizaba más maquinaria y aplicaba mayor cantidad de fertilizantes nitrogenados por unidad de superficie que sistemas de producción similares en Estados Unidos, y más de la mitad de las tierras cultivadas eran irrigadas con sistemas mecanizados.
- La mayoría de los insumos y productos comestibles que Cuba requería para su supervivencia eran importados: en 1988, por ejemplo, Cuba importó el 100% del trigo consumido en ese año, el 90% del frijol, el 94% de los fertilizantes, el 82% de los plaguicidas y el 97% del alimento para la ganadería. Tal como se constató en los predios controlados por el MINAGRI (Ministerio de la Agricultura), Cuba estaba produciendo únicamente el 28% de las calorías consumidas a nivel nacional.

- En el momento en el cual Cuba se vio obligada a entrar al mercado global del azúcar, los precios internacionales de las materias primas cayeron en forma drástica. Anteriormente, los regímenes “amigos” habían pagado tres veces el precio mundial por el azúcar cubana.
- Durante las décadas anteriores, el país se había desarrollado muy poco en lo que respecta a productos agrícolas diversificados o a la industria de bajas calorías, ya sea para exportación o para consumo interno (WRIGHT 2006).

En 1991 el gobierno declaró el "Período Especial en tiempo de paz", que básicamente puso al país en un programa austero con un estilo de economía de tiempo de guerra. Hubo una reducción inmediata del 53% en las importaciones de petróleo, que no sólo afectó su disponibilidad para la economía, sino que también suprimió el intercambio internacional que Cuba había realizado anteriormente con la reexportación de este producto. Las importaciones de trigo y otros granos para el consumo humano se redujeron en más del 50%, y algunos otros alimentos disminuyeron aún más. La agricultura cubana se enfrentó a una caída de más del 80% en la disponibilidad de fertilizantes y pesticidas, mientras que la reducción en la disponibilidad de los hidrocarburos alcanzó el 47% para diesel y el 75% para gasolina (ROSSET Y BENJAMÍN 1994; WRIGHT 2006). Como resultado, tanto la producción agrícola como la disponibilidad de alimentos cayeron a niveles críticos, de manera que hacia 1993 la nación estaba al borde de una crisis alimentaria de grandes proporciones (WRIGHT 2006).

En septiembre de 1993 Cuba comenzó la reorganización radical del sector estatal para crear unidades de gestión en pequeña escala que resultaban más efectivas dentro de las pautas del Período Especial. El gobierno emitió un decreto que eliminó la mayoría de las granjas estatales, convirtiéndolas en Unidades Básicas de Producción Cooperativa (UBPC), una especie de empresa o cooperativa perteneciente a los obreros. La mayor parte de la tierra agrícola que antes administraba el Estado (80% del total), incluyendo las plantaciones de caña de azúcar, pasó a manos de sus trabajadores. Las UBPC permiten arrendar tierras estatales libres de costo, en perpetuidad, a colectivos de obreros agrícolas. Los derechos de propiedad permanecen en las manos del Estado, las UBPC deben alcanzar las metas de producción en los cultivos principales, y los colectivos obreros son dueños de lo que producen. Los excedentes de su cuota de producción se pueden vender libremente en los mercados agropecuarios. Esta reforma, realizada

en 1994, ofreció un incentivo a los productores para hacer un uso más eficaz de las nuevas tecnologías (ROSSET 1997).

En respuesta a la crisis, Cuba desarrolló e implementó alternativas. La drástica reducción en la disponibilidad de insumos químicos llevó a su reemplazo por productos locales y, en la mayoría de los casos, por sustitutos biológicos. Esto derivó en el uso de biopesticidas (inoculantes microbianos) y agentes de control biológico para las plagas de insectos; el desarrollo de variedades de cultivos resistentes, rotaciones de cultivos y antagonistas microbianos contra patógenos vegetales; así como la realización de rotaciones y cultivos de cobertura para suprimir plantas adventicias. Los escasos fertilizantes sintéticos fueron complementados con biofertilizantes, lombrices de tierra, compost y otros fertilizantes orgánicos, roca fosfórica natural, estiércoles y abonos verdes, e integrando animales de pastoreo. La maquinaria, para la cual el combustible, los neumáticos y las piezas de repuesto estaban poco disponibles, fue sustituida en forma contundente por un retorno a la tracción animal (ROSSET Y BENJAMÍN 1994).

Se diseñó un modelo alternativo basado en los principios de la agricultura orgánica y la agroecología con sustitución de insumos químicos por biológicos. Sin embargo, son necesarios cambios aún más profundos. En la actualidad, alrededor de la mitad de la tierra en Cuba, perteneciente a las antiguas empresas estatales, se encuentra improductiva por falta de mano de obra en el campo, y el Estado debe importar aún cerca del 50% de los alimentos que se consumen para poder mantener el suministro de alimentos a la población. El sector campesino es, sin embargo, responsable del 65% de la producción agrícola nacional. En este contexto, cálculos conservadores indican que al menos 30% del área agrícola utilizada es cultivada con métodos agroecológicos, dentro de una concepción de baja utilización de insumos y con énfasis en el uso de recursos locales.

Es importante señalar que a inicios del Período Especial muchos de los proyectos orientados a crear sistemas agrícolas y tecnologías ambientalmente más sanos, se enfocaron desde una perspectiva de sustitución de insumos, con una tendencia altamente tecnológica, enfatizando en la supresión de los factores limitantes mediante productos biopesticidas y biofertilizantes que reemplazaron la ausencia de agroquímicos. Parte de la investigación agrícola nacional se enfocó en encontrar formas de sustituir agroquímicos por insumos orgánicos. El principal objetivo en ese momento fue reducir los costos de producción de la agricultura comercial debido a que los agroquímicos tenían precios altos, y por ende, su uso era insostenible desde

una perspectiva económica. Como resultado, se desarrolló una amplia gama de biofertilizantes (FUNES 2006).

En ese momento, la filosofía prevaleciente era que las plagas, las deficiencias de nutrientes u otros factores eran la causa de la baja productividad, en una visión opuesta a la que considera que las plagas o los nutrientes sólo se transforman en una limitante si el agroecosistema no está en equilibrio. Por esta razón, persistía en Cuba la visión estrecha de que la productividad se ve afectada por causas específicas y que la solución de estos factores limitantes se resolvía mediante nuevas tecnologías (ALTIERI 2001). Sin embargo, como se ha expuesto anteriormente, la agroecología va más allá del uso de prácticas alternativas, desarrollando agroecosistemas con una dependencia mínima de agroquímicos y subsidios de energía, es decir, sistemas agrícolas complejos, en los cuales las interacciones ecológicas y los sinergismos entre sus componentes biológicos proveen los mecanismos para que los sistemas subsidien la fertilidad de su propio suelo, la productividad y la protección de los cultivos (ALTIERI 2001).

En todos los años transcurridos desde que se inició la crisis agrícola en Cuba, el país ha ganado una enorme experiencia sobre cómo cambiar hacia una agricultura más sostenible. Actualmente existen en Cuba muchas fincas diseñadas y manejadas con principios agroecológicos. En parte debido a que, después de 15 años, la crisis económica no ha sido superada, la agroecología se desarrolla en la isla y podría ser un único país en condiciones de realizar el tránsito a escala nacional hacia un modelo agroecológico (FUNES 2007).

I. 4. Manejo agroecológico de plagas en Cuba

En Cuba, la investigación sobre control biológico de plagas se ha generalizado desde la década de los 60. Contrariamente a lo que se podría pensar, la implementación de estas técnicas no tuvo su causa en la crisis económica que desde 1990 vive la nación cubana, puesto que ya desde los primeros años de la década del 80 en el país se venían aplicando prácticas de manejo de plagas basados en la búsqueda de alternativas a los plaguicidas sintéticos, debido a que ya empezaban a manifestarse en forma notoria los efectos negativos de su uso

intensivo en la protección de cultivos (PÉREZ *et al.* 1995; PÉREZ Y VÁZQUEZ 2001). Aunque los factores socioeconómicos fueron importantes, el manejo integrado de plagas (MIP) surgió por razones ecológicas, debido al impacto ambiental causado por el uso de plaguicidas y por otras alteraciones del ecosistema causadas por la intervención del hombre (SOCORRO *et al.* 2000). El mayor éxito se ha alcanzado en la cría masiva y liberación de enemigos naturales, así como en el desarrollo, producción masiva y aplicación de patógenos de insectos. Cuba se encuentra actualmente entre los países que lideran la producción de medios biológicos para el manejo de plagas y enfermedades a nivel mundial (PÉREZ Y VÁZQUEZ 2001).

El conocimiento generado en este período hizo posible que, en el momento de la crisis, se produjera el cambio hacia una estrategia de control biológico de plagas a escala nacional. En 1991, bajo la orientación de la máxima dirección del país, el Ministerio Nacional de Agricultura y el Ministerio Nacional del Azúcar, al revisar el Programa Nacional de Producción de Medios Biológicos, acuerdan la creación de 276 centros de reproducción de entomófagos y entomopatógenos (CREE), con tecnologías de reproducción semiartesanales, 29 plantas de bioplaguicidas con tecnologías semi-industriales, y una planta piloto central para el desarrollo de nuevas tecnologías. Los cálculos realizados estimaron que la capacidad de producción de estos centros satisfaría las necesidades de medios biológicos de la agricultura cubana, posibilitando así la disminución gradual del consumo de plaguicidas. Diez años después se habían creado 280 CREE (4 más de lo previsto), tres plantas de fermentación y una planta piloto. La decisión de los organismos, cepas y cantidad de medios biológicos a producir se tomo en función de las características de la producción agropecuaria de cada región para la que producía el biolaboratorio. Los productos son distribuidos por el mismo CREE, lo que evita los costos de transportación desde largas distancias, además del almacenaje (PÉREZ Y VÁZQUEZ 2001).

Los entomopatógenos que se reproducen masivamente en los CREE en la actualidad son: la bacteria *Bacillus thuringiensis*, los hongos *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Verticillium lecanii* y *Paecilomyces lilacinus*. Recientemente, también comenzó a producirse en algunos laboratorios *Nomuraea rileyi* y *Paecilomyces fumosoroseus*, así como el hongo *Trichoderma spp.* para el control de hongos fitopatógenos del suelo (PÉREZ Y VÁZQUEZ 2001). La producción masiva de nematodos entomopatógenos se encuentra en desarrollo, habiéndose obtenido

resultados satisfactorios con los géneros *Heterohabditis* y *Steinernema*, que se destinan principalmente a viveros de cítricos para el control del picudo verde azul (*Pacnaeus litus*), teniendo en cuenta los trabajos de PÉREZ Y VÁZQUEZ (2001).

En 2006, la producción era de 1300 t anuales de *Bacillus thuringiensis* para el control de lepidópteros, 780 t anuales de *Beauveria bassiana* para el control de coleópteros, y 200 t al año de *Verticillum lecanii* para el control de la mosca blanca. El manejo integrado de plagas, combinando el control biológico, un limitado control químico y la aplicación de prácticas culturales, ha sido la alternativa más comúnmente utilizada. A nivel nacional, la aplicación de plaguicidas en cultivos comerciales se redujo en 20 veces en un período de 15 años: de 20.000 t en 1989 a cerca de 1.000 t en 2004. Hoy en día el uso de plaguicidas sigue disminuyendo y muchos métodos de control biológico han demostrado ser más eficientes que los productos inorgánicos (FUNES 2006).

El modelo de conversión cubano se ha caracterizado por una etapa de sustitución de insumos químicos por biológicos, en el marco de programas de manejo integrado de plagas, en los que de forma armónica se incrementa el uso de bioplaguicidas y entomófagos, combinado con un uso racional de los plaguicidas sintéticos (PÉREZ Y VÁZQUEZ 2001). La sustitución de insumos agroquímicos por otras alternativas de baja energía y de carácter biológico es una de las fases del proceso de conversión de la agricultura convencional a la agricultura sostenible (ALTIERI 1994). Está claro que no sólo con la sustitución de insumos químicos por medios biológicos se puede lograr esta conversión, sino que se requiere además programas de manejo que incluyan una amplia gama de prácticas ecológicas, para poder alcanzar la regulación de las plagas y el balance entre éstas, sus enemigos naturales y las plantas. Lo cierto es que en este proceso los productos biológicos tienen un determinado valor, pero una vez superado el período inicial de sustitución de insumos, el manejo ha de estar basado en la regulación natural, en la cual, como se ha visto, los enemigos naturales cumplen una función significativa (PÉREZ Y VÁZQUEZ 2001).

Aunque el papel que juega el control biológico en la agricultura sostenible ha sido ampliamente debatido, está suficientemente documentado que, al restaurarse la biodiversidad funcional de los agroecosistemas, se incrementa la regulación natural de plagas. Para llegar gradualmente a esta regulación se precisa, durante el proceso de conversión, implementar programas de manejo con una sólida base ecológica, que propicien la restauración gradual de la biodiversidad perdida. En Cuba, al igual que en muchos otros países, los métodos culturales para el control de plagas fueron

abandonados con el desarrollo de una agricultura de altos insumos, aunque desde 1990 se vienen implementando programas para el manejo integrado de plagas con una sólida base ecológica, sólo recientemente se está incrementando el uso de otras alternativas complementarias al control biológico (PÉREZ Y VÁZQUEZ 2001).

A diferencia del control biológico clásico y por aumento, que generalmente se dirigen al control de individuos de una sola especie, la conservación de las especies de biorreguladores naturales es una estrategia de tipo preventivo, que promueve la regulación del conjunto de poblaciones fitófagas y fitopatógenas presentes en el agroecosistema. Justamente esta es la estrategia que más posibilidades ofrece en el manejo de plagas en agricultura sostenible. Se trata de establecer condiciones que propicien la actividad reguladora de los enemigos naturales, y que faciliten el establecimiento de los organismos introducidos (PÉREZ Y VÁZQUEZ 2001).

En la literatura científica aparecen numerosos ejemplos de cómo con la implementación de las rotaciones, policultivos y la incorporación de materia orgánica a los suelos, los principales mecanismos de regulación natural que se ponen en juego son de tipo biológico. Entre las prácticas culturales que se pueden implementar con la finalidad de crear un ambiente menos favorable para el desarrollo de los organismos que perjudican a los cultivos se encuentra las rotaciones. LAMPKIN (1990) afirmó que en los sistemas de producción orgánicos las rotaciones constituyen la medida principal para el control de plantas adventicias, plagas y enfermedades. Aunque su importancia fue reconocida desde la más remota antigüedad, en los albores del surgimiento de la agricultura, es una práctica aparentemente tan sencilla y tan poco espectacular que, a pesar de formar parte de las más arraigadas tradiciones agrícolas, fue una de las primeras prácticas en ser desechadas (PÉREZ Y VÁZQUEZ 2001).

La rotación de cultivos se fundamenta en la siembra de las especies vegetales de un agroecosistema dado en las diferentes épocas del año, de acuerdo a su ciclo vegetativo. Además, se tiene en cuenta los requerimientos nutricionales de las plantas y los efectos sobre la microfauna del agroecosistema de los diferentes cultivos de la rotación: una especie vegetal extrae del suelo determinados niveles de macro y micronutrientes, a la vez que puede favorecer el incremento de insectos, ácaros y microorganismos específicos. Una “buena” rotación evita las reinfestaciones de una misma especie de plaga y ayuda a disminuirla por ausencia de planta hospedera idónea, siendo un método muy efectivo para evitar daños de insectos, bacterias, hongos, nematodos, etc., del medio edáfico. La rotación de cultivos es también una práctica muy eficaz para el control de plantas adventicias

cuando se rotan especies susceptibles con no susceptibles pertenecientes a familias taxonómicamente muy alejadas, como por ejemplo la rotación maíz-frijol-tomate-col (SOCORRO *et al.* 2000).

La efectividad de las rotaciones dependerá, entre otras cosas, del organismo que se pretende regular. El mayor éxito se ha alcanzado en el control de plantas adventicias y nematodos que parasitan las raíces de las plantas. Así, en Cuba, la rotación de cultivos es una medida utilizada en programas de manejo alternativo de plantas adventicias, en la regulación de nematodos y, en menor magnitud, para el manejo de insectos y patógenos (PÉREZ Y VÁZQUEZ 2001). En el caso particular del manejo de nematodos del género *Meloidogyne* existe una amplia experiencia en el país, pues se han recomendado 53 líneas o variedades de 28 cultivos distintos como no susceptibles a diferentes especies y razas de estos nematodos, para ser incluidas en rotaciones de cultivos en áreas infestadas, tanto a campo abierto como en huertos urbanos (FERNÁNDEZ *et al.* 1998). Las rotaciones de cultivo han sido usadas en forma creciente no sólo para controlar plagas y enfermedades, sino para estimular la fertilidad natural del suelo y restaurar la capacidad productiva. Algunos ensayos realizados en Cuba confirmaron que el uso de soya en rotación con caña de azúcar incrementó los rendimientos de ésta última de 84,4 a 90,6 t ha⁻¹, con una producción adicional de 1,7 t ha⁻¹ de soya.

Con los cultivos asociados ocurrió algo semejante a lo sucedido con la rotación de cultivos; con la modernización de la agricultura el monocultivo se intensificó y extendió, en detrimento de la asociación de cultivos. La expansión del monocultivo está relacionada con el aumento de los problemas de plagas (ALTIERI Y LETOURNEAU 1982), debido a que el proceso de simplificación de la biodiversidad alcanza en éstos un grado extremo (ALTIERI 1995). De ahí que una de las principales medidas a implementar en un programa de manejo agroecológico es el abandono del monocultivo como estructura básica del sistema agrícola, para lo cual es necesario definir estrategias de diversificación. Dentro de estas estrategias, los policultivos constituyen un elemento clave (PÉREZ Y VÁZQUEZ 2001). Por otra parte, además de su efecto regulador de plagas y enfermedades, y del mismo modo que se observa con la rotación de cultivos, los policultivos mejoran la capacidad productiva del agroecosistema. Como ejemplo, policultivos de mandioca y frijoles comunes bajo diferentes sistemas de cultivo dieron por resultado una producción total superior, en comparación con el cultivo individual de mandioca o frijoles (FUNES 2006).

La sustitución de insumos en la agricultura de Cuba tuvo un efecto muy positivo en la autosuficiencia alimentaria nacional, así como en el medio ambiente. Sin embargo, los sistemas de producción resultantes pueden seguir presentando muchos de los problemas de los sistemas convencionales, como por ejemplo el monocultivo. Como se ha mencionado anteriormente, para alcanzar un sistema de producción sostenible, la estrategia de sustitución de insumos necesita evolucionar hacia un enfoque de sistemas de producción agroecológica. Solamente haciendo cambios de mayor alcance hacia sistemas agrícolas regenerativos, en lugar de aquellos basados en insumos (aunque estos insumos sean biológicos u orgánicos) será posible incrementar la sostenibilidad a largo plazo (FUNES 2006).

En el sistema de protección vegetal establecido en Cuba hay muchos elementos positivos que hacen posible que el tránsito hacia una nueva forma de producción agrícola más sostenible sea más rápido, pues muchas de las técnicas y medidas que hay que implementar para el manejo de plagas en nuevos sistemas agrícolas ya han sido desarrolladas en el país. Sin embargo, y a pesar de todo lo que se ha avanzado, aún falta mucho por hacer para continuar disminuyendo la dependencia de los químicos (PÉREZ Y VÁZQUEZ 2001). Así, entre las prioridades actuales se plantea:

- Investigar e implementar las mejores estrategias de diversificación, acordes con las características socio-económicas de la agricultura cubana, para minimizar el monocultivo como estructura básica del sistema agrícola.
- Estudiar la dinámica de plagas de insectos, ácaros, patógenos y plantas adventicias en los policultivos en las condiciones de Cuba, así como desarrollar investigaciones acerca de la relación entre la disminución de las poblaciones de plagas y patógenos y el incremento de los rendimientos en los policultivos.
- Poner énfasis en la integración de prácticas culturales, especialmente en la rotación de cultivos, el laboreo mínimo y el manejo de fechas de siembra o plantación, como medidas de manejo de los niveles poblacionales de los organismos nocivos.
- Continuar mejorando las tecnologías de la producción de organismos para el control biológico de plagas, como alternativa a los plaguicidas sintéticos.

- Buscar las vías para incrementar la conservación de enemigos naturales, estrategia que hasta ahora ha recibido poca atención en las investigaciones en control biológico de plagas.
- Estudiar las interacciones cultivo-plantas adventicias-plagas; en particular, el rol que juegan las plantas adventicias en la conservación de los enemigos naturales, así como en la proliferación de plagas.
- Evaluar el efecto de los fertilizantes inorgánicos y de los plaguicidas sintéticos sobre los organismos plaga, tomando en consideración la teoría de la trofobiosis, referida a que las defensas orgánicas de los vegetales están determinadas por la nutrición equilibrada.
- Evaluar la efectividad de las coberturas vegetales, ya sean vivas o muertas, así como de la aplicación de materia orgánica para el control de patógenos, insectos plaga y plantas adventicias.
- Continuar las investigaciones con productos de origen botánico tales como los provenientes de *Tagetes spp.* (planta a la que hasta ahora se le ha prestado escasa atención) y extender el uso de los más estudiados, provenientes de l árbol del paraíso y de nim. En este contexto también se plantea incrementar el cultivo y uso a pequeña escala de plantas con propiedades plaguicidas.
- Hacer un estudio completo de posibles plantas “trampa” y plantas con propiedades de repelencia, que puedan plantarse asociadas a los cultivos o como barreras disuasorias para los organismos fitófagos.

De cara al futuro, las perspectivas del manejo ecológico de plagas en Cuba al salir de la crisis son inciertas. Se podría pensar que, en la medida en que más recursos monetarios estén disponibles para la compra de plaguicidas en el mercado internacional, Cuba tendría mayores posibilidades de volver a la dependencia de los químicos. En esa línea, el programa que actualmente se implementa para reducir el uso de plaguicidas sería simplemente una forma de mantener la producción en el corto plazo, mientras mejoran las condiciones económicas que permitan volver a comprar las cantidades de plaguicidas que se importaban antes de la caída de los gobiernos socialistas de Alemania y la Unión Soviética. Sin embargo, un análisis en el que se tengan en cuenta los aspectos económicos, sociales, de salud y medioambientales del manejo de los cultivos indicaría que el modelo de manejo

integrado de plagas con enfoque agroecológico es un modelo más eficaz, con perspectivas de mantenerse en el largo plazo, independientemente de los cambios en la situación económica del país (PÉREZ Y VÁZQUEZ 2001).

I. 5. Manejo agroecológico del suelo

El enfoque agroecológico de la agricultura no sólo aporta beneficios para el manejo de plagas sino también en la restauración de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, lo cual contribuye a mejorar su fertilidad y a lograr producciones más estables. Como se ha comentado anteriormente, las diferentes alternativas agroecológicas se dirigen a establecer el equilibrio en el agroecosistema y con ello obtener mejor calidad de suelo y menor incidencia de plagas. Se trata de ver al agroecosistema como un todo donde cualquier efecto positivo o negativo que se ejerza en una parte del mismo afecta a todos sus componentes.

El primer objetivo de un buen manejo del cultivo y del suelo debería ser crear las condiciones para una comunidad altamente diversificada de organismos del suelo. La diversidad biológica del suelo se considera una parte importante de la salud y estabilidad del agroecosistema. Tanto en la agricultura como en la naturaleza, la sanidad de un sistema se logra más fácilmente con modelos que se basan en la mayor diversidad posible de especies. Un sistema agrícola diversificado tiene más posibilidades de mantener el equilibrio, debido a las múltiples relaciones entre sus componentes bióticos y abióticos (GUAZZELLI *et al.* 2007). Una base amplia de organismos diversos crea un sistema en el cual la competencia por las fuentes alimenticias y los nichos ecológicos, así como las dinámicas depredador-presa, ayudan a limitar las poblaciones de bacterias y hongos que causan enfermedades, los nematodos parásitos de plantas y los problemas de insectos plaga. Algunos de estos organismos “problema” pueden estar presentes en suelos con alta diversidad biológica, pero es muy probable que sus poblaciones sean muy escasas como para provocar efectos significativos en los cultivos (ALTIERI 1997).

El manejo del suelo y de los cultivos puede afectar las dinámicas de población de los organismos del suelo. En general, tanto la diversidad como la cantidad de biomasa microbiana disminuyen por el cambio de los ecosistemas naturales a agroecosistemas. Las rotaciones complejas con varios cultivos diferentes, así como las grandes cantidades de residuos de distintos tipos de cultivos y abonos, los

cultivos de cobertura y la reducción de la labranza, son prácticas que contribuyen a aumentar la diversidad de organismos del suelo (ALTIERI 1997).

En la actualidad, uno de los componentes fundamentales, que se tienen en cuenta para evaluar la salud del suelo es la biodiversidad funcional donde, por ejemplo, los nematodos saprófagos poseen una importancia primordial, puesto que pueden ser utilizados como indicadores directamente vinculados con los procesos ecológicos, tales como la productividad de las plantas y el reciclaje de los nutrientes (NEHER 2004). En la reunión anual de los Nematólogos de los Trópicos Americanos del año 2004 en Puerto Vallarta (México), se debatió la importancia de los nematodos saprófagos como indicadores de salud del suelo, y de necesidad de cuantificar sus poblaciones en estudios relacionados con la biodesinfección y uso de enmiendas orgánicas, como parte de los estudios de manejo de nematodos parásitos de plantas (Rodríguez, com. pers., citado por GÓMEZ LUCILA *et al.* 2006).

Existen numerosos factores interrelacionados que afectan el uso sostenible de los recursos del suelo. De hecho, es el balance entre la degradación del suelo y sus procesos de restauración lo que determina la sostenibilidad (HORNICK Y PARR 1987). Teniendo en cuenta este concepto, las prácticas de agricultura sostenible son aquellas en las cuales los beneficios de la restauración del suelo son iguales o mayor que los efectos negativos globales de sus procesos de degradación. Para los sistemas agroecológicos, mejorar y mantener la fertilidad de los suelos es prioritario. Junto a la preservación de la agrobiodiversidad, el uso eficiente del agua, la energía y otros recursos disponibles, un adecuado balance de nutrientes y de la biología del suelo son condiciones importantes para garantizar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Sin embargo, en la práctica no existe un entendimiento integral de cómo funcionan y se favorecen estas interacciones (FUNES *et al.* 2008).

La mejor manera para desarrollar un suelo de alta calidad es manejar el suelo y cultivos para promover el mantenimiento de altos niveles de materia orgánica, en particular, de sus fracciones activas (MAGDOFF 1993). Puesto que la materia orgánica representa la principal reserva de carbono de la biosfera, constituyendo la principal fuente de C y N en los ecosistemas terrestres, la vida del planeta depende en gran medida de su conservación. Para ello, es necesario dirigir permanentemente el proceso de transformación de los restos orgánicos hacia la formación de sustancia húmicas estables, y con ello disminuir la emisión de gases a la atmósfera contribuyendo, por una parte, a atenuar el efecto invernadero, y por otra, a elevar la productividad de los ecosistemas terrestres (MARTÍNEZ *et al.* 2001).

Una práctica importante de manejo para la restauración del suelo es el uso de los restos de cultivos. Los restos de cultivos incluyen los tejidos de las plantas que quedan en el campo después que los granos, tubérculos y otros productos económicos han sido cosechados, tales como tallos, hojas, raíces y otras partes que se dejan en el campo. Retornar los restos de cultivos y otros residuos orgánicos al suelo tiene efectos positivos en su restauración a largo plazo (LARSON *et al.* 1982). En general, contribuyen a la recuperación de las propiedades del suelo, mejorando el uso sostenible de los recursos y el manejo agroecológico de plagas. La cantidad de materia orgánica de un suelo en particular es el reflejo de variadas intervenciones en el tiempo, ya sean de origen natural y/o humano. Para estructurar y mantener cantidades aceptables de materia orgánica en el suelo es necesario aumentar su tasa de incorporación y disminuir sus pérdidas (ALTIERI 1997). Para ello se puede recurrir al manejo agroecológico mediante las rotaciones y asociaciones de cultivos, uso de coberturas vivas y muertas, incorporación de residuos orgánicos y aporte de diferentes fuentes de abonos orgánicos.

I. 6. Los restos de cultivos y la agricultura sostenible

La incorporación de los restos de cultivos al suelo tiene efectos positivos en las propiedades del suelo y en los procesos edáficos. Sin embargo, debido a sus alternativas de uso, no todos los restos de cultivo producidos son retornados al suelo. En la mayoría de los países en vías de desarrollo, una cantidad significativa de éstos se utiliza como forraje, combustible o material de construcción. Los restos de cultivos retornados al suelo influyen en las propiedades químicas, físicas y biológicas del mismo. Los restos inducen cambios en estas propiedades influyendo en varios procesos, como por ejemplo la erosión del suelo, el ciclo y balance del agua y los nutrientes, los flujos de gases y el balance de energía. En general, los restos de cultivos proporcionan nutrientes a las plantas, incrementan el contenido de materia orgánica del suelo, mejoran su estructura, e influyen en sus regímenes de humedad y temperatura, ejerciendo un efecto importante sobre la conservación del suelo y el agua. La mayoría de estos cambios en las propiedades y procesos del suelo tienen un efecto positivo en la productividad y sostenibilidad (LAL 1995).

En muchas partes del mundo los restos de cultivos se ven como un problema porque pueden albergar plagas de insectos e incluso interferir con la preparación

del terreno para el siguiente cultivo. Por ello, la quema de los restos de cultivos es una práctica común. Sin embargo, esta práctica limita al suelo de una fuente de materia orgánica potencialmente beneficiosa. La quema de restos reduce el material energético disponible para los organismos del suelo y da como resultado una disminución de la biomasa microbiana (COLLINS *et al.*, 1992). Además, en los países en desarrollo los restos de cultivos y abonos se suelen llevar fuera del campo para usarlos como combustible o como materiales de construcción. Estas prácticas, aunque pueden ser más comprensibles que la quema de restos de cultivos en el campo, también son perjudiciales para la formación de materia orgánica del suelo.

La extracción de los restos de cultivos no sólo implica que no se devuelven nutrientes al suelo en cantidades suficientes, sino que los suelos desnudos quedan expuestos a la erosión, que remueve la capa superior enriquecida con materia orgánica. En cambio, la utilización de los restos como mulch o para su incorporación al suelo incrementa el contenido de materia orgánica de los suelos y disminuye la cantidad perdida por la erosión (ALTIERI 1997). Esta práctica es esencial para mantener un nivel aceptable del contenido de materia orgánica en el suelo (LAL 1995). Adecuadamente manejados, los restos de cultivos incorporados al suelo incrementan el reciclaje de nutrientes, disminuyen la pérdida de los mismos, mejoran su uso eficiente, y disminuyen la necesidad de adicionar fertilizantes químicos y otros insumos externos.

Dependiendo de las especies de cultivos y los sistemas de manejo, los restos de cultivos contienen una cantidad sustancial de nutrientes para las plantas. En base al peso seco, el rango de concentración de nutrientes es de 0,5–1,25% N; 0,1– 0,2% P; 1,2–1,6% K; 0,15–0,5% Mg y 0,25–1,5% Ca. Por consiguiente una tonelada de restos de cultivos puede contener entre 5–40 kg N, 1–4 kg P, 7–30 kg K, 4–30 kg Ca, y 1–4 kg Mg. La cantidad total de nutrientes en los restos de cultivos está en un rango de 40–100 kg t⁻¹ de restos (LAL 1995). A escala mundial, los restos de cultivos contienen 22,6 millones t N; 3,6 millones t P, y 47,7 millones t K; alcanzando un total de 73,8 millones t de estos macronutrientes. El 46% de estos nutrientes (34,1 millones t) corresponde a los restos de cultivos de los países desarrollados, mientras que el 54% restante (39,5 millones t) se encuentra en los restos de cultivos de los países en vías de desarrollo. El contenido total de nutrientes en los restos de cultivos equivale al 65% de los nutrientes aplicados anualmente en el mundo mediante fertilizantes químicos (113 millones t). En consecuencia, es posible la

incorporación de los restos de cultivos al suelo permita ahorrar una cantidad considerable de fertilizantes de síntesis (LAL 1995).

Por otra parte, la erosión causada por el agua y el viento es la causa principal de los procesos de degradación del suelo a escala global (WRI 1992), en particular en regiones áridas y semiáridas. Una alternativa eficaz para reducir el riesgo de erosión del suelo es dejar restos de cultivos sobre la superficie del suelo para disminuir el impacto de las gotas de lluvia y retardar la velocidad de infiltración. El control efectivo de la erosión incrementa la resiliencia del suelo y mejora la sostenibilidad. WISCHMEIER Y SMITH (1978) estimaron que cada $2,2 \text{ t ha}^{-1}$ de restos la pérdida de suelo por la erosión hídrica se reduce un 65%. En general, se requieren entre $3\text{--}4 \text{ t ha}^{-1}$ de restos de cultivos para reducir la erosión del suelo a niveles tolerables (UNGER 1988).

I. 7. Los nematodos del suelo

El hábitat de los nematodos puede ser el suelo, el mar, agua dulce, animales (incluido el hombre) y partes aéreas o subterráneas de vegetales. En el caso de los nematodos de vida libre, CHRISTIE (1991) afirma que son más abundantes en el suelo que cualquier otro animal de tamaño comparable. Por su parte, la mayoría de los nematodos fitopatógenos viven parte de su vida en el suelo, ya sea en forma libre o en el interior de las plantas, pero generalmente se encuentran asociados a las raíces.

Los nematodos del suelo, principalmente aquellos que afectan a las plantas, han sido estudiados por numerosos investigadores en diferentes países en cuanto a su distribución, abundancia, propiedades intrínsecas e interacciones con factores bióticos y abióticos (YEATES 1979). Suelen ser muy abundantes tanto en áreas naturales como cultivadas, en las cuales su diversidad, frecuencia y abundancia se ve influenciada por el tipo de actividad a que está sometido un suelo. Así, en los sistemas de manejo intensivo, como es el caso de cultivos hortícolas, la diversidad es baja, produciéndose desequilibrios que favorecen el desarrollo de especies patógenas (ESCUER *et al.* 1993; BELLO *et al.* 1996).

Dentro de los nematodos del suelo se pueden diferenciar diferentes grupos tróficos, lo cual les confiere diferentes funciones en los ecosistemas, ya que así como se pueden encontrar nematodos parásitos de plantas causando graves problemas en los cultivos, también se encuentran saprófagos, que descomponen la materia orgánica muerta, omnívoros, depredadores y parásitos de animales, entre los cuales

los entomopatógenos se pueden emplear como enemigos naturales de insectos plaga en estrategias de lucha biológica (ESCUER *et al.* 2004). Ya sea que los nematodos pertenezcan a uno u otro grupo, ejercen influencia sobre las poblaciones de los organismos de los cuales se alimentan (YEATES 1979).

Se debe señalar que los nematodos en su conjunto no tienen necesariamente un efecto negativo sobre las plantas, puesto que sólo una parte de los mismos son fitoparásitos. Esto se ve reflejado en trabajos como el de YEATES (1979) en que, al comparar pastos en nueve lugares diferentes de Nueva Zelanda, encontró un coeficiente de regresión lineal que relacionaba en forma positiva el rendimiento con la densidad poblacional de nematodos en el suelo. Incluso esta densidad poblacional tenía más efecto en el rendimiento que el nivel de fósforo o el porcentaje de carbono orgánico en el suelo (YEATES 1979). De forma similar, en Polonia, WASILEWSKA (1974) señaló la correlación positiva entre la abundancia, biomasa y metabolismo de los nematodos con el contenido de humus de suelo y el grado de cobertura de plantas vasculares sobre el mismo. Por ello, y teniendo en cuenta la presencia de organismos benéficos para el sistema que pueden actuar como enemigos naturales de los nematodos, tales como protozoos (esporozoos, amebas), bacterias, hongos, nematodos depredadores (principalmente comprendidos en los grupos de Monónquidos y Doriláimidos), y otros organismos como tardígrados, oligoquetos, ácaros, colémbolos, microartrópodos, debe evitarse la aplicación irracional de nematicidas en el suelo, que eliminan tanto las formas parásitas como las benéficas (DÍEZ-ROJO 2002).

Los nematodos fitoparásitos, por su acción directa o en interacción con organismos patógenos, especialmente hongos del suelo, pueden reducir considerablemente la producción de los cultivos (SIDDIQI 1986). Su repercusión económica en los cultivos puede variar de daños leves a pérdidas a gran escala. En el caso de los cultivos hortícolas existen una gran variedad de nematodos que los parasitan, algunos de los cuales son capaces de causar graves pérdidas. Su importancia depende del cultivo en particular, las condiciones ambientales de la región y el manejo que se realiza, pero en general los géneros de nematodos más perjudiciales son *Meloidogyne*, *Heterodera* y *Ditylenchus* (PIEDRA BUENA 2005).

El efecto directo de la alimentación de los nematodos fitoparásitos se pone de manifiesto a través de lesiones, necrosis, pudriciones, ramificaciones excesivas,

deformaciones y nódulos sobre las raíces. Sin embargo, los síntomas que provocan en la parte aérea de las plantas son inespecíficos, asemejándose a los originados por deficiencias de nutrientes o de agua, repercutiendo en un menor rendimiento y disminución de la calidad de los productos (AGRIOS 1998).

I. 8. Los nematodos formadores de nódulos

Los nematodos formadores de nódulos pertenecen al género *Meloidogyne* Göldi 1892, que consta de más de 100 especies, siendo cuatro de ellas de particular importancia: *M. arenaria*, *M. hapla*, *M. incognita* y *M. javanica*, por llegar a causar problemas graves en los cultivos a nivel mundial. Teniendo en cuenta la estructura biogeográfica de la nematofauna, que ha sido estudiada en los ectoparásitos por BELLO *et al.* (1986), *M. incognita* y *M. javanica* son más comunes en climas tropicales, *M. arenaria* es frecuente en climas subtropicales y *M. hapla* en regiones templadas, aunque también puede encontrarse en las zonas altas de las regiones tropicales. Esta última es una de las pocas especies del género que puede sobrevivir a campo abierto durante el invierno en zonas templadas, debido a la membrana lipídica que posee. Sin embargo, es menos tolerante a las temperaturas altas que *M. javanica* (POTTER Y OLTHOF 1993). Se han citado esporádicamente como parásitas de plantas *M. arabicida* en Costa Rica (DOMÍNGUEZ-VALENZUELA *et al.* 1990), *M. ardensis* en Escocia bajo condiciones controladas (STEPHAN 1983), *M. chitwoodi* en EE.UU. y Holanda (MOJTAHEDI *et al.* 1988; BELLO *et al.* 1995), y *M. lucknowica* en la India (TANDON Y KUMAR 1980).

La posición sistemática de los nematodos formadores de nódulos hasta el nivel de familia ha sido objeto de discusión durante muchos años. Después de los estudios de LEY Y BLAXTER (2002, citado por GÓMEZ LUCILA 2007), la ubicación taxonómica de este género se ha considerado del modo siguiente:

Phylum *Nematoda* Pott, 1932.

Clase *Chromadorea* Inglis, 1983.

Subclase *Chromadoria* Pearse, 1942.

Orden *Rhabditida* Chitwood, 1933

Suborden *Tylenchina* Thorne, 1949

Infraorden *Tylenchomorpha* De Ley y Blaxter, 2002

Superfamilia *Tylenchoidea* Örley, 1980

Familia *Meloidogynidae* Skarbilovich, 1959.

Subfamilia *Meloidogyninae* Skarbilovich, 1959

Género *Meloidogyne* Göldi, 1892.

Los nematodos formadores de nódulos fueron confundidos con los nematodos de quistes del género *Heterodera* Schmidt por un largo período de tiempo. Entre 1884 y 1932 este grupo de nematodos fue denominado *Heterodera radicum* Müller, mientras que entre 1932 y 1949 fue comúnmente usado el nombre de *Heterodera marioni* (Cornu) Goodey (KARSSSEN 2002). A finales de 2004 habían sido descritas 106 especies dentro del género, que comprendían 89 especies nominales, 13 sinónimos, y 4 especies *inquirendae*. Las especies conocidas hasta el momento, afectan un amplio espectro de plantas comerciales, distribuidas en más de 2000 especies de plantas que abarcan distintas familias (KARSSSEN Y MOENS 2006).

Ciclo de vida

El conocimiento de la biología, hábitos de vida y alimentarios, así como de la influencia de los factores ecológicos sobre las poblaciones de nematodos en general y de *Meloidogyne* spp. en particular, es esencial para la adopción de las estrategias de manejo más adecuadas.

El ciclo biológico de los nematodos del género *Meloidogyne* (Fig. 1.1) comienza en el huevo, donde aparece la primera de las cuatro fases juveniles (J1). Dentro del huevo tiene lugar la primera muda, emergiendo como segundo estadio juvenil (J2), el cual posee capacidad migratoria y puede penetrar en los tejidos de la planta (fase infectiva). El estado J2 tiene energía suficiente para permanecer cerca de un mes en la búsqueda y penetración de la raíz, estableciendo un sitio de alimentación. Cuando los juveniles del segundo estadio (J2) de *Meloidogyne* spp. se ponen en contacto con las raíces usualmente penetran por detrás de la radícula, pero pueden hacerlo por cualquier sitio de la raíz (GHEYSEN Y JONES 2006). Para penetrar la rígida pared celular de la raíz utilizan una combinación de fuerzas físicas y bioquímicas. Las primeras, ejercidas mediante el estilete, y las segundas mediante enzimas peptolíticas y celulolíticas, que ocasionan la ruptura de la pared celular. La penetración puede ocurrir a manera de infestación múltiple, donde varios J2 invaden una misma raíz, o de forma individual (DAVIS *et al.* 2000).

Una vez que los nematodos penetran el tejido vegetal, se trasladan intercelularmente desde los puntos de penetración hasta encontrar y desarrollar sus sitios de alimentación. Según WYSS (1997), es posible que este comportamiento de desplazarse entre las células durante la migración sin dañarlas, sea parcialmente responsable del gran número de plantas hospederos que poseen estos nematodos.

Para esquivar la barrera formada por la endodermis, migran intercelularmente hacia el extremo final de la raíz y penetran en la región meristemática apical, regresando posteriormente hacia la zona de diferenciación del cilindro vascular, donde se vuelve sedentario y establece un punto de alimentación permanente, induciendo la formación de células gigantes (KARSSEN Y MOENS 2006).

Este punto de alimentación se forma en respuesta a las secreciones que el nematodo inyecta a las células del hospedero, las cuales inducen varias divisiones nucleares sin citoquinesis, dando lugar a células grandes, multinucleadas, llamadas “células gigantes”. Las células de la planta alrededor del lugar de alimentación se dividen e hinchan, lo cual se manifiesta externamente como nódulos (“agallas”). El nematodo ingiere el citoplasma de las células gigantes derivadas de la planta a través de sus estiletes, ya que estas células gigantes funcionan como fosas metabólicas que canalizan los recursos de la planta hacia el nematodo parásito. Luego pasa por las dos fases juveniles restantes (J3 y J4) hasta convertirse en adulto. Tanto el estadio J2 como el adulto poseen estilete, mientras que los estadios J3 y J4 carecen de él (ORTON WILLIAMS 1973; WILLIAMSON Y GLEASON 2003).

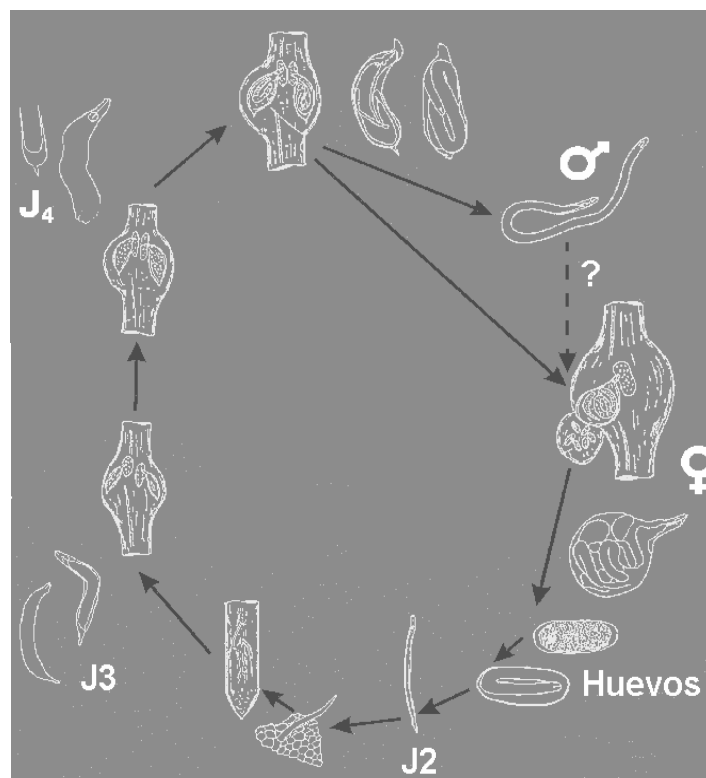


Figura I.1. Ciclo biológico del género *Meloidogyne* (tomado de PIEDRA BUENA 2005).

Los niveles poblacionales y duración del ciclo de vida de *Meloidogyne* spp. dependen de su adaptación al ambiente físico y biológico del suelo, su compatibilidad con la planta hospedero y el consiguiente acceso a fuentes de nutrientes. En el suelo es difícil separar la interacción de factores tales como textura, humedad, aireación y temperatura (VAN GUNDY 1985). La temperatura se considera el factor que mayor influencia tiene en la duración del ciclo de vida de *Meloidogyne* spp. Cuando ésta se mantiene a bajos niveles, el número de nematodos se incrementa lentamente, mientras que con el aumento de las temperaturas se reduce la duración del ciclo. El ciclo completo a 28–30 °C se cumple en unas 3 semanas (PLOEG Y MARIS 1999).

En cuanto a las propiedades físicas del suelo, se destacan la porosidad, oxigenación, porcentaje de arena, arcilla y pH. Se ha demostrado que *Meloidogyne* spp. es más severo en suelos arenosos que en suelos arcillosos, y que se desarrolla y reproduce a un rango de pH de 4-8, por lo que se ha relacionado el incremento de los daños con suelos alcalinos, lo cual puede estar asociado al estrés que sufre la planta como consecuencia de la salinidad (EDONGALI Y FERRIS 1982).

Con respecto a la humedad, los nematodos formadores de nódulos son activos en suelos con niveles del 40-60% de la capacidad de campo. En suelos secos ocurre una drástica reducción del número de huevos y juveniles, mientras que en condiciones de excesiva humedad se reduce la eclosión de los huevos, así como el metabolismo, movimiento e infectividad de los juveniles y el crecimiento y reproducción de las hembras (VAN GUNDY 1985).

Estudios realizados en Cuba refieren que *M. incognita* puede desarrollar ocho generaciones en un año sobre tomate, y que la duración del ciclo es mayor en los meses de temperaturas más bajas y menor en los meses más cálidos (CUADRA Y AGUILERA 1987). En pimiento, el ciclo biológico de *M. incognita* oscila entre los 22 y 32 días, con temperaturas medias de 26-30 °C. Dicha duración está influenciada por la interacción variedad-suelo, así como por la humedad: al 60% de la capacidad de campo el ciclo biológico se acorta (CASTILLO 1988).

Epidemiología

Al ser parásitos obligados, los nematodos formadores de nódulos no pueden sobrevivir por períodos prolongados en ausencia de planta huésped, pero al tener un amplio rango de hospedadores, la flora arvense puede actuar como hospedadora alternativa en ausencia del cultivo. Sin embargo, si en condiciones óptimas para la emergencia de

los J2 no existe un hospedador adecuado, éstos agotan sus reservas en el suelo y mueren, con lo que las poblaciones disminuyen rápidamente, aunque huevos y masas de huevos en diapausia aseguran su persistencia (de GUIRAN Y VILLERMIN 1980). Su supervivencia viene condicionada por la humedad y temperatura del suelo, por lo que en condiciones adversas de estrés hídrico los juveniles y huevos permanecen en estado de anhidrobiosis (quiescencia).

En el suelo, la capacidad de dispersión de los nematodos por sus propios medios es limitada, aproximadamente 1 m por año, realizándose principalmente sobre las raíces de las plantas. Su mayor dispersión dentro de una misma finca o entre fincas vecinas se produce a través de herramientas agrícolas, el agua de riego y de drenaje, el calzado y las patas de animales, mientras que a grandes distancias se da a través de los productos agrícolas y los materiales de propagación (AGRIOS 1998). Su dispersión a largas distancias se realiza principalmente mediante el material vegetal infectado, el viento, el agua de riego e incluso el suelo adherido a maquinaria y aperos.

Sintomatología y diagnóstico

Los nematodos formadores de nódulos se caracterizan por producir deformaciones en las raíces de las plantas que parasitan. Estos nódulos están constituidos por células corticales hipertrofiadas que rodean al nematodo y que se forman rápidamente como respuesta a la actividad J₂, que introduce en la planta sustancias reguladoras del crecimiento, secretadas por sus glándulas esofágicas.

Mientras que *M. arenaria*, *M. incognita* y *M. javanica* producen nódulos considerablemente grandes, los originados por *M. hapla* son claramente distintos, puesto que invaden el meristemo apical y dan lugar a engrosamientos pequeños en las raíces adventicias. Incluso que otras muchas especies no llegan a formar nódulos. Cuando la infección es considerable, el sistema radicular de la planta se reduce a unas cuantas raíces noduladas con el sistema vascular completamente desorganizado, sin raíces secundarias, y con las principales tan dañadas que no son capaces de transportar agua ni nutrientes a los tejidos. En consecuencia, el crecimiento de las plantas se retarda y las hojas se tornan cloróticas, marchitándose rápidamente, especialmente en condiciones de estrés hídrico. Sin embargo, la sintomatología general en campo es inespecífica, apareciendo rodales de plantas que muestran síntomas similares a los producidos por carencias minerales, clorosis y con crecimiento reducido o nulo.

El diagnóstico en campo se realiza en base a la detección inicial de los nódulos característicos que, como se señaló, en *M. hapla* son pequeños y dan lugar a proliferación de raíces adventicias, mientras que las restantes especies de mayor distribución suelen dar lugar a nódulos grandes y bien patentes, especialmente en raíces de tomate. Por ello, cuando se sospecha la presencia de nematodos formadores de nódulos en poblaciones pequeñas en cultivos a campo, se realizan bioensayos utilizando plantas de tomate sensible como indicadoras de su presencia, la cual se cuantifica utilizando los índices de BRIDGE Y PAGE (1980). Esta escala va desde 0 (raíces sin nódulos) a 10 (sistema radicular destruido, cubierto de nódulos, y planta generalmente muerta).

Relación de los nematodos formadores de nódulos con sus hospederos

Las relaciones entre los nematodos fitoparásitos y sus plantas hospederas son muy diversas en función del tipo de parasitismo. Para algunos nematodos, como la mayoría de los ectoparásitos, las plantas constituyen una fuente reducida de alimento y la interacción con el hospedero es limitada. Sin embargo, para los nematodos endoparásitos, las interacciones son más complejas y duraderas.

La mayoría de los nematodos que provocan severos daños a los cultivos son biotróficos e inducen cambios en las raíces de sus hospederos para formar los sitios de alimentación que constituyen una fuente rica y continuada de alimentos durante toda su vida (GHEYSEN Y JONES 2006). Dentro de este grupo se encuentran los nematodos del género *Meloidogyne*, los cuales están altamente adaptados al parasitismo radicular, dependiendo del establecimiento de lugares de alimentación especializados dentro de la raíz para su crecimiento y reproducción. Una vez establecidos, los nematodos cuentan con un suministro constante de agua y alimento desde el hospedero, así como con la protección dentro de los nodulos para la hembra y su progenie (SIDDIQI 2000). Su alta adaptación se traduce en su capacidad de infestar más de 3.000 especies de plantas, incluyendo hortícolas, frutales, cereales y ornamentales (ABAD *et al.* 2003).

En esta relación los nematodos no matan a las células del hospedero de las cuales se alimentan, sino que inducen un proceso de rediferenciación que lleva a la formación de células de alimentación multinucleadas, llamadas células gigantes. La formación de las células gigantes es el resultado de divisiones nucleares repetidas de la célula inicial sin que tenga lugar citoquinesis. Cada nematodo provoca el desarrollo de cinco a siete

células gigantes, cada una conteniendo hasta 100 núcleos (ABAD *et al.* 2003). Además, las células corticales cercanas sufren hipertrofia e hiperplasia, dando lugar a los síntomas típicos en raíz, que son los nódulos. Éstos pueden ser más grandes o más pequeños, lo cual a veces tiene un valor diagnóstico inicial, como se ha mencionado anteriormente para *M. hapla* (ORTON WILLIAMS 1973). El daño sobre las plantas es debido principalmente a la alteración de los tejidos vasculares que reduce sustancialmente la toma de nutrientes y agua, con el consiguiente debilitamiento y disminución del rendimiento (ORTON WILLIAMS 1973, SIDDIQI 2000, ABAD *et al.* 2003).

Interacción de los nematodos formadores de nódulos con otros organismos

Los nematodos del género *Meloidogyne* se encuentran frecuentemente asociados con organismos patógenos, a los que generalmente facilitan la penetración en el hospedador, y con los que forman complejos que, en general, dan lugar a enfermedades más graves de las que ocasionarían ambos patógenos por separado. Estos pueden ser hongos (*Fusarium* spp., *Rhizoctonia* spp., *Phytophthora* spp., *Pythium* spp., *Curvularia* spp.), bacterias (*Pseudomonas*, *Agrobacterium*) u otros nematodos fitoparásitos. Así, en tomate se han descrito interacciones de *M. incognita* con *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* y con *Pseudomonas solanacearum*, donde la presencia del primero reduce la resistencia de cultivares resistentes a los segundos (BERGNA 1969; DAVIDE 1972). La interacción de *M. incognita* con *Rhizoctonia solani* o con *Aspergillus niger* incrementa considerablemente la severidad de la enfermedad (DAUDI Y GOWEN 1992; SHARMA Y SAXENA 1992). En el caso de *M. javanica*, se ha reportado su interacción con *Fusarium*, *Verticillium* (NETSCHER Y SIKORA 1990; POTTER Y OLTJOF 1993), *Rhizoctonia solani* (WALIA Y GUPTA 1994) y *Agrobacterium tumefaciens*, aunque con esta bacteria no se observa sinergismo (FAKHOURI *et al.* 1996).

Como contrapartida, la presencia de algunos organismos del suelo puede tener efecto antagonista frente a *Meloidogyne*, actuando como enemigos naturales. Algunos de estos organismos son *Paecilomyces lilacinus*, *Pasteuria penetrans*, *Arthrobotrys conoides*, *A. oligospora*, *A. musiformis* y *Verticillium chlamydosporium* (SIDDIQI 2000). Por otra parte, también existen relaciones de antagonismo con otros nematodos, como el de *M. incognita* con *Merlinius brevidens* (HASSAN 1986), *Tylenchorhynchus brassicae* y *Rotylenchulus reniformis* (KHAN *et al.* 1979). En estos casos, las poblaciones son inferiores cuando varios patógenos se encuentran juntos. En el caso de la presencia conjunta de *M. incognita* y el tobamovirus Tomato Mosaic Virus (TomMV), a pesar de que ambos patógenos son antagónicos, se ha observado un efecto sinérgico (ALAM *et*

al. 1990). Debido a estas interacciones, es difícil establecer la importancia económica de los nematodos formadores de nódulos sobre los cultivos, pero se estima que en el caso del cultivo de tomate disminuyen el rendimiento en un 24-38%.

Importancia económica del género *Meloidogyne*

Las pérdidas económicas causadas a nivel mundial por el género *Meloidogyne* son una parte importante de los 100 billones de euros anuales de pérdidas que se atribuyen al daño por nematodos (SASSER *et al.* 1987). Para España se ha calculado que las pérdidas anuales ascienden a unos 905 millones de euros, de los cuales un 40% corresponde a las pérdidas en cultivos hortícolas. En segundo lugar están las pérdidas en cereales (21% de pérdidas), seguido por los frutales (14%), cítricos (10%) y patatas (papas) (6%), con el porcentaje restante (9%) correspondiendo a remolacha azucarera, vid, olivo y leguminosas (BELLO *et al.* 1997a).

El género *Meloidogyne* tiene una amplia gama de hospederos que se extiende a más de 2000 especies de plantas (CASTAGNONE-SERENO 2002a). Entre las especies del género, *M. incognita* es la de mayor incidencia a nivel mundial y afecta cultivos de importancia económica como caña de azúcar, café, tabaco, algodón (*Gossypium* spp.), arroz (*Oryza sativa* L.), maíz (*Zea mays* L.), papa (*Solanum tuberosum* L.) y plátano (*Musa* spp.), entre otros (LAMBERTI 1997). Según TRUDGILL Y BLOK (2001), esta especie se encuentra en todos los países templados y tropicales, y es posiblemente el patógeno de cultivos que individualmente causa más daño en el mundo. Se ha encontrado en África, Australia, América Central, América del Sur, EE.UU., India, Japón, Malasia e invernaderos del norte de Europa, Canadá y la ex-URSS (Orton WILLIAMS 1973, BELLO *et al.* 1994). Según EISENBACK (1997), la causa de su amplia distribución es su adaptación a diferentes temperaturas, con un límite inferior de -1,1 °C como promedio en el mes más frío. Es la especie de mayor distribución, encontrándose en un rango geográfico entre los 40° de latitud N y 33° de latitud S, con un rango de hospederos extremadamente amplio. Las temperaturas en las zonas mencionadas suelen estar entre los 18 - 30 °C, aunque la mayoría de se encuentran en regiones con temperaturas entre los 24 - 30°C.

En Cuba se ha señalado la presencia de *M. arenaria*, *M. grahami* Goleen y Slana, *M. hapla*, *M. incognita*, *M. javanica*, y *M. mayaguensis* (SÁNCHEZ *et al.* 1994; RODRÍGUEZ *et al.* 1995; FERNÁNDEZ *et al.* 1998; RODRÍGUEZ 2000). Su distribución en Cuba comprende todo el país, donde afecta un gran número de plantas, muchas de las

cuales se cultivan de forma intensiva: hortalizas, condimentos, plantas medicinales y ornamentales (CUADRA Y BERNAL 1997; FERNÁNDEZ Y ORTEGA 1998; FERNÁNDEZ *et al.* 1998, 2001; CUADRA *et al.* 2002; GANDARILLA Y FERNÁNDEZ 2002; GANDARILLA 2005; PUERTAS 2007).

En estudios realizados por GÓMEZ LUCILA (2007) se señala la presencia de *Meloidogyne* spp. sobre tomate, melón, pepino y pimiento en todas las entidades productivas evaluadas en 9 provincias del país establecidas sobre diferentes tipos de suelos. Este trabajo confirma que estos nematodos constituyen una importante plaga de las hortalizas que se producen en los sistemas protegidos de Cuba. Aunque en estos sistemas aún no se cuenta con estadísticas acerca del impacto de estos nematodos, tanto el Grupo Nacional de Cultivos Protegidos (2002) como PÉREZ *et al.* (2004, citado por GÓMEZ LUCILA 2007) coinciden en señalar que el género *Meloidogyne* constituye uno de los principales problemas fitosanitarios. Los nematodos de este género son considerados una de las plagas más peligrosas no sólo para la agricultura de Cuba sino a escala mundial (FERNÁNDEZ *et al.* 1998, FERNÁNDEZ Y ORTEGA 1998; KARSSSEN Y MOENS 2006), pues una vez que las poblaciones proliferan en el suelo son muy difíciles de controlar (WHITEHEAT 1998).

En otros países de América Latina, se presenta también este fenómeno, así por ejemplo, en Uruguay de LEÓN *et al.* (2004) señalaron que el principal problema fitosanitario en las producciones bajo cubierta de tomate, pimiento, melón, pepino, acelga, apio y lechuga lo constituye *Meloidogyne* spp., fundamentalmente en la región norte (más cálida) de ese país. Por su parte, en Brasil, las estructuras son trasladadas de un lugar a otro dentro de una misma propiedad, debido a las grandes pérdidas que ocasionan estos nematodos, dando a los sistemas un carácter nómada (DIAS *et al.* 1998). Esta opción sería impracticable desde el punto de vista económico en las condiciones de Cuba.

I. 9. Manejo de los nematodos formadores de nódulos

En todo el mundo se han empleado numerosas alternativas para el manejo de los nematodos formadores de nódulos en sistemas de cultivo protegido, entre las que se encuentran la rotación de cultivos, el uso de cultivos de ciclo corto como plantas trampa, la inversión del horizonte superficial del suelo para exponerlo a la acción de los rayos solares, la solarización, el control biológico, la biodesinfección, el injerto

sobre patrones resistentes y los nematicidas químicos (CUADRA *et al.* 2000, 2008; BELLO *et al.* 2001; DIAS y FERRAS 2001; CUADRA 2003; PETEIRA *et al.* 2005; GÓMEZ *et al.* 2006).

Una de las principales medidas para el control de nematodos en la agricultura a nivel mundial es el uso de productos químicos, dentro de los cuales se ha destacado el uso del Bromuro de Metilo (BM). El BM ha sido durante años el fumigante más utilizado en el control de nematodos y otros patógenos del suelo en invernaderos, semilleros y otros tipos de cultivos protegidos. Sin embargo, tanto su uso como fabricación deben ser suspendidos por su efecto negativo sobre el ambiente, su alta toxicidad para mamíferos y por afectar la capa de ozono (BULL Y ROOSKOPF 2003; MÉNDEZ Y POLANCO 2006).

En el Protocolo de Montreal, firmado en el año 1992, se establecieron las regulaciones a la producción y comercialización de sustancias que afectan la capa de ozono, entre las que se encuentra el BM (RODRÍGUEZ-KÁBANA 1997), creándose el Comité de Opciones Técnicas al Bromuro de Metilo (Methyl Bromide Technical Options Committee, MBTOC), el cual está encargado de proponer y evaluar alternativas químicas y no químicas al uso del BM. Las alternativas propuestas, para ser eficaces y aceptadas en este nuevo marco regulatorio, deberán basarse en el conocimiento y la comprensión del funcionamiento de los agrosistemas. Es aquí cuando el uso de la agroecología, entendida como el estudio de la ecología de los sistemas agrarios, se convierte en una herramienta fundamental para diseñar sistemas de gestión que permitan una producción de alimentos de calidad intrínseca, y que a su vez presenten una sustentabilidad económica, social y medioambiental, utilizando los recursos naturales en forma racional (BELLO 1997, PORCUNA 1999).

Alternativas agroecológicas para el control de *Meloidogyne*

El impacto negativo de la mayoría de los agroquímicos sobre aspectos sociales, económicos y ecológicos han propiciado el auge, en muchos países y círculos de productores, investigadores, extensionistas y académicos, de la búsqueda de alternativas de manejo de nematodos dirigidas a su sustitución por métodos más amigables con el equilibrio del agroecosistema (GÓMEZ LUCILA 2007). A continuación describimos algunas de estas alternativas de manejo.

Control físico. Consiste en la utilización de agentes físicos como la temperatura, la humedad o la radiación solar, de manera que resulten letales para los nematodos. El fundamento de estos métodos es que los nematodos sólo pueden desarrollarse y sobrevivir dentro de ciertos límites de intensidad de los factores físicos ambientales, y que más allá de estos límites mínimos y máximos, las condiciones resultan letales para ellos (NOLING 2002). Dentro de estos métodos destacan el uso de vapor, la solarización y la inundación.

La **vaporización** es la introducción de vapor de agua dentro del suelo, bajo cubiertas plásticas. La temperatura del suelo y la duración del tratamiento térmico determina si la eliminación es total (esterilización: pocos minutos entre 90-100 °C), o si ocurre sólo parcialmente (pasteurización: mezcla de vapor y aire entre 70-80° C). Es una tecnología muy costosa, por lo que es usualmente aplicada a pequeñas áreas, como por ejemplo invernaderos (RODRÍGUEZ-KABANA 1997). Su uso para el manejo de nematodos se ha citado en Argentina (SALLE *et al.* 2001) y Ecuador (URBANO 2004).

La **solarización** consiste en cubrir el suelo húmedo con plástico transparente y dejarlo expuesto al sol por varias semanas. La temperatura del suelo se eleva a niveles entre 40-50 °C, las cuales son letales para los nematodos fitoparásitos (LAMBERTE 1997). Es una forma de pasteurización que no esteriliza el suelo y ha demostrado buenos resultados para muchos patógenos edáficos. Su modo de acción se relaciona tanto con el efecto directo que tiene el aumento de la temperatura sobre los patógenos como con el estímulo que ejerce sobre microorganismos benéficos (MBTOC 1995).

Esta técnica ha mostrado resultados variables sobre los nematodos formadores de nódulos, ya que su efectividad depende de las condiciones ambientales durante el período en que se realiza (MCGOVERN Y MCSORLEY 1997, RODRÍGUEZ-KÁBANA 1997, MCSORLEY Y MCGOVERN 1999, SCHNEIDER *et al.* 2003, BOGOESCU *et al.* 2005). La solarización es efectiva cuando hay condiciones ambientales favorables, y su eficacia aumenta cuando se la integra con otras estrategias de manejo de patógenos (MBTOC 1995). Las mejores condiciones se dan en zonas de clima seco, con baja nubosidad y alta intensidad solar, como son los países de la cuenca del Mediterráneo: Israel, Grecia, Italia, España, Marruecos. En países con clima cálido, su combinación con otras tácticas de control ha sido exitosa (CARTIA 1997, GOLCALVES 1997, MORAL 1997, REIS 1997, MORRA *et al.* 1998, ABOU-JAWDAH 2000,

McSORLEY Y MCGOVERN 2000, BELLO 2001, CHELLEMI 2001, RAVINDRA *et al.* 2001, SALLE 2001, SANO 2002, TIWARI 2002, STEVENS *et al.* 2003, CÁNDIDO *et al.* 2005 a b). En cambio, se cuestiona su validez en áreas con precipitaciones abundantes, nubosidad significativa o fluctuaciones amplias en la temperatura diaria (GRINSTEIN Y HERTZRONI 1991), aunque en zonas con climas frescos se puede utilizar en invernaderos. HEALD (1987) cuestiona la efectividad de la solarización para nematodos endoparásitos (*Meloidogyne* spp.), aunque sí la considera efectiva para algunos nematodos ectoparásitos y endoparásitos migratorios como *Ditylenchus* spp. y *Pratylenchus* spp.

Por su parte, ESCUER *et al.* (2004) señalan que la eficacia de la solarización es limitada para formas móviles de nematodos, como es el caso de los pertenecientes al género *Meloidogyne* puesto que al calentarse el suelo se desplazan en profundidad y escapan al tratamiento. KATAN (1981, 1987) coincide en señalar que los tratamientos de solarización no dan resultados consistentes cuando se utiliza para controlar poblaciones de *Meloidogyne*, mientras que NOLING (2002) considera que el control obtenido es insuficiente y menor al que se logra con BM, aún siendo similar al obtenido con metam sodio (CENIS 1985).

Por otra parte, la aplicación de la solarización en forma como única medida de manejo tampoco parece ser efectiva para algunas plantas adventicias como *Cyperus* spp., y para patógenos fúngicos que se ubican en capas profundas del suelo como *Armillaria* spp. (MBTOC 1995). Por ello, se hace necesario adicionar pesticidas (AFEK *et al.* 1991, LAMBERTI *et al.* 2001), desinfectantes químicos, como el metam sodio, en dosis reducidas (BEN-YEPHET *et al.* 1988, ELEMORE 1999), o combinarla con la aplicación de enmiendas orgánicas (GAMLIEL Y STAPLETON 1993). En Cuba se ha comprobado que el período óptimo para lograr una mayor reducción de los organismos perjudiciales para los cultivos mediante la solarización es de julio a agosto, siendo necesario como mínimo 45 días de tratamiento para el caso de *M. incognita* (FERNÁNDEZ Y LABRADA 1995, FERNÁNDEZ *et al.* 2004).

En cuanto a la práctica de **inundación**, se basa en que un alto contenido de agua limita las disponibilidades de oxígeno y reduce la actividad de los nematodos (VAN GUNDY 1985). En los campos inundados la materia orgánica sufre una descomposición anaerobia, desarrollándose sustancias letales, tales como el ácido butírico, propiónico y el sulfuro de hidrógeno, que actúan como verdaderos nematicidas. Se ha comprobado que las inundaciones disminuyen la densidad de población de *Meloidogyne* spp. en suelos encharcados por períodos prolongados,

siendo una técnica usual en regiones tropicales donde se cultiva arroz (NETSCHER Y SIKORA 1990). Su combinación con la aplicación de compost ha demostrado ser efectiva en el control de poblaciones de *M. arenaria* (ALLEN *et al.* 1997, SOTOMAYOR *et al.* 1999) y es uno de los métodos más usados en áreas donde se cultivan berenjenas, tomates, fresas y pepinos en Japón (TAYETA 2001). En general, se suele considerar como una alternativa poco práctica porque requiere gran disponibilidad de agua y supone riesgos de salinización (RODRÍGUEZ KÁBANA 1997, NOLING 2002).

Control cultural

La mayoría de las prácticas o labores de cultivo tienen un impacto directo o indirecto sobre la incidencia y severidad de las enfermedades ocasionadas por organismos del suelo (WIDMER *et al.* 2002). Entre las principales prácticas culturales para el manejo de nematodos fitoparásitos se encuentran el barbecho, la rotación de cultivos, el uso de cultivos trampa, los cultivos de cobertura, la aplicación de enmiendas orgánicas, la biodesinfección y el uso de cultivares y portainjertos resistentes (PUERTAS 2007).

El **barbecho** consiste en dejar el suelo sin cultivar por un cierto período, principalmente durante los meses de primavera y verano, removiéndolo en forma periódica (NOLIN 2002). Frecuentemente no se practica debido a las labores que son necesarias para mantener el suelo libre de especies silvestres que pueden ser hospederos alternativos para los parásitos y plagas de los cultivos (BRIDGE 1996). Tiene como inconveniente que los cultivos posteriores al barbecho pueden reducir su productividad, debido a la disminución de organismos beneficiosos (DUNCAN 1991). Además, la erosión del suelo puede representar un problema serio bajo ciertas condiciones (NOLING 2002).

La **rotación de cultivos** consiste en la plantación de cultivos sucesivos no hospederos, pobres hospederos o cultivos “trampa”, para las plagas que afectan a los cultivos (BRAGA *et al.* 2003). La efectividad de las rotaciones depende, entre otras cosas, del organismo que se pretende controlar. En Cuba, el mayor éxito se ha alcanzado en el control de plantas adventicias y nematodos que atacan las raíces de las plantas, por lo cual esta práctica se suele incluir en programas de manejo alternativo de plantas adventicias, en la regulación de nematodos y, en menor magnitud, para el manejo de insectos y patógenos (PÉREZ Y GARCÍA 2001).

Las rotaciones de cultivos, además de tener un efecto positivo en el control de plagas, también contribuyen a mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. En los sistemas intensivos de producción de hortalizas en Cuba la aplicación de rotaciones para el manejo de *Meloidogyne* spp. se dificulta debido a la gran cantidad de especies hospederas que presenta este nematodo. No obstante, existen especies hortícolas como cebolla, ajo, col, coliflor y otras crucíferas que son ligeramente susceptibles o resistentes a *Meloidogyne* spp., por lo que pueden incluirse en sistemas de rotación (FERNÁNDEZ *et al.* 1996, 1998). En un esquema de rotación de cultivos conformado por acelga-lechuga-col-tomate en condiciones de cultivo protegido se logró la disminución de las poblaciones de *Meloidogyne* spp., (GÓMEZ LUCILA, 2007, PUERTAS 2007).

FERNÁNDEZ *et al.* (1990) encontraron efectiva la rotación de tabaco seguido de maní en el control de *M. incognita*, así como también las rotaciones de tabaco seguido de maíz, millo y frijol terciopelo. Otras rotaciones de cultivos que han mostrado ser efectivas en el control de *M. incognita* en Cuba han sido el cultivo de la papa seguido de col y boniato (GANDARILLA 1992), tomate seguido por el cultivo de ajonjolí (FERNÁNDEZ *et al.* 1992), frijol seguido de la asociación de maíz con frijol terciopelo (CEA Y FABREGAT 1993), maíz seguido por maní (RODRÍGUEZ *et al.* 1994), y hortalizas cultivadas en organopónico en rotación con habichuela (RODRÍGUEZ 1998).

El uso de **cultivos “trampa”** una práctica muy útil para reducir las poblaciones de nematodos endoparásitos sedentarios tales como *Meloidogyne* spp. Consiste en utilizar un hospedero susceptible, dejarlo crecer por un período de tiempo y eliminarlo antes de la formación de las masas de huevos (es decir, antes de que complete su ciclo de vida). Es importante eliminar y destruir todas las raíces antes de la siembra del siguiente cultivo (CUADRA *et al.* 2000).

El uso de **cultivares con genes de resistencia** es una de las alternativas que se han venido considerando como que pueden ser muy eficaces al uso de agroquímicos (especialmente el BM), presentando como ventajas que es una práctica efectiva, ambientalmente segura y no costosa. Es un método ideal para mantener bajas las poblaciones de nematodos y reducir los períodos de rotación de cultivos, además de no necesitar técnicas especiales para su aplicación. En la mayoría de los casos estos nuevos cultivares, necesarios para resolver problemas

específicos de plagas, pueden ser obtenidos con técnicas de mejora tradicional, y han probado ser comercialmente exitosos. Para los nematodos del género *Meloidogyne* existen actualmente cultivares resistentes de tomate y pimiento disponibles a nivel comercial (PIEDRA BUENA 2005).

Sin embargo, los cultivares resistentes presentan ciertas limitaciones. En primer lugar, no es posible obtener plantas resistentes a la amplia gama de patógenos (y poblaciones diferentes de patógenos) que las parasitan. En segundo lugar, las características agronómicas de las variedades resistentes suelen ser, con frecuencia, inferiores a las de las variedades tradicionales. Esto último puede subsanarse realizando un injerto, donde se utilice el cultivar resistente como patrón, e injertando sobre él la variedad con las características agronómicas deseadas. TELLO Y LACASA (1997) han investigado sobre el empleo de patrones de pimiento resistentes a *Phytophthora capsici* y a *M. incognita*, los dos principales problemas fitosanitarios en este cultivo bajo invernadero en la región de Murcia. Las alternativas planteadas para estos problemas incluían manejos en preplantación (principalmente desinfección de suelos con BM) y uso de variedades resistentes. Las variedades resistentes disponibles no se ajustaban a las características comerciales de la zona, por lo que se planteó su uso como patrones para las variedades comerciales utilizadas.

Ros *et al.* (2002a) probaron 75 patrones diferentes de pimiento, encontrando que más de un 35% de los mismos presentaba bajos índices de nodulación, similares a los obtenidos luego de una desinfección con BM. Sin embargo, al tercer año de utilizar estos patrones sobre el mismo suelo, la presión de selección realizada sobre las poblaciones del nematodo llevó a incrementos en su virulencia, lo cual también fue comprobado al nivel de laboratorio (LACASA *et al.* 2002). Esto coincide con lo citado por SANTOS *et al.* (1987), DI CANDILO Y MARINO (1994), SORRIBAS Y VERDEJO-LUCAS (1994), KALOSHIAN *et al.* (1996), VERDEJO-LUCAS *et al.* (1997), AHMAD *et al.* (1998), JANSSEN *et al.* (1998), TZORTZAKAKIS *et al.* (1998, 1999), ORNAT *et al.* (2001) y CASTAGNONE-SERENO (2002b), donde el cultivo continuado de variedades con genes de resistencia ha dado lugar a la selección de biotipos virulentos que quiebran la resistencia de los cultivares resistentes.

Estudios recientes indican que la variabilidad en virulencia puede ser muy alta incluso dentro de una misma especie, encontrándose hasta 20 biotipos diferentes

dentro de *M. incognita* (TORRES *et al.* 2007, ROBERTSON *et al.* 2009). Ateniéndose a lo expuesto por BLOK *et al.* (1997) acerca de la naturaleza de la resistencia y la virulencia, el uso de variedades resistentes sería válido en suelos donde las poblaciones de nematodos no tienen genes de virulencia, pues de otro modo, en un mayor o menor plazo vencerán la resistencia de la planta. Sin embargo, es posible utilizar variedades resistentes si se incluyen en un sistema de cultivo que incluya prácticas de manejo con efecto sinérgico sobre las poblaciones de nematodos formadores de nódulos (WEAVER Y RODRÍGUEZ-KÁBANA 1992), donde se eviten las desventajas de estos cultivares y se aprovechen sus ventajas. ROS *et al.* (2002a) recomiendan combinar el uso de patrones resistentes con otras prácticas, tales como biodesinfección con solarización.

Control biológico

En los últimos años se ha avanzado en la aplicación de organismos del suelo parásitos y antagonistas de nematodos para el control biológico de los nematodos fitoparásitos, a pesar de que se sabe muy poco de los factores que afectan a estos organismos una vez introducidos en el suelo. FERNÁNDEZ *et al.* (2000) analizan las alternativas al control de nematodos en Cuba, señalando la existencia de varios agentes de biocontrol, tanto hongos como bacterias, con interés para el desarrollo de estrategias no químicas de control.

KERRY (1987) recoge los estudios sobre nematodos que parasitan a otros nematodos, mientras que AKHTAR (1995) y AKHTAR Y MAHMOOD (1993) citan la utilización de *Mononchus aquaticus* para el control de *M. incognita*. De forma similar, KEMARREC *et al.* (1991) ensayaron *Steinernema carpocapse* y *Heterorhabditis bacteriophora* para el control de *M. incognita*. Otros investigadores se han utilizado extractos de *M. incognita* para su propio control, consiguiéndose una reducción de la infestación y un incremento en el crecimiento de las plantas (ROY *et al.* 1995).

Uno de los antagonistas de *Meloidogyne* más estudiados es el actinomicete *Paecilomyces lilacinus* (PIEDRA BUENA 2005). Este organismo actúa como parásito eficiente de huevos y juveniles dentro del huevo, disminuyendo las poblaciones del nematodo (JATALA *et al.* 1980; HEWLETT *et al.* 1990), y también parasita a las hembras, aunque en menor proporción (40% vs. 70%). El parasitismo de huevos y

juveniles comienza con el crecimiento de hifas del hongo en la matriz gelatinosa en que están envueltos los huevos, mientras que las hembras son parasitadas a través del ano (GAUTAM *et al.* 1995). Este actinomicete es capaz de multiplicarse en residuos de hojas (SIDDIQI Y MAHMOOD 1994), por lo que los restos de cultivo favorecen su desarrollo (PIEDRA BUENA 2005).

También existen hongos que pueden utilizarse en el control de los nematodos formadores de nódulos, tales como *Cunninghamella elegans*, que produce un colágeno que reduce los nódulos causados por *M. javanica* (GALPER *et al.* 1991), y *Arthrobotrys irregularis*, que reduce la nodulación y aumenta el rendimiento en tomate. Sin embargo, las grandes cantidades de inóculo requeridas por este antagonista en suelos alcalinos, favorables para el desarrollo del hongo, limitan su utilización. VOYOUKALOU (1993) ha reducido experimentalmente el número de nódulos producidos por *M. arenaria* en tomate a diferentes densidades de población, con inóculos del hongo de 1% y 10%. Por su parte, ARHDT Y LEUPRECHT (1994) redujeron las poblaciones de *M. incognita* inoculando *A. oligospora* y *A. dactiloides* al sustrato. DIAS Y FERRAZ (1994) lograron controlar *M. incognita* con *Arthrobotrys conoides*, *A. irregularis*, *A. musiformis*, *A. robusta* y *A. thaumasia*. LACKEY *et al.* (1994) redujeron las poblaciones de *M. incognita* y *H. schachtii* con hifas peletizadas de *Hirsutella rhossitiensis*.

En suelos bien aireados, *Verticillium chlamyosporium* puede también ejercer un control efectivo sobre *M. incognita*, pudiendo distribuirse hasta una profundidad de 60 cm con el agua de riego (DE LEIJ *et al.* 1993), así como la raza no patógena de *Fusarium oxysporum*, cuando se la inocula tres semanas antes que el nematodo (HALLMAN Y SIKORA 1994). RAO *et al.* (1998) utilizaron *Trichoderma harzianum* en el control de *M. incognita* en berenjena. A pesar de estos resultados alentadores, se debe tener en cuenta que algunos investigadores han señalado efecto fitotóxico y patogénico de algunos hongos nematófagos (CEUSTER 1998).

Entre los antagonistas bacterianos de importancia destacan las bacterias del grupo *Pasteuria penetrans* (anteriormente denominadas *Bacillus penetrans*). Estas bacterias son gram negativas, formadoras de endosporas, lo cual les confiere resistencia a condiciones adversas (calor, desecación) y a tratamientos del suelo (solarización, nematicidas) (DUTKY Y SAYRE 1978, STIRLING 1991, DAVIES Y DANKS 1993). Por ello son adecuadas para ser usadas como agentes de control biológico en invernaderos, donde son capaces de sobrevivir a tratamientos de solarización y al uso de nematicidas para la desinfección del suelo (ELEKÇIOĞLU 1995). Esta bacteria es parásito obligado de muchos nematodos, parasita frecuentemente especies de *Meloidogyne* y se ha ensayado en el control biológico de *M. incognita* (SEKHAR Y GILL

1991) y de *M. javanica* en tomate, sola o asociada a nematicidas o a hongos antagonistas como *Paecilomyces lilacinus* y *Beauveria bassiana* (DUBE 1989, DAUDI Y GOWEN 1992, EKANAYAKE Y JAYASUNDARA 1994, GOWEN Y TZORTZAKAKIS 1994). Presenta como ventaja adicional su fácil reproducción, pudiéndose obtener grandes cantidades de la bacteria mediante su inoculación a raíces de tomate invadidas por juveniles de *Meloidogyne*, produciendo suficiente inóculo para uso local en extensiones pequeñas (STIRLING Y WACHTEL 1980).

Otros organismos antagonistas de *Meloidogyne* spp. incluyen *Trichoderma harzianum*, *T. koningii*, *Gliocladium virens*, *Paecilomyces lilacinus* (solo o combinado con quitina), *Rhizobium meliloti* (Baker 1988; PARVEEN *et al.* 1993, AMONCHO Y SASSER 1995, MITTAL *et al.* 1995, NOE Y SASSER 1995), *Bacillus thurigiensis* (ZUCKERMAN *et al.* 1993) y algunos protozoos (MANKAU Y PRASAD 1972). Por su parte, la colonización por endomicorrizas ha mostrado también efecto supresor sobre los nematodos formadores de nódulos en experimentos de invernadero. La penetración y desarrollo de *M. incognita* en tomate se reduce considerablemente en presencia de *Glomus mosseae*, lo que, junto al estudio del efecto de las rizobacterias, pueden constituir una línea de investigación interesante para el control de estos nematodos (SIKORA 1978, 1988).

Aunque la lucha biológica se considera una de las alternativas más promisorias para el manejo de plagas en la agricultura urbana en Cuba (VAZQUEZ *et al.* 2005), ésta no es suficientemente utilizada por los productores, quienes argumentan como razones principales de su no adopción:

- El enfoque reduccionista que considera a la lucha biológica solamente como aplicaciones de bioplaguicidas.
- El uso de los bioplaguicidas con criterios de sustitución de insumos químicos por biológicos.
- Los limitados conocimientos sobre las características de los bioplaguicidas, su modo de acción y su tecnología de aplicación.
- La poca disponibilidad de productos, en cantidad y diversidad.
- Los problemas de calidad de los productos que llegan al agricultor, que crean una mala opinión sobre los mismos.
- La inexistencia de entomófagos para liberaciones inoculativas e inundativas.
- Los pocos conocimientos sobre la estrategia de conservación de los biorreguladores de plagas.

Una de las principales demandas a los investigadores cuando comenzó el desarrollo de la agricultura urbana en Cuba fue la transferencia de las experiencias de la agricultura rural en el uso de los bioplaguicidas y entomófagos. El cumplimiento de esta demanda logró la adecuación y adopción de estas tecnologías con relativa rapidez, puesto que la agricultura urbana se concibió bajo los principios de la agricultura orgánica (COMPANIONI *et al.* 2001). La validación de los bioplaguicidas se realizó directamente bajo condiciones de producción, obteniéndose muy buenos resultados con los productos a base de *Bacillus thuringiensis*, *Verticillium lecanii* y *Beauveria bassiana* con efectividades mayores del 80%.

En tabla I.1 se muestran algunos medios biológicos y las plagas que controlan (VÁZQUEZ *et al.* 2005), mostrándose que para el caso de *M. incognita* se alcanzan efectividades de control entre un 80–85% al utilizar *Trichoderma* y entre un 70–75% al utilizar la Cepa LBT-3 de *Bacillus thuringiensis*.

Tabla I.1. Efectividad de diferentes bioplaguicidas sobre plagas en organopónicos en Cuba

Microorganismos y cepas	Plagas	Cultivos	Efectividades (%)
Bacillus thuringiensis Cepa LBT 24	Plutella xylostella	Col (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i>)	85-93
	Trichoplusia ni	Col	88-94
	<i>Diaphania hyalinata</i>	Pepino (<i>Cucumis sativus</i>)	90-93
	<i>Spodoptera</i> spp.	Acelga (<i>Beta cicla</i>)	90-95
	<i>Herpetogramma bopunctalis</i>	Remolacha	89-95
Cepa LBT-3	Meloidogyne incognita	Hortalizas en organopónico	70-75
<i>Lecanicillium</i> (<i>Verticillium</i>) <i>lecanii</i> Cepa Y-57	Bemisia tabaci	Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>), pepino, col	80-88
	<i>Aleurotrachelus trachoides</i>	Aji (<i>Capsicum annuum</i>), pimiento (<i>Capsicum frutescens</i>)	81-85
	<i>Macrosiphum euphorbiae</i>	Tomate	75-80
<i>Beauveria bassiana</i> Cepa 1	<i>Faustinus cubae</i>	Aji, pimiento	80-85
<i>Trichoderma harzianum</i> TS-3 y A-34	<i>Meloidogyne incognita</i>	Hortalizas en organopónicos	80-85
A - 34	Rizoctonia solani, <i>Phytophthora parasitica</i> y <i>Pythium</i> spp	Tratamiento de las semillas hortícola	90-100
	Rizoctonia solani, <i>Phytophthora parasitica</i>	Semilleros de tomate y otras hortalizas	90

Recientemente, un estudio sobre el nivel de utilización de las principales alternativas agroecológicas para el manejo de nematodos en la agricultura urbana de la Ciudad de la Habana, Cuba (VÁZQUEZ *et al.* 2005), mostró que las alternativas de manejo más utilizadas son: el uso de variedades resistentes, la aplicación de preparados de *Trichoderma* para control biológico, la biodesinfección, la inversión del prisma (perfil) del suelo y la solarización (Fig. I.2).

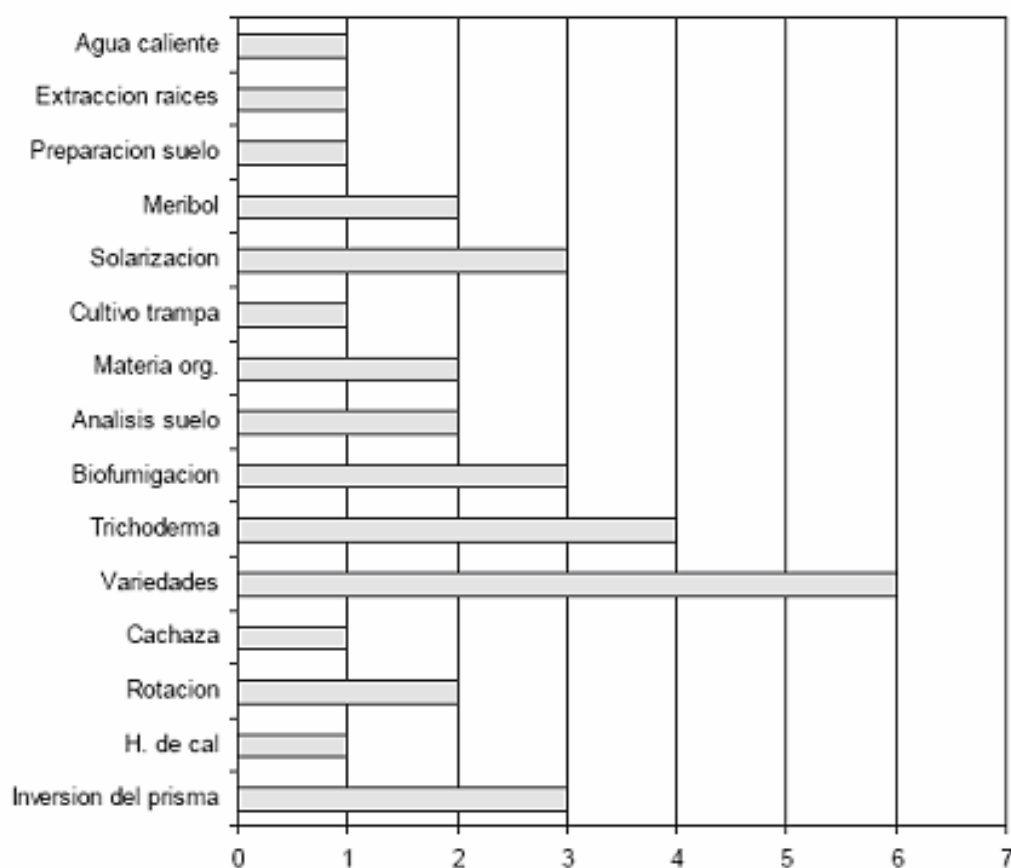


Figura I. 2. Nivel de utilización de las alternativas para el manejo de nematodos. Resumen de nueve equipos en ejercicios participativos en organopónicos y parcelas. Ciudad de La Habana (2003-2004).

I.10. Biodesinfección y uso de la materia orgánica

La incorporación de materia orgánica al suelo para incrementar la fertilidad y manejar los patógenos edáficos es una práctica que se ha venido realizando desde el inicio de la agricultura, con efectos beneficiosos tanto sobre los parámetros físicos como químicos y biológicos. La mejora de las propiedades físicas se refleja a través de una mayor estabilidad de los agregados, mayor absorción de la radiación solar

(debido al color oscuro del humus), aumento de la porosidad, aireación y circulación de agua en suelos arcillosos y disminución de la compactación, mejora de la infiltración y capacidad de retención de agua y disminución de la evaporación de agua desde el suelo.

En cuanto a los parámetros químicos, aumenta la capacidad de intercambio catiónico, aporta nutrientes y posee un efecto tampón que disminuye las variaciones de pH en el suelo. En cuanto al efecto sobre los parámetros biológicos, éste se traduce en un estímulo de la actividad biológica y el desarrollo vegetal. Además, la mejora en la aireación del suelo 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. Este incremento de la actividad microbiana produce CO₂, que acidifica el suelo y favorece la solubilización de compuestos minerales de baja solubilidad (D'ADDABBO 1995; LABRADOR MORENO 2001).

El MBTOC (1995) ha presentado a la incorporación de enmiendas orgánicas, ya sea aguas residuales, composts, residuos agrícolas, forestales o agroindustriales, como una alternativa no química al uso del BM para el control de patógenos de suelo. Una amplia gama de materiales han sido probados para el manejo de nematodos fitoparásitos, hongos fitopatógenos y plantas adventicias. En el caso de suelos infestados con nematodos fitoparásitos, esta práctica ha mostrado ser un método de manejo satisfactorio para varios de ellos, con una eficacia que depende sobre todo 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 la misma. COOK Y BAKER (1983), HOITINK (1988) y D'ADDABBO (1995) han realizado revisiones de los trabajos de utilización de diferentes materiales orgánicos para el control de nematodos. En los trabajos revisados en muchos casos los autores no diferencian si el modo de aplicación de la materia es como enmienda o como biodesinfectante, reportándose una gran variedad de materiales utilizados en los ensayos. Estos materiales incluyen abonos verdes, restos frescos de cultivos, partes de plantas ornamentales, plantas adventicias, 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 (de nim, mostaza, ricino, cacahuete, mahua, karanj) 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 de la fruta

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, puesto que se necesitan dosis de al menos 50 t ha^{-1} para que el tratamiento sea efectivo (MBTOC 1995). Para evitar los efectos fitotóxicos sobre el cultivo sin perder actividad biocida RODRÍGUEZ-KÁBANA *et al.* (1987) recomiendan que las enmiendas orgánicas tengan una relación C/N entre 8 - 20.

Desde el punto de vista económico, D'ADDABBO (1995) sugiere que la aplicación de enmiendas orgánicas sólo puede sustituir a los nematicidas en lugares en regiones de producción de materiales orgánicos donde estén disponibles sin coste o a coste muy bajo. En consecuencia, el autor concluye que los materiales orgánicos que se adapten mejor a los agrosistemas de cada región deberán ser ensayados en forma local, lo cual concuerda con el informe del MBTOC (1995). En general, es posible afirmar que la incorporación de materia orgánica para el control de nematodos fitoparásitos es una práctica especialmente indicada para los países en vías de desarrollo, donde estos materiales son baratos y se encuentran fácilmente disponibles (D'ADDABBO 1995). El uso de la materia orgánica combinada con otras alternativas (como por ejemplo la solarización) puede incrementar su eficacia, pudiendo utilizarse en menores cantidades sin perder efectividad y reduciendo los costes (RAMÍREZ-VILLAPUDA Y MUNNECKE 1988, GAMLIEL Y STAPLETON 1993).

Biodesinfección. El concepto de “fumigación biológica” fue mencionado por primera vez por KIRKEGAARD *et al.* (1993a), que luego lo sustituyó por el término “biofumigación” (GARCÍA ÁLVAREZ *et al.* 2004b), apareciendo por primera vez en una revista internacional en el trabajo de ANGUS *et al.* (1994). Según KIRKEGAARD *et al.* (1993b) y Bello (1998), la biofumigación se basa en la utilización de las sustancias volátiles resultantes de la descomposición de las enmiendas orgánicas y residuos agroindustriales como fumigantes para el control de los organismos patógenos de vegetales. Inicialmente, el concepto de biofumigación sólo incluía la emisión de isotiocianatos durante los procesos de descomposición de las brasicas y su efecto fungicida e insecticida. Este concepto fue ampliado posteriormente, incluyendo a todas las materias orgánicas y residuos agroindustriales (BELLO *et al.* 2002b). KIRKEGAARD Y SARWAR (1998), por su parte, definieron a la biofumigación como “la supresión de plagas y patógenos del suelo por rotaciones con brasicas o abonos verdes”.

Recientemente, el término que se considera más correcto es **biodesinfección**, pues de esta manera comprende no sólo el efecto producido por las sustancias volátiles

que se liberan durante la descomposición de la materia orgánica en el suelo, sino también a las sustancias solubles que se pueden producir y pasar a la solución del suelo. Además, el nuevo término contribuye a diferenciar entre la fumigación con productos químicos y el tratamiento de desinfección mediante el aporte de materia orgánica fresca (BELLO, COM. PERS.; LÓPEZ-CEPERO *et al.* 2007).

Es necesario establecer las diferencias entre la biodesinfección y el uso de enmiendas orgánicas, consistentes en las características especiales que deben tener los materiales utilizados como biodesinfectantes, la dosis y el método de aplicación. En primer lugar, para que un material orgánico tenga función biodesinfectante debe estar en vías de descomposición, lo cual no sucede con la materia orgánica que se suele añadir normalmente al suelo como abono (BELLO *et al.* 1999, 2000a,b), que es materia orgánica estabilizada (composts o estiércoles “maduros”). Además, el método de aplicación debe tener en cuenta la necesidad de retener los gases que puedan producir ser liberados durante la biodescomposición de la materia orgánica. Esto debe lograrse por un período mínimo de dos semanas, ya que el efecto de los gases es en la mayoría de los casos bioestático, lo que hace necesario prolongar en el tiempo su acción sobre los patógenos (GARCÍA ÁLVAREZ *et al.* 2004a).

Se ha encontrado que cualquier tipo de materia orgánica puede actuar como biodesinfectante, aunque su eficacia depende tanto de sus características como del tipo de suelo, la dosis y el método de aplicación. El efecto nematicida de la materia orgánica se produce a través de diversos mecanismos (STIRLING 1991), aunque su modo de acción aún no ha sido dilucidado completamente. Los estudios realizados indican que éste puede provenir de la liberación de compuestos tóxicos para los nematodos, o ser causado por el papel que la materia orgánica juega en el suelo, como sustrato que favorece el desarrollo de la microfauna y microflora, o al introducir organismos antagonistas, tales como de nematodos depredadores y otros microorganismos beneficiosos (DÍAZ VIRULICHE 2000). La acción de la microbiota sobre la materia orgánica durante su descomposición produce gran cantidad de productos químicos que pueden actuar en el control de los patógenos del suelo, aunque es difícil determinar con exactitud cuál de estas sustancias es responsable de la muerte de los nematodos (DÍAZ VIRULICHE 2000). Algunas de estas sustancias pueden estar pre-formadas dentro de la planta, como los fenoles, taninos, azadiractina y ricinina (MIAN Y RODRÍGUEZ-KABANA 1982b, ROSSNER Y ZEBITZ 1987, RICH *et al.* 1989), o derivar del proceso de descomposición de la materia orgánica en

el suelo. Diversos trabajos han reportado que, durante la biodesinfección, la descomposición de la materia orgánica produce enzimas (lacasas, peroxidasa, beta-1,3-glucosidasa, quitinasa) y fenoles con actividad fungicida (KIM *et al.* 1996a,b), isotiocianatos con efecto fungicida, herbicida y nematicida (Bianco *et al.* 2000), amonio, nitritos, nitratos, acetaldehído, formaldehído, etanol, metano, isotiocianatos, sulfuro de hidrógeno, etc. (MIAN *et al.* 1982, MIAN Y RODRÍGUEZ-KÁBANA 1982 a,b; GAMLIEL Y STAPLETON 1993; RODRÍGUEZ-KÁBANA 1996, GOUWS 2003, citado por GÓMEZ LUCILA 2006).

En general, los materiales con alto contenido de nitrógeno generan amonio, que posee efecto nematicida (urea y guanidinas), aunque en el caso de la quitina y los materiales quitinosos su efecto proviene no sólo de la generación de amonio, sino del estímulo que ejercen sobre la actividad de la microflora quitinolítica del suelo (GODOY *et al.* 1983, RODRÍGUEZ-KÁBANA *et al.* 1983, 1989, 1990; CULBREATH 1985, CHIAN 1990, CANULLO 1991, CANULLO *et al.* 1992). Este efecto presenta gran interés, puesto que los microorganismos quitinolíticos son efectivos para destruir huevos de nematodos y micelio de algunos hongos fitopatógenos. En cuanto a los organismos antagonistas, su modo de acción puede ser directo, como en el caso de los depredadores (algunos microartrópodos) y los parásitos (ciertos hongos y bacterias), o indirecto, a través de la producción de enzimas o metabolitos tóxicos capaces de dañar el nematodo y/o sus huevos (RODRÍGUEZ-KABANA *et al.* 1983; GALPER *et al.* 1990, MBTOC 1995). Algunos investigadores han atribuido efecto fungicida a la disminución de oxígeno en el suelo durante la descomposición de la materia orgánica, y a la menor capacidad de óxidoreducción que se produce al humedecer el suelo durante el tratamiento (BLOK *et al.* 2000). Un aspecto interesante de la biodesinfección es que su efecto sobre la actividad microbiana es **selectivo**, favoreciendo a los antagonistas y disminuyendo el nivel de patógenos. En el caso de los nematodos, este efecto selectivo ha sido demostrado en diversos trabajos, encontrando que además de disminuir las poblaciones de *M. incognita*, se han visto favorecidos depredadores del género *Iotonchus* (Azmi, 2000), así como hongos y bacterias antagonistas (BELLO *et al.* 1997a, RIEGEL Y NOE 2000).

En España, que ha sido pionera en el estudio y aplicación de la biodesinfección de suelos, se han realizado numerosas investigaciones para ajustar esta técnica en cultivos de cucurbitáceas, pimientos, zanahoria, tomate y otras hortalizas, fresón,

platanera, cítricos, frutales, viñedos y flor cortada en diferentes ambientes de la región mediterránea (BELLO *et al.* 1997a,b, 1999, 2000a,b, 2001, 2002a,b, LACASA Y GUIRAO, 1997, SANZ *et al.* 1997, ARIAS *et al.* 1999, LACASA *et al.* 1999, 2002; DÍAZ VIRULICHE 2000, GUERRERO *et al.* 2000, 2004a,b; FERNÁNDEZ *et al.* 2001, LÓPEZ-PÉREZ *et al.* 2002, 2003; MARTÍNEZ *et al.* 2002, MEDINA 2002, ROS *et al.* 2002b, MEDINA *et al.* 2004, SEGURA *et al.* 2004). Estos investigadores obtuvieron una eficacia similar a los pesticidas convencionales en el control de los nematodos, al mismo tiempo que se incrementaron los nematodos saprófagos y mejoraron las características del suelo, así como la nutrición y producción de los cultivos.

Algunos trabajos encuentran que el uso de biodesinfección sola es insuficiente para evitar daños en cultivos sensibles como el pepino (ARIAS *et al.* 1999), siendo necesario complementar esta práctica con, por ejemplo, la solarización. La combinación de la biodesinfección con la solarización tiene un efecto sinérgico. Por una parte, al elevarse la temperatura del suelo aumenta la sensibilidad de los patógenos a los compuestos volátiles que se desprenden durante la descomposición de la materia orgánica, y por otra, el aporte de materia orgánica incrementa la temperatura de la solarización entre 2-3°C, así como la profundidad del suelo a la cual llega el tratamiento (BELLO *et al.* 2001). Este aumento en temperatura puede deberse a la mayor humedad y conductividad térmica en los suelos con materia orgánica y/o a la actividad microbiana exotérmica. Además, el calor de la solarización provoca una destrucción directa de los propágulos del patógeno (GAMLIEL Y STAPLETON 1993). Los cambios ocasionados en la microbiota edáfica propician el incremento del crecimiento y la producción en las plantas (STAPLETON Y DEVAY 1984, MEDINA 2002). En particular, la biodesinfección con solarización ha demostrado ser un método eficaz para regular las poblaciones de nematodos y patógenos fúngicos en cultivos de pimiento en invernadero de la región del Campo de Cartagena (BELLO *et al.* 1997b). Actualmente, en el sureste de España hay más de 100 ha de pimiento en las que se realiza biodesinfección de forma habitual utilizando estiércol fresco de oveja combinado con gallinaza (LACASA *et al.* 2002).

En cuanto al uso de la **gallinaza**, AHMED *et al.* (1991) señalaron el efecto reductor de este material para el control de *M. incognita*. Esto coincide con el trabajo de Wahundeniya (1991), que observó que las poblaciones de *Meloidogyne* spp. en tomate se reducían con dosis de gallinaza de 10 t ha⁻¹. KAPLAN *et al.* (1992)

señalaron buenos resultados aplicando gallinaza para el control de *Meloidogyne* spp. MAHANTA Y PHUKAN (1992) la utilizan para el control de *M. incognita*, mientras que LÓPEZ *et al.* (1994) probaron varias dosis (4, 8, 12 y 16 t ha⁻¹) en el control de *Meloidogyne salasi* en arroz. Otros autores han combinado la gallinaza con estiércoles, como SABATER (1999) y CHAVARRÍA-CARVAJAL *et al.* (2000), encontrando estos últimos que su aplicación conjunta a las dosis de 80, 40 y 20 g kg⁻¹ de suelo era efectiva en el control de nematodos.

Con respecto a la utilización de **estiércoles**, AHMED *et al.* (1991) compararon el efecto reductor del estiércol de vacuno, la gallinaza, el nitrato amónico, el sulfato potásico y el superfosfato para el control de *M. incognita*, encontrando que todos, estos materiales reducen los problemas del nematodo, a excepción del sulfato potásico. El estiércol de vacuno fue utilizado por YOUSSEF Y EL-HAMAWI (1996) para reducir los problemas de *Hirschmaniella oryzae* en Egipto, así como por ISMAIL Y BADAWI (1998) para el control de *R. reniformes*. Por su parte, AKHTAR Y MAHMOOD (1997) encontraron que el estiércol de vacuno, la urea y el extracto de nim tienen efecto reductor de las poblaciones de *M. incognita*. MAGUNACELAYA *et al.* (1998) evaluaron el efecto del estiércol de vacuno sobre *M. hapla* en viveros de Chile, obteniendo resultados que superan a los del carbofurano cuando se aplica en hoyos. DÍAZ VIRULICHE (2000) probó el efecto biodesinfectante del estiércol de oveja, cabra y vacuno, así como de la gallinaza, tanto solos como en combinación con estiércol de conejo y pavo, residuos de champiñón. Estas mezclas redujeron los costes del biodesinfectante y resultaron muy eficaces para el control de *M. incognita*, (100% de mortalidad, e índices de nodulación < 3 al final del cultivo) a dosis máximas de 50 t ha⁻¹. Cuando se aplicaron estiércoles, se observó un incremento de los nematodos saprófagos del grupo de los rabdítidos, así como de los enquitreidos, oligoquetos de gran interés en la descomposición de la materia orgánica. A la vez, disminuyeron los doriláimidos, aunque se observa que estos recuperan sus poblaciones varios meses después de la aplicación del biodesinfectante.

En cuanto al uso de restos de cultivos y residuos agroindustriales como material desinfectante, ZAMBOLIM *et al.* (1996) estudiaron el efecto de la **pulpa de café**, los residuos urbanos, las cortezas de eucalipto y el vermicompost sobre *M. javanica* en tomate, encontrando que la pulpa de café reduce significativamente sus poblaciones. Atribuyeron este efecto a la liberación de amonio durante el proceso de descomposición y al efecto nematocida del furfural. DÍAZ VIRULICHE (2000) probó el efecto de la pulpa de café sola y con gallinaza para el control de *M. incognita*,

encontrando que ambos tratamientos obtienen un alto porcentaje de control sobre este nematodo (100% de mortalidad en el caso de la pulpa de café sola y 99% cuando se combinó con la gallinaza).

AHMAD Y ALAM (1997) estudiaron la eficacia de la fracción soluble del **arroz** en el control de *M. incognita* y *R. reniformis*. SHARMA *et al.* (1997) encontraron que el compost de jacinto de agua, paja de mostaza, cascarilla de arroz y espárragos redujeron las poblaciones de *M. incognita* en la India. YOUSSEF Y AMIN (1997) citan a los restos del cultivo de arroz, maíz, olivo y *Ricinus communis*, como materiales efectivos para reducir los problemas debido a *M. javanica* y *R. reniformis* en Egipto. ISMAIL Y BADAWI (1998) estudiaron el efecto de residuos de paja de arroz, maíz y plátano en el control de *R. reniformis* a dosis de 0,25; 0,5 y 1% v/v, siendo de menor eficacia los restos de arroz que los de platanera y maíz. DÍAZ VIRULICHE (2000) estudió el efecto biodesinfectante de la cascarilla de arroz sola y en combinación con gallinaza, obteniendo 100% de mortalidad de *M. incognita* al combinar la cascarilla de arroz con gallinaza y 98% de mortalidad cuando se aplicó sólo la cascarilla de arroz.

NETSCHER Y SIKORA (1990) utilizaron **bagazo de caña** para el control de nematodos. NARENDRAPPA *et al.* (1999) utilizaron un preparado con residuos industriales de caña de azúcar (lodos prensados), logrando un control eficaz de *M. incognita*. BETTIOL *et al.* (1996) indican que la solarización combinada con residuos de melaza redujeron las poblaciones de *M. javanica* en Brasil. ALY KHAN *et al.* (1997) estudiaron el efecto de hojas de nim, cascarilla de trigo y bagazo de caña de azúcar sobre *Helicotylenchus dihystra* y *Pratylenchus thornei* en suelo, así como sobre el crecimiento de trigo en Pakistán. Vawdrey y Stirling (1997) emplearon melaza (375 l ha⁻¹), residuos de caña (400 m³ ha⁻¹), abonos verdes y urea (600 kg ha⁻¹) en el control de *M. javanica* en Australia.

AKHTAR (1993) observó que los lodos urbanos, los restos de hortalizas y frutos, el tabaco, los restos de té, la paja de trigo y el bagazo de caña de azúcar, lograron reducir eficazmente la incidencia de nematodos formadores de nódulos en tomate. KHAN *et al.* (1997) observaron que los residuos de tabaco reducían los problemas de *Helicotylenchus pseudorobustus* en Pakistán. DÍAZ VIRULICHE (2000) estudió el efecto de 39 biodesinfectantes (estiércol de origen animal, abonos verdes y residuos agroindustriales) a 108 dosis, encontrando que el 76% de las dosis tuvieron una eficacia del 100% en el control de *M. incognita* y un 92% mostró una eficacia superior al 90%. Sólo diez dosis (9,3%) presentaron una eficacia inferior al 90%, y de ellas, sólo tres (2,9%) que corresponden a dosis bajas de gallinaza y paja de

arroz. fueron inferiores al 50%. Este estudio concluyó que la mayoría de los residuos agrarios utilizados pueden actuar como biodesinfectantes controlando los nematodos parásitos de las plantas, y que su eficacia depende fundamentalmente de la dosis y el método de aplicación.

En ensayos de aplicación de abonos verdes como biodesinfectantes, se probó el uso de *Tagetes* sp., brasicas, gramíneas (maíz, sorgo y residuos de trigo), leguminosas (como haba, canavalia y mucura), plantas tropicales (ñame, malanga y residuos de platanera). Estos materiales resultaron eficaces para disminuir las poblaciones de *Meloidogyne* en el suelo, así como la combinación de leguminosas con caña de azúcar, maíz, sorgo y platanera. Sólo cinco de estos tratamientos (10,2%) mostraron una eficacia inferior al 100% y sólo en un caso (tratamiento con maíz verde) la eficacia fue inferior al 90%. Todos los tratamientos con abonos verdes presentaron índices de nodulación inferiores a 4, en tomate susceptible. Se observó un incremento general de los rhabdítidos, mientras que los monónquidos y doriláimidos sólo disminuyeron en los tratamientos de mucuna con caña de azúcar y con maíz. En general, se produjo un incremento en las poblaciones de enquitreidos, y la aparición de nematodos micófagos del género *Aphelenchus*. La biodesinfección con abonos verdes, por lo general, ha mostrado una alta eficacia para el control de nematodos ectoparásitos, como *Helicotylenchus*, y endoparásitos como *Pratylenchus*. Por lo general, cuando se cultivaron plantas de tomate cv Marmande sobre suelo biodesinfectado, su biomasa fue mayor en los tratamientos de biodesinfección con sorgo y habas. Los nutrientes del suelo se incrementaron, a excepción del calcio, que disminuyó en los tratamientos con brasicas, maíz y habas (DÍAZ VIRULICHE 2000).

En otras investigaciones se han evaluado restos de cultivo de pepino, pimiento, tomate, fresa y acelga, composts de orujo de vid, alperujo de olivo, residuos de la industria del corcho y sustrato agotado de champiñón, estiércol comercial, restos de naranja y plantas de *Tagetes patula*, solos o en combinación con estiércol, utilizando distintas dosis, en ensayos de biodesinfección en condiciones de laboratorio (PIEDRA BUENA 2005). El 32,5% de los tratamientos alcanzó el 100% de mortalidad de J2, un 79,1% presentó una eficacia mayor al 95% y un 83,7% logró una mortalidad superior al 90%. En suelos provenientes de fincas donde se realizan aportes habituales de materia orgánica, los materiales biodesinfectantes ensayados mostraron una acción sinérgica con la materia orgánica presente en el suelo, por lo que se considera que cuando el contenido de materia orgánica del suelo es elevado se puede disminuir la dosis del material biodesinfectante. La mayoría de los tratamientos realizados no

afectaron en forma significativa a las poblaciones de rhabditidos y enquitreidos, pero cuando se observaron diferencia, en general provocaron un incremento de sus poblaciones. En cuanto al número de doriláimidos, fue muy bajo o nulo en los suelos ensayados, sin variaciones significativas al aplicar los diferentes tratamientos de biodesinfección (PIEDRA BUENA 2005).

PIEDRA BUENA *et al.* (2006) estudiaron el efecto de diferentes restos de cultivos: pimiento, fresa, pepino, naranja, así como estiércol comercial y de oveja, sobre diferentes poblaciones de *M. incognita*, encontrando que todos los materiales biodesinfectantes evaluados disminuyeron las poblaciones de este nematodo en el suelo, así como el índice de nodulación en plantas de tomate cv "Marmande" (susceptible a nematodos formadores de nódulos). El mayor efecto de reducción del índice de nodulación se obtuvo cuando se aplicaron los residuos combinados con los estiércoles, en comparación con la aplicación de restos de cultivos solos. Además, de manera general, se observó un efecto positivo de los materiales biodesinfectantes sobre la fertilidad del suelo. Algunos estudios han combinado con éxito la aplicación de enmiendas orgánicas y el uso de organismos antagonistas para el control de nematodos fitoparásitos, utilizando 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).

En Cuba se demostró que la biodesinfección con materiales de origen vegetal procedentes de hojas de nim (*Azadirachta indica* A. Juss), *Tagetes* spp. y cachaza es efectiva para disminuir las poblaciones de *M. incognita* (GÓMEZ LUCILA *et al.* 2006). También se han obtenido buenos resultados con el uso de residuos de col y gallinaza, que han logrado reducir la infectación en más de un 70% (VÁZQUEZ *et al.* 2005).

Se debe destacar, como otro de los aspectos positivos de la biodesinfección, que el uso de los restos de cultivos como material biodesinfectante contribuye a resolver los graves problemas ambientales genera la acumulación de restos orgánicos. Como ejemplo, en España se producen anualmente 18 millones kg de residuos de corcho (CARMONA *et al.* 2001), 150 millones kg de sustrato agotado de champiñón (datos de Castilla-La Mancha), más de 300 millones kg de orujo de uva, más de 1.000 millones kg de orujo de aceituna, más de 80 millones kg de estiércoles (MAPA 2002) y casi 50 millones kg de cascarilla de arroz (SANTOS Y *et al.*, 2003), lo que totaliza más de 2.000 millones kg de residuos forestales y agropecuarios (UCLÉS AGUILERA Y HERNÁNDEZ TORRECILLAS 2003).

En Cuba, los cultivos principales generan anualmente un volumen considerable de residuos, alrededor de un millón de toneladas para el caso del arroz (Fig. I. 3), más de 8 millones de toneladas de la caña de azúcar (Fig. I. 4), y cerca de 60 000 toneladas para el café (Fig. I. 5), según estimaciones basadas en los datos de producción de la FAO (2005) y en la relación residuo/cultivo: 1,5 para el arroz y 0,25 para la caña de azúcar (LAL 1995). En el caso del café la cantidad de residuo se estimó en base a los datos de producción de café verde de la FAO (2005), el cual representa 20% del peso total húmedo del café, por lo cual el 80% se convierte en residuo. Además, del procesamiento de este 20%, aproximadamente un 40% de residuos son generados como pulpa (FIGUEREDO RODRÍGUEZ 2005).

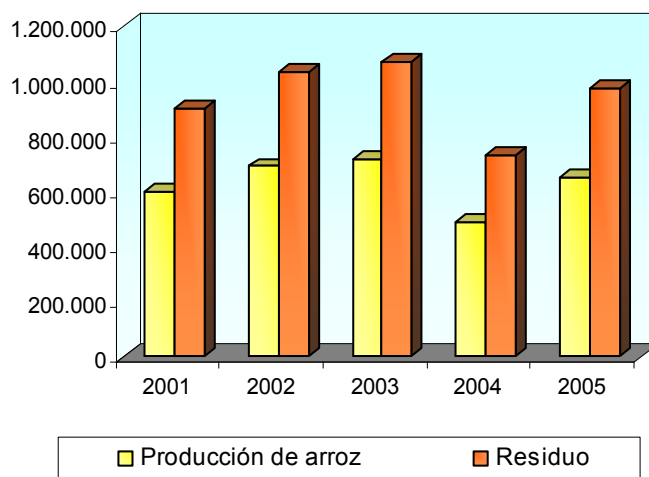


Figura I. 3. Producción de arroz en y residuos generados en Cuba (millones de t) 2001-2005.

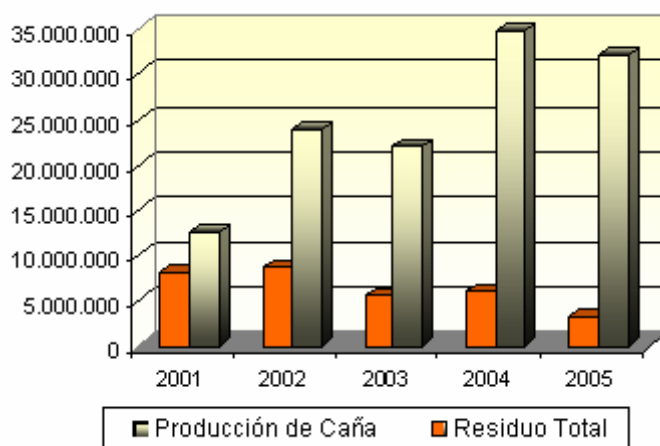
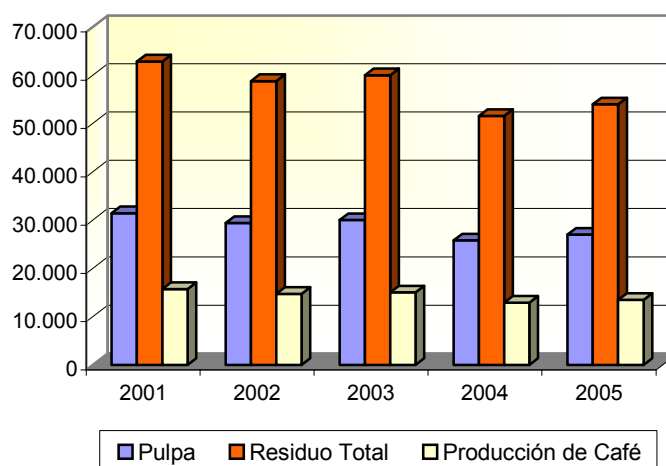


Figura I. 4. Producción y residuos de la caña de azúcar en Cuba (millones de t) 2001-2005.**Figura I. 5.** Producción total de residuos y pulpa de café en Cuba (millones de t) 2001-2005.

Las alternativas habitualmente utilizadas para la gestión de residuos orgánicos incluyen: el compostaje, su uso en sustitución de combustibles fósiles para la generación de energía, su utilización en la industria del cemento y la gasificación por sistema PPV (Plasma P Vitrification; CAMACHO FERRE 2003, 2004), a las cuales se puede añadir su uso como material biodesinfectante. La utilización de residuos orgánicos como material biodesinfectante o como materia prima para composts no sólo son opciones de menor coste y menor impacto ambiental que su uso para sustituir combustibles fósiles u otros usos industriales (CAMACHO FERRE 2003, 2004), sino que además valorizan estos materiales, que ya no serían “desechos” sino “subproductos” del sistema capaces de aportar mejoras sobre la fertilidad del suelo y el control de patógenos (PIEDRA BUENA 2005).

En este contexto, la biodesinfección puede ser de gran interés, particularmente en países en vías de desarrollo debido a su bajo coste y facilidad de aplicación (MBTOC 1997, 1998; DE LEÓN 2002). CALDERÓN *et al.* (2000) coinciden con esta observación, al indicar que la biodesinfección se encuentra entre las mejores alternativas al BM en cultivos de tomate y brásica en Guatemala. Por otra parte, esta práctica no presenta efectos negativos sobre el medio ambiente ni sobre la salud de los consumidores, y no

ofrece limitaciones para ser utilizada en producción integrada e incluso en agricultura ecológica (DE LEÓN 2002).

En este capítulo se hace una descripción de los materiales y las metodologías utilizadas en el trabajo. En primer lugar se describen los suelos sobre los cuales se llevaron a cabo los ensayos de biodesinfección en laboratorio (**Apartado II.1**), y a continuación se efectúa la caracterización de los residuos agroindustriales utilizados como materiales biodesinfectantes en cada ensayo (**Apartado II.2**). Posteriormente se describe la metodología seguida para realizar los ensayos de biodesinfección, así como para evaluar el efecto de los materiales ensayados, tanto sobre los organismos edáficos como en el crecimiento de las plantas de tomate cultivadas en los suelos tratados, y en los parámetros de fertilidad de estos suelos (**Apartado II.3**). En el último **Apartado (II.4)** se exponen los métodos estadísticos que se han aplicado al análisis de los datos obtenidos.

II.1. Caracterización de los suelos utilizados en los ensayos de biodesinfección

Los ensayos se efectuaron sobre suelos procedentes de cuatro regiones diferentes de España en los cuales se había detectado la presencia de *Meloidogyne incognita*: El Perelló (Valencia), Villa del Prado (Madrid), Marchamalo (Guadalajara) y Campo de Cartagena (Murcia). Estos suelos presentan las características siguientes:

Suelo de El Perelló (Valencia)

El MAPA (1981) define a los suelos presentes en esta zona como Aridisoles, Entisoles e Inceptisoles. DÍAZ VIRULICHE (2000) describió tres perfiles de suelos bajo uso hortícola, que corresponden a Arenosoles: un perfil de una zona de dunas y dos perfiles (perfil 1 y perfil 9) tomados de túneles de plástico donde habitualmente se realizan cultivos hortícolas.

El perfil de la zona de dunas corresponde a un Arenosol calcárico, derivado de arenas y limos de regiones costeras. Es un perfil típico de la franja litoral constituida por arenas y separada de la zona continental por la Albufera de Valencia. A pesar de que en la descripción del perfil se han distinguido tres horizontes, se debe tener en cuenta que este suelo no se encuentra en su estado natural. Son suelos que, estando dedicado a cultivos hortícolas bajo cubierta, han sido alterados por la acción humana a través del laboreo continuo e intensivo, así como por el aporte reiterado de enmiendas orgánicas. La secuencia de horizontes es Ap/A₁/C, de textura arenoso

franca en Ap y arenosa en A₁ y C. El horizonte Ap posee unos 30 cm de espesor, de color oscuro debido su contenido de materia orgánica, bastante elevado en relación con el del suelo original. El horizonte A₁ ha sido considerado como un horizonte transicional al C, por poseer características intermedias entre Ap y C. Este horizonte contiene algunas raíces, aunque menos que el horizonte Ap, y presenta una estructura algo desarrollada, quizás porque al constituir la suela de arado está más compactado. Descansa de forma brusca y horizontal sobre el horizonte C, formado por una arena típica de playa, de color más claro, tendiente al amarillento. El espesor del perfil carece de pedregosidad y está totalmente carbonatado. En los meses más lluviosos puede tener episodios de encharcamiento temporal.

El perfil del túnel 1 también es un Arenosol calcárico, muy similar al anterior y desarrollado a partir de los mismos factores: depósitos aluviales cuaternarios compuestos por arenas y limos. Permanece encharcado durante los meses de noviembre y diciembre, mientras dura el anegamiento de los arrozales en las parcelas cercanas. La secuencia de horizontes es Ap/Ap-Cg/Cg, con textura arenoso franca en el horizonte superficial, y arenosa en los dos horizontes subyacentes. Su espesor se encuentra totalmente carbonatado. El horizonte Ap presenta gran actividad biológica y raíces escasas y gruesas. El contenido de materia orgánica del horizonte superficial es alto debido a los aporte de materia orgánica realizados por los agricultores. Por debajo de este horizonte se distingue un delgado horizonte de transición denominado Ap/Cg, con una estructura algo más compactada, probablemente por ser la suela de arado. Todo este conjunto descansa de modo neto y horizontal sobre el horizonte Cg que, al igual que en el perfil anterior, se encharca de forma temporal por lo cual no se lo considera un Cg verdadero (g = pseudogleyización). Este Cg no constituye un verdadero pseudogley, sino que comparte las características de los antiguos limos de la Albufera heredadas en el horizonte inferior del perfil. El perfil, aunque de textura ligera, posee agregados de textura arcillosa, propias de los limos que a veces se mezclan con las arenas. Desde el punto de vista químico, aunque la suma total de bases de cambio es elevada, los porcentajes de saturación en bases son muy bajos, probablemente como consecuencia de los altos valores de sodio en el perfil. Esta salinidad, según lo observado en el campo, no parece afectar a los cultivos.

El perfil del túnel 9 es similar a los anteriores, con una secuencia de horizontes Ap/Cg. El horizonte Ap tiene una textura arenoso franca, mientras que el Cg es arenoso. Estos suelos tienen habitualmente períodos de encharcamiento temporal durante los meses de noviembre y diciembre, cuando el nivel freático sube a causa del cultivo del arroz que se implanta en terrazas adyacentes y próximas a La Albufera. Durante el resto del año, al abrir las compuertas que mantienen el agua en los arrozales, el nivel freático en los invernaderos desciende, con lo cual el suelo se airea y se seca. Este período de aireación, junto con la granulometría arenosa del perfil, explican la ausencia de manchas de reducción (pseudogley), especialmente en la parte superior del mismo. Sin embargo, el horizonte C posee tonalidades predominantemente grisáceas, por ser limos de antiguos arrozales que han estado anegados durante largo tiempo. Este horizonte también presenta tonalidades amarillentas y verdosas que provienen del color de la arena de la playa al mezclarse con los limos. El perfil está carbonatado en todo su espesor y posee una gran riqueza en materia orgánica en el horizonte superior, la cual proviene de los frecuentes aportes de materia orgánica que realizan los agricultores. Por otra parte, los cationes del suelo muestran valores variables entre medios y altos, aunque no se ha podido determinar fácilmente la saturación en bases a causa de los altos valores del sodio (DÍAZ VIRULICHE 2000).

Suelo de Villa del Prado (Madrid)

El perfil típico de la zona bajo estudio fue descrito por MONTURIOL Y ALCALÁ DEL OLMO (1990a,b) como un Regosol Éutrico formado sobre depósitos aluviales del río Alberche. La secuencia de horizontes es Ap/A₁/C, mostrando gran actividad biológica y presencia de raíces en los primeros 30 cm (perfil Ap). La textura es franco arenosa en el horizonte superior, aumentando el contenido de arcilla en profundidad. Se debe destacar que aunque el material originario son sedimentos aluviales del río Alberche, de naturaleza granítica, desde hace algún tiempo estos terrenos han sido aterrizados de forma artificial con el fin de practicar la agricultura intensiva bajo invernaderos. Así, el horizonte C corresponde a una arena gruesa, mezclada con algo de limo y arcilla muy similar al granito descompuesto, puesto que presenta tonalidades más amarillo-rojizas que el horizonte superficial. Además, presenta varias alineaciones de gravas en su masa, que denotan su origen fluvial. Sobre este horizonte aparece el horizonte A₁, que es muy parecido al C, pero se

distingue por el mayor grado de compactación, probablemente por ser la suela de labor. El perfil se encuentra descarbonatado en todo su espesor.

Estos suelos poseen un pH ligeramente ácido y escasa materia orgánica, salvo en el horizonte superficial, como consecuencia de los aportes realizados por los agricultores. Son bastante pobres en cationes de intercambio pero se encuentran saturados en bases en los dos primeros horizontes. Si se realizan aportes periódicos de materia orgánica y se riegan convenientemente son muy aptos para la agricultura intensiva, tal como es su uso actual en la zona (DÍAZ VIRULICHE 2000).

Suelo de Marchamalo (Guadalajara)

El suelo es un Rhodoxeralf Típico, el cual se caracteriza por ser un suelo profundo, de textura arcillosa, y con bajo contenido en materia orgánica. Este suelo es característico de los climas mediterráneos con regímenes de humedad de tipo xérico, con inviernos húmedos y fríos, y veranos cálidos y secos. La media anual de temperatura del suelo es inferior a 22 °C, y las medias de verano y de invierno presentan diferencias de 6 °C o más entre la superficie y los 50 cm de profundidad, o el contacto dénsico, lítico, o para-lítico cuando los suelos son de menor profundidad.

Los Rhodoxeralfs suelen ser suelos de color rojizo que se forman en áreas de basalto, calizas u otros materiales fuertemente básicos. Conforman un grupo extremadamente uniforme en prácticamente todas sus propiedades, excepto por su profundidad hasta el sustrato lítico. Algunos, que reciben carbonatos, pueden tener un horizonte petrocálcico debajo del horizonte argílico o kándico. En general, más del 50% de los colores de los subhorizontes en los primeros 100 cm de los horizontes argílicos o kándicos (o de todo el horizonte, si su profundidad es menor a 100 cm) presentan matiz 5YR o más rojizo, siendo <3 en el suelo húmedo. En suelo seco presentan un valor no mayor a una unidad por encima del valor en húmedo en suelo seco. No presentan fragipan o duripan con límite superior dentro de los 100 cm de la superficie mineral del suelo ni horizonte nátrico. Tampoco suelen presentar una fase continua, ni la mitad o más del volumen constituido por plintitas (concreciones rojizas producidas por procesos de oxido-reducción, que conforman patrones planos, poligonales o reticulados), dentro de los 150 cm de suelo mineral superficial (SOIL SURVEY STAFF 2006).

Suelo de Campo de Cartagena (Murcia)

El 90% de la superficie son Aridisoles, mientras que el resto lo conforman Entisoles y Mollisoles. Predominan las texturas medias ligeras, con alto contenido de carbonato cálcico, que oscila entre 26–50% en El Campo de Cartagena. El uso de aguas salinas para el riego está contribuyendo al aumento en el contenido de sales del suelo, a veces hasta niveles limitantes por el desarrollo de los cultivos (PIEDRA BUENA 2005).

DÍAZ VIRULICHE (2000) describe un perfil típico de suelos de esta región, estudiado en el municipio de San Pedro del Pinatar. El perfil corresponde a un Regosol calcárico, derivado de limos y arenas de cantos encontrados en el Cuaternario, de tonalidades rojizas y carbonatadas. La secuencia de horizontes descrita es Ap/C₁/C_{1ca}/C₂, con una textura franco arcillosa en el primer y tercer horizonte, franca en el segundo y arcillosa en el cuarto. Por otra parte, los dos horizontes superiores, que conforman lo que el agricultor utiliza como zona cultivable del suelo, son muy semejantes en cuanto a datos analíticos, pero fácilmente diferenciables en el campo a causa de su estructura y textura. Por debajo de ellos se distingue el horizonte C_{1ca}, que es el material originario del suelo. Éste se muestra impregnado por micelios de carbonato cálcico producido por fenómenos de edafogénesis, que carbonatan o calcifican aún más el perfil. Además, este horizonte muestra numerosos orificios, propios de la actividad de la fauna del suelo, que tienden a desaparecer a medida que aumenta la profundidad. En el horizonte superior (Ap) también se observan estos orificios, aunque en menor proporción. Finalmente, en el horizonte C₂ desaparecen los micelios de carbonato de calcio y la estructura tiende a ser más masiva o compacta, lo que puede enlentecer la permeabilidad del suelo. El análisis químico muestra que los dos horizontes superiores están carbonatados, presentando una alta capacidad de cambio catiónico y una saturación en bases superior al 50%. Estas características los hacen muy aptos para la agricultura. Sin embargo, el análisis indica bajos niveles de materia orgánica, lo cual es algo infrecuente en cultivos de invernadero donde se suelen realizar aportes periódicos de materia orgánica al suelo (DÍAZ VIRULICHE 2000).

II.2. Residuos agroindustriales utilizados en los ensayos de biodesinfección en laboratorio

Para esta investigación se han elegido algunos residuos agroindustriales que, por su volumen y características, pueden constituir un problema en Cuba desde el punto de vista ambiental. Son residuos que se generan en gran cantidad y a los cuales en su mayoría no se les da un destino adecuado sino que se desechan, constituyendo fuentes de contaminación de suelos y aguas. Por ello se seleccionaron cascarilla de arroz, pulpa de café y paja de caña de azúcar.

Estos materiales se ensayaron como biodesinfectantes en condiciones de laboratorio, tanto solos como combinados con otros materiales orgánicos de origen animal, vegetal e industrial con efecto activador, es decir, que aceleran el proceso de descomposición y, por tanto, la liberación de compuestos que reducen las poblaciones de fitoparásitos. Los materiales activadores utilizados fueron: vinaza de remolacha, vinaza de caña de azúcar, gallinaza y tabaco, los cuales también fueron estudiados solos a diferentes dosis. La caracterización química de los materiales ensayados se muestra en la Tabla II.1.

Tabla II.1. Caracterización química de los materiales ensayados

Residuo	N	MO	C	C/N	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Na
		%							
Cascarilla de arroz	0,38	84,2	48,9	128,7	218	3319	938	396	79
Paja de caña	1,48	92,1	53,6	36,2	1709	10757	1679	2129	746
Pulpa de café	1,88	92,4	53,7	28,6	1307	25140	4429	1279	405
Gallinaza	1,37	58,5	33,8	24,7	23551	33894	133124	13892	3904
Vinaza de remolacha	2,9	28	16,24	5,6	2985	34000	2510	6708	22000
Vinaza de caña de azúcar	0,8	68,0	39,3	49,1	90,6	1199,5	1276,5	623,8	436,3

* En mg l⁻¹, en el caso de las vinazas de remolacha y de caña de azúcar.

II.2.1. Ensayos de biodesinfección en laboratorio

En este trabajo se probaron 66 tratamientos de biodesinfección con los materiales orgánicos descritos y sus combinaciones sobre los suelos referidos en el Apartado II.1, en siete ensayos en condiciones de laboratorio, con el objetivo de evaluar el potencial de estos materiales para disminuir las poblaciones de nematodos formadores de nódulos, así como su efecto sobre la fertilidad del suelo y el desarrollo de un cultivo posterior.

Ensayo 1

El primer ensayo se desarrolló sobre una muestra de suelo arenoso proveniente de El Perelló (Valencia), donde se realizaron 11 tratamientos (incluido un testigo), con cuatro réplicas cada uno. Las dosis de los materiales utilizados y sus combinaciones fueron:

- Testigo (sin aporte de material biodesinfectante)
- Cascarilla de Arroz 5 g
- Cascarilla de Arroz 5 g + Vinaza de Remolacha 3%
- Cascarilla de Arroz 5 g + Vinaza de Remolacha 5%
- Cascarilla de Arroz 5 g + Tabaco 5g
- Cascarilla de Arroz 5 g + Pulpa de Café 2,5 g
- Paja de Caña 5 g + Tabaco 5 g
- Paja de Caña 5 g + Pulpa de Café 2,5 g
- Gallinaza 2,5 g
- Cascarilla de Arroz 5 g + Gallinaza 2,5 g
- Pulpa de Café 2,5 g

Ensayo 2

Para el segundo ensayo se utilizó una muestra de suelo arcilloso proveniente de Villa del Prado (Madrid), sobre el cual se aplicaron un total de 10 tratamientos, (incluido el testigo) con cuatro réplicas cada uno, tal como se muestra a continuación:

- Testigo (sin aporte de material biodesinfectante)
- Cascarilla de Arroz 5 g
- Cascarilla de Arroz 10 g
- Cascarilla de Arroz 5 g + Pulpa de Café 2,5 g
- Cascarilla de Arroz 5 g + Gallinaza 2,5 g

- Paja de Caña 5 g
- Paja de Caña 10 g
- Paja de Caña 5 g + Pulpa de Café 2,5 g
- Pulpa de Café 5 g
- Pulpa de Café 2,5 g

Ensayo 3

En el tercer ensayo también se utilizó suelo proveniente de Villa del Prado (Madrid), sobre el cual se probaron un total de seis tratamientos incluido el testigo, con cuatro réplicas cada uno. Los tratamientos fueron:

- Testigo (sin aporte de material biodesinfectante)
- Cascarilla Arroz 5 g + Tabaco 5 g
- Paja de Caña 5 g + Tabaco 5 g
- Paja de Caña 5 g + Gallinaza 2,5 g
- Gallinaza 5 g
- Gallinaza 2,5 g

Ensayo 4

Este ensayo se realizó sobre una muestra de suelo proveniente de El Campo de Cartagena (Murcia), sobre la cual se realizaron un total de 13 tratamientos (incluido el testigo), con cuatro réplicas cada uno. Estos tratamientos consistieron en:

- Testigo (sin aporte de material biodesinfectante)
- Pulpa de Café 5 g
- Pulpa de Café 2,5 g
- Gallinaza 5 g
- Gallinaza 2,5 g
- Paja de Caña 10 g
- Paja de Caña 5 g
- Cascarilla de Arroz 10 g
- Cascarilla de Arroz 5 g
- Cascarilla de Arroz 5 g + Pulpa de Café 2,5 g
- Cascarilla de Arroz 5 g + Gallinaza 2,5 g
- Paja de Caña 5 g + Gallinaza 2,5 g
- Paja de Caña 5 g + Pulpa de Café 2,5 g

Ensayo 5

El quinto ensayo fue realizado utilizando una muestra de suelo proveniente de Marchamalo (Guadalajara), tomada a una profundidad entre 0–20 cm, sobre el cual se realizaron un total de cinco tratamientos, incluido el testigo.

- Testigo (sin aporte de material biodesinfectante)
- Cascarilla de Arroz 5 g
- Cascarilla de Arroz 10 g
- Cascarilla de Arroz 5 g + Gallinaza 2,5 g
- Cascarilla de Arroz 5 g + Pulpa Café 5 g

Ensayo 6

Este ensayo se realizó con una muestra de suelo proveniente de Marchamalo (Guadalajara), tomada en el mismo sitio que en el ensayo anterior, pero a una profundidad entre 20–40 cm. Se aplicaron los mismos cinco tratamientos (incluyendo al testigo) que en el ensayo 5:

- Testigo (sin aporte de material biodesinfectante)
- Cascarilla de Arroz 5 g
- Cascarilla de Arroz 10 g
- Cascarilla de Arroz 5 g + Gallinaza 2,5 g
- Cascarilla de Arroz 5 g + Pulpa Café 5 g

Ensayo 7

En este ensayo se utilizó una muestra de suelo proveniente de Marchamalo (Guadalajara), evaluándose vinaza de caña a diferentes concentraciones, combinada con cascarilla de arroz, paja de caña, pulpa de café y gallinaza. Se realizaron un total de 16 tratamientos (incluyendo al testigo), con cuatro réplicas cada uno, los cuales se detallan a continuación:

- Testigo (sin aporte de material biodesinfectante)
- Vinaza de Caña 10%
- Vinaza de Caña 5%
- Vinaza de Caña 3%
- Gallinaza 5 g
- Pulpa de Café 10 g
- Vinaza de Caña 5% + Pulpa de Café 10 g

- Vinaza de Caña 5% + Paja de Caña 5 g
- Vinaza de Caña 5% + Cascarilla de Arroz 5 g
- Vinaza de Caña 5% + Gallinaza 5 g
- Paja de Caña 5 g
- Cascarilla de Arroz 5 g
- Vinaza de Caña 10% + Paja de Caña 5 g
- Vinaza de Caña 10% + Cascarilla de Arroz 5 g
- Vinaza de Caña 3% + Paja de Caña 5 g
- Vinaza de Caña 3% + Cascarilla de Arroz 5 g

La Tabla II.2 resume los tratamientos realizados: materiales aplicados, y sus diferentes dosis en cada uno de los ensayos.

Tabla II.2. Tratamientos y dosis de los diferentes ensayos de biodesinfección

Ensayos							Tratamientos ^a						
1	2	3	4	5	6	7	C. arroz	P. caña	P. café	Gallin.	Tabac.	V. rem.	V. caña
x	x		x	x	x	x	5 g						
	x		x	x	x		10 g						
	x		x			x		5 g					
	x		x					10 g					
x	x		x						2,5 g				
	x		x						5 g				
					x	x			10 g				
x		x	x							2,5 g			
	x	x				x				5 g			
x							5 g					3%	
x							5 g					5%	
						x							3%
						x							5%
						x							10%
x		x					5 g				5 g		
x	x		x	x	x		5 g		2,5 g				
x		x						5 g			5 g		
x	x		x					5 g	2,5 g				
x	x		x	x	x		5 g			2,5 g			
		x	x					5 g		2,5 g			
						x							3%
						x	5 g						3%
						x		5 g					5%
						x	5 g						5%
						x			10 g				5%
						x				5 g			5%
						x		5 g					10%
						x	5 g						10%

^a C. arroz: cascarilla de arroz; P. café: pulpa de café; P. caña: paja de caña; Gallin: gallinaza; Tabac: tabaco; V. rem: vinaza de remolacha; V. caña: vinaza de caña.

II.3. Procedimiento y evaluación de los ensayos de biodesinfección en condiciones de laboratorio

El procedimiento de biodesinfección se muestra en forma de esquema en la Fig. II.1, y consta de los siguientes pasos:

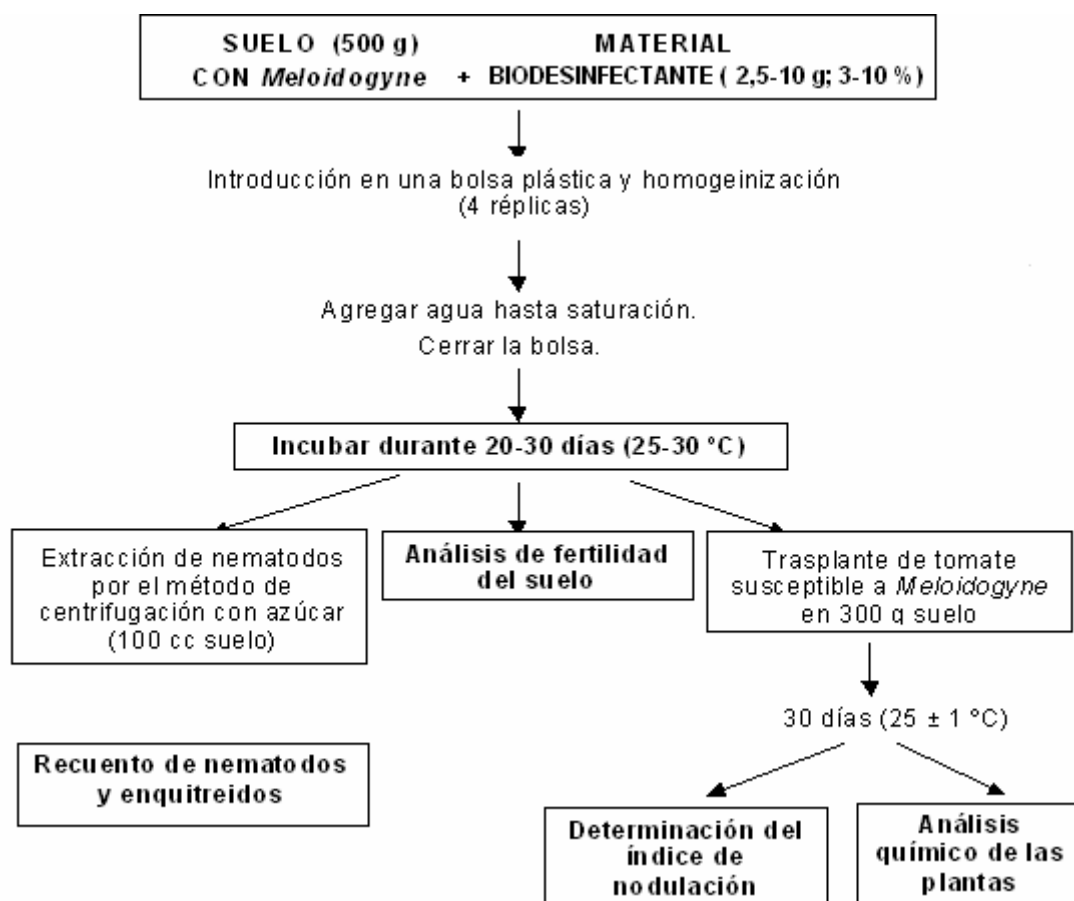


Figura II.1. Esquema de biodesinfección en laboratorio (BELLO *et al.* 2003).

1. Se colocan 500 g del suelo infestado con *Meloidogyne* en una bolsa de plástico de polietileno transparente, con cuatro repeticiones por tratamiento (incluido el testigo).
2. Se añade la dosis de material biodesinfectante a ensayar y se mezcla en forma uniforme.
3. Se añade agua con una pipeta graduada hasta capacidad de campo, y se homogeneiza la muestra.

- Las bolsas así preparadas se cierran y se mantienen en cámara a temperatura controlada a 30 °C, sin luz, durante 20-30 días, simulando de esta manera las condiciones del tratamiento de biodesinfección (Fig. II.2).



Figura II.2. Tratamientos de biodesinfección en cámara a temperatura controlada.

- Una vez finalizado este período, cada muestra se separa en tres fracciones para realizar la evaluación del efecto de la biodesinfección sobre: i) las poblaciones de nematodos, ii) el crecimiento de la planta y su índice de nodulación, y iii) la fertilidad del suelo (Fig. II.3).



Figura II.3. Separación de muestras de suelo para evaluación de nematodos, plantas y suelo.

II.3.1. Evaluación del efecto de la biodesinfección sobre *M. incognita* y la microfauna beneficiosa estudiada

Para el estudio del efecto de la biodesinfección sobre las poblaciones de nematodos se tomaron 100 cm³ de cada réplica después de finalizado el tratamiento y se realizó la extracción de los nematodos mediante el método de centrifugación con azúcar (Fig. II.4) desarrollado por NOMBELA Y BELLO (1983), el cual se describe a continuación:

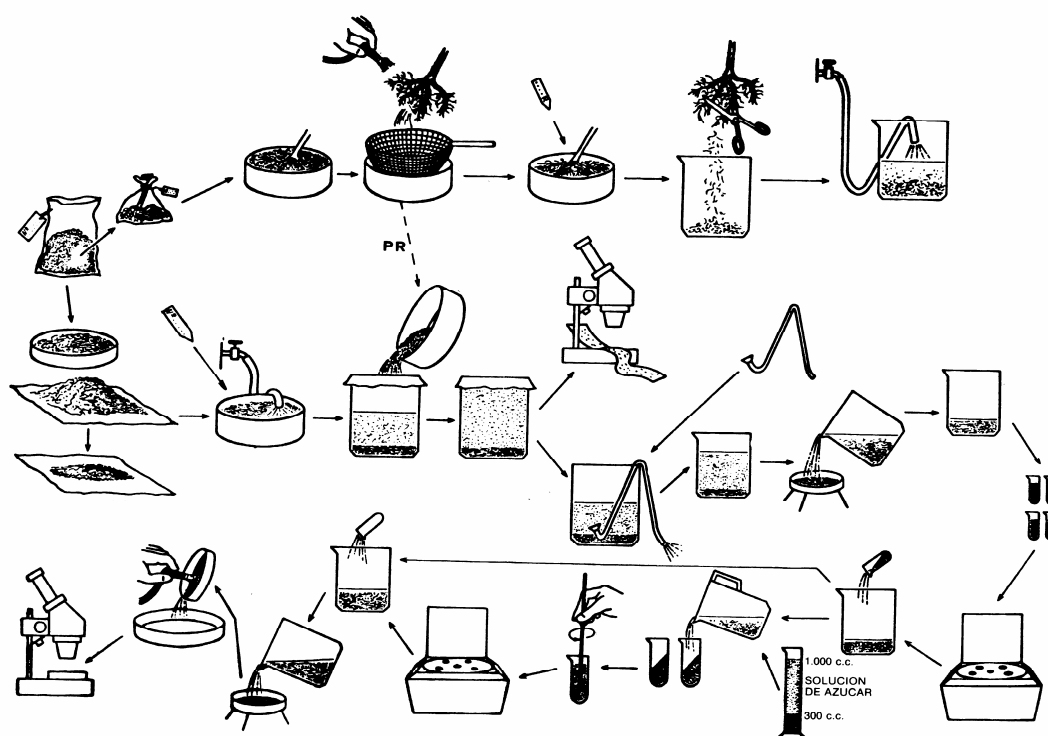


Figura II.4. Esquema del método de centrifugación con azúcar (NOMBELA Y BELLO 1983).

1. En primer lugar se procede a separar la arena. Para ello la muestra de suelo se coloca en un recipiente con agua y se agita hasta que la mayor parte del limo, arcilla y fibras vegetales, junto con los nematodos, queden en suspensión. Esta suspensión se vierte en un recipiente transparente de cristal o plástico de cuatro litros de volumen. El proceso se repite varias veces hasta que el agua esté más o menos transparente, lo que indica que en el recipiente queda solamente arena, y que los nematodos, el limo, la arcilla y las fibras vegetales han pasado al recipiente transparente.

2. Este recipiente se completa con agua hasta el borde y el contenido se deja reposar hasta que las fibras vegetales suban a la superficie. Mientras, el limo, la arcilla y los nematodos sedimentan.
3. Las fibras vegetales que flotan en la superficie del recipiente se eliminan con agua a presión, aunque también puede colocarse un aro de papel de filtro que retiene las fibras vegetales y permite detectar la posible presencia de nematodos formadores de quistes (*Heterodera* spp. y *Globodera* spp.), frecuentes en cultivos hortícolas.
4. Mediante un sifón de decantación se va eliminando el agua y la arcilla en suspensión hasta que sólo quedan los sedimentos.
5. Estos sedimentos se pasan a un vaso de precipitado de un litro de capacidad, que se enrasa con agua para que, en caso de que queden restos de partículas vegetales en la superficie se puedan eliminar con agua a presión, y se deja sedimentar nuevamente.
6. La suspensión acuosa se reduce mediante filtración a través de un tamiz de malla de 10 μm .
7. Lo retenido en el tamiz se lava sobre un vaso de 200 ml, el cual se agita para homogeneizar su contenido, el cual se vierte en tubos de centrifuga de 75 ml.
8. Los tubos se someten a una centrifugación a 1.800 rpm durante 3 minutos.
9. Al detenerse la centrifuga, el sobrenadante se recoge en un recipiente, haciendo girar el tubo lentamente sobre su eje longitudinal para impedir que puedan caer pequeñas fracciones del sedimento.
10. Al residuo que queda en los tubos de centrifuga se le añade solución azucarada al 30% hasta completar su volumen y se mezcla bien con un agitador.
11. Se realiza una segunda centrifugación a 1.500 rpm durante 30 segundos, en la cual se logra separar los nematodos y la arcilla del limo. El limo sedimenta en el fondo de los tubos, mientras que los nematodos y la arcilla flotan, por tener menor densidad que la solución.
12. El sobrenadante de la segunda centrifugación se reúne con el sobrenadante de la primera, formando una sola suspensión, e inmediatamente después esta suspensión se pasa por un tamiz de luz de malla de 10 μm , que se lava con agua a presión para permitir el paso de la arcilla y retener a los nematodos. Este paso debe realizarse rápidamente para evitar la plasmólisis de los nematodos por la alta

concentración de azúcar en el medio, que produce su deformación, y dificultaría posteriores estudios morfológicos. Además, este fenómeno puede llegar a provocar su muerte, lo cual alteraría los resultados de mortalidad (número de individuos vivos vs número de individuos muertos), cuando el interés es evaluar la efectividad de un método de control.

13. Lo retenido en el tamiz de 10 μm se recoge en una placa de Petri de fondo plano para efectuar el recuento de nematodos (Fig. II.5). Si en el tamiz quedan restos de fibras vegetales, se pueden eliminar con pinzas. En caso de ser muy abundantes, el contenido del tamiz se vierte sobre otro tamiz de 50 μm para retener las fibras, y se deja reposar sobre una placa de Petri con una pequeña cantidad de agua, permitiendo así el paso de los nematodos a la placa.



Figura II.5. Placas de Petri preparadas para el recuento de nematodos.

El recuento se realizó bajo microscopio estereoscópico marca Zeiss, modelo Stemi 2000-C, 6,5-50x, determinando el número de juveniles (J2) de *Meloidogyne* vivos y muertos, así como el de otros grupos de nematodos de importancia (Rabdítidos y Doriláimidos), y de organismos de interés, como los Enquitreidos. De esta manera no sólo se evalúa el efecto de la biodesinfección sobre los nematodos fitoparásitos, sino también sobre otros grupos que pueden ser beneficiosos por su función en la degradación de la materia orgánica o como depredadores de los nematodos fitoparásitos.

Cuando el número de individuos es pequeño el recuento se inicia directamente con la ayuda de un contador de mano, pero si se observa gran cantidad de ejemplares la placa se divide con un lápiz grueso en dos o cuatro cuadrantes. Si el número aún así es muy elevado, los nematodos se recogen en una copa graduada y se dejan sedimentar durante 4 horas. A continuación se reduce el volumen a 10 cm³ y se extrae 1 cm³, en el cual se cuentan los individuos, multiplicando el resultado por 10 para referirlo a 100 cm³. Los resultados se registran en una hoja de recuentos, en la que figuran los géneros más comunes, anotándose el número de ejemplares de cada grupo (Anexo 1). De este modo, se obtiene la cantidad de nematodos en 100 cm³ de suelo.

II.3.2. Efecto de la biodesinfección sobre la planta

El efecto de la biodesinfección se estudió sobre la biomasa y la nutrición de la planta, así como sobre el índice de nodulación en raíces, para determinar el efecto de los materiales biofumigantes ensayados sobre las plantas de un cultivo luego de realizar una biodesinfección de suelo. Para ello, se tomó una fracción de suelo de 250 g de cada repetición y se colocó en una maceta identificada con el tratamiento y la repetición correspondiente. Posteriormente, en cada maceta se trasplantó una planta de tomate cv “Marmande”, susceptible a *Meloidogyne*, de 15 días de edad y con dos hojas verdaderas. Las macetas se llevaron a cámara de crecimiento a 25 (±1) °C, con un régimen de 16 horas de luz durante 30 días (Fig. II.6), para permitir que se completara un ciclo de desarrollo del nematodo.



Figura II.6. Plantas de tomate cv “Marmande” recién trasplantadas y en cámara de crecimiento.

Transcurrido este período, se evaluó el índice de nodulación en raíces según el índice visual de BRIDGE Y PAGE (1980), que se muestra en la Fig. II.7. Además, sobre las plantas se determinó su altura, peso total, peso del tallo, peso de la raíz y número de hojas. Los datos se registraron en una planilla (Anexo 2), junto con la fecha de inicio y finalización del cultivo, así como con la identificación de cada maceta.

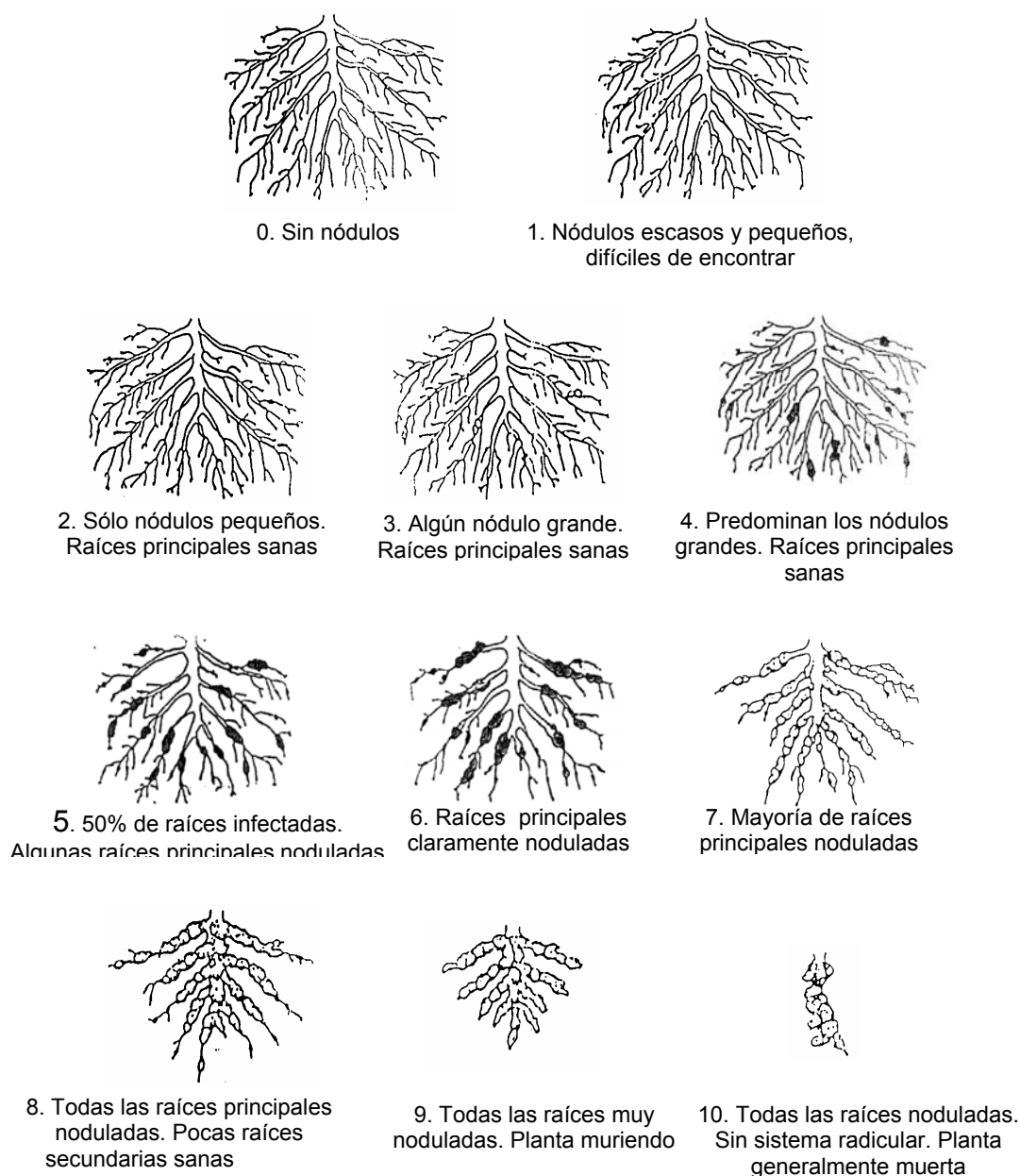


Figura II.7. Índice de nodulación de BRIDGE Y PAGE (1980).

II.3.3. Efecto de la biodesinfección sobre la composición química de la planta

En algunos tratamientos del ensayo 1, así como en los ensayos 4 y 7, se estudió el efecto de los materiales biodesinfectantes sobre la composición química de las plantas de tomate cv “Marmande” que se cultivaron sobre los suelos tratados, a través de la determinación del contenido de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu en los tejidos vegetales. Los métodos de análisis utilizados fueron los descritos por el Ministerio de Agricultura de España (MAPA 1994), y se llevaron a cabo por el Servicio de Análisis del Centro de Ciencias Medioambientales (CCMA–CSIC).

Para la determinación de metales se utilizó el método de ataque de plantas para análisis foliar, mientras que para la determinación de N orgánico en vegetales se utilizó el método de Kjeldhal. Ambos métodos se describen a continuación.

Ataque de plantas para análisis foliar:

1. La muestra se limpia con un detergente suave, lavándose primero con agua corriente y después con agua destilada.
2. Se coloca en una bandeja en estufa a 70 °C hasta su desecación total y a continuación la muestra se tritura hasta pulverizarla.
3. Se pesa 1 g de la muestra triturada y se coloca en un matraz de ataque de 100 ml, al cual se añaden 10 ml de ácido nítrico concentrado.
4. Se deja un mínimo de 5 horas para realizar el ataque en frío y luego se continúa el ataque en baño caliente de arena a una temperatura de 100 °C.
5. Una vez que se han desprendido los vapores nitrosos (color marrón), que toda la materia orgánica ha sido destruida y el líquido queda transparente, se retira del baño y se deja enfriar.
6. Una vez frío se añaden 2 ml de ácido perclórico y se colocan nuevamente los matraces en el baño a una temperatura aproximada de 200 °C.
7. Al cesar el desprendimiento de los vapores blancos densos de perclórico, el líquido se torna transparente e incoloro, con una sedimentación en el fondo del matraz. En este momento se retira del baño.

8. Se añade agua destilada muy caliente a los matraces con el precipitado y se calienta en mechero, agitando continuamente hasta su disolución total.
9. A continuación se toma un matraz de 50 ml y sobre él se coloca un embudo con papel de filtro. Se vierte agua caliente para humectar el papel y lavar el matraz, la cual se desecha.
10. El líquido donde se realizó el ataque se filtra a través de los embudos y los filtros se lavan con el agua caliente al menos cuatro veces.
11. Se enrasa el matraz de 50 ml y el extracto está listo para ser analizado.

Método de Kjeldahl para la determinación de N foliar:

1. Se pesa 0,1 g de materia seca y se coloca en un tubo digestor.
2. Se agregan 0,5 g de mezcla catalítica (99% de sulfato potásico y 1% de selenio) y 10 ml de ácido sulfúrico concentrado.
3. Cuando la temperatura alcanza los 100 °C la mezcla se deja en el digestor durante 3 horas. En este período la temperatura alcanza los 400-420 °C, que es la temperatura de digestión. A continuación la mezcla se deja enfriar lentamente dentro del digestor.
4. Una vez frío, la lectura se realiza en un destilador automático, en el cual el aparato deja caer NaOH sobre la muestra. Esta reacciona formando sulfato sódico y desprendiendo amoníaco, que se combina con la solución titulante de ácido clorhídrico dando lugar a cloruro amónico.

La determinación de P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn y Zn se realizó utilizando fotometría de llama y emisión atómica por plasma ICP. La determinación del N foliar se realizó a través de la medición colorimétrica de la reacción final de neutralización.

II.3.4 Efecto de la biodesinfección sobre la fertilidad del suelo

Después de la extracción de nematodos y la preparación de las macetas de cada muestra queda una fracción de suelo de aproximadamente 100 cm³ que se utiliza para determinar el efecto de los biofumigantes sobre la fertilidad. Para ello, el suelo se deja secar al aire, y una vez seco se muele con mortero, se pasa por tamiz de 2

mm y se somete a los análisis físico-químicos correspondientes. En este trabajo los métodos de análisis utilizados son los descritos por el Ministerio de Agricultura de España (MAPA 1994) y fueron llevados a cabo por el Servicio de Análisis del Centro de Ciencias Medioambientales (CCMA-CSIC).

Los parámetros evaluados fueron contenido de N, P, K, Mg, Na, Ca, Fe, Mn, Zn, Cu, materia orgánica (MO), relación C/N, conductividad eléctrica (CE) y pH en agua. Para la determinación del N en suelos la extracción se realizó por el método de Kjeldahl, mientras que el P asimilable fue extraído con el método de Burriel-Hernando. En ambos casos la medición colorimétrica se realizó con un equipo marca Technicon. Los métodos de Kjeldahl y de Burriel-Hernando se describen a continuación.

Método de Kjeldahl:

1. Se pesa 0,5 g de suelo seco y se coloca en un matraz de ataque de 100 ml.
2. Se agrega 1,5 g de mezcla catalizadora (80 g de sulfato potásico, 20 g de sulfato de cobre anhidro y 2 g de selenio metal en polvo) y 5 ml de ácido sulfúrico concentrado.
3. El matraz se agita suavemente para que el ácido humedezca la totalidad del suelo y se calienta para realizar la digestión hasta que el líquido toma un color claro.
4. La mezcla se mantiene en ebullición durante 30 minutos más, momento en el cual se da por terminada la mineralización.

Método de Burriel-Hernando:

1. Se pesan 2,5 g de suelo y se le añaden 250 ml de la solución extractora (1 g carbonato cálcico, 0,88 g carbonato magnésico, 24,5 ml de ácido clorhídrico y 7,5 ml de ácido sulfúrico al 20% en 10 litros de agua, pH final 3,25-3,30).
2. Se agita durante 5 minutos, tras lo cual se filtra a través de un doble papel de filtro sobre vasitos de plástico. Si no se va a medir en el momento se debe almacenar en nevera.

Para la determinación de los cationes asimilables (K, Ca, Na, Mg) el método de extracción utilizado fue el de acetato amónico a pH 7, midiéndose con fotometría de llama y emisión atómica por plasma ICP. El método de extracción con acetato amónico a pH 7 se describe a continuación.

Método de extracción de K, Ca, Na y Mg solubles en acetato amónico a pH 7:

1. Se toman 5 g de suelo seco y tamizado y se colocan en un frasco de plástico.
2. Se añaden 50 ml de acetato amónico a pH 7 y se agita durante 60 minutos.
3. El contenido del frasco se vierte sobre papel de filtro, y el filtrado se recoge en un recipiente donde se realizará la medición.

En este caso, en el que el producto a analizar es sólido (suelo), el dato obtenido con el equipo, que es expresado en mg l^{-1} , se debe convertir a mg kg^{-1} de muestra analizada. Para realizar este cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{mg/kg} = \frac{V}{P} \times M$$

Donde: **V**: volumen utilizado para la extracción (ml)

P: peso utilizado para la extracción (g)

M: resultado de la medida en el equipo (mg l^{-1})

Para la determinación de pH del suelo se realizó una extracción en pasta saturada, realizando la medición con electrodos de pH semisólidos. El procedimiento es el siguiente:

Método de determinación del pH en agua:

1. Se prepara la pasta saturada llenando hasta la mitad un vasito de plástico de 50 cm^3 con la muestra de suelo. A continuación se añade agua destilada y se agita con una varilla de vidrio, dejando reposar durante 20 minutos.
2. Se realiza una calibración del electrodo, introduciéndolo en una solución tampón de pH 7. Una vez estabilizado, se introduce en una solución tampón a pH 4 para comprobar que la calibración es correcta.
3. La medición de pH se realiza introduciendo el electrodo calibrado en la pasta saturada hasta que se estabilice la lectura, lo cual suele llevar aproximadamente 30 segundos.

Por su parte, la determinación del C orgánico se realizó con el método de oxidación basado en la técnica de WALKLEY Y BLACK (1934). Se mantuvieron los coeficientes habituales de transformación a C total y a materia orgánica (factor de Van Bemmelen). Las soluciones utilizadas se describen en el Anexo 3. El procedimiento consiste en los pasos siguientes:

Método de Walkley y Black:

1. Se toman 0,5 g de suelo seco y se introducen en un matraz tipo Erlenmeyer de 500 ml. Se agregan 10 ml de solución de dicromato potásico 1 N.
2. La mezcla se agita con un movimiento de rotación suave hasta humedecer todo el suelo y se le agregan 20 ml de ácido sulfúrico concentrado. Se vuelve a agitar suavemente durante 30 segundos, al cabo de los cuales se deja en reposo durante 30 minutos.
3. Se añaden 200 ml de agua desmineralizada, dejando enfriar a temperatura ambiente.
4. Cuando la mezcla está a temperatura ambiente, se añaden 10 ml de ácido fosfórico, seguidos de 1 ml de solución de difenilamina.
5. Inmediatamente se procede a la valoración del exceso de dicromato no reducido mediante una solución de sal de Mohr 0,5 N.

La fórmula para calcular el porcentaje de materia orgánica es:

$$\% \text{ MO} = 1 - \left(\frac{M}{B} \right) \times \left(\frac{6,7}{P} \right)$$

Donde: **M**: sal de Mohr consumida en la valoración de la muestra (ml)

B: sal de Mohr consumida en el blanco (ml)

P: peso de la muestra (g)

El factor 6,7 proviene del siguiente cálculo:

$$10 - \left(\frac{12}{4000} \right) \times \left(\frac{1,72}{0,77} \right) \times 100$$

Donde: **10**: ml de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 1N

12/4000: peso miliequivalente del C

1,72: factor de conversión de C a MO, suponiendo que ésta contiene 58% C (factor de Van Bemmelen)

0,77: factor de Walkley, el cual supone que sólo se valora el 77% de la materia orgánica presente

100: para expresar el resultado como porcentaje con respecto al suelo

Para obtener el %C a partir del %MO se multiplica por 0,58, por el supuesto anteriormente citado de que, como media general, la materia orgánica contiene 58% C.

Para la cuantificación de los microelementos (Fe, Cu, Mn y Zn) se utilizó la metodología de LAKANEN Y ERVIO (1967), cuyo procedimiento se detalla a continuación:

1. Se añaden 5 g de suelo en 50 ml de NH_4OAc y ácido tilendiaminotetraacético (EDTA) a pH 4,5 y se agita durante 1 hora, tiempo suficiente para que los microelementos pasen a la solución extractante.
2. Pasado este tiempo, se filtra la solución por papeles de filtro de tamaño de poro de 7–9 μm y se recoge la solución filtrada.

Los microelementos (Fe, Mg, Cu y Zn) se cuantifican en un espectrofotómetro de emisión de plasma (ICP) Perkin-Elmer modelo Optima 4300 DV. Los análisis se efectuaron sobre todos los tratamientos y ensayos, a excepción del ensayo 7, donde se analizaron 10 tratamientos de referencia de los 16 ensayados.

II.4. Análisis estadístico

En este trabajo el tratamiento estadístico de los datos consistió en un análisis de la varianza (ANOVA), un test clásico fundamental para trabajos experimentales frecuentemente utilizado en ecología (MARGALEF 1974). Este método estadístico se aplica a factores cuantitativos y pretende averiguar si las diferencias apreciadas entre varios grupos de muestras (o tratamientos) “pueden ser razonablemente atribuidas a simples fluctuaciones debidas al azar o si, por el contrario, son demasiado grandes para que esto sea cierto y traducen necesariamente divergencias reales y significativas” (LAMOTTE 1976). En consecuencia, el ANOVA permite conocer el grado de homogeneidad o heterogeneidad entre las variables comparadas y predecir si pertenecen o no a un mismo universo muestral. De esta manera, es posible analizar las fuentes de variación entre los distintos tratamientos estudiados.

La realización del ANOVA requiere que los datos se ajusten a una distribución normal y que presenten homogeneidad en sus varianzas. Una vez realizado el análisis, el valor de F (distribución de Fisher) permite discriminar, al nivel de significación elegido (p), entre la hipótesis nula ($H_0: \mu_1 = \mu_2$) y la hipótesis alternativa

(H_1 : las medias presentan diferencias estadísticamente significativas). Cuando en el análisis intervienen más de dos tratamientos, la hipótesis nula se formula como: $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n$ y la hipótesis alternativa se define entonces en estos términos: H_1 : al menos dos de las medias presentan diferencias estadísticamente significativas. En este caso debe efectuarse una prueba adicional de comparación de medias (también denominada test de separación de medias, de homogeneidad de medias o de rangos múltiples), que permita discriminar entre tratamientos que presentan o no diferencias estadísticamente significativas. En este trabajo se ha utilizado la prueba de Diferencia Honestamente Significativa (HSD) de Tukey. En los casos donde no hubo homogeneidad de varianzas se aplicó la prueba de Games-Howell. Se utilizó un nivel de confianza del 95%, es decir, que detecta diferencias entre los tratamientos con una significación de 0,05.

En los casos en los que no se cumplían los requisitos para realizar análisis de varianza el análisis estadístico se realizó mediante contrastes no paramétricos. En este trabajo se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis, y en los casos donde se encontraron diferencias significativas se aplicó la prueba de U de Mann-Whitney para determinar las diferencias estadísticas entre los tratamientos. La situación experimental que permite resolver la prueba de Kruskal Wallis es similar a la estudiada a propósito del análisis de varianza de un factor completamente aleatorizado. Las ventajas fundamentales de esta prueba frente al estadístico F del ANOVA son: 1) no necesita establecer supuestos sobre las poblaciones originales tan exigentes como los del estadístico F (normalidad, homocedasticidad), y 2) permite trabajar con datos ordinales. Al igual que las demás técnicas no paramétricas, ésta se apoya en el uso de los rangos asignados a las observaciones. Para este tipo de análisis se utilizó un nivel de confianza del 99%, es decir, que detecta diferencias entre los tratamientos con una significación de 0,01.

Para las variables de suelo se realizó además un Análisis de Componentes Principales (ACP), con la finalidad de determinar las variables con mayor peso o variabilidad en las componentes según los tratamientos estudiados (LINARES *et al.* 1986). El Análisis de Componentes Principales permite reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos y la obtención de representaciones gráficas bi- o tridimensionales

de las medidas numéricas de varias variables. De esta manera se pueden reconocer directamente, y con una pérdida de información mínima, relaciones que permanecían ocultas en dimensiones superiores.

Por medio del ACP se calcula, a partir de una matriz original de datos (n muestras \times p variables, $n > p$), un pequeño número de combinaciones lineales (ejes factoriales, factores o componentes), aprovechando las correlaciones entre las variables originales (información redundante), y recalculando un nuevo sistema de coordenadas para el conjunto original de muestras. Estos nuevos ejes de referencia (combinaciones lineales de las variables originales) son independientes, es decir, ya no están correlacionados entre sí, y los dos o tres primeros ejes calculados pueden llegar a explicar un alto valor del total de la varianza del sistema. Al representar las muestras en forma de diagrama de dispersión, utilizando los ejes o componentes calculados por este procedimiento, es posible agrupar muestras con características similares. Además, examinando los signos y valores de los factores de carga calculados para las variables originales sobre cada uno de los ejes, es posible saber las características que se encuentran más acentuadas en las muestras que se sitúan en las distintas zonas del espacio factorial y, en cierta forma, reconocer grupos de variables que aportan información en el mismo sentido.

Los análisis estadísticos se han realizado con los programas STATGRAPHICS Plus Versión 5.0 y SPSS para el entorno WINDOWS (versión estándar 13, SPSS Inc. 2004), a partir de matrices de datos elaboradas específicamente para ello.

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos al ensayar los diferentes residuos agroindustriales estudiados como materiales biodesinfectantes en los 7 ensayos realizados en condiciones de laboratorio. Para cada ensayo se muestran los resultados de los conteos de juveniles de *Meloidogyne incognita*, así como de la microfauna beneficiosa evaluada en el suelo: nematodos de vida libre (Rabdítidos y Doriláimidos), así como Enquitreidos. Por otra parte, se presentan los datos del índice de nodulación observado en las raíces de plantas de tomate cv “Marmande”, así como de los parámetro de crecimiento evaluados sobre las mismas y su contenido de nutrientes minerales. Estos análisis nutricionales sólo se realizaron sobre las plantas de los ensayos 1 (suelo proveniente de El Perelló, Valencia), 4 (suelo proveniente de El Campo de Cartagena, Murcia) y 7 (suelo proveniente de Marchamalo, Guadalajara). Por último, se muestran los resultados de la evaluación del efecto de los tratamientos de biodesinfección sobre la fertilidad del suelo.

III.1. Efecto de la biodesinfección en el ensayo 1

En el ensayo 1 se utilizó una muestra de suelo proveniente de El Perelló (Valencia). La biodesinfección en laboratorio se inició el 28-02-06 y finalizó el 28-03-06 (28 días). Se realizaron 10 tratamientos de biodesinfección, utilizando 7 materiales biodesinfectantes a diferentes dosis, determinando su efecto sobre las poblaciones de *Meloidogyne incognita*, la microfauna beneficiosa, el crecimiento e índice de nodulación en plantas de tomate y la fertilidad del suelo.

III.1.1. Efecto de la biodesinfección sobre las poblaciones de *M. incognita*

En la Tabla III.1 se muestra el efecto de la biodesinfección sobre *M. incognita* en el Ensayo 1. Se puede observar que todos los tratamientos mostraron diferencias estadísticamente significativas con el testigo en cuanto al número de J2 vivos de *Meloidogyne*, excepto el tratamiento con paja de caña 5 g. La mayor cantidad de individuos vivos (7,50 individuos en promedio) se presentó en el testigo. En cuanto al número de J2 muertos se encontraron diferencias significativas en la mayoría de los tratamientos con respecto al testigo.

Tabla III.1. Efecto de los materiales biodesinfectantes evaluados en el ensayo 1 sobre las poblaciones de J2 de *M. incognita*

No.	Tratamientos	J2 V* Media	Rango**	J2 M* Media	Rango**	% de Mortalidad
1	Testigo	7,5	42,5 a	0,0	2,5 b	0
2	Cascarilla de arroz 5 g	0,0	13,0 b	11,5	31,9 a	100
3	C. arroz 5 g + V. remolacha 3%	0,0	13,0 b	11,0	30,8 a	100
4	C. arroz 5 g + V. remolacha 5%	0,0	13,0 b	13,5	34,6 a	100
5	C. arroz 5 g + tabaco 5 g	1,0	27,5 b	7,0	16,5 ab	87,5
6	C. arroz 5 g + P. café 2,5 g	0,0	13,0 b	5,5	12,3 ab	100
7	P. caña 5 g + tabaco 5 g	0,0	13,0 b	10,0	24,3 a	100
8	P. caña 5 g + P. café 2,5 g	4,0	38,5 ab	9,0	23,6 ab	69,2
9	Gallinaza 2,5 g	0,0	13,0 b	11,0	27,9 a	100
10	C. arroz 5 g + gallinaza 2,5 g	2,0	33,0 b	10,5	24,8 a	84
11	Pulpa de café 2,5 g	1,5	28,0 b	7,5	18,5 ab	83,3

* J2 V: juveniles vivos de *M. incognita*; J2 M: juveniles muertos de *M. incognita*.

** Prueba realizada por Kruskal Wallis. Rangos con letras no comunes difieren por Mann Whitney a $p < 0,01$.

Con respecto al porcentaje de mortalidad de *M. incognita*, alcanzó el 100% en los tratamientos 2 (cascarilla de arroz 5 g), 3 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 3%), 4 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 5%), 6 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g), 7 (paja de caña 5 g + tabaco 5 g) y 9 (gallinaza 2,5 g). El tratamiento 5 (cascarilla de arroz 5 g + tabaco 5 g) mostró un porcentaje de mortalidad de 87,5%, y el tratamiento 10 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g) alcanzó el 84%. El tratamiento 8 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g) fue el que mostró el menor porcentaje de mortalidad de todos los tratamientos, con un valor de 69,2%, mientras que el testigo tuvo un 0% de mortalidad.

III.1.2. Efecto de la biodesinfección sobre la microfauna beneficiosa

La Tabla III.2 muestra la influencia de los diferentes tratamientos de biodesinfección sobre las poblaciones de Rabdítidos, Doriláimidos y Enquitreidos en el ensayo 1. Se puede observar que los tratamientos mostraron diferencias significativas con respecto al testigo y entre ellos en cuanto a la cantidad de Rabdítidos: la menor cantidad de estos individuos se mostró en el testigo y en los tratamientos 3 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 3%) y 4 (cascarilla de

arroz 5 g + vinaza de remolacha 5%) con 11,5, 14,5 y 11,0 individuos, respectivamente; sin diferencias entre ellos desde el punto de vista estadístico. La mayor cantidad de Rabdítidos (173,25-188,50 individuos como promedio) se observó en los tratamientos 7 (paja de caña 5 g + tabaco 5 g), 8 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g), y 10 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), los cuales no presentaron diferencias entre ellos desde el punto de vista estadístico, aunque la mayoría de los tratamientos en general dieron lugar a poblaciones elevadas de estos individuos.

Con respecto a la cantidad de Doriláimidos, aunque las poblaciones fueron bajas (0–21 individuos 100 cc⁻¹ suelo), la mayor cantidad de individuos se observó en los tratamientos 6 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g), 7 (paja de caña 5 g + tabaco 5 g), 8 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g) y 10 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g) con valores de 13,5–21, sin diferencias significativas entre ellos desde el punto de vista estadístico. El testigo no mostró diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos 2 (cascarilla de arroz 5 g), 3 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 3%) y 4 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 5%), donde la presencia del nematodo fue muy baja, como en el caso del tratamiento 2, o donde no se observaron ejemplares, como en los tratamientos 3 y 4.

Tabla III.2. Efecto de los biodesinfectantes evaluados en el ensayo 1 sobre la microfauna beneficiosa*

No.	Tratamientos	Rabdítidos	Doriláimidos**		Enquitreidos
			Media	Rango	
1	Testigo	11,50 f	0,50	8,88 c	8,50 e
2	Cascarilla de arroz 5 g	41,50 e	1,50	11,63 c	31,00 d
3	C. arroz 5 g + V. remolacha 3%	14,50 f	0,00	7,00 c	12,50 e
4	C. arroz 5 g + V. remolacha 5%	11,00 f	0,00	7,00 c	3,00 e
5	C. arroz 5 g + tabaco 5 g	132,00 b	7,50	24,38 bc	73,00 b
6	C. arroz 5 g + P. café 2,5 g	126,00 bc	16,50	34,63 ab	89,50 a
7	P. caña 5 g + tabaco 5 g	180,00 a	13,50	32,25 ab	78,00 ab
8	P. caña 5 g + P. café 2,5 g	188,50 a	16,00	34,88 ab	81,50 ab
9	Gallinaza 2,5 g	89,50 d	6,50	22,38 bc	39,50 cd
10	C. arroz 5 g + gallinaza 2,5 g	173,25 a	21,00	39,50 a	91,00 a
11	Pulpa de café 2,5 g	112,50 c	8,00	25,00 bc	52,25 c
	EE (x)***	± 5,14	-	-	± 4,40

* Medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey HSD a $p < 0,05$.

** Prueba realizada por Kruskal Wallis, Rangos con letras no comunes difieren por Mann Whitney a $p < 0,01$.

*** EE (X): Error estándar de las medias.

Con respecto a la cantidad de Enquitreidos, el efecto fue similar a lo observado con los Rabdítidos, puesto que, en general, se observaron diferencias significativas tanto entre los tratamientos como con el testigo. La mayor cantidad de estos individuos (78-91 en promedio) se observó en los tratamientos 6 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g), 7 (paja de caña 5 g + tabaco 5 g), 8 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g) y 10 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), que no mostraron diferencias entre ellos desde el punto de vista estadístico. Por otra parte, la menor cantidad de Enquitreidos se observó en el testigo y los tratamientos 3 y 4 (cascarilla de arroz + vinazas de remolacha), con valores de 8,50, 12,50 y 3,00, respectivamente, sin diferencias estadísticamente significativas entre ellos.

En general se observa una menor cantidad de microfauna beneficiosa en el testigo y en los tratamientos 3 y 4, correspondientes a las diferentes dosis de vinaza de remolacha combinada con cascarilla de arroz. La mayoría de los tratamientos evaluados en el ensayo 1 resultaron ser efectivos para reducir las poblaciones de *Meloidogyne* y dieron lugar a incrementos de la microfauna beneficiosa del suelo.

La Fig. III.1 resume el efecto de los diferentes tratamientos y el testigo sobre las poblaciones de *M. incognita* y la microfauna beneficiosa (Rabdítidos, Doriláimidos y Enquitreidos) en la muestra de suelo proveniente de El Perelló (Valencia).

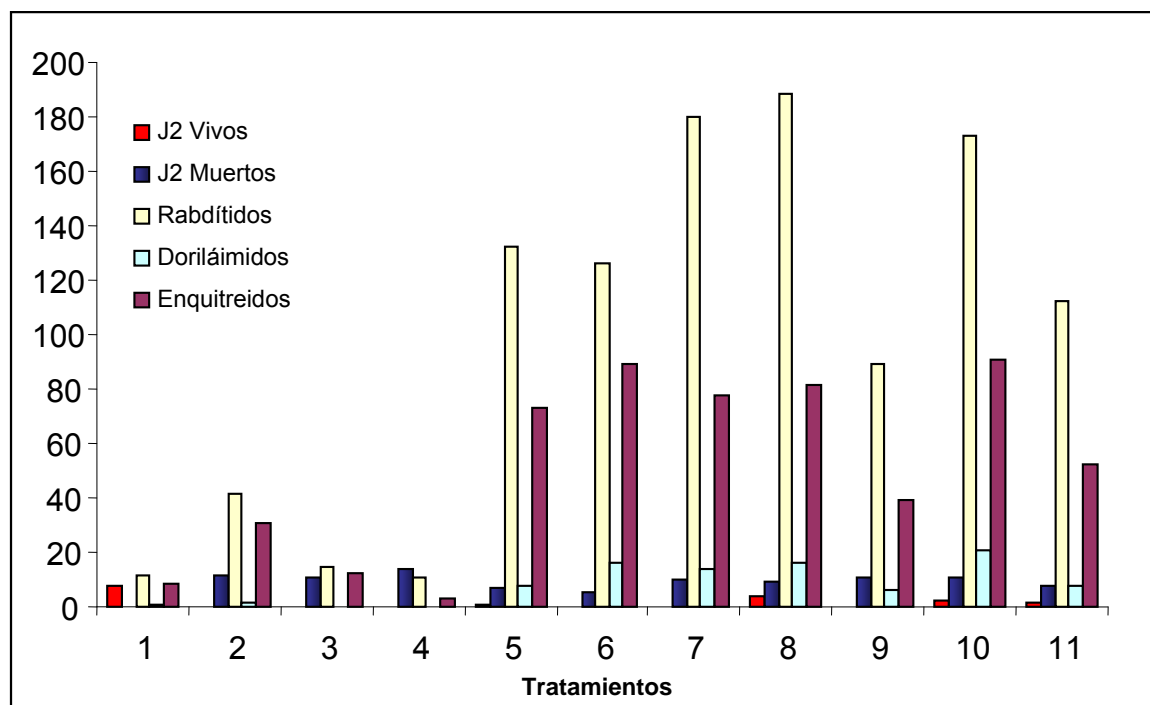


Figura III.1. Poblaciones de J2 de *M. incognita* y microfauna beneficiosa en los diferentes tratamientos y el testigo en el ensayo 1.

En esta figura se observa que la mayor cantidad de individuos correspondió a los Rabdítidos, seguidos de los Enquitreidos, con los mayores valores en los tratamientos 5–11, correspondientes a cascarilla de arroz con tabaco y café, paja de caña con tabaco y café, gallinaza sola y mezclada con cascarilla de arroz, y pulpa de café sola.

III.1.3. Efecto de la biodesinfección sobre el índice de nodulación en las raíces de plantas de tomate cv “Marmande”

El efecto de la biodesinfección sobre el índice de nodulación en las raíces se determinó en plantas de tomate cv “Marmande”, susceptibles a *Meloidogyne*, cultivadas en macetas en las cuales se habían colocado 250 g de suelo de cada tratamiento de biodesinfección, así como del testigo. Los resultados de este análisis mostraron que el testigo presentó el mayor índice de nodulación con un valor de 4 (según el índice de BRIDGE & PAGE 1980), mostrando diferencias significativas con la mayoría de los tratamientos evaluados (Tabla III.3), excepto con los tratamientos 2 (cascarilla de arroz 5 g), 7 (paja de caña 5 g + tabaco 5 g), 9 (gallinaza 2,5 g) y 11 (pulpa de café 2,5 g).

Tabla III. 3. Índices de nodulación en raíces de tomate cv “Marmande” en el ensayo 1

No.	TRATAMIENTOS	Media	Rango*
1	Testigo	4,0	41,50 a
2	Cascarilla de arroz 5 g	2,5	35,25 ab
3	Cascarilla de arroz 5 g + Vinaza de remolacha 3 %	0,0	6,50 d
4	Cascarilla de arroz 5 g + Vinaza de remolacha 5 %	0,0	6,50 d
5	Cascarilla de arroz 5 g + tabaco 5 g	1,0	20,13 bcd
6	Cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g	1,0	20,13 bcd
7	Paja de caña 5 g + tabaco 5 g	1,8	28,38 abc
8	Paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g	0,8	17,00 cd
9	Gallinaza 2,5 g	1,5	25,25 abc
10	Cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g	1,0	20,13 bcd
11	Pulpa de café 2,5 g	1,5	26,75 abc

* Medias de rangos con letras no comunes difieren por Kruskal Wallis y Mann Witney ($p < 0,01$).

La mayor reducción en los índices de nodulación se observó con los tratamientos 3 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 3%) y 4 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 5%), que presentaron índice cero. También se observó una disminución estadísticamente significativa del índice de nodulación con respecto al testigo con los tratamientos 5 (cascarilla de arroz 5 g + tabaco 5 g), 6 (cascarilla de

arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g), 8 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g) y 10 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), con valores promedio de 0,7–1,0.

III.1.4. Efecto de la biodesinfección en el crecimiento de las plantas de tomate cv “Marmande”

El efecto de los materiales biodesinfectantes utilizados sobre las plantas de un cultivo después de aplicar un tratamiento de biodesinfección se determinó sobre las siguientes características de las plantas de tomate cv “Marmande”: altura, peso total, peso del tallo, peso de la raíz y número de hojas (Tabla III.4). Los resultados muestran diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo para todas las características evaluadas.

Tabla III.4. Efecto de los tratamientos de biodesinfección sobre el crecimiento de las plantas de tomate cv “Marmande” en el ensayo 1*

No.	Tratamientos	Altura (cm)	Peso total (g)	Peso tallo (g)	Peso raíz (g)	No. hojas
1	Testigo	7,25 c	0,36 c	0,26 cd	0,09 bc	5,00 c
2	Cascarilla de arroz 5 g	7,25 c	0,37 c	0,28 c	0,09 bc	4,75 c
3	C. arroz 5 g + V. remolacha 3%	13,37a	0,79 a	0,66 a	0,13 ab	6,50 ab
4	C. arroz 5 g + V. remolacha 5%	12,25 a	0,78 a	0,66 a	0,12 abc	6,50 ab
5	C. arroz 5 g + tabaco 5 g	7,00 c	0,28 d	0,19 e	0,09 bc	5,75 abc
6	C. arroz 5 g + P. café 2,5 g	8,00 bc	0,39 bc	0,29 bc	0,11 abc	5,50 abc
7	P. caña 5 g + tabaco 5 g	9,25 b	0,45 b	0,35 b	0,10 bc	5,75 abc
8	P. caña 5 g + P. café 2,5 g	7,00 c	0,28 d	0,20 e	0,08c	5,00 c
9	Gallinaza 2,5 g	9,50 b	0,41 bc	0,32 bc	0,09c	5,50 abc
10	C. arroz 5 g + gallinaza 2,5 g	13,37a	0,82 a	0,68 a	0,14 a	6,75 a
11	Pulpa de café 2,5 g	6,75 c	0,28 d	0,20 de	0,08c	5,25 bc
	EE (x)**	± 0,52	± 0,02	± 0,02	± 0,01	± 0,38

* Medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey HSD a $p < 0,05$.

** EE (X): Error estándar de las medias.

En el caso de la altura se observa que los mayores valores (12,3–13,4 cm) se alcanzaron en los tratamientos 3 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 3%), 4 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 5%) y 10 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g). Estos tratamientos no mostraron diferencias estadísticas entre ellos pero sí con el testigo y el resto de los tratamientos. Los valores más bajos (6,8–7,0 cm) se alcanzaron en el testigo y en los tratamientos 2 (cascarilla de arroz 5 g), 5 (cascarilla de arroz 5 g + tabaco 5 g), 8 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g) y 11 (pulpa de café 2,5 g), los cuales no mostraron diferencias

estadísticas entre ellos pero sí con los demás tratamientos. Los tratamientos 6 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g), 7 (paja de caña 5 g + tabaco 5 g) y 9 (gallinaza 2,5 g) mostraron valores intermedios para este parámetro (8,0-9,5 cm), sin diferencias significativas ni con los tratamientos ni con el testigo.

El peso total y el peso del tallo se comportaron de manera similar a la altura, observándose los mayores pesos en las plantas correspondientes a los tratamientos 3 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 3%), 4 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 5%) y 10 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g). Por su parte, el peso de la raíz y el número de hojas, aunque mostraron una tendencia similar, presentaron menores diferencias entre los tratamientos y el testigo.

III.1.5. Efecto de la biodesinfección en el contenido de nutrientes en las plantas de tomate cv “Marmande”

El efecto de los tratamientos de biodesinfección sobre el contenido de nutrientes minerales en las plantas de tomate cv “Marmande” trasplantadas sobre el suelo tratado se estudió en 4 de los tratamientos del ensayo 1: testigo, cascarilla de arroz sola, y cascarilla de arroz con vinaza de remolacha a las dos dosis estudiadas (Tabla III.5). Se determinaron los contenidos de N, P, K, Ca, Mg, Na y MO. El escaso volumen de las muestras sólo permitió el análisis químico de las repeticiones agrupadas por tratamiento, por lo cual no fue posible el análisis estadístico de los datos.

Tabla III.5. Análisis químico de las plantas de tomate cv “Marmande” en el ensayo 1

No.	Tratamientos	N	MO	P	K	Ca	Mg	Na
		%				(mg kg ⁻¹)		
1	Testigo	1,05	81,5	2281	34026	12223	9773	6345
2	Cascarilla de arroz 5 g	1,43	81,0	4924	48855	29383	20207	4881
3	C. arroz 5 g + V. remolacha 3%	1,15	82,7	2428	28434	13796	9517	5952
4	C. arroz 5 g + V. remolacha 5%	1,23	82,7	2015	13194	9402	4597	1794

El valor más bajo de N (1,05%) se encontró en el testigo y el valor más alto (1,43%) en el tratamiento de cascarilla de arroz 5 g, el cual también mostró los contenidos más altos de P, K, Ca y Mg (4924, 48855, 29383, y 20207 mg kg⁻¹, respectivamente). Con respecto a la MO, los valores más altos se observaron en los tratamientos con vinaza de caña a las dos dosis estudiadas, con valores de 82,7% en ambos tratamientos. El contenido más alto de Na se encontró en el testigo (6345 mg kg⁻¹).

III.1.6. Efecto de la biodesinfección sobre la fertilidad del suelo

La fertilidad potencial de un suelo viene dada por el conjunto de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, y es uno de los factores determinantes para el crecimiento y desarrollo de las especies vegetales que soporta y viven a sus expensas (SERRANO *et al.* 2003). Al analizar el efecto de la biodesinfección sobre la fertilidad del suelo (Tabla III.6) se observó que los contenidos de N y P, así como la relación C/N, no mostraron diferencias estadísticamente significativas ni entre los tratamientos ni con el testigo.

En el caso del contenido de MO, se observaron diferencias significativas entre el testigo y los tratamientos 5 (cascarilla de arroz 5 g + tabaco 5 g), 6 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g) y 10 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), que fueron los que presentaron los valores más bajos para este parámetro (1,25-1,30%). El testigo no mostró diferencias estadísticamente significativas con el resto de los tratamientos.

En relación con el pH, el testigo mostró diferencias significativas con los tratamientos 3 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 3%), 4 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 5%) y 8 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g), no mostrando diferencias significativas con el resto de los tratamientos. El pH tiene importancia en la disponibilidad y absorción de nutrientes por parte de la planta, a la vez que juega un papel importante en la capacidad de intercambio catiónico y en la descomposición de la materia orgánica. En este ensayo el pH fluctuó en un rango entre 7,68–8,25, considerado como ligeramente alcalino.

En el caso de la CE, los mayores valores se observaron en los tratamientos 3 y 4, de cascarilla de arroz con vinaza de remolacha (400,5 y 535,5 μScm^{-1} , respectivamente), los cuales mostraron diferencias significativas entre sí, con el testigo, así como con el resto de los tratamientos.

El contenido de K en el suelo, por su parte, mostró diferencias estadísticamente significativas entre el testigo y los diferentes tratamientos. El tratamiento con mayor contenido de K fue el 4 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 5 %), seguido del tratamiento 3 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 3 %), con valores de 30,6 y 21,6 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente. Estos tratamientos mostraron diferencias significativas entre sí y con el resto de los tratamientos. Por otra parte, los menores contenidos de K (4,5 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) se encontraron en el testigo.

En el caso del Ca, el mayor contenido se observó en el tratamiento 7 (paja de caña 5 g + tabaco 5 g) con $273,5 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$, el cual no mostró diferencias significativas con los tratamientos 5 (cascarilla de arroz 5 g + tabaco 5 g), 6 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g), 8 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g), 9 (gallinaza 2,5 g) y 10 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), aunque sí con el testigo y con el resto de los tratamientos. El menor contenido de este elemento ($224,3 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) lo presentó el tratamiento 4 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 5%), sin diferencias significativas con el testigo.

Con respecto al Na, los mayores niveles se observaron en los tratamientos 4 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 5%) y 3 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 3%), con valores de $22,3$ y $15,1 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente. Ambos tratamientos mostraron diferencias significativas entre sí, con el resto de los tratamientos, y con el testigo.

Por su parte, los mayores niveles de Mg se observaron en los tratamientos 4 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 5%), 7 (paja de caña 5 g + tabaco 5 g) y 3 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 3%), con valores de $19,8$, $17,7$ y $17,0 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente. Estos tratamientos presentaron diferencias estadísticamente significativas con el testigo pero no entre sí, mientras que el resto de los tratamientos presentaron valores intermedios.

Con respecto al contenido de los diferentes microelementos (Fe, Mn, Zn y Cu), el menor contenido de Fe ($8,2 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) se observó en el testigo, que mostró diferencias significativas con los tratamientos 4 (cascarilla de arroz + vinaza de remolacha 5%), 7 (paja de caña 5 g + tabaco 5 g) y 8 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g), los cuales presentaron los mayores valores de este elemento, con $12,5$, $12,3$ y $12,6 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente. El testigo no mostró diferencias significativas con el resto de los tratamientos.

El Mn, por su parte, presentó el mayor contenido ($3,75 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) en el tratamiento 7 (paja de caña 5 g + tabaco 5 g), el cual no manifestó diferencias significativas con los tratamientos 3 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 3%), 4 (cascarilla de arroz + vinaza de remolacha 5%), 5 (cascarilla de arroz 5 g + tabaco 5 g), 6 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g) y 8 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g), pero sí con el testigo y el resto de los tratamientos.

Tabla III.6. Efecto de la biodesinfección sobre las propiedades químicas del suelo en el ensayo 1*

Tratamientos	%				pH	mg 100 g ⁻¹									
	N	MD	C	C/N		CE	P ₂ O ₅	K	Ca	Na	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
Testigo	0,09 a	1,46 ab	0,86 ab	10,07 a	7,68 d	211,0 cd	89,8 a	4,5 f	240,3 bed	4,4 c	15,2 c	8,2 c	3,27 bc	1,75 a	0,43 b
Cascoailla arroz 5 g	0,09 a	1,47 ab	0,86 ab	9,63 a	7,92 bed	189,8 d	82,5 a	6,4 e	241,0 bed	4,3 c	15,0 c	8,5 bc	3,17 c	1,53 abc	0,41 b
C. arroz 5 g + Vfn. rem. 3%	0,11 a	1,40 abc	0,81 abc	7,98 a	8,16 ab	400,5 b	78,3 a	2,1 b	233,3 cd	15,1 b	17,7 ab	11,7 abc	3,42 abc	1,62 ab	0,58 ab
C. arroz 5 g + Vfn. rem. 5%	0,09 a	1,50 a	0,87 a	9,43 a	8,25 a	535,3 a	98,0 a	30,6 a	224,3 d	22,3 a	19,8 a	12,5 a	3,60 ab	1,62 ab	0,57 ab
C. arroz 5 g + Tabaco 5 g	0,08 a	1,25 c	0,73 c	8,75 a	7,76 cd	226,5 c	79,8 a	9,4 c	249,0 abed	6,4 c	16,4 bc	11,1 abc	3,47 abc	1,38 bc	0,51 ab
C. arroz 5 g + P. café 2,5 g	0,08 a	1,29 bc	0,75 bc	9,15 a	7,87 cd	204,0 cd	86,0 a	8,5 cd	255,5 abc	5,1 c	16,4 bc	10,3 abc	3,47 abc	1,47 bc	0,49 ab
Paja caña 5 g + Tabaco 5 g	0,09 a	1,41 abc	0,82 abc	9,64 a	7,90 cd	227,8 c	91,3 a	9,2 c	273,5 a	5,5 c	17,8 ab	12,3 ab	3,75 a	1,48 bc	0,70 a
Paja caña 5 g + P. café 2,5 g	0,08 a	1,40 abc	0,81 abc	9,79 a	7,96 bc	226,3 c	82,0 a	9,3 c	260,8 abc	5,1 c	16,8 bc	12,6 a	3,40 abc	1,32 c	0,53 ab
Galina 2,5 g	0,09 a	1,36 abc	0,79 abc	9,06 a	7,90 cd	213,8 cd	90,8 a	6,7 e	256,5 abc	5,6 c	17,0 bc	8,5 bc	3,30 bc	1,42 bc	0,59 ab
C. arroz 5 g + Gallina 2,5 g	0,08 a	1,30 bc	0,76 bc	9,17 a	7,73 cd	222,3 cd	90,8 a	8,8 cd	247,3 abed	5,3 c	16,0 bc	8,9 abc	3,10 c	1,32 c	0,48 ab
Pulpa de café 2,5 g	0,08 a	1,34 abc	0,77 abc	10,17 a	7,93 bed	212,5 cd	95,0 a	7,0 de	263,5 ab	5,6 c	16,7 bc	10,2 abc	3,32 bc	1,38 bc	0,57 ab
EE (X) ^{**}	± 0,009	± 0,038	± 0,022	± 0,67	± 0,050	± 7,1	± 5,9	± 0,4	± 5,9	± 0,5	± 0,5	± 0,8	± 0,08	± 0,05	± 0,05

* Medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey HSD a p < 0,05.

** EE (X): Error estándar de las medias.

En el caso del Zn, el mayor contenido de este elemento se observó en el testigo (1,75 mg 100 g⁻¹), que no mostró diferencias significativas con los tratamientos 2, 3 y 4, correspondientes a cascarilla de arroz sola y combinada con vinaza de remolacha a las dos dosis ensayadas, pero sí con el resto de los tratamientos. En cuanto al Cu, el testigo sólo mostró diferencias significativas con el tratamiento 7 (paja de caña 5 g + tabaco 5 g), que fue el que presentó el mayor valor de este elemento, con 0,70 mg 100 g⁻¹.

III.1.7. Distribución de las variables de suelo y los tratamientos en función del Análisis de Componentes Principales

Las variables de suelo fueron sometidas a un Análisis de Componentes Principales (ACP) con el objetivo de evaluar cuáles de ellas contribuían más a la variabilidad total de acuerdo a los tratamientos aplicados en el proceso de biodesinfección. La Tabla III.7 muestran los resultados de este análisis, donde se observa que las primeras cuatro componentes explicaron el 80,98% de la variabilidad total, siendo las componentes 1 y 2 las que explican el mayor porcentaje de esa variabilidad (56,66%).

Tabla III.7. Valores propios de las componentes principales y correlaciones entre las variables y las componentes en el ensayo 1

Componentes principales		1	2	3	4
Valores propios		5,71	2,79	1,98	1,66
Contribución total		38,04	18,62	13,23	11,09
% Acumulado		38,04	56,66	69,89	80,98
Variables	K	0,92		-0,14	-0,31
	Na	0,92	-0,15	-0,12	-0,29
	CE	0,91	-0,18		-0,32
	Mg	0,82	0,36		
	pH	0,80	0,11		-0,16
	Fe	0,59	0,57	0,15	
	C	0,51	-0,50	0,44	0,48
	Ca	-0,31	0,77	0,27	0,33
	Cu	0,43	0,71	0,28	0,16
	Mn	0,54	0,58	0,31	0,13
	MO	0,49	-0,50	0,45	0,47
	Zn	0,42	-0,49	0,22	0,33
	CN	-0,24	-0,15	0,82	-0,35
	P₂O₅		-0,18	0,44	-0,36
	N	0,46		-0,59	0,60

En la primera componente las variables de mayor contribución fueron el K, Na, CE, Mg, y pH, mientras que las variables de mayor contribución en la segunda componente fueron Ca y Cu (en negrita en la Tabla II.7). El criterio seguido fue considerar como variables relevantes a las que presentaron un valor $\geq 0,60$ en la componente.

Por su parte, en la Fig. III.2 se representa la distribución de las variables de suelo de acuerdo al peso que tuvieron en las componentes 1 y 2. En el lado derecho de la componente 1 se observan las variables de suelo que más variabilidad aportaron a esa componente, mientras que en la parte superior de la componente 2 se encuentran las variables de suelo que más contribuyeron a la variabilidad total de la misma.

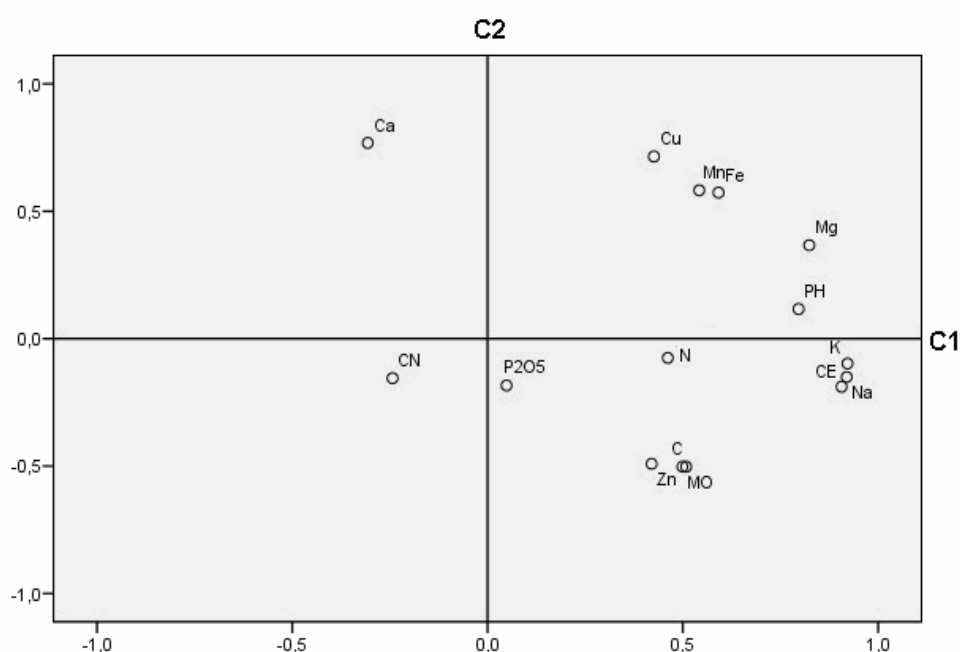


Figura III.2. Distribución de las variables de suelo de acuerdo al ACP en el ensayo 1.

A partir de los resultados obtenidos con las variables de suelo se realizó la representación gráfica sobre dos ejes de los tratamientos de biodesinfección del ensayo 1 (Fig. III.3), que muestra cuáles tratamientos contribuyeron más a la variabilidad total en este ensayo, en función de las variables de suelo estudiadas. Al lado derecho de la componente 1 aparecen los tratamientos 3 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 3%) y 4 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 5%), indicando que estos tratamientos fueron los que tuvieron mayor contribución sobre la variabilidad total de las variables de suelo bajo estudio (representadas en la Fig. III.2).

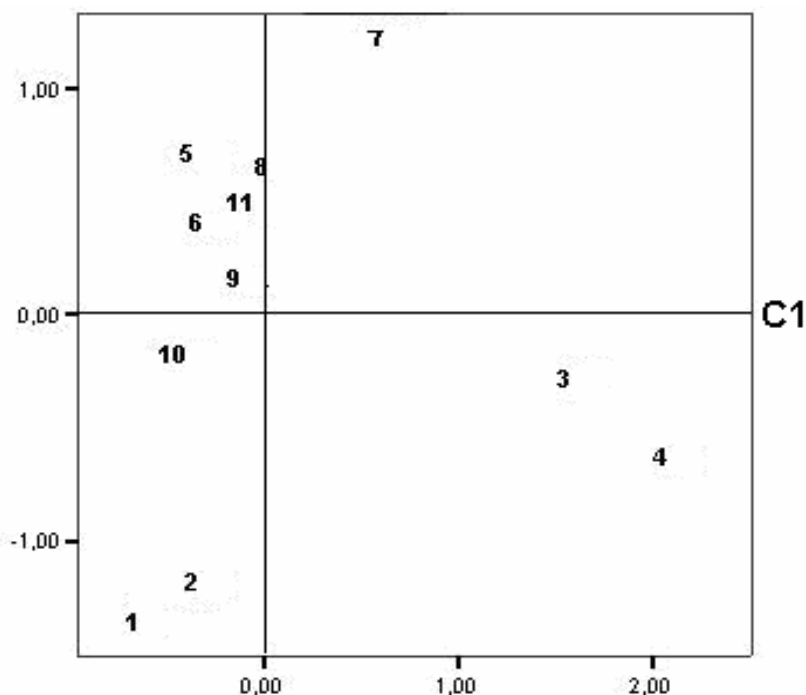


Figura III.3. Distribución de los tratamientos de acuerdo al ACP en el ensayo 1. 1: testigo, 2: cascarilla de arroz 5 g, 3: cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 3%, 4: cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 5%, 6: cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g, 7: paja de caña 5 g + tabaco 5 g, 8: paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g, 9: gallinaza 2,5 g, 10: cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g, 11: pulpa de café 2,5 g.

Este resultado se corresponde con los resultados obtenidos mediante el análisis de varianza (Tabla III.6). Sobre la componente 2 el tratamiento 7 (paja de caña 5 g + tabaco 5 g) destaca como el de mayor contribución a la variabilidad total de las variables de suelo que presentaron mayor peso sobre dicha componente.

III.2. Efecto de la biodesinfección en el ensayo 2

El ensayo 2 se realizó sobre suelo procedente de Villa del Prado (Madrid), en el cual se realizaron 10 tratamientos de biodesinfección y un testigo, con cuatro réplicas cada uno. La biodesinfección se inició el 7-04-06 y finalizó el 1-05-06 (24 días), se determinó su efecto sobre las poblaciones de *Meloidogyne incognita*, la microfauna beneficiosa, el crecimiento e índice de nodulación en plantas de tomate y la fertilidad del suelo.

III.2.1. Efecto de la biodesinfección sobre las poblaciones de *M. incognita*

Al determinar el efecto de la biodesinfección sobre los J2 de *M. incognita*, el análisis estadístico mostró que el testigo presentaba diferencias significativas con todos los tratamientos con respecto a la presencia de J2 vivos (Tabla III.8), puesto que todos presentaron 100% de mortalidad. En cuanto a los J2 muertos, el testigo mostró diferencias significativas con todos los tratamientos excepto con el 3 (cascarilla de arroz 10 g).

Tabla III.8. Efecto de los materiales biodesinfectantes evaluados en el ensayo 2 sobre las poblaciones de *M. incognita*

No.	Tratamientos	J2 V* Media	Rango**	J2 M* Media	Rango**	% de Mortalidad
1	Testigo	17,00	38,50 a	9,50	2,75 d	35,8
2	Cascarilla de arroz 5 g	0,00	18,50 b	22,00	25,63 b	100
3	Cascarilla de arroz 10 g	0,00	18,50 b	11,50	6,25 d	100
4	C. arroz 5 g + P. café 2,5 g	0,00	18,50 b	23,00	29,50 ab	100
5	C. arroz 5 g + gallinaza 2,5 g	0,00	18,50 b	17,00	10,50 c	100
6	Paja de caña 5 g	0,00	18,50 b	26,50	36,88 a	100
7	Paja de caña 10 g	0,00	18,50 b	20,50	19,75 bc	100
8	P. caña 5 g + P. café 2,5 g	0,00	18,50 b	22,50	26,88 ab	100
9	Pulpa de café 5 g	0,00	18,50 b	21,00	20,88 bc	100
10	Pulpa de café 2,5 g	0,00	18,50 b	22,50	26,88 ab	100

* J2 V: juveniles vivos de *M. incognita*; J2 M: juveniles muertos de *M. incognita*.

** Prueba realizada por Kruskal Wallis. Rangos con letras no comunes difieren por Mann Whitney a $p < 0,01$.

III.2.2. Efecto de la biodesinfección sobre la microfauna beneficiosa

Se evaluó la cantidad de individuos de otros grupos de nematodos de importancia (Rabdítidos y Doriláimidos) y de organismos de interés, como los Enquitreidos. En la Tabla III.9 se muestra el efecto de los diferentes tratamientos de biodesinfección sobre los Rabdítidos, Doriláimidos y Enquitreidos en el ensayo 2. Con respecto a la cantidad de Rabdítidos, el testigo mostró diferencias estadísticamente significativas con todos los tratamientos. Las mayores poblaciones de Rabdítidos se encontraron en los tratamientos 5 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), 6 (paja de caña 5 g), 7 (paja de caña 10 g) y 8 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g), con valores promedio de 113,5–119,5 individuos, los cuales no mostraron diferencias estadísticas entre ellos. Las poblaciones más bajas se observaron en el testigo, con 30,5 individuos. Con respecto a los Doriláimidos, las poblaciones fueron muy bajas tanto en los tratamientos como en el testigo, sin diferencias estadísticamente significativas entre los mismos.

En cuanto a la presencia de Enquitreidos, el testigo mostró diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos 3 (cascarilla de arroz 10 g), 4 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g), 5 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), 7 (paja de caña 10 g), 8 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g) y 10 (pulpa de café 2,5 g). La mayor cantidad de Enquitreidos se encontró en el tratamiento 7 (paja de caña 10 g), con 47,3 individuos, mientras que las poblaciones más bajas se observaron en el testigo (3,8 individuos).

Tabla III.9. Efecto de los biodesinfectantes evaluados en el ensayo 2 sobre la microfauna beneficiosa

No.	Tratamientos	Rabdítidos*	Doriláimidos** Media	Rango*	Enquitreidos*
1	Testigo	30,5 e	0,5	23,38 a	3,8 d
2	Cascarilla de arroz 5 g	63,5 cd	0,0	18,50 a	18,0 cd
3	Cascarilla de arroz 10 g	53,8 d	0,5	23,38 a	24,5 bc
4	C. arroz 5 g + P. café 2,5 g	84,5 bc	0,0	18,50 a	38,0 ab
5	C. arroz 5 g + gallinaza 2,5 g	113,5 a	0,0	18,50 a	30,5 abc
6	Paja de caña 5 g	119,5 a	0,0	18,50 a	17,5 cd
7	Paja de caña 10 g	119,5 a	1,0	23,88 a	47,3 a
8	P. caña 5 g + P. café 2,5 g	100,5 ab	0,0	18,50 a	33,5 abc
9	Pulpa de café 5 g	59,5 d	0,0	18,50 a	16,0 cd
10	Pulpa de café 2,5 g	82,0 bc	0,5	23,38 a	24,0 bc
	EE (x)***	± 6,47	-	-	± 5,20

* Medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey HSD a $p < 0,05$.

** Prueba realizada por Kruskal Wallis, Rangos con letras no comunes difieren por Mann Whitney a $p < 0,01$.

*** EE (X): Error estándar de las medias.

Los resultados de los recuentos de *M. incognita* y de la microfauna beneficiosa en el ensayo 2 se representan en la Fig. III.4, donde se observa gran número de Rabdítidos y Enquitreidos, aunque estos últimos se encontraron en menor cantidad que los primeros.

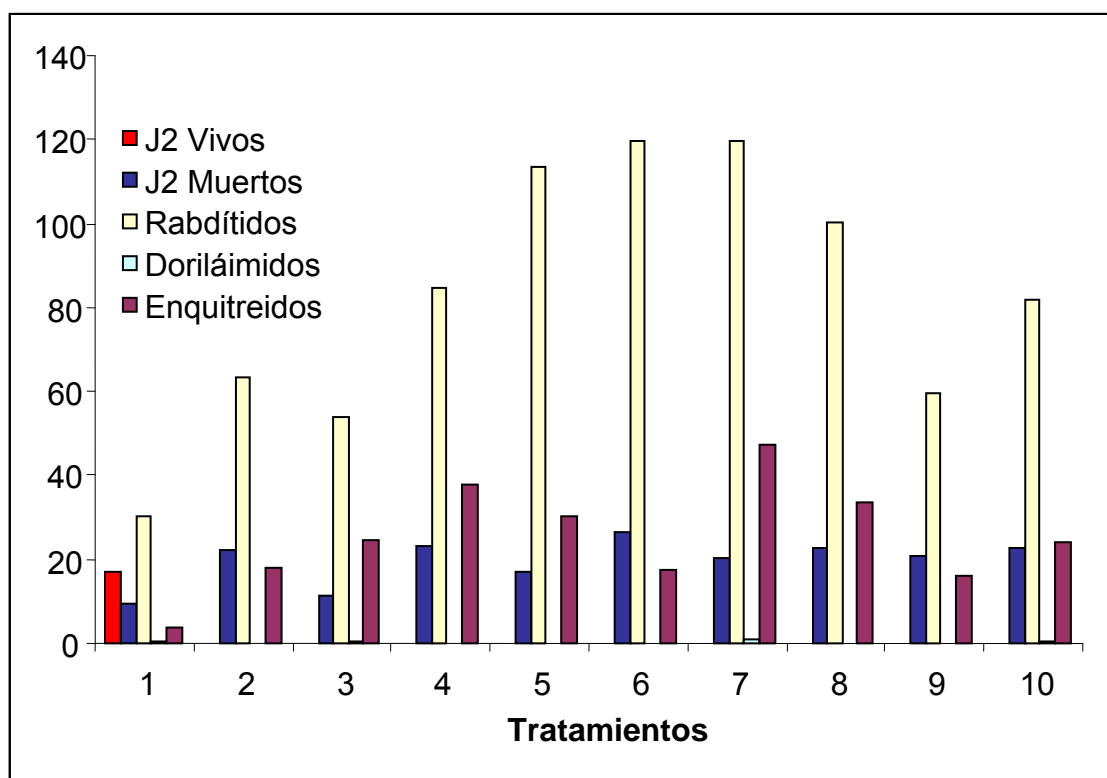


Figura III.4. Poblaciones de J2 de *M. incognita* y microfauna beneficiosa en los diferentes tratamientos y el testigo del ensayo 2.

III.2.3. Efecto de la biodesinfección sobre el índice de nodulación en las raíces de plantas de tomate cv “Marmande”

El índice de nodulación en raíces se determinó sobre plantas de tomate cv “Marmande” susceptibles a *Meloidogyne* cultivadas en macetas que contenían 250 g de suelo de los diferentes tratamientos realizados y del testigo después de la biodesinfección. Los resultados mostraron diferencias significativas entre el testigo, que presentó el mayor índice de nodulación (1,75), y todos los tratamientos (Tabla III.10), los cuales no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre sí.

El índice de nodulación fue en general bajo, particularmente en los tratamientos 4 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g), 5 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), 7 (paja de caña 10 g), 8 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g), 9 (pulpa de café 5 g) y 10 (pulpa de café 2,5 g), en los cuales este valor fue cero.

Tabla III.10. Índices de nodulación en raíces de tomate cv “Marmande” en el ensayo 2

No.	Tratamientos	Media	Rango*
1	Testigo	1,75	37,50 a
2	Cascarilla de arroz 5 g	0,50	26,00 b
3	Cascarilla de arroz 10 g	0,25	21,25 b
4	Cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g	0,00	16,50 b
5	Cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g	0,00	16,50 b
6	Paja de caña 5 g	0,25	21,25 b
7	Paja de caña 10 g	0,00	16,50 b
8	Paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g	0,00	16,50 b
9	Pulpa de café 5 g	0,00	16,50 b
10	Pulpa de café 2,5 g	0,00	16,50 b

* Medias de rangos con letras no comunes difieren por Kruskal Wallis y Mann Witney ($p < 0,01$).

III.2.4. Efecto de la biodesinfección en el crecimiento de plantas de tomate cv “Marmande”

El estudio del efecto de los diferentes tratamientos de biodesinfección y el testigo sobre el crecimiento de las plantas de tomate en el ensayo 2 mostró que, con respecto a la altura (Tabla III.11), el testigo presentó el menor valor, con 9,25 cm, mostrando diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos 6 (paja de caña 5 g), 7 (paja de caña 10 g), 9 (pulpa de café 5 g) y 10 (pulpa de café 2,5 g). Estos cuatro tratamientos presentaron las mayores alturas de plantas, con valores entre 11,50–12,85 cm.

En cuanto al peso total, el testigo mostró diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos 4 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g), 5 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), 6 (paja de caña 5 g), 7 (paja de caña 10 g), 8 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g), 9 (pulpa de café 5 g) y 10 (pulpa de café 2,5 g), pero no con los tratamientos 2 (cascarilla de arroz 5 g) y 3 (cascarilla de arroz 10 g). El mayor peso se encontró en el tratamiento 10 (pulpa de café 2,5 g), con 1,64 g, mientras que el menor valor lo presentó el testigo, con 0,36 g.

Con respecto al peso del tallo, el testigo mostró diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos 5 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), 7 (paja de caña 10 g), 8 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g), 9 (pulpa de café 5 g) y 10 (pulpa de café 2,5 g), no mostrando diferencias significativas con el resto de los tratamientos. Los mayores valores de peso de tallo se observaron en los tratamientos 7, 9 y 10, con 1,06, 1,09 y 1,38 g respectivamente, mientras que los menores valores se encontraron en el testigo y en los tratamientos 2 (cascarilla de arroz 5 g) y 3 (cascarilla de arroz 10 g), con 0,28, 0,34 y 0,35 g respectivamente.

En el caso del peso de la raíz, el testigo y el tratamiento 2 (cascarilla de arroz 5 g) presentaron los menores valores (0,08 g en ambos casos), mostrando diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos 7 (paja de caña 10 g), 9 (pulpa de café 2,5 g) y 10 (pulpa de café 2,5 g), que presentaron los pesos más altos (0,18–0,27 g), pero no con el resto de los tratamientos.

Tabla III.11. Efecto de los tratamientos de biodesinfección sobre el crecimiento de las plantas de tomate cv "Marmande" en el ensayo 2

No.	Tratamientos	Altura (cm)	Peso Total	EE(x)	Peso Tallo	EE(x)	Peso Raíz	EE(x)	No. Hojas
			(g)***		(g)***		(g)***		
1	Testigo	9,25 c	0,36 e	± 0,02	0,28 d	± 0,01	0,08 d	± 0,01	5,25 b
2	Cascarilla de arroz 5 g	9,75 bc	0,42 de	± 0,02	0,34 d	± 0,02	0,08 d	± 0,01	6,75 ab
3	Cascarilla de arroz 10 g	10,25 bc	0,44 de	± 0,03	0,35 d	± 0,02	0,09 d	± 0,01	6,75 ab
4	C. arroz 5 g + P. café 2,5 g	9,75 bc	0,71 d	± 0,02	0,59 cd	± 0,02	0,11 cd	± 0,02	6,25 ab
5	C. arroz 5 g + gallinaza 2,5 g	11,00 abc	1,00 bc	± 0,03	0,87 bc	± 0,03	0,13 bcd	± 0,01	6,75 ab
6	Paja de caña 5 g	11,50 ab	0,67 d	± 0,03	0,58 cd	± 0,03	0,09 d	± 0,03	6,75 ab
7	Paja de caña 10 g	12,37 a	1,24 b	± 0,04	1,06 ab	± 0,09	0,27 ab	± 0,01	7,75 a
8	P. Caña 5 g + P. café 2,5 g	11,25 abc	1,05 b	± 0,03	0,94 bc	± 0,08	0,11 cd	± 0,03	7,25 a
9	Pulpa de café 5 g	12,75 a	1,27 b	± 0,18	1,09 ab	± 0,16	0,18 bc	± 0,02	6,25 ab
10	Pulpa de café 2,5 g	12,85 a	1,64 a	± 0,03	1,38 a	± 0,15	0,27 a	± 0,02	7,25 a
	EE (x)	± 0,59	-	-	-	-	-	-	± 0,57

* Medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey HSD a $p < 0,05$.

** EE (X): Error estándar de las medias.

*** Prueba realizada por Games Howell.

Con respecto al número de hojas, el testigo presentó el valor más bajo (5,25 hojas), mostrando diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos 7 (paja de caña 10 g), 8 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g) y 10 (pulpa de café 2,5 g). Estos tratamientos presentaron el mayor número de hojas (7,25), sin diferencias estadísticamente significativas entre sí.

III.2.5. Efecto de la biodesinfección sobre la fertilidad del suelo

La evaluación del efecto de los tratamientos de biodesinfección sobre la fertilidad del suelo en el ensayo 2 mostró que la mayoría de los parámetros evaluados presentaban diferencias significativas con respecto al testigo (Tabla III.12). En el caso del N y la relación C/N no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ni entre los tratamientos ni entre éstos y el testigo.

El contenido de MO mostró diferencias estadísticamente significativas entre el testigo y el tratamiento 7 (paja de caña 10 g), el cual presentó el valor más elevado (4,58% vs 4,00% en el testigo). Este tratamiento mostró diferencias significativas con el resto de los tratamientos, excepto con el 2 (cascarilla de arroz 5 g). De igual manera, el contenido de C sólo mostró diferencias significativas entre el testigo y el tratamiento 7 (paja de caña 10 g), el cual presentó el mayor valor de este elemento (2,65% vs 2,32% en el testigo).

En el caso del pH, el testigo mostró diferencias estadísticamente significativas con la mayoría de los tratamientos, a excepción de los tratamientos 2 (cascarilla de arroz 5 g) y 3 (cascarilla de arroz 10 g). En este análisis el pH fluctuó entre 6,21–6,98, considerado como ligeramente ácido a neutro.

La CE mostró un patrón similar, puesto que la mayoría de los tratamientos presentaron diferencias estadísticamente significativas con el testigo, excepto los tratamientos 2 (cascarilla de arroz 5 g) y 3 (cascarilla de arroz 10 g). El mayor valor se observó en el testigo ($748 \mu\text{S cm}^{-1}$)

En cuanto al contenido de P_2O_5 , los mayores valores se observaron en los tratamientos 3 (cascarilla de arroz 10 g) y 5 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), con 105 y 102, 5 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ respectivamente. Estos tratamientos no presentaron diferencias significativas entre sí, ni con los tratamientos 2 (cascarilla de arroz 5 g) y 10 (pulpa de café 2,5 g), ni con el testigo.

Tabla III.12. Efecto de la biodesinfección sobre las propiedades químicas del suelo en el ensayo 2*

TRATAMIENTOS	%				pH	CE µScm ⁻¹	mg 100g ⁻¹								
	N	MO	C	C/N			P ₂ O ₅	K	Ca	Na	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
Testigo	0,273 a	4,002b	2,322 b	8,50 a	6,217 d	748,0 a	97,5 abc	77,7 c	153,2 c	16,0 a	23,2 b	32,0 c	12,17 c	1,39 c	1,42 b
Cascarilla de arroz 5 g	0,304 a	4,285 ab	2,490 ab	8,28 a	6,487 bcd	646,2 ab	96,2 abc	88,7 abc	203,7 ab	15,2 ab	28,5 ab	68,9 ab	13,37 ab	1,62 ab	1,86 a
Cascarilla de arroz 10 g	0,263 a	4,192 b	2,435 b	9,76 a	6,370 cd	607,2 ab	105,0 a	88,0 abc	193,5 b	14,0 b	27,2 ab	63,9 ab	14,17 a	1,62 ab	1,78 a
C. arroz 5 g + P. café 2.5 g	0,261 a	4,170 b	2,422 b	9,29 a	6,667 abc	548,5 bcd	91,2 bc	91,0 abc	198,7 ab	14,5 ab	28,0 ab	72,4 ab	12,90 bc	1,56 ab	1,80 a
C. arroz 5 g + Gallinaza 2.5 g	0,275 a	4,180 b	2,425 b	8,81 a	6,722 ab	515,0 bcd	102,5 ab	92,2 ab	212,5 ab	15,2 ab	29,0 ab	66,4 ab	13,12 abc	1,67 a	1,80 a
Paja de caña 5 g	0,277 a	4,217 b	2,447 ab	8,84 a	6,755 ab	463,2 cd	88,7 c	86,7 abc	204,0 ab	15,2 ab	29,0 ab	73,8 ab	12,62 bc	1,55 ab	1,81 a
Paja de caña 10 g	0,281 a	4,575 a	2,650 a	9,44 a	6,777 ab	570,0 bcd	85,0 c	97,2 a	225,5 a	16,0 a	32,2 a	78,6 a	12,70 bc	1,55 ab	1,84 a
P. caña 5g + P. café 2.5 g	0,287 a	4,150 b	2,415 b	8,44 a	6,767 ab	509,2 bcd	85,0 c	84,7 abc	192,2 b	13,7 b	27,2 ab	74,7 ab	12,60 bc	1,59 ab	1,89 a
Pulpa de café 5 g	0,267 a	4,177 b	2,430 b	9,11 a	6,982 a	440,0 d	84,5 c	92,0 ab	203,7 ab	14,2 b	28,2 ab	74,9 ab	12,35 bc	1,51 bc	1,85 a
Pulpa de café 2.5 g	0,268 a	4,175 b	2,427 b	9,08 a	6,817 bc	596,5 bc	93,7 abc	81,5 abc	196,2 ab	13,7 b	26,5 ab	68,2 b	12,22 c	1,52 b	1,74 a
EE (X)	±0,011	±0,073	±0,042	±0,41	±0,067	±30,0	±2,7	±2,8	±6,6	±0,5	±1,3	±4,0	±0,24	±0,03	±0,04

* Medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey HSD a p < 0,05.

** EE (X): Error estándar de las medias.

En el caso del K, el menor valor lo presentó el testigo ($77,7 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$), el cual mostró diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos 5 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), 7 (paja de caña 10 g) y 9 (pulpa de café 5 g). El mayor contenido de K ($97,2 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) se observó en el tratamiento 7 (paja de caña 10 g).

En cuanto al contenido de Ca, el testigo presentó el valor más bajo ($153,2 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$), mostrando diferencias estadísticamente significativas con todos los tratamientos. El mayor nivel de Ca ($225,5 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) se observó en el tratamiento 7 (paja de caña 10 g), que no mostró diferencias significativas con los tratamientos 2 (cascarilla de arroz 5 g), 4 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g), 5 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), 6 (paja de caña 5 g), 9 (pulpa de café 5 g) y 10 (pulpa de café 2,5 g). El tratamiento 7 (paja de caña 10 g) también presentó el mayor contenido de Mg ($32,2 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$), sin diferencias estadísticamente significativas con el resto de los tratamientos, pero sí con el testigo, que presentó el valor más bajo ($23,2 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$).

Con respecto al Na, los contenidos más altos se encontraron en el tratamiento 7 (paja de caña 10 g) y en el testigo ($16 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ en ambos casos), los cuales no mostraron diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos 2 (cascarilla de arroz 5 g), 4 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g), 5 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g) y 6 (paja de caña 5 g). Los tratamientos 3 (cascarilla de arroz 10 g), 8 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g), 9 (pulpa de café 5 g) y 10 (pulpa de café 2,5 g) presentaron contenidos de Na significativamente más bajos ($13,7\text{--}14,2 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) que el testigo y el tratamiento 7.

En cuanto a los microelementos evaluados (Fe, Mn, Zn y Cu), en todos los casos los valores más bajos se observaron en el testigo. En el caso del Fe, el testigo mostró diferencias significativas con todos los tratamientos y el mayor valor se observó en el tratamiento 7 (paja de caña 10 g), que sólo mostró diferencias significativas con el tratamiento 10 (pulpa de café 2,5 g). En cuanto al Mn, el testigo mostró diferencias significativas con los tratamientos 2 (cascarilla de arroz 5 g) y 3 (cascarilla de arroz 10 g), pero no con los restantes. El mayor contenido de Mn se encontró en el tratamiento 3 (cascarilla de arroz 10 g). En el caso del Zn, el testigo presentó diferencias significativas con la mayoría de los tratamientos, excepto con el 9 (pulpa de café 5 g). El mayor valor se observó en el tratamiento 5 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), el cual sólo mostró diferencias significativas con los tratamientos 9 y 10, de pulpa de café sola a las dos dosis ensayadas, y con el testigo ($1,51$, $1,52$ y $1,39 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente). Con respecto al contenido de Cu, el testigo presentó el menor valor ($1,42 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$), mostrando diferencias estadísticamente significativas con todos los tratamientos.

III.2.6. Distribución de las variables de suelo y los tratamientos en función del Análisis de Componentes Principales

La Tabla III.13 muestra el Análisis de Componentes Principales del ensayo 2, donde se observa que las variables que más contribuyeron a la variabilidad total en la componente 1 fueron Fe, Cu, Ca, K, Mg, pH, C, MO, Zn y CE. Por su parte, las variables que más contribuyeron a la variabilidad total en la componente 2 fueron Na y N. La componente 1 y 2 explican el mayor porcentaje de la variabilidad total (58,65%), mientras que las primeras cuatro componentes explican un 84,06% de la misma.

Tabla III.13. Valores propios de las componentes principales y correlaciones entre las variables y las componentes en el ensayo 2

Componentes principales		1	2	3	4
Valores propios		5,60	3,19	2,25	1,56
Contribución total		37,36	21,29	15,03	10,38
% Acumulado		37,36	58,65	73,68	84,06
Variables	Fe	0,87	-0,36		-0,17
	Cu	0,85	-0,32	0,15	-0,29
	Ca	0,81	0,35	-0,16	
	K	0,71	0,49	-0,19	0,12
	Mg	0,71	0,43	-0,26	0,12
	pH	0,69	-0,49	-0,43	-0,10
	C	0,68	0,37	0,22	0,33
	MO	0,67	0,38	0,22	0,34
	Zn	0,64		0,56	-0,41
	CE	-0,63	0,58	0,24	0,11
	Na		0,79	-0,29	0,23
	N		0,66	-0,28	-0,59
	Mn	0,25	0,11	0,88	-0,21
	P₂O₅	-0,33	0,52	0,57	-0,17
	CN	0,25	-0,45	0,42	0,72

La distribución de las variables de suelo en las componentes 1 y 2 se representa en la Fig. III.5., donde a la derecha de la componente 1 se observan aquellas variables que más contribuyeron a la variabilidad total de dicha componente, mientras que las variables con mayor peso sobre la componente 2 aparecen en la parte superior de la figura.

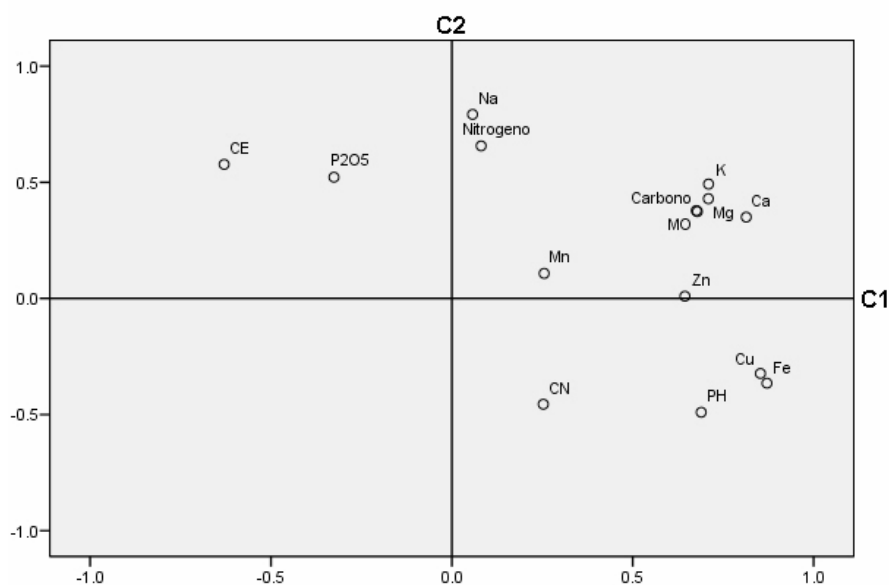


Figura III.5. Distribución de las variables de suelo de acuerdo al ACP en el ensayo 2.

A partir de los resultados obtenidos con las variables de suelo se realizó la representación gráfica de los tratamientos (Fig. III.6), donde se observa cuáles de ellos contribuyeron más a la variabilidad total en este ensayo.

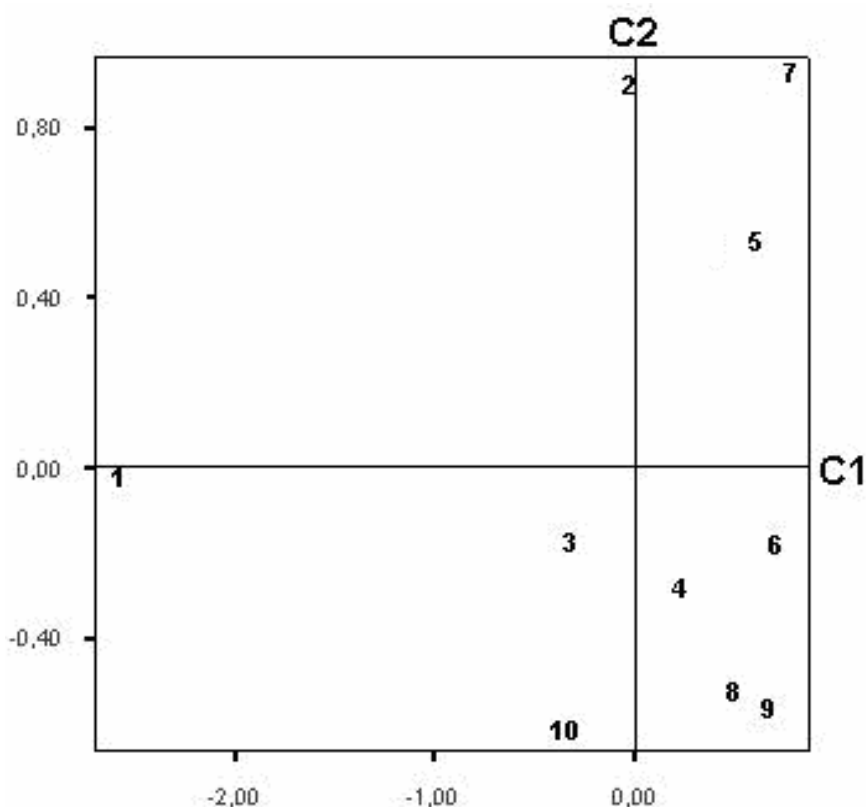


Figura III.6. Distribución de los tratamientos de acuerdo al ACP en el ensayo 2. 1: testigo, 2: cascarilla de arroz 5 g, 3: cascarilla de arroz 10 g, 4: cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g, 5: cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g, 6: paja de caña 5 g, 7: paja de caña 10 g, 8: paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g, 9: pulpa de café 5 g, 10: pulpa de café 2,5 g.

En el lado derecho de la componente 1 aparecen los tratamientos 7 (paja de caña 10 g), 6 (paja de caña 5 g), 9 (pulpa de café 5 g) y 5 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), indicando que estos tratamientos fueron los que más contribuyeron a la variabilidad total de las variables de suelo estudiadas (representadas en la Fig. III.5). Por otra parte, los tratamientos que más contribuyeron a la variabilidad total de las variables de suelo con mayor peso sobre la componente 2 fueron los tratamientos 7 (paja de caña 10 g) y 2 (cascarilla de arroz 5 g).

III.3. Efecto de la biodesinfección en el ensayo 3

El ensayo 3 se realizó sobre una muestra de suelo proveniente de Villa del Prado (Madrid), en el cual el tratamiento de biodesinfección se inició el día 20-04-06 y finalizó el día 11-05-06 (21 días). Se ensayaron un total de cinco tratamientos y un testigo, con cuatro réplicas cada uno, estudiando su efecto sobre las poblaciones de *Meloidogyne incognita*, la microfauna beneficiosa, el crecimiento e índice de nodulación en plantas de tomate y la fertilidad del suelo.

III.3.1. Efecto de la biodesinfección sobre las poblaciones de *M. incognita*

Los resultados de los recuentos de nematodos formadores de nódulos mostraron que se encontraban en poblaciones bajas, con 1,5 individuos vivos en el testigo, el cual no presentó diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos, en los cuales no se encontraron individuos vivos de *M. incognita* (Tabla III.14). Del mismo modo, tampoco se encontraron diferencias significativas en la cantidad de individuos muertos entre los tratamientos y el testigo.

Tabla III.14. Efecto de los materiales biodesinfectantes evaluados en el ensayo 3 sobre las poblaciones de *M. incognita*

No.	Tratamientos	J2 V* Media	Rango**	J2 M* Media	Rango**	% de Mortalidad
1	Testigo	1,5	17,5 a	0,00	10,0 a	0
2	C. arroz 5 g + tabaco 5 g	0,0	11,5 a	1,00	13,0 a	100
3	P. caña 5 g + tabaco 5 g	0,0	11,5 a	1,00	13,0 a	100
4	P. caña 5 g + gallinaza 2,5 g	0,0	11,5 a	3,00	19,0 a	100
5	Gallinaza 5 g	0,0	11,5 a	0,00	10,0 a	100
6	Gallinaza 2,5 g	0,0	11,5 a	0,00	10,0 a	100

* J2 V: juveniles vivos de *M. incognita*; J2 M: juveniles muertos de *M. incognita*.

** Prueba realizada por Kruskal Wallis. Rangos con letras no comunes difieren por Mann Whitney a $p < 0,01$.

El porcentaje de mortalidad de *M. incognita* fue de 100% en todos los tratamientos (Tabla III.14), mientras que el testigo fue el único caso en el cual se encontraron individuos vivos.

III.3.2. Efecto de la biodesinfección sobre la microfauna beneficiosa

En la Tabla III.15 se muestra el efecto de los diferentes tratamientos de biodesinfección realizados en el ensayo 3 sobre los Rabdítidos, Doriláimidos y Enquitreidos. En el caso de los Rabdítidos, el testigo presentó las poblaciones más bajas de estos nematodos (97,5 individuos), mostrando diferencias estadísticamente significativas con todos los tratamientos. Las poblaciones más altas se encontraron en el tratamiento 3 (paja de caña 5 g + tabaco 5 g), con 273,5 individuos, el cual mostró diferencias estadísticamente significativas con el resto de los tratamientos.

En el caso de los Enquitreidos, el testigo mostró la población más baja (2,50 individuos), presentando diferencias estadísticamente significativas con la mayoría de los tratamientos, excepto con el 5 (gallinaza 5 g). Las mayores poblaciones (15,0–37,5 individuos) se encontraron en los tratamientos 2 (cascarilla de arroz 5 g + tabaco 5 g), 3 (paja de caña 5 g + tabaco 5 g) y 6 (gallinaza 2,5 g). En este ensayo no se detectó la presencia de Doriláimidos.

Tabla III.15. Efecto de los biodesinfectantes evaluados en el ensayo 3 sobre la microfauna beneficiosa

No.	Tratamientos	Rabdítidos*	Doriláimidos	Enquitreidos*
1	Testigo	97,5 e	0	2,5 c
2	C. Arroz 5 g + tabaco 5 g	185,5 d	0	37,5 a
3	P. Caña 5 g + tabaco 5 g	273,5 a	0	23,8 b
4	P. Caña 5 g + gallinaza 2,5 g	242,5 b	0	15,0 b
5	Gallinaza 5 g	245,5 b	0	4,3 c
6	Gallinaza 2,5 g	215,0 c	0	35,5 a
	EE (x)**	± 6,21	-	± 3,06

* Medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey HSD a $p < 0,05$.

*** EE (X): Error estándar de las medias.

Los resultados de los recuentos de J2 de *M. incognita*, así como de la microfauna beneficiosa del suelo en los diferentes tratamientos y el testigo en el ensayo 3 se muestran en forma gráfica en la Fig. III.7.

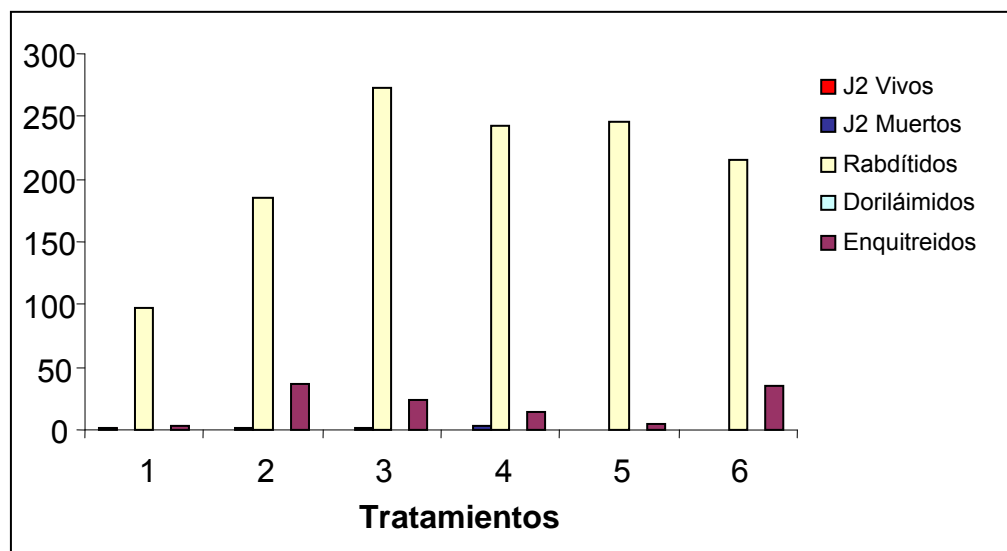


Figura III.7. Poblaciones de J2 de *M. incognita* y microfauna beneficiosa en los diferentes tratamientos y el testigo del ensayo 3.

III.3.3. Efecto de la biodesinfección sobre el índice de nodulación en las raíces de plantas de tomate cv “Marmande”

En la Tabla III.16 se muestran los índices de nodulación en raíces de plantas de tomate cv “Marmande” cultivadas sobre los suelos tratados en el ensayo 3. Los resultados muestran que, en general, el índice de nodulación fue bajo (índice 1 en el testigo y 0 en los tratamientos), sin diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos y el testigo. Este resultado se corresponde con los datos del recuento de nematodos, puesto que la escasa presencia de J2 vivos en el suelo hace esperar un bajo índice de nodulación en las plantas.

Tabla III.16. Índices de nodulación en raíces de tomate cv “Marmande” en el ensayo 3

No.	Tratamientos	Media	Rango*
1	Testigo	1,00	17,50 a
2	Cascarilla de arroz 5 g + tabaco 5 g	0,00	11,50 a
3	Paja de caña 5 g + tabaco 5 g	0,00	11,50 a
4	Paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g	0,00	11,50 a
5	Gallinaza 5 g	0,00	11,50 a
6	Gallinaza 2,5 g	0,00	11,50 a

* Medias de rangos con letras no comunes difieren por Kruskal Wallis y Mann Witney ($p < 0,01$).

III.3.4. Efecto de la biodesinfección sobre el crecimiento de plantas de tomate cv “Marmande”

Al evaluar el efecto sobre el crecimiento de las plantas de tomate cv “Marmande” que tuvieron los diferentes tratamientos en el ensayo 3, se observó que todos los parámetros evaluados mostraron diferencias estadísticamente significativas con respecto al testigo (Tabla III.17). En el caso de la altura, se encontró que el testigo mostró el menor valor (6,5 cm), presentando diferencias estadísticamente significativas con todos los tratamientos. El mayor valor (12,9 cm) se observó en el tratamiento 4 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g), que no mostró diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos 3 (paja de caña 5 g + tabaco 5 g), 5 (gallinaza 5 g) y 6 (gallinaza 2,5 g).

Tabla III.17. Efecto de los tratamientos de biodesinfección sobre el crecimiento de las plantas de tomate cv “Marmande” en el ensayo 3*

No.	Tratamientos	Altura (cm)	Peso total (g)	Peso tallo (g)	Peso raíz (g)	No. hojas
1	Testigo	6,50 c	0,56 c	0,47 c	0,09 b	5,50 d
2	C. arroz 5 g + tabaco 5 g	9,50 b	0,73 bc	0,63 bc	0,09 b	6,00 cd
3	P. caña 5 g + tabaco 5 g	11,50 ab	1,09 ab	0,95 ab	0,14 ab	6,50 bcd
4	P. caña 5 g + gallinaza 2,5 g	12,87 a	1,45 a	1,25 a	0,20 a	8,50 a
5	Gallinaza 5 g	11,75 ab	1,21 a	1,08 a	0,18 a	7,50 ab
6	Gallinaza 2,5 g	11,25 ab	1,22 a	1,07 a	0,16 a	7,00 bc
	EE (x)n**	± 0,78	± 0,12	0,12	± 0,02	± 0,47

* Medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey HSD a $p < 0,05$.

** EE (X): Error estándar de las medias.

El peso total y el peso del tallo presentaron resultados similares: en ambos casos los menores valores se observaron en el testigo (0,56 y 0,47 g, respectivamente), el cual presentó diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos 3 (paja de caña 5 g + tabaco 5 g), 4 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g), 5 (gallinaza 5 g) y 6 (gallinaza 2,5 g). El mayor valor para ambos parámetros (1,45 y 1,25 g, respectivamente) se observó en el tratamiento 4 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g), aunque sin diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos antes mencionados. En cuanto al peso de la raíz, el testigo también presentó el menor valor (0,09 g), mostrando diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos 4 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g), 5 (gallinaza 5 g) y 6 (gallinaza 2,5 g). Nuevamente el mayor valor lo presentó el tratamiento 4, sin diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos 3, 5 y 6 (paja de caña 5 g + tabaco 5 g, y gallinaza sola a las dosis ensayadas).

El menor número de hojas se observó en el testigo (5,5), que mostró diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos 4 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g), 5 (gallinaza 5 g) y 6 (gallinaza 2,5 g). El mayor valor se encontró en el tratamiento 4 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g), el cual no mostró diferencias significativas con el tratamiento 5 (gallinaza 5 g).

En este ensayo el mejor efecto general sobre el crecimiento de las plantas de tomate se obtuvo con el tratamiento 4 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g), que mostró los datos más altos en todos los parámetros evaluados.

III.3.5. Efecto de la biodesinfección sobre la fertilidad del suelo

Los resultados de los tratamientos de biodesinfección del ensayo 3 sobre la fertilidad del suelo muestran que para el Ca y Mn no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ni entre los tratamientos ni de éstos con respecto al testigo (Tabla III.18).

En cuanto al resto de los parámetros evaluados, el mayor contenido de N (0,30%) se observó en el tratamiento 2 (cascarilla de arroz 5 g + tabaco 5 g), el cual no mostró diferencias significativas con el resto de los tratamientos ni con el testigo. Con respecto a la MO y el contenido de C, el mayor valor se observó en el tratamiento 4 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g), el cual sólo mostró diferencias estadísticamente significativas con el tratamiento 2 (cascarilla de arroz 5 g + tabaco 5 g). El testigo no presentó diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos. La relación C/N tampoco mostró diferencias significativas entre el testigo y los tratamientos, presentando el mayor valor (10,31) el tratamiento 6 (gallinaza 2,5 g). Este tratamiento mostró diferencias significativas con el tratamiento 2 (cascarilla de arroz 5 g + tabaco 5 g), que fue el que presentó la relación C/N más baja (9,15).

En el caso del pH, el valor más bajo se observó en el testigo (6,08), que mostró diferencias estadísticamente significativas con todos los tratamientos excepto con el 6 (gallinaza 2,5 g). El rango de pH (6,08–6,62) fue ligeramente ácido. Por su parte, la CE mostró diferencias estadísticamente significativas entre el testigo y la mayoría de los tratamientos, a excepción del tratamiento 6 (gallinaza 2,5 g), el cual presentó el mayor valor ($1312 \mu\text{Scm}^{-1}$).

Tabla III.18. Efecto de la biodesinfección sobre las propiedades químicas del suelo en el ensayo 3*

Tratamientos	%				pH	mg 100g ⁻¹									
	N	MO	C	C/N		CE	P ₂ O ₅	K	Ca	Na	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
Testigo	0,282 ab	4,827 ab	2,807 ab	9,94 ab	6,077 d	1309,7 a	130,0 ab	106,7 c	262,0 a	20,0 ab	33,5 ab	25,1 b	12,87 a	1,42 b	1,47 c
C. Arroz 5 g + Tabaco 5 g	0,300 a	4,730 b	2,740 b	9,15 b	6,312 c	1076,5 b	128,2 ab	109,2 bc	229,0 a	19,0 b	33,2 b	35,5 b	13,07 a	1,45 b	1,57 bc
P. Caña 5 g + Tabaco 5 g	0,283 ab	4,815 ab	2,797 ab	9,88 ab	6,570 ab	960,2 b	111,2 c	114,0 abc	243,7 a	21,2 a	36,5 a	59,0 a	12,57 a	1,41 b	1,64 ab
P. Caña 5 g + Gallinaza 2,5 g	0,291 ab	4,985 a	2,900 a	9,94 ab	6,615 a	1075,7 b	123,2 bc	120,7 ab	263,0 a	21,7 a	36,5 a	58,0 a	13,05 a	1,64 a	1,74 a
Gallinaza 5 g	0,297 ab	4,940 a	2,872 ab	9,65 ab	6,392 bc	1113,0 b	136,7 ab	121,2 a	267,0 a	21,5 a	35,5 ab	35,4 b	12,62 a	1,64 a	1,57 bc
Gallinaza 2,5 g	0,280 b	4,970 a	2,892 ab	10,31 a	6,202 cd	1312,0 a	137,0 a	112,0 abc	246,7 a	20,5 ab	34,0 ab	29,6 b	13,02 a	1,54 ab	1,59 bc
EE (X)	±0,008	±0,063	±0,050	±0,265	±0,065	±49,55	±4,30	±5,09	±13,45	±0,90	±1,32	±3,99	±0,34	±0,052	±0,037

* Medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey HSD a $p < 0,05$.

** EE (X): Error estándar de las medias.

Con respecto al P_2O_5 , el testigo sólo mostró diferencias estadísticamente significativas con el tratamiento 3 (paja de caña 5 g + tabaco 5 g), el cual fue el que presentó el valor más bajo ($111,2 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$), aunque sin diferencias estadísticamente significativas con el resto de los tratamientos. El contenido más alto de P_2O_5 se observó en el tratamiento 6 (gallinaza 2,5 g), con $137 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$.

En relación al contenido de K, el mayor valor ($112 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) se observó en el tratamiento 5 (gallinaza 5 g), el cual sólo presentó diferencias estadísticamente significativas con el tratamiento 2 (cascarilla de arroz 5 g + tabaco 5 g) y con el testigo ($109,2$ y $106,7 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente). Con respecto al Na y Mg, los mayores valores se observaron en el tratamiento 4 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g), con $21,7$ y $36,5 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente. Este tratamiento sólo mostró diferencias significativas con el tratamiento 2 (cascarilla de arroz 5 g + tabaco 5 g), que presentó los valores más bajos.

En cuanto a los microelementos estudiados, el testigo presentó el menor contenido de Fe ($25,1 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$), mostrando diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos 3 (paja de caña 5 g + tabaco 5 g) y 4 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g), los cuales fueron los que presentaron el mayor contenido de este elemento ($59,0$ y $58,0 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente). El mayor contenido de Zn ($1,64 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) se observó en los tratamientos 4 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g) y 5 (gallinaza 5 g), los cuales mostraron diferencias significativas con el testigo y con los tratamientos 2 (cascarilla de arroz 5 g + tabaco 5 g) y 3 (paja de caña 5 g + tabaco 5 g). En cuanto al Cu, el mayor contenido de este elemento se observó en el tratamiento 4 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g), con $1,74 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$, el cual mostró diferencias significativas con el testigo y con los tratamientos 2 (cascarilla de arroz 5 g + tabaco 5 g), 5 (gallinaza 5 g) y 6 (gallinaza 2,5 g). El menor contenido de Cu se observó en el testigo ($1,47 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$).

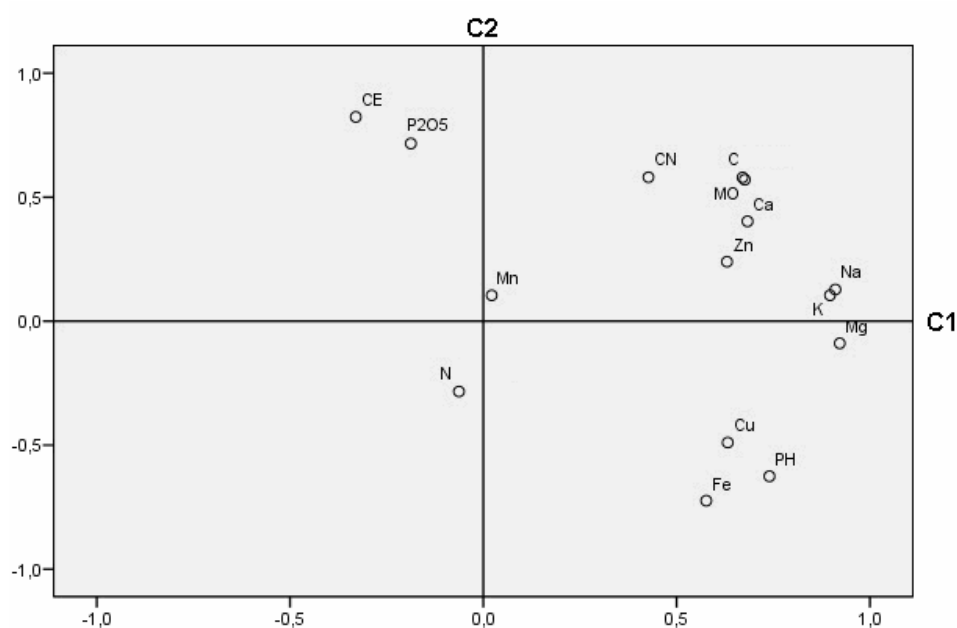
III.3.6. Distribución de las variables de suelo y los tratamientos en función del Análisis de Componentes Principales

El Análisis de Componentes Principales del Ensayo 3 mostró que cuatro primeras componentes explicaron un 86,01% de la variabilidad total (Tabla III.19). De ellas, las componentes 1 y 2 explicaron el mayor porcentaje de esta variabilidad (63,71%). En el caso de la componente 1, las variables que mostraron mayor peso fueron Mg, Na, K, pH, Ca, MO, C, Cu y Zn, mientras que las variables que mostraron mayor peso sobre la componente 2 fueron Ca, CE, Fe y P_2O_5 (en negrita en la Tabla III.19).

Tabla III.19. Valores propios de las componentes principales y correlaciones entre las variables y las componentes en el ensayo 3

Componentes principales		1	2	3	4
Valores propios		5,87	3,69	1,86	1,48
Contribución total		39,11	24,60	12,42	9,88
% Acumulado		39,11	63,71	76,13	86,01
Variables	Mg	0,92		-0,14	
	Na	0,91	0,13		-0,10
	K	0,90	0,10	0,17	
	pH	0,74	-0,62	0,10	
	Ca	0,68	0,40		-0,11
	MO	0,68	0,57	0,16	-0,21
	C	0,67	0,58	0,14	-0,21
	Cu	0,63	-0,49		0,49
	Zn	0,63	0,24	0,52	0,40
	CE	-0,33	0,82		0,14
	Fe	0,58	-0,72	-0,22	
	P₂O₅	-0,19	0,72	0,46	
	N		-0,28	0,88	-0,28
	CN	0,43	0,58	-0,63	0,10
Mn		0,10		0,91	

La representación gráfica de las variables de suelo en las componentes 1 y 2 de acuerdo al peso que tuvieron en cada una de éstas se muestra en la Fig. III.8. A la derecha de la componente 1 se observan aquellas variables que más contribuyeron a la variabilidad total de dicha componente, mientras que las variables con mayor peso sobre la componente 2 aparecen en la parte superior de la figura.

**Figura III.8.** Distribución de las variables de suelo de acuerdo a los componentes principales en el ensayo 3.

La representación gráfica de la distribución de los tratamientos a partir de los resultados obtenidos con las variables de suelo se muestra en la Fig. III.9. Esta Figura muestra una amplia dispersión entre los tratamientos, donde destaca el gran peso del tratamiento 4 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g) tanto sobre la componente 1 como sobre la componente 2. El tratamiento 4 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g) fue el que presentó los valores mas altos en la mayoría de las variables de suelo analizadas. También destaca la contribución del tratamiento 5 (gallinaza 5 g) sobre la componente 1, mientras que el tratamiento 3 (paja de caña 5 g + tabaco 5 g) fue el que mostró mayor peso sobre la componente 2.

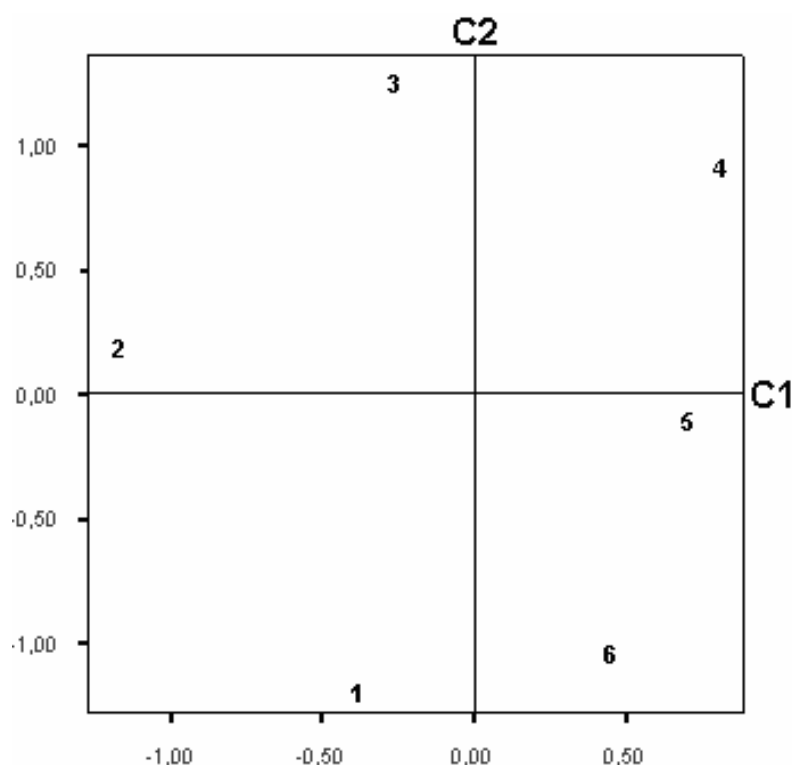


Figura III.9. Distribución de los tratamientos de acuerdo a las componentes principales en el ensayo 3. 1: testigo, 2: cascarilla de arroz 5 g + tabaco 5 g, 3: paja de caña 5 g + tabaco 5 g, 4: paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g, 5: gallinaza 5 g, 6: gallinaza 2,5 g.

III.4. Efecto de la biodesinfección en el ensayo 4

El experimento de biodesinfección en el ensayo 4 se realizó sobre una muestra de suelo procedente de El Campo de Cartagena (Murcia). El ensayo se inició el 10-04-06 y finalizó el día 11-05-06 (31 días). Se ensayaron un total de 12 tratamientos y un testigo, con cuatro réplicas cada uno, estudiando el efecto sobre las poblaciones de *Meloidogyne incognita*, la microfauna beneficiosa, el crecimiento e índice de nodulación en plantas de tomate y la fertilidad del suelo.

III.4.1. Efecto de la biodesinfección sobre las poblaciones de *M. incognita*

Como se observa en la Tabla III.20, el nivel de infestación en esta muestra de suelo fue bajo (0,0–2,5 individuos), sin diferencias estadísticamente significativas con respecto a los J2 vivos entre los tratamientos y el testigo. En cuanto a la cantidad de J2 muertos, el testigo presentó diferencias significativas con los tratamiento 6 (paja de caña 10 g), 12 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g) y 13 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g).

Tabla III.20. Efecto de los materiales biodesinfectantes evaluados en el ensayo 4 sobre las poblaciones de *M. incognita*

No.	Tratamientos	J2 V* Media	Rango**	J2 M* Media	Rango**	% de Mortalidad
1	Testigo	1,00	29,38 a	0,00	3,50 c	0
2	Pulpa de café 5 g	0,00	23,00 a	1,00	12,50 abc	100
3	Pulpa de café 2,5 g	0,00	23,00 a	0,50	8,00 bc	100
4	Gallinaza 5 g	0,00	23,00 a	2,50	30,00 abc	100
5	Gallinaza 2,5 g	1,00	29,38 a	2,00	25,50 abc	66,6
6	Paja de caña 10 g	1,00	29,38 a	6,00	47,00 a	86
7	Paja de caña 5 g	0,00	23,00 a	1,50	19,00 abc	100
8	Cascarilla de arroz 10 g	2,00	35,88 a	2,00	25,50 abc	50
9	Cascarilla de arroz 5 g	0,00	23,00 a	1,00	12,50 abc	100
10	C. arroz 5 g + P. café 2,5 g	0,00	23,00 a	4,00	38,50 abc	100
11	C. arroz 5 g + Gallinaza 2,5 g	0,00	23,00 a	2,50	30,00 abc	100
12	P. caña 5 g + Gallinaza 2,5 g	0,00	23,00 a	5,50	44,25 a	100
13	P. caña 5 g + P. café 2,5 g	2,50	36,50 a	6,50	48,25 a	72

* J2 V: juveniles vivos de *M. incognita* ; J2 M: juveniles muertos de *M. incognita*.

** Prueba realizada por Kruskall Wallis. Rangos con letras no comunes difieren por Mann Whitney a $p < 0,01$.

El porcentaje de mortalidad fue de 100% en la mayoría de los tratamientos, con el valor más bajo en el testigo (0%), seguido por el tratamiento 9 (cascarilla de arroz 5 g), que alcanzó un porcentaje de mortalidad del 50%, aunque en este tratamiento el nivel de infestación también fue bajo.

III.4.2. Efecto de la biodesinfección sobre la microfauna beneficiosa

Con respecto a los organismos beneficiosos evaluados, las poblaciones más bajas de Rabdítidos se observaron en el testigo, con 6,25 individuos (Tabla III.21), el cual mostró diferencias estadísticamente significativas con todos los tratamientos evaluados. La población más alta de estos nematodos se encontró en el tratamiento

8 (cascarilla de arroz 10 g), con 179 individuos, el cual mostró diferencias estadísticamente significativas con el resto de los tratamientos. En general, se observó gran cantidad de estos individuos en todos los tratamientos (55,7–179,0).

En el caso de los Doriláimidos se observó una presencia escasa, tanto en frecuencia (se encontraron en menos del 50% de los tratamientos) como en abundancia (0,0–2,0 individuos), sin encontrarse diferencias estadísticamente significativas ni entre los tratamientos ni entre éstos y el testigo.

Los Enquitreidos, por su parte, se encontraron en poblaciones bajas en el testigo (1,0 individuo), que presentó diferencias significativas con todos los tratamientos evaluados. La mayor cantidad de Enquitreidos se observó en el tratamiento 6 (paja de caña 10 g), el cual presentó diferencias significativas con todos los tratamientos, excepto con el tratamiento 13 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g).

Tabla III.21. Efecto de los biodesinfectantes evaluados en el ensayo 4 sobre la microfauna beneficiosa

No.	Tratamientos	Rabdítidos*	Doriláimidos** Media	Rango*	Enquitreidos*
1	Testigo	6,25 g	0,00	23,00 a	1,00 g
2	Pulpa de café 5 g	55,75 f	0,00	23,00 a	19,50 f
3	Pulpa de café 2,5 g	74,25 e	0,50	29,00 a	42,00 cd
4	Gallinaza 5 g	150,50 b	0,00	23,00 a	27,25 ef
5	Gallinaza 2,5 g	108,50 c	0,00	23,00 a	21,50 f
6	Paja de caña 10 g	160,50 b	0,50	29,00 a	65,50 a
7	Paja de caña 5 g	158,50 b	0,00	23,00 a	48,25 bc
8	Cascarilla de arroz 10 g	179,00 a	2,00	36,75 a	38,00 cde
9	Cascarilla de arroz 5 g	92,50 d	0,00	23,00 a	46,50 bc
10	C. arroz 5 g + P. café 2,5 g	65,00 ef	0,50	29,00 a	21,50 f
11	C. arroz 5 g + Gallinaza 2,5 g	119,00 c	1,00	29,88 a	40,00 cde
12	P. caña 5 g + Gallinaza 2,5 g	155,50 b	0,00	23,00 a	30,50 def
13	P. caña 5 g + P. Café 2,5 g	164,50 b	1,00	29,88 a	56,25 ab
	EE (x)***	± 4,06	-	-	± 3,77

* Medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey HSD a $p < 0,05$.

** Prueba realizada por Kruskal Wallis, Rangos con letras no comunes difieren por Mann Whitney a $p < 0,01$.

*** EE (X): Error estándar de las medias.

La Fig. III.10 resume en forma gráfica el efecto de los diferentes tratamientos y el testigo en el ensayo 4 sobre las poblaciones de *M. incognita* y de la microfauna beneficiosa evaluada.

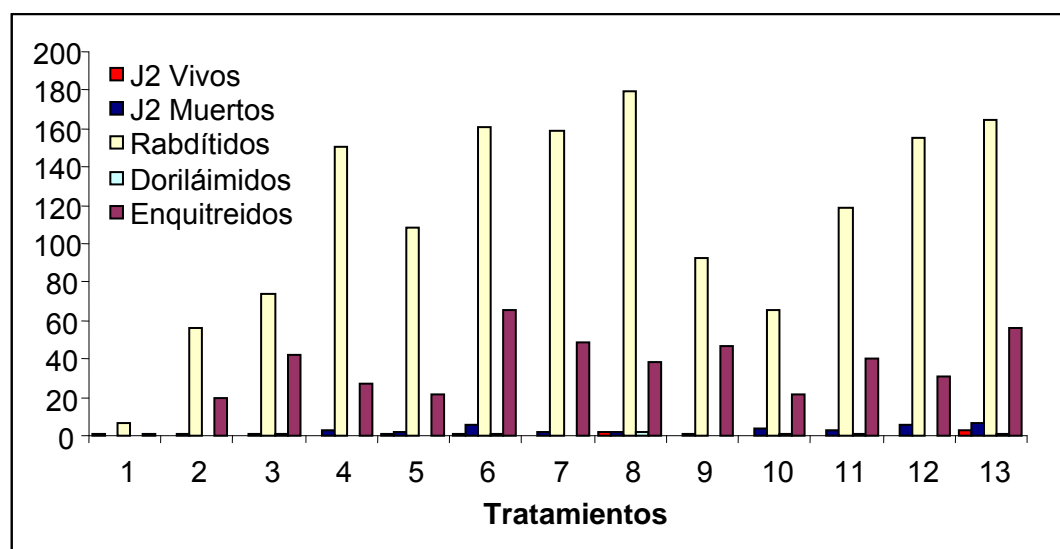


Figura III.10. Poblaciones de J2 de *M. incognita* y microfauna beneficiosa en los diferentes tratamientos y el testigo del ensayo 4.

III.4.3. Efecto de la biodesinfección sobre el índice de nodulación en las raíces de plantas de tomate cv “Marmande”

La evaluación del índice de nodulación en las raíces de plantas de tomate cv “Marmande” en el ensayo 4 mostró valores generalmente bajos (Tabla III.22).

Tabla III.22. Índices de nodulación en raíces de tomate cv “Marmande” en el ensayo 4

No.	Tratamientos	Media	Rango*
1	Testigo	1,50	48,75 a
2	Pulpa de café 5 g	0,00	23,50 b
3	Pulpa de café 2,5 g	0,00	23,50 b
4	Gallinaza 5 g	0,00	23,50 b
5	Gallinaza 2,5 g	1,00	30,63 ab
6	Paja de caña 10 g	0,00	23,50 b
7	Paja de caña 5 g	0,50	30,13 ab
8	Cascarilla de arroz 10 g	0,00	23,50 b
9	Cascarilla de arroz 5 g	0,00	23,50 b
10	Cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g	0,00	23,50 b
11	Cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g	0,00	23,50 b
12	Paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g	0,00	23,50 b
13	Paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g	0,00	23,50 b

* Medias de rangos con letras no comunes difieren por Kruskal Wallis y Mann Witney ($p < 0,01$).

El testigo presentó un índice de nodulación de 1,50, sin diferencias estadísticamente significativas con el tratamiento 5 (gallinaza 2,5 g), que presentó un índice 1, ni con el tratamiento 7 (paja de caña 5 g), con índice 0,50. En el resto de los tratamientos no se observaron nódulos en las raíces (índice de nodulación 0). Estos resultados coinciden con los del recuento de J2 en el suelo, en los cuales se observó un escaso número de individuos vivos, por lo cual es esperable que no haya una grado de infestación (y por ende, de nodulación) elevado.

III.4.4. Efecto de la biodesinfección en el crecimiento de plantas de tomate cv “Marmande”

En la Tabla III.23 se muestran los resultados de la evaluación del crecimiento de las plantas de tomate cv “Marmande” en el ensayo 4. En el caso de la altura el menor valor (6,8 cm) se observó en el testigo, el cual presentó diferencias significativas con los tratamientos 2 (pulpa de café 5 g), 3 (pulpa de café 2,5 g) y 5 (gallinaza 2,5 g), que fueron los que mostraron los mayores valores para este parámetro (13,3, 15,6 y 16,1 cm, respectivamente).

Tabla III.23. Efecto de los tratamientos de biodesinfección sobre el crecimiento de las plantas de tomate cv “Marmande” en el ensayo 4*

No.	Tratamientos	Altura (cm)	Peso Total (g)	Peso Tallo (g)	Peso Raíz (g)	No. Hojas
1	Testigo	6,75 c	0,25 b	0,17 b	0,08 b	5,50 cd
2	Pulpa de café 5 g	13,27 ab	0,87 b	0,74 b	0,15 b	5,75 cd
3	Pulpa de café 2,5 g	15,60 a	2,61 a	2,06 a	0,55 a	6,00 bcd
4	Gallinaza 5 g	9,50 bc	0,41 b	0,29 b	0,12 b	6,75 abc
5	Gallinaza 2,5 g	16,10 a	2,49 a	1,99 a	0,49 a	8,50 a
6	Paja de caña 10 g	10,25 bc	0,49 b	0,36 b	0,13 b	5,75 bcd
7	Paja de caña 5 g	10,25 bc	0,46 b	0,34 b	0,12 b	6,25 bcd
8	Cascarilla de arroz 10 g	9,75 bc	0,23 b	0,13 b	0,10 b	6,50 abcd
9	Cascarilla de arroz 5 g	10,50 bc	0,32 b	0,21 b	0,11 b	7,00 ab
10	C. arroz 5 g + P. café 2,5 g	7,70 c	0,29 b	0,18 b	0,11 b	4,50 d
11	C. arroz 5 g + Gallinaza 2,5 g	8,87 bc	0,23 b	0,14 b	0,10 b	6,00 bcd
12	P. caña 5 g + Gallinaza 2,5 g	6,50 c	0,23 b	0,14 b	0,09 b	4,75 cd
13	P. caña 5 g + P. café 2,5 g	9,75 bc	0,52 b	0,38 b	0,14 b	7,00 ab
	EE (x)**	±1,28	±0,35	±0,28	±0,08	±0,64

* Medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey HSD a $p < 0,05$.

** EE (X): Error estándar de las medias.

Por su parte, tanto el peso total como el peso del tallo y el peso de la raíz mostraron un comportamiento similar con el testigo, que presentó los menores valores, mostrando diferencias significativas con los tratamientos 3 (pulpa de café 2,5 g) y 5 (gallinaza 2,5 g), que fueron los que presentaron los valores más altos.

Con respecto al número de hojas, el testigo mostró diferencias significativas con los tratamientos 5 (gallinaza 2,5 g), 9 (cascarilla de arroz 5 g) y 13 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g), que fueron los que tuvieron mayor número de hojas (8,5, 7,0 y 7,0, respectivamente). Los tratamientos 10 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g) y 12 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g) presentaron el menor número de hojas (4,5 y 4,8, respectivamente), aunque sin diferencias estadísticamente significativas con el testigo.

III.4.5. Efecto de la biodesinfección en el contenido de nutrientes en plantas de tomate cv “Marmande”

Los contenidos de N, P, K, Ca, Mg, Na y MO se determinaron en plantas de tomate cv “Marmande” trasplantadas al suelo después de haber finalizado el ensayo de biodesinfección (Tabla III.24). El escaso volumen de las muestras sólo permitió el análisis químico de las repeticiones agrupadas por tratamiento, por lo cual no fue posible el análisis estadístico de los datos.

Los valores más altos de N se observaron en las plantas de tomate cultivadas sobre suelo de los tratamientos 4 (gallinaza 5 g) y 5 (gallinaza 2,5 g), que contenían 2,29 y 1,95% N, respectivamente. Los menores contenidos de N (1,26–1,33%) se observaron en el testigo y en los tratamientos 3 (pulpa de café 2,5 g), 6 (paja de caña 10 g), 9 (cascarilla de arroz 5 g), 11 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g) y 12 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g).

Para el caso de la MO, el valor más alto (83,7%) se observó en las plantas del tratamiento 7 (paja de caña 5 g), en el cual también se encontró el contenido más alto de K (37300 mg kg⁻¹). Por su parte, los tratamientos con menor contenido de MO fueron el 4 (gallinaza 5 g) y el 9 (cascarilla de arroz 5 g), con 78,4 y 76,5% MO, respectivamente, mientras que el tratamiento con menor contenido de K (20970 mg kg⁻¹) fue el tratamiento 13 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g).

Tabla III.24. Análisis químico de las plantas de tomate cv “Marmande” en el ensayo 4

No.	Tratamientos	N	MO	P	K	Ca	Mg	Na
		%		mg kg ⁻¹				
1	Testigo	1,28	81,1	1625	29611	14520	10063	8625
2	Pulpa de café 5 g	1,68	82,0	2667	27536	15662	10881	11467
3	Pulpa de café 2,5 g	1,33	81,6	1579	25947	17566	10058	8486
4	Gallinaza 5 g	2,29	78,4	1487	31661	17989	13193	12940
5	Gallinaza 2,5 g	1,95	81,3	1516	31076	15651	12421	7070
6	Paja de caña 10 g	1,33	81,5	3644	27756	14495	12352	8521
7	Paja de caña 5 g	1,73	83,7	3166	37300	15949	7523	6639
8	Cascarilla de arroz 10 g	1,40	81,2	3192	26539	16495	11544	10954
9	Cascarilla de arroz 5 g	1,26	76,5	2494	28600	15271	11851	12411
10	C. arroz 5 g + P. café 2,5 g	1,42	81,1	3065	28148	12495	13789	13975
11	C. arroz 5 g + Gallinaza 2,5 g	1,33	81,3	3010	28515	15919	13848	18646
12	P. caña 5 g + Gallinaza 2,5 g	1,29	81,7	3721	30459	15535	14063	15515
13	P. caña 5 g + P. café 2,5 g	1,37	81,2	4809	20970	19349	13681	11450

En cuanto al P₂O₅, el valor más alto (4809 mg kg⁻¹) se observó en las plantas cultivadas sobre suelo del tratamiento 13 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g), mientras que el testigo y los tratamientos 3 (pulpa de café 2,5 g), 4 (gallinaza 5 g) y 5 (gallinaza 2,5 g) presentaron los valores más bajos (1487–1625 mg kg⁻¹). El tratamiento 13 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g) también presentó el contenido más elevado de Ca (19349 mg kg⁻¹), mientras que el menor contenido de Ca se observó en el tratamiento 10 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g).

Por su parte, los mayores contenidos de Mg (13681–14063 mg kg⁻¹) se encontraron en las plantas cultivadas sobre suelo de los tratamientos 10 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g), 11 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), 12 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g) y 13 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g). El menor contenido de Mg (7523 mg kg⁻¹) se observó en la planta del tratamiento 7 (paja de caña 5 g). En cuanto al contenido de Na, el mayor valor (15515 mg kg⁻¹) se observó en el tratamiento 12 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g), mientras que los valores más bajos (6639–8625 mg kg⁻¹) se encontraron en las plantas cultivadas sobre el suelo testigo y sobre el suelo de los tratamientos 3 (pulpa de café 2,5 g), 5 (gallinaza 2,5 g), 6 (paja de caña 10 g) y 7 (paja de caña 5 g).

III.4.6. Efecto de la biodesinfección sobre la fertilidad del suelo

Al evaluar el efecto de los tratamientos de biodesinfección sobre la fertilidad del suelo en el ensayo 4 se observó que todas las variables evaluadas, excepto el contenido en Mn y Cu, mostraron diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo (Tabla III.25).

Para el caso del N, los valores más altos se observaron en el testigo (0,21%) y en los tratamientos 5 (gallinaza 2,5 g), 7 (paja de caña 5 g) y 13 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g), con 0,19, 0,17 y 0,16% N, respectivamente. Estos tratamientos no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre sí. En el caso de la MO y el % C los mayores valores se encontraron en el tratamiento 13 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g), con 3,23% MO y 1,90% C, aunque éste sólo mostró diferencias estadísticamente significativas con el tratamiento 2 (pulpa de café 5 g), que presentó los valores más bajos (2,98% MO y 1,73% C).

El pH en este suelo fue ligeramente básico a neutro: el mayor valor (7,85) se observó en el tratamiento 12 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g) y el más bajo (7,54) en el tratamiento 8 (cascarilla de arroz 10 g). El testigo no mostró diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos para esta variable.

En el caso de la CE, el testigo tampoco mostró diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos. El valor más alto para esta variable se observó en el tratamiento 5 (gallinaza 2,5 g), con $3062,5 \mu\text{Scm}^{-1}$, que sólo mostró diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos 10 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g), 11 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g) y 12 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g), correspondientes a los valores de CE más bajos (2675,0–2712,5 μScm^{-1}).

En cuanto al K, los valores más altos se observaron en los tratamientos 7 (paja de caña 5 g), 8 (cascarilla de arroz 10 g) y 9 (cascarilla de arroz 5 g), con 135,7, 132,0 y 131,7 mg 100 g^{-1} . Estos tratamientos no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre sí, ni con los tratamientos 10 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g), 11 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g) y 12 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g), ni con el testigo. El menor contenido de K (81,5 mg 100 g^{-1}) se encontró en el tratamiento 2 (pulpa de café 5 g).

Tabla III.25. Efecto de la bioinfección sobre las propiedades químicas del suelo en el ensayo 4*

Tratamientos	%				pH	CE µScm ⁻¹	P2O5*	K	Ca	Na	Mg	Fe*	Mn	Zn	Cu
	N	MO	C	C/N											
Testigo	0,214 a	3,117 ab	1,805 ab	8,41 c	7,640 abc	2887,2 bc	40,0 f	127,7 ab	362,5 d	75,5 a	90,2 ab	1,97 b	5,85 a	0,67 ab	0,34 a
Pulpa de Café 5 g	0,119 c	2,977 b	1,725 b	14,51 a	7,665 abc	5055,0 a	43,1 ef	81,5 e	294,0 e	46,0 d	55,5 e	3,57 ab	7,37 a	0,69 ab	0,35 a
Pulpa de Café 2,5 g	0,163 abc	3,127 ab	1,810 ab	12,08 abc	7,705 abc	2855,0 bc	45,6 cde	92,7 de	338,0 de	52,2 cd	64,7 de	2,97 ab	6,12 a	0,71 ab	0,36 a
Gallinaza 5 g	0,150 bc	3,177 ab	1,840 ab	12,23 abc	7,642 abc	2845,0 bc	47,5 bcd	100,7 cde	358,2 d	57,0 bcd	69,5 cde	3,37 ab	6,30 a	0,75 ab	0,63 a
Gallinaza 2,5 g	0,188 ab	3,177 ab	1,840 ab	9,97 bc	7,675 abc	3062,5 b	48,7 bc	101,2 cde	361,5 d	57,2 bcd	69,2 cde	2,77 ab	6,00 a	0,78 ab	0,29 a
Paja de Caña 10 g	0,145 bc	3,147 ab	1,825 ab	12,59 ab	7,805 ab	2777,5 bc	43,1 ef	99,5 cde	345,2 d	54,2 cd	67,2 de	4,85 a	7,47 a	0,55 ab	0,31 a
Paja de Caña 5 g	0,167 abc	3,085 ab	1,792 ab	10,86 abc	7,662 abc	2940,0 bc	46,2 cde	135,7 a	514,0 ab	72,5 a	98,2 a	3,77 ab	7,60 a	0,77 ab	0,32 a
Cascarilla de Arroz 10 g	0,143 bc	3,077 ab	1,787 ab	12,67 ab	7,537 c	2782,5 bc	50,0 b	132,0 a	554,7 a	69,2 ab	97,2 a	2,75 ab	6,90 a	0,77 ab	0,27 a
Cascarilla de Arroz 5 g	0,144 bc	3,042 ab	1,767 b	12,35 ab	7,565 bc	2895,0 bc	50,0 b	131,7 a	532,2 a	71,2 ab	97,2 a	2,67 ab	6,52 a	0,80 a	0,23 a
C. Arroz 5 g + P. C. Café 2,5 g	0,137 bc	3,052 ab	1,772 b	13,00 ab	7,742 abc	2682,5 c	46,8 bcd	119,7 abc	466,5 bc	61,7 abc	85,0 abc	4,90 a	9,90 a	0,69 ab	0,37 a
C. Arroz 5 g + Gallinaza 2,5 g	0,137 bc	3,050 ab	1,772 b	12,96 ab	7,642 abc	2675,0 c	53,7 a	127,0 abc	450,5 c	68,7 ab	91,0 ab	2,90 ab	6,50 a	0,63 ab	0,27 a
P. C. Caña 5 g + Gallinaza 2,5 g	0,132 bc	3,067 ab	1,780 ab	13,53 ab	7,852 a	2712,5 c	46,2 cde	126,5 abc	447,5 c	70,5 ab	94,2 a	3,25 ab	5,95 a	0,49 b	0,29 a
P. C. Caña 5 g + P. C. Café 2,5 g	0,159 abc	3,227 a	1,895 a	12,07 abc	7,797 ab	2800,0 b	44,3 de	109,2 bcd	375,5 d	58,0 bcd	75,7 bcd	4,15 ab	7,27 a	0,59 ab	0,33 a
EE (X)	±0,016	±0,057	±0,033	±1,09	±0,069	±97,25	±1,04	±5,79	±16,70	±4,05	±5,00	±0,77	±1,15	±0,08	±0,10

* Medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey HSD a $p < 0,05$.

** EE (X): Error estándar de las medias.

En el caso del Ca, los mayores valores se encontraron en los tratamientos 8 (cascarilla de arroz 10 g) y 9 (cascarilla de arroz 5 g), con 554,7 y 532,2 mg 100 g⁻¹, respectivamente. Estos tratamientos no mostraron diferencias estadísticamente significativas con el tratamiento 7 (paja de caña 5 g), pero sí con el resto de los tratamientos y con el testigo. El menor valor de Ca se observó en el tratamiento 2 (pulpa de café 5 g), con 294,0 mg 100 g⁻¹.

Los mayores contenidos de Na se encontraron en los tratamientos 7 (paja de caña 5 g), 9 (cascarilla de arroz 5 g) y en el testigo, con 72,5, 71,5 y 72,5 mg 100 g⁻¹, respectivamente, sin diferencias estadísticamente significativas entre sí, mientras que el menor valor de este elemento se observó en el tratamiento 2 (pulpa de café 5 g), con 46,0 mg 100 g⁻¹.

En cuanto al Mg, los mayores valores (94,2–98,2 mg 100 g⁻¹) se observaron en los tratamientos 7 (paja de caña 5 g), 8 (cascarilla de arroz 10 g), 9 (cascarilla de arroz 5 g) y 12 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g), los cuales no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre sí, ni con el tratamiento 11 y el testigo. El menor valor se observó en el tratamiento 2 (pulpa de café 5 g), con 55,5 mg 100 g⁻¹, el cual no mostró diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos 3 (pulpa de café 2,5 g), 4 (gallinaza 5 g), 5 (gallinaza 2,5 g) y 6 (paja de caña 10 g), con contenidos de Mg de 64,7–69,5 mg 100 g⁻¹.

En cuanto al Fe, en general presentó niveles bajos, observándose el menor contenido en el testigo (1,97 mg 100 g⁻¹), aunque éste sólo mostró diferencias estadísticamente significativas con el tratamiento 6 (paja de caña 10 g), que fue el que presentó el mayor valor (4,85 mg 100 g⁻¹).

Por su parte, el menor contenido de Zn (0,49 mg 100 g⁻¹) se observó en el tratamiento 12 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g), el cual sólo mostró diferencias estadísticamente significativas con el tratamiento 9 (cascarilla de arroz 5 g), que presentó el mayor valor (0,80 mg 100 g⁻¹).

III.4.7. Distribución de las variables de suelo y los tratamientos en función del Análisis de Componentes Principales

Los resultados del Análisis de Componentes Principales en el ensayo 4 se muestran en la Tabla III.26, donde se puede observar que las primeras cuatro componentes explican un 76,29% de la variabilidad total. De ellas, las componentes 1 y 2 explicaron el mayor porcentaje, con un 49,0%.

Tabla III.26. Valores propios de las componentes principales y correlaciones entre las variables y las componentes en el ensayo 4

Componentes principales		1	2	3	4
Valores propios		4,50	2,85	2,46	1,63
Contribución total		30,02	18,98	16,43	10,86
% Acumulado		30,02	49,00	65,43	76,29
Variables	Mg	0,96		0,16	
	K	0,95		0,17	
	Na	0,91	0,13		
	Ca	0,88	-0,14	0,30	
	CE	-0,48	-0,47	-0,24	-0,45
	N		0,84	-0,15	-0,37
	CN	-0,13	-0,81	0,15	0,39
	MO	-0,29	0,73	0,25	0,35
	C	-0,29	0,72	0,27	0,37
	Mn	-0,23	-0,21	0,85	
	Fe	-0,36	-0,19	0,76	0,18
	Zn			0,71	-0,58
	Cu	-0,43	0,19	0,48	
	pH	-0,28		-0,17	0,68
	P₂O₅	0,44	-0,18	0,14	

Las variables de suelo que mostraron mayor peso sobre la componente 1 fueron Mg, K, Na, y Ca, mientras que para la componente 2 las variables que mostraron mayor peso fueron N, MO y C (en negrita en la Tabla III.26).

La distribución de las variables de suelo de acuerdo al peso que tuvieron en las componentes 1 y 2 se representa en la Fig. III.11. Se observa que al lado derecho de la componente 1 se encuentran las variables de suelo Mg, K, Na y Ca, que fueron las variables con más peso sobre dicha componente, mientras que en la parte superior de la componente 2 se observan las variables de suelo N, MO y C, que fueron las variables con mayor influencia sobre la misma.

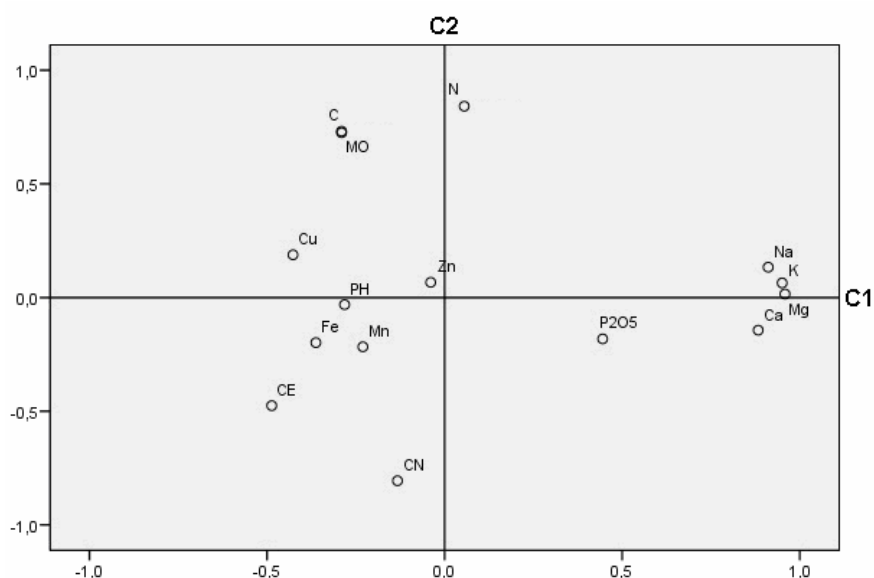


Figura III.11. Distribución de las variables de suelo de acuerdo al ACP en el ensayo 4.

De acuerdo a los resultados de las variables de suelo, la distribución de los tratamientos se representó en forma gráfica (Fig. III.12), para determinar cuáles de ellos tuvieron mayor influencia sobre dichas variables.

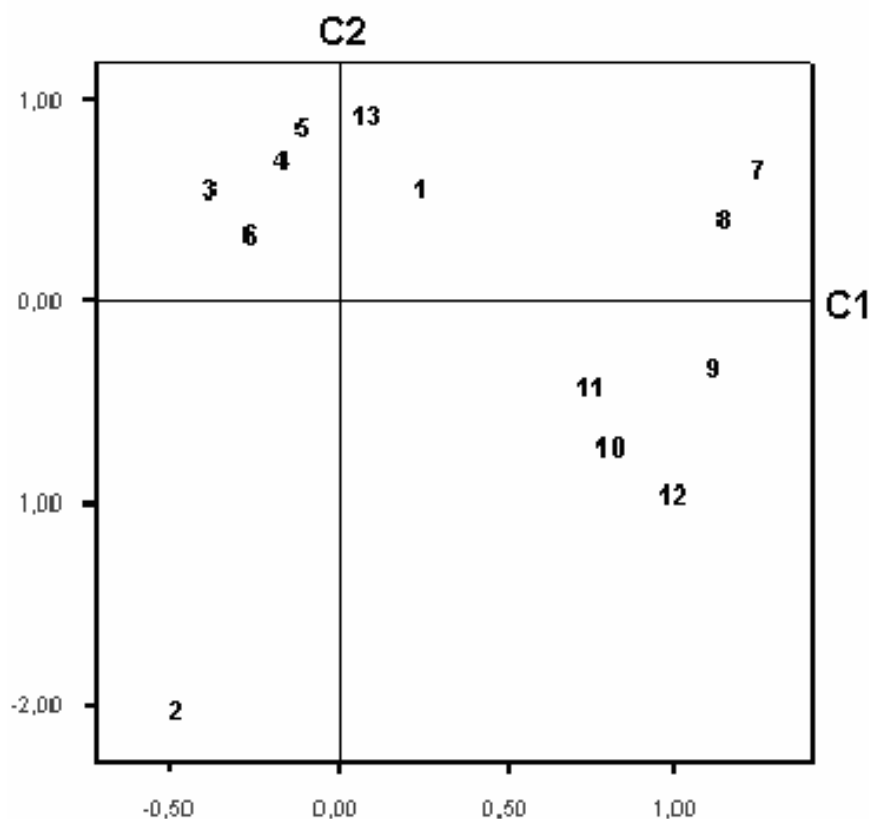


Figura III.12. Distribución de los tratamientos de acuerdo a las componentes principales en el ensayo 4. 1: testigo, 2: pulpa de café 5 g, 3: pulpa de café 2,5 g, 4: gallinaza 5 g, 5: gallinaza 2,5 g, 6: paja de caña 10g, 7: paja de caña 5 g, 8: cascarilla de arroz 10 g, 9: cascarilla de arroz 5 g, 10: cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g, 11: cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g, 12: paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g, 13: paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g.

Los resultados mostraron que los tratamientos 7 (paja de caña 5 g), 8 (cascarilla de arroz 10 g), 9 (cascarilla de arroz 5 g), 12 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g), 10 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g) y 11 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g) mostraron mayor peso sobre la componente 1, mientras que los que mostraron mayor influencia sobre las variables de suelo de la componente 2 fueron los tratamientos 13 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g), 5 (gallinaza 2,5 g) y 4 (gallinaza 5 g).

III.5. Efecto de la biodesinfección en el ensayo 5

En el ensayo 5 se utilizaron muestras de suelo procedente de Marchamalo (Guadalajara), recogidas a una profundidad de 0–20 cm. La biodesinfección se inició el 11-05-06 y finalizó el 2-06-06 (21 días), consistiendo en un total de 5 tratamientos y un testigo, con cuatro réplicas cada uno, estudiando el efecto sobre las poblaciones de *Meloidogyne incognita*, la microfauna beneficiosa, el crecimiento e índice de nodulación en plantas de tomate y la fertilidad del suelo.

En este experimento no se evaluó el efecto de la biodesinfección sobre las plantas de tomate, puesto que debido a una avería en las cámaras de crecimiento se produjo un incremento importante de las temperaturas durante varias horas, la cual ocasionó la muerte de las plantas.

III.5.1. Efecto de la biodesinfección sobre las poblaciones de *M. incognita*

Las poblaciones de J2 de *M. incognita* en este ensayo fueron en general bajas (Tabla III.27). Sólo se observaron individuos vivos en el testigo (3,0 individuos), el cual presentó diferencias estadísticamente significativas con todos los tratamientos.

Tabla III.27. Efecto de los materiales biodesinfectantes evaluados en el ensayo 5 sobre las poblaciones de *M. incognita*

No.	Tratamientos	J2 V* Media	Rango**	J2 M* Media	Rango**	% de Mortalidad
1	Testigo	3,00	18,50 a	0,00	4,00 b	0
2	Cascarilla de arroz 5 g	0,00	8,50 b	4,50	12,50 ab	100
3	Cascarilla de arroz 10 g	0,00	8,50 b	6,00	15,25 a	100
4	C. arroz 5 g + Gallinaza 2,5 g	0,00	8,50 b	3,00	10,00 ab	100
5	C. arroz 5 g + P. café 2,5 g	0,00	8,50 b	3,50	10,75 ab	100

* J2 V: juveniles vivos de *M. incognita*; J2 M: juveniles muertos de *M. incognita*.

** Prueba realizada por Kruskal Wallis. Rangos con letras no comunes difieren por Mann Whitney a $p < 0,01$.

Al mismo tiempo, el testigo fue el único caso en donde no se encontraron J2 de *Meloidogyne* muertos. Sin embargo, éste sólo mostró diferencias estadísticamente significativas con el tratamiento 3 (cascarilla de arroz 10 g), donde se observaron 15,25 individuos muertos. De acuerdo a estos resultados, el porcentaje de mortalidad fue 100% en todos los tratamientos evaluados y 0% en el testigo.

III.5.2. Efecto de la biodesinfección sobre la microfauna beneficiosa

En la Tabla III.28 se muestran los resultados de los conteos de las poblaciones de Rabdítidos, Doriláimidos y Enquitreidos tras los diferentes tratamientos de biodesinfección del ensayo 5. En el caso de los Rabdítidos, el testigo mostró diferencias estadísticamente significativas con todos los tratamientos, presentando las más bajas poblaciones de estos nematodos (6,75 individuos). Las poblaciones más altas se observaron en los tratamientos 3 (cascarilla de arroz 10 g) y 5 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g), con 152,0 y 148,5 individuos, respectivamente.

Tabla III.28. Efecto de los biodesinfectantes evaluados en el ensayo 5 sobre la microfauna beneficiosa

No.	Tratamientos	Rabdítidos*	Doriláimidos** Media	Rango*	Enquitreidos*
1	Testigo	6,75 c	1,00	8,50 b	7,00 d
2	Cascarilla de arroz 5 g	119,00 b	2,50	11,25 ab	41,00 c
3	Cascarilla de arroz 10 g	152,00 a	7,00	17,75 a	56,00 b
4	C. arroz 5 g + Gallinaza 2,5 g	113,00 b	1,00	8,50 b	35,50 c
5	C. arroz 5 g + P. café 2,5 g	148,50 a	0,00	6,50 b	74,50 a
	EE (x)***	± 3,93	-	-	± 4,36

* Medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey HSD a $p < 0,05$.

** Prueba realizada por Kruskal Wallis, Rangos con letras no comunes difieren por Mann Whitney a $p < 0,01$.

*** EE (X): Error estándar de las medias.

Con respecto a las poblaciones de Doriláimidos, en general fueron bajas, con un máximo de 7 individuos en el tratamiento 3 (cascarilla de arroz 10 g). Por su parte, las poblaciones de Enquitreidos más altas se observaron en los tratamientos 5 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g) y 3 (cascarilla de arroz 10 g), con 76,5 y 56,0 individuos, respectivamente. Ambos tratamientos mostraron diferencias estadísticamente significativas entre ellos y con el testigo, que fue donde se observó la menor cantidad de Enquitreidos (7,0 individuos).

En la Fig. III.13 se presentan en forma gráfica los resultados de los conteos de J2 de *M. incognita* y de la microfauna beneficiosa en los diferentes tratamientos y el testigo en el Ensayo 5.

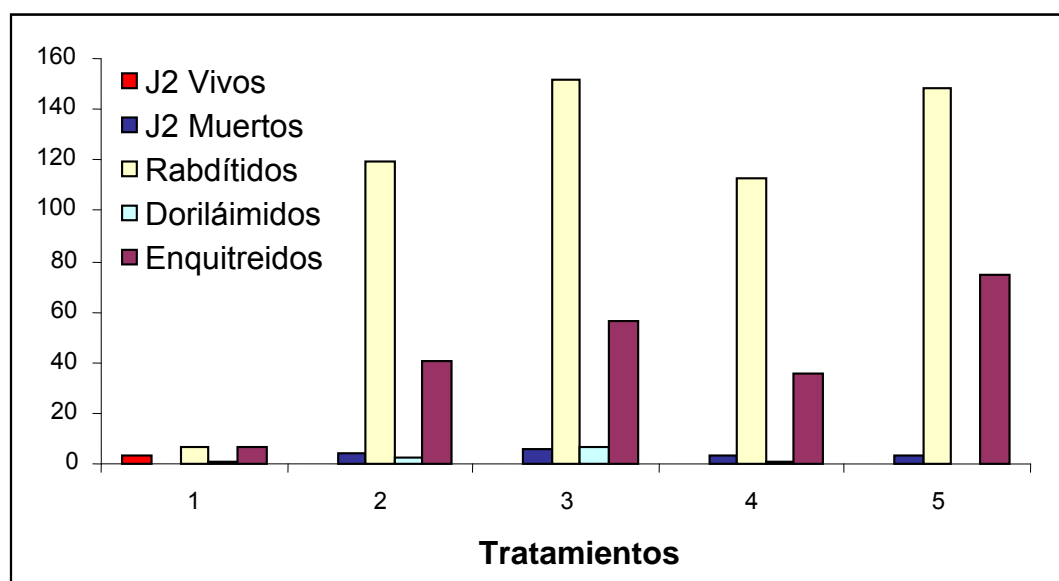


Figura III.13. Poblaciones de *M. incognita* y microfauna beneficiosa en los diferentes tratamientos y el testigo en el ensayo 5.

III.5.3. Efecto de la biodesinfección sobre la fertilidad del suelo

Los resultados de la evaluación del efecto de los tratamientos de biodesinfección sobre la fertilidad del suelo en el ensayo 5 mostraron que tanto el contenido de C como la relación C/N no presentaron diferencias estadísticamente significativas ni entre los tratamientos ni de éstos con respecto al testigo (Tabla III.29).

En el caso del N, el mayor contenido (0,13% N) se observó en el tratamiento 5 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g), el cual presentó diferencias estadísticamente significativas con el testigo y la mayoría de los tratamientos, a excepción del tratamiento 2 (cascarilla de arroz 5 g).

Con respecto a la MO, el mayor valor (2,67% MO) se encontró en el tratamiento 2 (cascarilla de arroz 5 g), el cual sólo mostró diferencias estadísticamente significativas con el testigo, que presentó el valor más bajo (2,29% MO).

En cuanto al pH, fue neutro a ligeramente básico, con el mayor valor (7,91) en el tratamiento 5 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g) y el menor valor (7,76) en el testigo.

Por su parte, el mayor valor de CE se observó en el testigo ($422,0 \mu\text{Scm}^{-1}$), el cual sólo mostró diferencias estadísticamente significativas con el tratamiento 2 (cascarilla de arroz 5 g), que fue donde se encontró el menor valor ($338,5 \mu\text{Scm}^{-1}$).

Tabla III.29. Efecto de la biodesinfección sobre las propiedades químicas del suelo en el ensayo 5*

Tratamientos	%				pH	mg 100g ⁻¹									
	N	MO	C	C/N		CE	P2O5	K	Ca	Na*	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
Testigo	0,110 b	2,292 b	1,340 a	12,12 a	7,760 b	422,0 a	158,7 a	50,2 b	213,5 b	5,1 ab	38,7 b	4,22 c	9,52 c	0,38 ab	0,18 b
Cascarilla de arroz 5 g	0,124 ab	2,665 a	1,547 a	12,45 a	7,820 ab	338,5 b	152,5 b	55,7 ab	223,7 ab	5,2 ab	41,7 ab	5,17 bc	10,07 bc	0,39 ab	0,34 a
Cascarilla de arroz 10 g	0,115 b	2,465 ab	1,435 a	12,50 a	7,845 ab	358,0 ab	152,0 b	56,5 a	221,5 ab	5,0 b	41,0 ab	6,87 ab	10,90 bc	0,37 b	0,23 ab
C. Arroz 5 g + Gallinaza 2,5 g	0,114 b	2,497 ab	1,450 a	12,83 a	7,840 ab	369,7 ab	155,7 ab	60,5 a	236,0 a	5,5 a	43,2 a	7,10 ab	11,27 ab	0,43 a	0,26 ab
C. Arroz 5 g + P. Café 2,5 g	0,134 a	2,525 ab	1,467 a	11,17 a	7,912 a	404,0 ab	160,7 a	58,5 a	224,7 ab	4,9 b	40,2 ab	8,37 a	12,52 a	0,38 ab	0,24 ab
EE (X)	±0,005	±0,109	±0,063	±0,80	±0,029	±16,3	±1,3	±1,3	±5,4	±0,2	±1,0	±0,49	±0,32	±0,01	±0,05

* Medias con letras no com unes en una misma columna difieren por Tukey HSD a p<0,05.

** EE (X): Error estándar de las medias.

En el caso del P_2O_5 , el mayor contenido ($160,7 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) se observó en el tratamiento 5 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g), el cual no mostró diferencias estadísticamente significativas con el testigo pero sí con los tratamientos 2 (cascarilla de arroz 5 g) y 3 (cascarilla de arroz 10 g), que fueron los que mostraron los valores más bajos ($152,5$ y $152,0 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ respectivamente).

Tanto para el K como para el Ca los mayores contenidos se observaron en el tratamiento 4 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), con $60,5$ y $230 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ de K y Ca, respectivamente. Este tratamiento sólo mostró diferencias estadísticamente significativas con el testigo, que fue el que presentó el menor contenido en ambos nutrientes ($50,2$ y $213,5 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ de K y Ca, respectivamente).

El mayor contenido de Na ($5,5 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) también se observó en el tratamiento 4 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), el cual mostró diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos 3 (cascarilla de arroz 10 g) y 5 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g), pero no con el testigo.

En el caso del Mg, una vez el contenido más elevado ($43,2 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) se observó en el tratamiento 4 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), el cual sólo mostró diferencias estadísticamente significativas con el testigo, que presentó el contenido más bajo ($38,7 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$).

En cuanto a los microelementos evaluados (Fe, Mn, Zn y Cu), se observó que los mayores contenidos de Fe y Mn se encontraron en el tratamiento 5 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g), con $8,37$ y $12,52 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ de Fe y Mn, respectivamente. Este tratamiento mostró diferencias estadísticamente significativas con el testigo, que presentó los menores contenidos de ambos elementos ($4,22$ y $9,52 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ de Fe y Mn, respectivamente). En el caso del Zn, el mayor valor se observó en el tratamiento 4 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), con $0,43 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$, el cual sólo mostró diferencias estadísticamente significativas con el tratamiento 3 (cascarilla de arroz 10 g), que fue el que presentó el menor valor ($0,37 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$). Por último, el mayor contenido de Cu ($0,34 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) se encontró en el tratamiento 2 (cascarilla de arroz 5 g), el cual sólo mostró diferencias estadísticamente significativas con el testigo, que fue el que presentó el menor valor ($0,18 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$).

III.5.4. Distribución de las variables de suelo y los tratamientos en función del Análisis de Componentes Principales

En el Análisis de Componentes Principales realizado para el ensayo 5 se encontró que las primeras cuatro componentes explican un 81,88% de la variabilidad total (Tabla III.30). De ese porcentaje, las componentes 1 y 2 explican la mayor parte de la variabilidad (52,34%). Las variables de suelo que tuvieron mayor peso sobre la componente 1 fueron K, Mg, Ca, Fe y Mn, mientras que las variables con mayor peso sobre la componente 2 fueron C, MO, y relación C/N (en negrita en la Tabla III.30).

Tabla III.30. Valores propios de las componentes principales y correlaciones entre las variables y las componentes en el Ensayo 5

Componentes principales		1	2	3	4
Valores propios		4,36	3,49	2,68	1,75
Contribución total		29,07	23,27	17,84	11,69
% Acumulado		29,07	52,34	70,19	81,88
Variables	K	0,88	-0,36		
	Mg	0,69	-0,56	-0,40	
	Ca	0,69	-0,59	-0,21	0,17
	Fe	0,68	0,15	0,55	0,13
	Mn	0,67		0,65	
	Zn	0,55	0,11	-0,32	0,52
	pH	0,54		0,48	-0,32
	C	0,45	0,84		-0,22
	MO	0,46	0,84		-0,22
	CN	0,11	0,83	-0,32	0,15
	Cu	0,56	0,58	-0,18	-0,12
	P₂O₅	-0,13		0,66	0,64
	Na	0,46		-0,62	0,47
	CE	-0,27	0,25	0,45	0,66
	N	0,28	-0,39	0,49	-0,33

La representación gráfica de estos resultados (Fig. III.14) muestra las variables de mayor peso sobre la componente 1 (K, Mg, Ca, Fe y Mn) se sitúan en el lado derecho de la gráfica, mientras que en la parte superior de la misma se encuentran las variables con mayor peso sobre la componente 2 (C, MO y C/N).

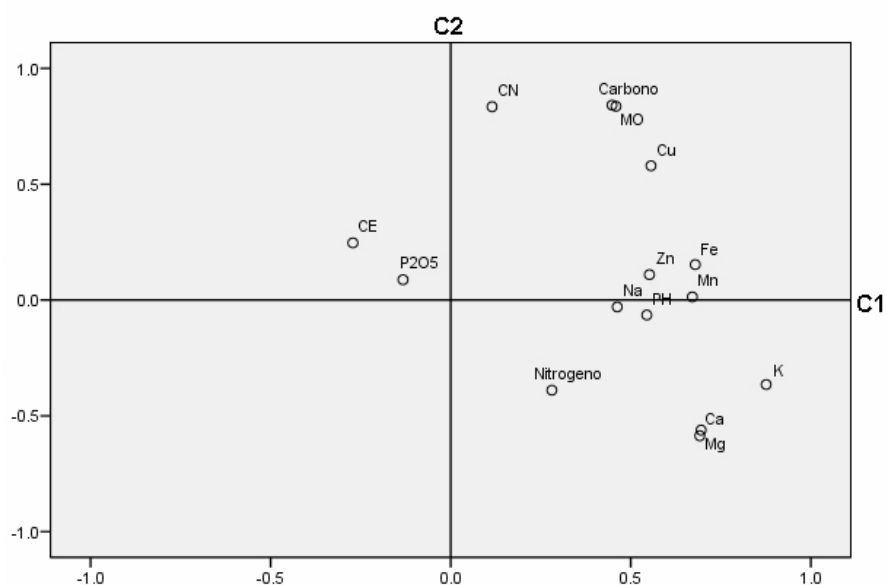


Figura III.14. Distribución de las variables de suelo de acuerdo al ACP en el ensayo 5.

La representación de los tratamientos de biodesinfección en el ensayo 5 sobre dos ejes, a partir de los resultados obtenidos con las variables de suelo (Fig. III.15), permite visualizar los tratamientos que más contribuyeron a la variabilidad total en este ensayo, en función de dichas variables de suelo.

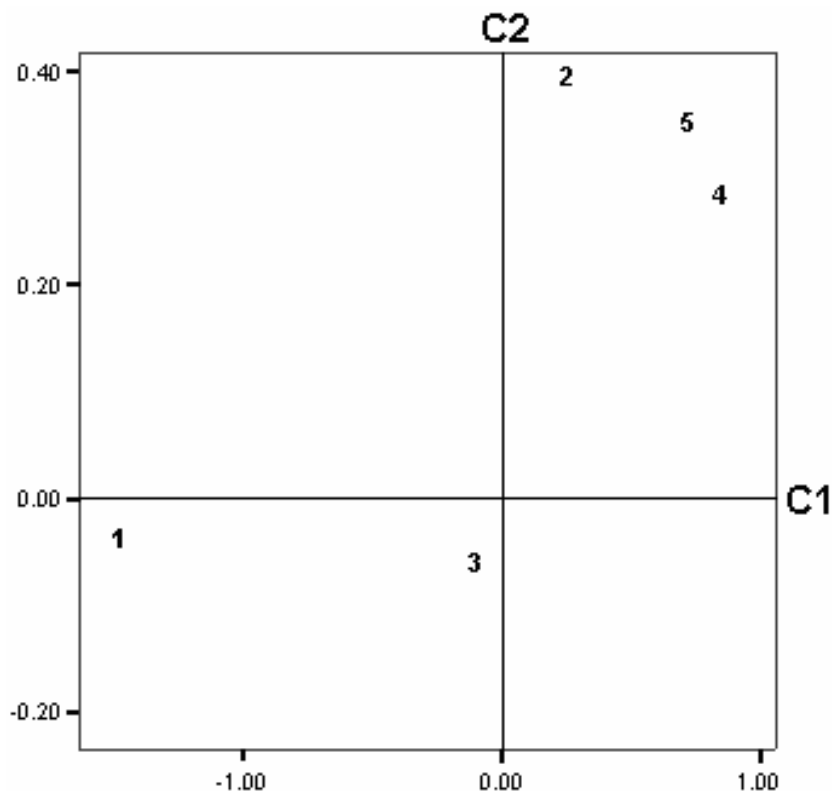


Figura III.15. Distribución de los tratamientos de acuerdo a las componentes principales en el Ensayo 5. 1: testigo; 2: cascarilla de arroz 5 g; 3: cascarilla de arroz 10 g; 4: cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g; 5: cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g.

De esta manera, los tratamientos con mayor peso sobre la componente 1 fueron el tratamiento 4 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g) y el 5 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g), los cuales se sitúan en el lado derecho de la gráfica. Por su parte, los tratamientos 2 (cascarilla de arroz 5 g) y 3 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g) fueron los que mostraron mayor influencia sobre la componente 2.

III.6. Efecto de la biodesinfección en el ensayo 6

En el ensayo 6 se utilizó una muestra de suelo procedente de Marchamalo (Guadalajara), recogida a una profundidad de 20–40 cm. La biodesinfección se inició el 11-05-06 y finalizó el 2-06-06 (21 días), ensayándose un total de 5 tratamientos y un testigo, con cuatro réplicas cada uno, estudiando el efecto sobre las poblaciones de *Meloidogyne incognita*, la microfauna beneficiosa, el crecimiento e índice de nodulación en plantas de tomate y la fertilidad del suelo.

Debido a una avería en las cámaras de crecimiento durante el período de crecimiento de las plantas de tomate cultivadas sobre los suelos del ensayo, las temperaturas se incrementaron en forma importante durante varias horas. Esto ocasionó la muerte de las plantas, que no pudieron ser estudiadas para evaluar el efecto de la biodesinfección sobre las plantas de tomate.

III.6.1. Efecto de la biodesinfección sobre las poblaciones de *M. incognita*

Las poblaciones de J2 de *M. incognita* en el ensayo 6 fueron bajas (Tabla III.31), encontrándose individuos vivos sólo en el testigo, el cual no mostró diferencias estadísticamente significativas con ninguno de los tratamientos realizados. De acuerdo a estos resultados, la mortalidad fue 100% en todos los tratamientos evaluados, y 0% en el testigo.

Tabla III.31. Efecto de los materiales de biodesinfección evaluados en el ensayo 6 sobre las poblaciones de *M. incognita*

No.	Tratamientos	J2 V* Media	Rango	J2 M* Media	Rango**	% de Mortalidad
1	Testigo	2,50	14,50 a	0,00	3,00 b	0
2	Cascarilla de arroz 5 g	0,00	9,50 a	7,50	12,00 a	100
3	Cascarilla de arroz 10 g	0,00	9,50 a	5,50	9,63 ab	100
4	C. arroz 5 g + Gallinaza 2,5 g	0,00	9,50 a	9,50	14,75 a	100
5	C. arroz 5 g + P. café 2,5 g	0,00	9,50 a	8,00	13,13 a	100

* J2 V: juveniles vivos de *M. incognita*; J2 M: juveniles muertos de *M. incognita*.

** Prueba realizada por Kruskal Wallis. Rangos con letras no comunes difieren por Mann Whitney a $p < 0,01$.

III.6.2. Efecto de la biodesinfección sobre la microfauna beneficiosa

La Tabla III.32 muestra los resultados del conteo de las poblaciones de Rabdítidos, Doriláimidos y Enquitreidos en los diferentes tratamientos de biodesinfección del ensayo 6. En el caso de los Rabdítidos, las poblaciones más bajas se observaron en el testigo (28,50 individuos), que mostró diferencias estadísticamente significativas con todos los tratamientos. Las poblaciones más altas (188,50 individuos) se observaron en el tratamiento 4 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), el cual mostró diferencias estadísticamente significativas con el resto de los tratamientos.

Tabla III.32. Efecto de los tratamientos del ensayo 6 sobre la microfauna beneficiosa

No.	Tratamientos	Rabdítidos*	Doriláimidos** Media	Rango*	Enquitreidos*
1	Testigo	28,5 d	0,5	12,5 a	2,5 c
2	Cascarilla de arroz 5 g	62,0 c	0	10,0 a	13,0 b
3	Cascarilla de arroz 10 g	12900 b	0	10,0 a	25,0 a
4	C. arroz 5 g + Gallinaza 2,5 g	188,0 a	0	10,0 a	30,0 a
5	C. arroz 5 g +P. café 2,5 g	73,0 c	0	10,0 a	11,0 b
	EE (x)	± 4,5	-	-	± 2,1

* Medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey HSD a $p < 0,05$.

** Prueba realizada por Kruskal Wallis, Rangos con letras no comunes difieren por Mann Whitney a $p < 0,01$.

*** EE (X): Error estándar de las medias.

En el caso de los Doriláimidos, sólo se detectó su presencia en el testigo, y en muy bajas poblaciones (0,5 individuos), mientras que con respecto a los Enquitreidos las poblaciones más altas se observaron en los tratamientos 3 (cascarilla de arroz 10 g) y 4 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), con 25,0 y 30,0 individuos, respectivamente. Estos tratamientos no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre sí, pero fueron estadísticamente diferentes al resto de los tratamientos y al testigo, el cual presentó el menor número de individuos (2,5).

Los resultados de los recuentos de J2 de *M. incognita*, así como de la microfauna beneficiosa se representan en forma gráfica en la Fig. III.16.

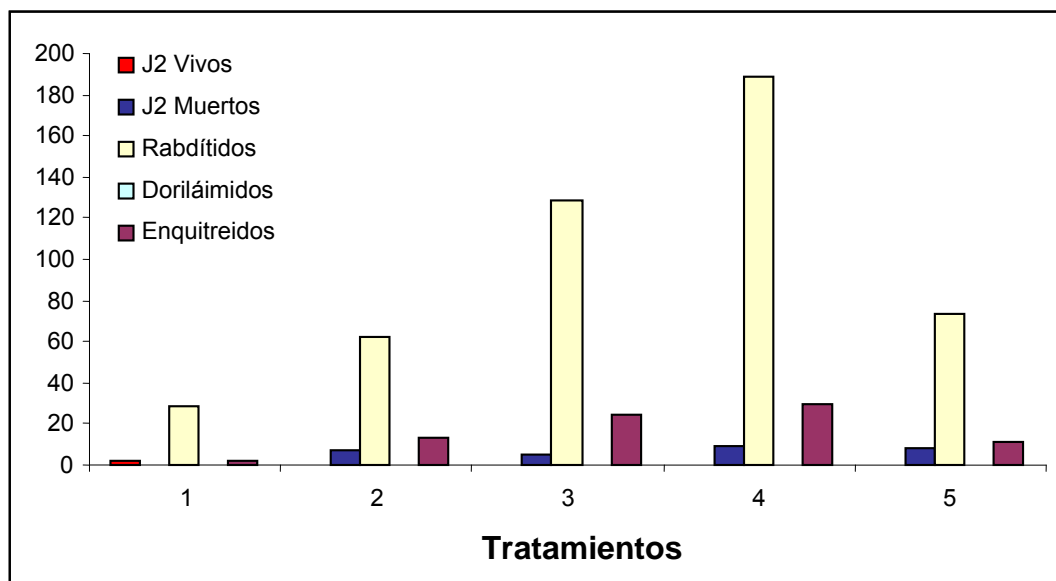


Figura III.16. Poblaciones de *M. incognita* y microfauna beneficiosa en los diferentes tratamientos y el testigo en el ensayo 6.

III.6.3. Efecto de la biodesinfección sobre la fertilidad del suelo

La evaluación del efecto de los tratamientos de biodesinfección sobre las variables de fertilidad del suelo en el ensayo 6 no mostró diferencias estadísticamente significativas para el contenido de N y Zn ni entre los tratamientos, ni entre éstos y el testigo (Tabla III.33).

En el caso de la MO, el C y la relación C/N, los valores más altos (2,26% MO, 1,31% C y relación C/N= 20,7) se observaron en el tratamiento 2 (cascarilla de arroz 5 g), el cual presentó diferencias estadísticamente significativas con el testigo y con el resto de los tratamientos.

El pH fue de neutro a ligeramente básico (7,65-7,84), presentando el mayor valor en el tratamiento 5 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g), el cual sólo mostró diferencias estadísticamente significativas con el tratamiento 4 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g).

Por su parte, el mayor valor de CE se observó en el testigo ($306,5 \mu\text{Scm}^{-1}$), el cual sólo mostró diferencias estadísticamente significativas con el tratamiento 5 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g), que fue el que mostró el menor valor para esta variable ($229,5 \mu\text{Scm}^{-1}$).

En el caso del P_2O_5 , el mayor contenido ($66,2 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) se observó en el tratamiento 4 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), el cual no mostró diferencias estadísticamente significativas con el testigo, pero sí con el resto de los tratamientos. El menor valor de P_2O_5 se encontró en el tratamiento 3 (cascarilla de arroz 10 g), con $54,3 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$.

Con respecto al Ca, el mayor valor también se encontró en el tratamiento 4 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), con $117,2 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$, el cual sólo mostró diferencias estadísticamente significativas con el tratamiento 5 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g) y con el testigo ($90,5$ y $88,2 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente).

En el caso del Na, el mayor valor ($3,9 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) se observó nuevamente en el tratamiento 4 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), el cual no mostró diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos 2 (cascarilla de arroz 5 g) y 3 (cascarilla de arroz 10 g), pero sí con el tratamiento 5 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g) y con el testigo, que fue el que presentó el menor valor para este elemento ($2,8 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$).

En relación al Mg, los mayores valores se observaron en los tratamientos 3 (cascarilla de arroz 10 g) y 4 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), siendo de $29,7 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ en ambos casos. Estos tratamientos presentaron diferencias estadísticamente significativas con el tratamiento 5 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g) y con el testigo.

En cuanto a los microelementos, el mayor contenido de Fe se observó en el tratamiento 3 (cascarilla de arroz 10 g), con $5,42 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$, el cual sólo mostró diferencias significativas con el testigo ($2,47 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$). Para el Mn, el mayor valor se encontró en el tratamiento 5 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g), con $13,5 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$, el cual mostró diferencias significativas con el tratamiento 4 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g) y con el testigo ($10,37$ y $9,62 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente). En relación al Cu, el mayor contenido se encontró en el tratamiento 5 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g), con $0,41 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$. Este tratamiento sólo mostró diferencias significativas con el tratamiento 4 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), que presentó un contenido de Cu de $0,22 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$.

Tabla III.33. Efecto de la biodesinfección sobre las propiedades químicas del suelo en el ensayo 6*

TRATAMIENTOS	%			pH	CE μScm^{-1}	mg 100g ⁻¹									
	N	MD	C			C/N	P ₂ O ₅	K	Ca	Na	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
Testigo	0,058 a	1,320 b	0,765 b	13,07 b	7,697 ab	306,5 a	60,0 ab	33,0 c	88,2 b	2,8 c	23,7 b	2,47 b	9,62 c	0,18 a	0,33 ab
Cascarilla de arroz 5 g	0,065 a	2,255 a	1,312 a	20,74 a	7,832 a	264,5 ab	55,0 b	43,5 b	115,2 a	3,7 a	29,5 a	4,25 ab	11,77 ab	0,20 a	0,40 a
Cascarilla de arroz 10 g	0,067 a	1,410 b	0,817 b	12,19 b	7,755 ab	280,0 ab	54,3 b	45,0 ab	111,0 a	3,5 ab	29,7 a	5,42 a	11,95 ab	0,19 a	0,36 ab
C. Arroz 5 g + Gallinaza 2,5 g	0,066 a	1,307 b	0,790 b	11,80 b	7,652 b	289,2 ab	66,2 a	46,0 a	117,2 a	3,9 a	29,7 a	3,47 ab	10,37 bc	0,28 a	0,22 b
C. Arroz 5 g + P. Café 2,5 g	0,066 a	1,365 b	0,805 b	12,14 b	7,842 a	229,5 b	56,8 b	38,7 abc	90,5 b	3,0 bc	24,2 b	5,40 a	13,05 a	0,19 a	0,41 a
EE (X)	±0,004	±0,152	±0,088	±1,54	±0,05	±15,3	±1,4	±1,5	±3,8	±0,13	±0,9	±0,51	±0,43	±0,02	±0,06

* Medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey HSD a $p < 0,05$.

** EE (X): Error estándar de las medias.

III.6.4. Distribución de las variables de suelo y los tratamientos en función del Análisis de Componentes Principales

La Tabla III.34 muestra el Análisis de Componentes Principales para las variables de suelo en el ensayo 6. En ésta se observa que las cuatro primeras componentes explican el 83,65% de la variabilidad total, de las cuales las componentes 1 y 2 explican el mayor porcentaje de dicha variabilidad (55,25%).

Tabla III.34. Valores propios de las componentes principales y correlaciones entre las variables y las componentes en el ensayo 6

Componentes principales		1	2	3	4
Valores propios		4,57	3,72	2,59	1,67
Contribución total		30,45	24,80	17,27	11,13
% Acumulado		30,45	55,25	72,52	83,65
Variables	Ca	0,81	0,54		-0,15
	K	0,80	0,44	0,22	-0,28
	Mg	0,79	0,48		-0,29
	Na	0,73	0,58		
	pH	0,30	-0,76	0,16	
	Cu	0,28	-0,69	0,16	0,33
	P₂O₅	-0,26	0,63		0,53
	Mn	0,51	-0,59	0,48	
	CE	-0,21	0,57		0,12
	CN	0,42	-0,17	-0,85	
	MO	0,61	-0,27	-0,68	0,26
	C	0,65	-0,25	-0,65	0,28
	Fe	0,51	-0,45	0,59	-0,15
	Zn	0,26	0,39	0,28	0,76
N	0,50	-0,11	0,44	0,53	

Las variables de suelo que mostraron mayor peso sobre la componente 1 fueron Ca, K, Mg, Na, MO y C, mientras que el P₂O₅ fue la variable con mayor influencia sobre la componente 2 (en negrita en la Tabla). Estos resultados se representan en forma gráfica en la Fig. III.17, donde las variables con mayor peso sobre la componente 1 se sitúan en el lado derecho de la gráfica y aquellas con mayor peso sobre la componente 2 se encuentran en la parte superior.

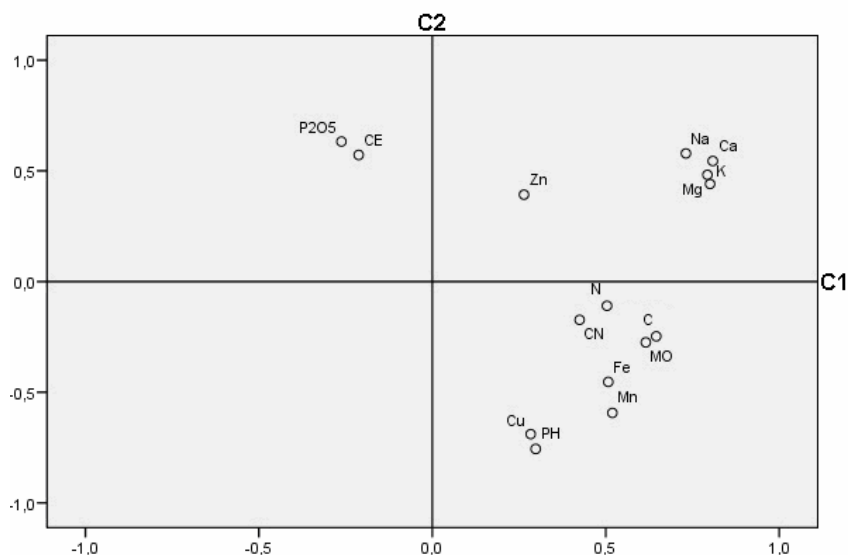


Figura III.17. Distribución de las variables de suelo de acuerdo al ACP en el ensayo 6.

La distribución de los tratamientos se representó en forma gráfica para mostrar aquellos con mayor influencia sobre las variables analizadas (Fig. III.18). Los resultados mostraron que los tratamientos 4 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), 3 (cascarilla de arroz 10 g) y 2 (cascarilla de arroz 5 g) fueron los de mayor peso sobre las variables de suelo de la componente 1, mientras que los tratamientos con mayor influencia sobre las variables de suelo de la componente 2 fueron el 5 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g) y el 2 (cascarilla de arroz 5 g).

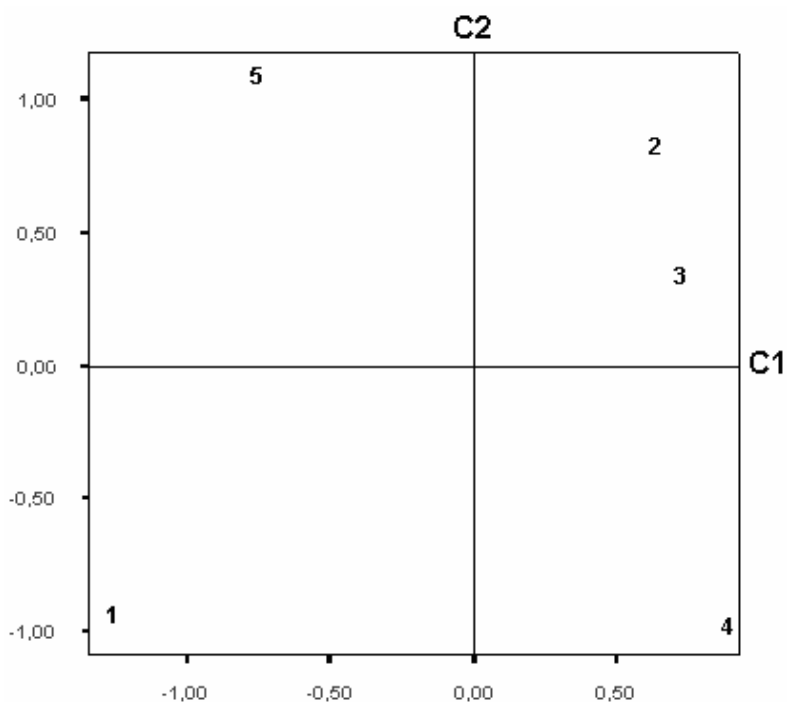


Figura III.18. Distribución de los tratamientos de acuerdo a las componentes principales en el ensayo 6.
 1: testigo, 2: cascarilla de arroz 5 g, 3: cascarilla de arroz 10 g, 4: cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g, 5: cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g.

III.7. Efecto de la biodesinfección en el ensayo 7

En el ensayo 7 se utilizó una muestra de suelo proveniente de Marchamalo (Guadalajara), sobre la cual el experimento de biodesinfección se inició el 21-02-07 y finalizó el 21-03-07 (28 días). Se realizaron 15 tratamientos de biodesinfección, probando cinco materiales biodesinfectantes a diferentes dosis, y con un testigo, cada uno con cuatro réplicas, estudiando su efecto sobre las poblaciones de *Meloidogyne incognita*, la microfauna beneficiosa, el crecimiento e índice de nodulación en plantas de tomate y la fertilidad del suelo.

III.7.1. Efecto de la biodesinfección sobre las poblaciones de *M. incognita*

En la Tabla III.35 se muestra el efecto de los tratamientos de biodesinfección sobre las poblaciones de *M. incognita*. Se observó que todos los tratamientos mostraron diferencias estadísticamente significativas con el testigo en el número de J2 vivos. Éste presentó las poblaciones más altas de J2 vivos (133,75), seguido del tratamiento 4 (vinaza de caña 3%) con 25,0 individuos, el cual mostró diferencias significativas con el resto de los tratamientos.

Tabla III.35. Efecto de los biodesinfectantes evaluados en el ensayo 7 sobre las poblaciones de *M. incognita*

No.	Tratamientos	J2 V* Media	Rango**	J2 M* Media	Rango**	% de Mortalidad
1	Testigo	133,75	62,50 a	44,25	21,88 cde	24,8
2	Vinaza de caña 10%	3,00	44,13 c	169,50	49,13 ab	98,26
3	Vinaza de caña 5%	1,25	30,13 c	223,50	54,88 a	99,44
4	Vinaza de caña 3%	25,00	58,25 b	87,50	34,25 bcde	77,8
5	Gallinaza 5 g	0,00	16,00 c	22,50	3,75 e	100
6	Pulpa de café 10 g	1,50	38,50 c	36,00	14,50 de	96
7	V. caña 5% + P. café 10 g	0,50	25,50 c	29,50	10,13 de	98,33
8	V. caña 5% + P. caña 5 g	0,75	27,25 c	164,50	47,13 ab	99,55
9	V. caña 5% + C. arroz 5 g	2,00	32,75 c	137,00	42,38 abcd	98,56
10	V. caña 5% + Gallinaza 5 g	0,00	16,00 c	34,00	13,25 de	100
11	Paja de caña 5 g	0,50	22,50 c	39,00	18,00 de	98,73
12	Cascarilla de arroz 5 g	2,50	38,13 c	43,50	20,75 cde	94,56
13	V. Caña 10 % + P. caña 5 g	0,00	16,00 c	195,50	53,75 ab	100
14	V. Caña 10% + C. arroz 5 g	1,50	30,88 c	214,00	54,00 a	99,3
15	V. Caña 3%+ P. caña 5 g	0,00	16,00 c	152,00	45,75 abc	100
16	V. Caña 3% + C. arroz 5 g	10,00	45,50 c	99,50	36,50 bcde	90,86

* J2 V: juveniles vivos de *M. incognita*; J2 M: juveniles muertos de *M. incognita*.

** Prueba realizada por Kruskal Wallis. Rangos con letras no comunes difieren por Mann Whitney a $p < 0,01$.

Con respecto a los J2 muertos, el testigo mostró diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos 2 (vinaza de caña 10%), 3 (vinaza de caña 3%), 8 (vinaza de caña 5% + paja de caña 5 g), 13 (vinaza de caña 10% + paja de caña 5 g) y 14 (vinaza de caña 10% + cascarilla de arroz 5 g). En cuanto al porcentaje de mortalidad, la mayoría de los tratamientos mostraron un valor superior al 95%, llegando incluso al 100% en el caso de los tratamientos 5 (gallinaza 5 g), 10 (vinaza de caña 5% + gallinaza 5 g), 13 (vinaza de caña 10% + paja de caña 5 g) y 15 (vinaza de caña 3% + paja de caña 5 g). El valor más bajo se observó en el testigo, con un 24,8%.

III.7.2. Efecto de la biodesinfección sobre la microfauna beneficiosa

Los resultados del recuento de los microorganismos beneficiosos evaluados se muestran en la Tabla III.36, donde se observa que la mayor cantidad de Rabdítidos se encontró en los tratamientos 7 (vinaza de caña 5% + pulpa de café 10 g) y 11 (paja de caña 5 g), con 108,0 y 92,0 individuos, respectivamente. Estos tratamientos mostraron diferencias estadísticamente significativas con el resto de los tratamientos y con el testigo. Las poblaciones más bajas de Rabdítidos (3,0–9,0 individuos) se encontraron en el testigo y los tratamientos 2 (vinaza de caña 10%), 3 (vinaza de caña 5%), 4 (vinaza de caña 3%), 9 (vinaza de caña 5% + cascarilla de arroz 5 g) y 16 (vinaza de caña 3% + cascarilla de arroz 5 g).

En el caso de las poblaciones de Doriláimidos, sólo se detectaron individuos en el tratamiento 2 (vinaza de caña 10%) y en muy bajos niveles (1,50). Por su parte, los Enquitreidos presentaron las poblaciones más altas (31,0–44,5 individuos) en los tratamientos 6 (pulpa de café 10 g), 7 (vinaza de caña 5% + pulpa de café 10 g), 8 (vinaza de caña 5% + paja de caña 5 g), 9 (vinaza de caña 5% + cascarilla de arroz 5 g) y 11 (paja de caña 5 g), los cuales no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre sí. La menor cantidad de Enquitreidos (1,5–4,5 individuos) se observó en el testigo y en los tratamientos 2 (vinaza de caña 10%), 3 (vinaza de caña 5%), 4 (vinaza de caña 3%) y 5 (gallinaza 5 g), los cuales presentaron diferencias estadísticamente significativas con los anteriores.

Tabla III.36. Efecto de los materiales biodesinfectantes evaluados en el ensayo 7 sobre la microfauna beneficiosa

No.	Tratamientos	Rabditidos*	Doriláimidos** Media	Rango*	Enquitreidos*
1	Testigo	8,00 efg	0	31,00 b	1,50 e
2	Vinaza de caña 10%	3,00 g	1,50	55,00 a	2,50 e
3	Vinaza de caña 5%	9,50 ef	0	31,00 b	4,50 e
4	Vinaza de caña 3%	8,00 efg	0	31,00 b	4,50 e
5	Gallinaza 5 g	17,00 d	0	31,00 b	4,50 de
6	Pulpa de café 10 g	63,00 b	0	31,00 b	44,50 a
7	V. caña 5% + P. café 10 g	108,00 a	0	31,00 b	36,50 ab
8	V. caña 5% + P. caña 5 g	48,25 c	0	31,00 b	31,00 ab
9	V. caña 5%+ C. arroz 5 g	9,50 ef	0	31,00 b	38,00 ab
10	V. caña 5% + Gallinaza 5 g	23,75 d	0	31,00 b	13,25 cd
11	Paja de caña 5 g	92,00 a	0	31,00 b	35,00 ab
12	Cascarilla de arroz 5 g	37,50 c	0	31,00 b	12,00 cd
13	V. caña 10% + P. caña 5 g	68,00 b	0	31,00 b	6,00 cd
14	V. caña 10% + C. arroz 5 g	12,25 de	0	31,00 b	14,00 c
15	V. caña 3%+ P. caña 5 g	23,50 d	0	31,00 b	14,50 c
16	V. caña 3% + C. arroz 5 g	6,00 fg	0	31,00 b	13,00 cd
	EE (x)***	$\pm 1,71$	-	-	$\pm 0,79$

* Medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey HSD a $p < 0,05$.

** Prueba realizada por Kruskal Wallis, Rangos con letras no comunes difieren por Mann Whitney a $p < 0,01$.

*** EE (X): Error estándar de las medias.

En la Fig. III.19 se representa de forma gráfica el efecto de los diferentes tratamientos y el testigo en el ensayo 7 sobre las poblaciones de J2 de *M. incognita* así como sobre la microfauna beneficiosa.

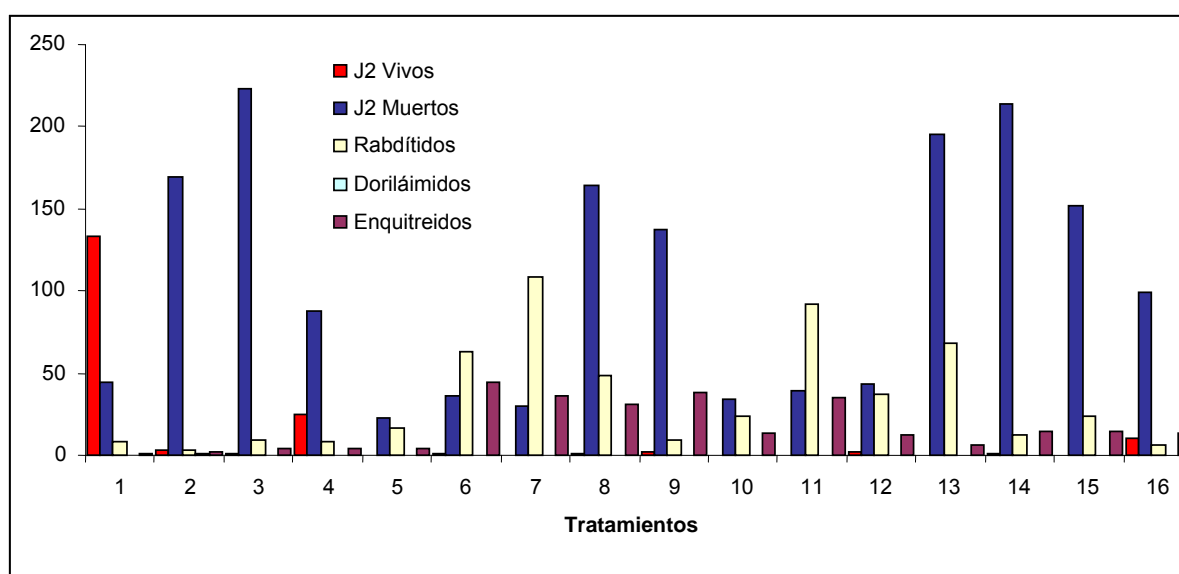


Figura III.19. Poblaciones de *M. incognita* y microfauna beneficiosa en los diferentes tratamientos y el testigo en el ensayo 7.

III.7.3. Efecto de la biodesinfección en el índice de nodulación en raíces de plantas de tomate cv “Marmande”

El efecto de la biodesinfección sobre el índice de nodulación en raíces se determinó sobre plantas de tomate cv “Marmande” (susceptible a *Meloidogyne*) cultivadas en macetas con suelo de los diferentes tratamientos y del testigo después de la biodesinfección (Tabla III.37). El mayor índice se observó en el testigo con un valor de 6,25, que mostró diferencias estadísticamente significativas con la mayoría de los tratamientos, a excepción de los tratamientos 2 (vinaza de caña 10%) y 4 (vinaza de caña 3%). El menor índice de nodulación (0,0) se observó en el tratamiento 13 (vinaza de caña 10% + paja de caña 5 g), el cual no presentó diferencias significativas con los tratamientos 8 (vinaza de caña 5% + paja de caña 5 g), 11 (paja de caña 5 g), 14 (vinaza de caña 10% + cascarilla de arroz 5 g) y 15 (vinaza de caña 3% + cascarilla de arroz 5 g), que se encontraron en un rango de 0,5–0,75.

Tabla III.37. Índices de nodulación en raíces de tomate cv “Marmande” en el ensayo 7

No.	Tratamientos	Media	Rango
1	Testigo	6,25	62,50 a
2	Vinaza de caña 10%	3,25	51,00 abc
3	Vinaza de caña 5%	1,75	35,63 cd
4	Vinaza de caña 3%	4,50	58,00 ab
5	Gallinaza 5 g	1,25	26,88 cd
6	Pulpa de café 10 g	1,50	31,25 cd
7	Vinaza de caña 5% + Pulpa de café 10 g	1,25	26,88 cd
8	Vinaza de caña 5% + Paja de caña 5 g	0,50	14,88 ce
9	Vinaza de caña 5%+ Cascarilla de arroz 5 g	2,50	45,50 c
10	Vinaza de caña 5% + Gallinaza 5 g	1,50	31,25 cd
11	Paja de caña 5 g	0,50	14,50 de
12	Cascarilla de arroz 5 g	2,50	45,50 c
13	Vinaza de caña 10% + Paja de caña 5 g	0,00	6,50 e
14	Vinaza de caña 10% + Cascarilla de arroz 5 g	0,75	18,50 de
15	Vinaza de caña 3%+ Paja de caña 5 g	0,75	18,50 de
16	Vinaza de caña 3% + Cascarilla de arroz 5 g	1,75	32,75 cd

* Medias de rangos con letras no comunes difieren por Kruskal Wallis y Mann Witney ($p < 0,01$).

III.7.4. Efecto de la biodesinfección sobre el crecimiento de plantas de tomate cv “Marmande”

En la Tabla III.38 se muestran los resultados de la evaluación del efecto de la biodesinfección sobre el crecimiento de las plantas de tomate cv “Marmande” en el ensayo 7. En el caso de la altura, los mayores valores se encontraron en los tratamientos 6 (pulpa de café 10 g) y 7 (vinaza de caña 5% + pulpa de café 10 g), con 12,3 y 12,8 cm, respectivamente. Éstos no mostraron diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos 3 (vinaza de caña 5%), 10 (vinaza de caña 5% + gallinaza 5 g) y 13 (vinaza de caña 10% + paja de caña 5 g), mientras que las plantas de menor altura (7,5–8,1 cm) se observaron en el testigo y los tratamientos 12 (cascarilla de arroz 5 g) y 16 (vinaza de caña 3% + cascarilla de arroz 5 g).

Con respecto al peso total de las plantas, los valores más altos (0,92-1,09 g) se observaron en los tratamientos 6 (pulpa de café), 7 (vinaza de caña 5% + pulpa de café 2,5 g) y 10 (vinaza de caña 5% + gallinaza 5 g). Éstos presentaron diferencias estadísticamente significativas con el testigo y la mayoría de los tratamientos, a excepción de los tratamientos 3 (vinaza de caña 5%), 5 (gallinaza 5 g), 8 (vinaza de caña 5% + paja de caña 5 g) y 13 (vinaza de caña 10% + paja de caña 5 g), que mostraron valores intermedios. El peso del tallo mostró un patrón similar al peso total, con los valores más altos en los tratamientos 6 (pulpa de café 10 g), 7 (vinaza de caña 5% + pulpa de café 10 g), y 10 (vinaza de caña 5% + gallinaza 5 g).

En el caso del peso de la raíz el mayor valor (0,17 g) se observó en el tratamiento 10 (vinaza de caña 5% + gallinaza 5 g), que no presentó diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos 3 (vinaza de caña 5%), 5 (gallinaza 5 g), 6 (pulpa de café 10 g) y 7 (vinaza de caña 5% + pulpa de café 2,5 g). El menor valor se observó en el testigo (0,09 g), que mostró diferencias estadísticamente significativas con todos los tratamientos.

Con respecto al número de hojas, el mayor valor (7,5) se encontró en el tratamiento 10 (vinaza de caña 5% + gallinaza 5 g), el cual sólo presentó diferencias estadísticamente significativas con el testigo y con los tratamientos 9 (vinaza de caña 5% + cascarilla de arroz 5 g), 12 (cascarilla de arroz 5 g), 15 (vinaza de caña 3% + paja de caña 5 g) y 16 (vinaza de caña 3% + cascarilla de arroz 5 g), que presentaron los valores más bajos (4,50–5,25 hojas).

Tabla III.38. Efecto de los tratamientos de biodesinfección sobre el crecimiento de las plantas de tomate cv “Marmande” en el ensayo 7

No.	Tratamientos	Altura* (cm)	Peso Total (g)***	EE(x)	Peso Tallo (g)***	EE (x)	Peso Raíz (g)***	EE(x)	No. Hojas*
1	Testigo	8,12 def	0,38 d	± 0,03	0,29 ef	± 0,03	0,09 e	± 0,01	5,25 bcd
2	Vinaza de caña 10%	10,00 bcd	0,55 d	± 0,04	0,44 ef	± 0,03	0,11 cd	± 0,01	6,00 abcd
3	Vinaza de caña 5%	11,75 ab	0,78 bc	± 0,02	0,63 cd	± 0,02	0,16 abc	± 0,01	7,25 ab
4	Vinaza de caña 3%	9,50 cde	0,45 d	± 0,09	0,34 ef	± 0,08	0,11 cd	± 0,02	6,25 abcd
5	Gallinaza 5g	11,25 abc	0,81 b	± 0,03	0,67 bc	± 0,03	0,14 abcd	± 0,01	6,25 abcd
6	Pulpa de café 10 g	12,25 a	0,92 ab	± 0,03	0,78 abc	± 0,02	0,14 abcd	± 0,02	6,75 abc
7	V. caña 5% + P. café 10 g	12,75 a	1,05 a	± 0,05	0,89 a	± 0,04	0,16 ab	± 0,01	7,25 ab
8	V. caña 5% + P. caña 5 g	9,00 def	0,51 d	± 0,02	0,39 ef	± 0,02	0,12 cd	± 0,01	6,25 abcd
9	V. caña 5%+ C. arroz 5 g	9,50 cde	0,45 d	± 0,09	0,37 ef	± 0,07	0,10 d	± 0,02	4,50 d
10	V. caña 5% + Gallinaza 5 g	11,87 ab	0,99 ab	± 0,02	0,82 ab	± 0,01	0,17 a	± 0,01	7,50 a
11	Paja de caña 5 g	10,06 bcd	0,47 d	±0,02	0,37 ef	± 0,01	0,11 cd	± 0,01	5,75 abcd
12	Cascarilla de arroz 5 g	7,81 ef	0,37 d	±0,04	0,27 f	± 0,04	0,10 d	± 0,01	4,75 cd
13	V. caña 10% + P. Caña 5 g	11,00 abc	0,57 cd	± 0,03	0,45 de	± 0,02	0,12 bcd	± 0,01	5,75 abcd
14	V. caña 10% + C. Arroz 5 g	8,37 def	0,45 d	± 0,01	0,35 ef	± 0,01	0,10 d	± 0,01	6,00 abcd
15	V. caña 3% + P. Caña 5 g	8,14 def	0,38 d	± 0,01	0,29 ef	± 0,01	0,09 d	± 0,01	4,75 cd
16	V. caña 3% + C. Arroz 5 g	7,50 f	0,37 d	± 0,02	0,28 ef	± 0,03	0,09 d	± 0,01	5,25 bcd
	EE (x)**	± 0,54	-	-	-	-	-	-	± 0,57

* Medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey HSD a $p < 0,05$.

** EE (X): Error estándar de las medias.

*** Prueba realizada por Games Howell.

III.7.5. Efecto de la biodesinfección sobre el contenido de nutrientes en las plantas de tomate cv “Marmande”

En la Tabla III.39 se muestran los resultados del análisis químico de las plantas de tomate cv “Marmande” que habían sido trasplantadas sobre el suelo del ensayo 7 de biodesinfección. El escaso volumen de las muestras sólo permitió el análisis químico de las repeticiones agrupadas por tratamiento, por lo cual no fue posible el análisis estadístico de los datos.

En el caso del N, el valor más alto se observó en el tratamiento 5 (gallinaza 5 g), con 1,95% N, y el valor más bajo lo presentó el tratamiento 12 (cascarilla de arroz 5 g), con 0,89% N. En cuanto a la MO, el valor más alto se encontró en el tratamiento 14 (vinaza de caña 10% + cascarilla de arroz 5 g), con 88,5% MO, mientras que el más bajo se observó en el testigo (79,1% MO). Con respecto al P, los mayores valores se encontraron en los tratamientos 10 (vinaza de caña 5% + gallinaza 5 g) y 15 (vinaza de caña 3% + paja de caña 5 g) con 4440 y 4450 mg kg⁻¹ respectivamente, y los más bajos se observaron en los tratamientos 3 (vinaza de caña 5%) y 5 (gallinaza 5 g), con 3198 y 3195 mg kg⁻¹ respectivamente.

En cuanto al K, el valor más alto (39176 mg kg^{-1}) se observó en el tratamiento 8 (vinaza de caña 5% + paja de caña 5 g) y el más bajo (27944 mg kg^{-1}) en el tratamiento 16 (vinaza de caña 3% + cascarilla de arroz 5 g). En el caso del Ca, el valor más alto (18507 mg kg^{-1}) se encontró en el tratamiento 13 (vinaza de caña 10% + paja de caña 5 g) y el más bajo (11602 mg kg^{-1}) en el tratamiento 9 (vinaza de caña 5% + cascarilla de arroz 5 g). Los contenidos más altos de Mg se encontraron en los tratamientos 9 (vinaza de caña 5% + cascarilla de arroz 5 g) y 12 (cascarilla de arroz 5 g), con 16337 y 16616 mg kg^{-1} , respectivamente, y los más bajos en los tratamientos 2 (vinaza de caña 10%) y 4 (vinaza de caña 3%), con 6353 y 6949 mg kg^{-1} , respectivamente. Por último, los contenidos más altos de Na se observaron en los tratamientos 3 (vinaza de caña 5%) y 5 (gallinaza 5 g), con 3387 y 3382 mg kg^{-1} , respectivamente, y el más bajo lo presentó el tratamiento 10 (vinaza de caña 5% + gallinaza 5 g), con 1049 mg kg^{-1} .

Tabla III.39. Análisis químico de las plantas de tomate cv “Marmande” en el ensayo 7

No.	Tratamientos	N	MO	P	K	Ca	Mg	Na
		%						
1	Testigo	1,09	79,1	4019	33342	13576	7884	3026
2	Vinaza de caña 10%	1,37	82,3	3407	37371	13593	6353	2332
3	Vinaza de caña 5%	1,44	78,2	3198	33742	13038	9064	3387
4	Vinaza de caña 3%	1,34	83,4	3591	30769	12484	6949	3201
5	Gallinaza 5 g	1,95	81,2	3195	31675	15511	12522	3382
6	Pulpa de café 10 g	1,14	82,4	4288	36495	16281	9605	1546
7	V. caña 5% + P. café 10 g	1,20	82,9	3839	32230	17520	7990	1285
8	V. caña 5% + P. caña 5 g	1,23	82,3	3570	39176	12462	15304	1216
9	V. caña 5%+ C. arroz 5 g	0,93	80,2	3691	29545	11602	16337	2293
10	V. caña 5% + Gallinaza 5 g	1,12	81,5	4440	31931	16485	11484	1049
11	Paja de caña 5 g	1,38	83,1	3752	32260	13684	11101	1318
12	Cascarilla de arroz 5 g	0,89	79,2	4011	30486	13399	16616	1557
13	V. caña 10% + P. caña 5 g	1,24	84,2	4070	28960	18507	8480	2362
14	V. caña 10% + C. arroz 5 g	1,27	88,5	4097	31930	15186	15251	1970
15	V. caña 3%+ P. caña 5 g	1,41	80,1	4450	36492	14227	10083	1602
16	V. caña 3% + C. arroz 5 g	0,99	79,2	4206	27944	16624	14960	2050

III.7.6. Efecto de la biodesinfección sobre la fertilidad del suelo

La evaluación del efecto de la biodesinfección sobre la fertilidad del suelo en el ensayo 7 se realizó sobre una selección de los tratamientos más representativos (tratamientos 1-10), los cuales fueron sometidos a los análisis químicos correspondientes. Los resultados se muestran en la Tabla III. 40. El P_2O_5 fue la única variable que no presentó diferencias significativas ni entre los tratamientos ni con respecto al testigo.

En el caso del N, el mayor contenido se observó en los tratamientos 3 (vinaza de caña 5%), 4 (vinaza de caña 3%) y 5 (gallinaza 5 g), con 0,24% N en los tres casos. Estos tratamientos sólo mostraron diferencias estadísticamente significativas con el testigo (0,21% N) y con los tratamientos 7 (vinaza de caña 5% + pulpa de café 10 g) y 10 (vinaza de caña 5% + gallinaza 5 g) con 0,20–0,22% N, que fueron los que presentaron los menores valores para esta variable.

En relación a la MO, el mayor contenido se observó en el tratamiento 5 (gallinaza 5 g) con 4,3%, aunque éste sólo mostró diferencias significativas con los tratamientos 6 (pulpa de café 10 g) y 7 (vinaza de caña 5 % + pulpa de café 10 g) (3,99 y 4,00% MO, respectivamente). El contenido de C mostró un patrón similar, con el mayor valor (2,50% C) en el tratamiento 5 (gallinaza 5 g), el cual mostró diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos 6 (pulpa de café 10 g), 7 (vinaza de caña 5% + pulpa de café 10 g) y 10 (vinaza de caña 5% + gallinaza 5 g), que presentaron los contenidos más bajos de C (2,31–2,32% C).

Con respecto a la relación C/N, el mayor valor se observó en el tratamiento 10 (vinaza de caña 5% + gallinaza 5 g) con 11,6, el cual sólo mostró diferencias significativas con los tratamientos 3 (vinaza de caña 5%), 6 (pulpa de café 10 g) y 9 (vinaza de caña 5% + cascarilla de arroz 5 g), que fueron los tratamientos presentaron las relaciones C/N más bajas (10,1–10,5).

En el caso del pH, el menor valor se presentó en el testigo (8,03), el cual sólo mostró diferencias significativas con los tratamientos 8 (vinaza de caña 5% + paja de caña 5 g) y 9 (vinaza de caña 5% + cascarilla de arroz 5 g), que fueron los que presentaron los mayores valores para esta variable (8,26 y 8,20, respectivamente). En este suelo el pH fluctuó en un rango de 8,03–8,26, el cual es considerado ligeramente alcalino.

En relación con la CE, el testigo no mostró diferencias estadísticamente significativas con ninguno de los tratamientos estudiados. El mayor valor se encontró en el tratamiento 10 (vinaza de caña 5% + gallinaza 5 g), con 301,5 μScm^{-1} , aunque sin mostrar diferencias estadísticamente significativas con el resto de los tratamientos.

En el caso del K, los mayores valores se observaron en los tratamientos 7 (vinaza de caña 5% + pulpa de café 10 g) y 10 (vinaza de caña 5% + gallinaza 5 g), con 51,5 y 50,7 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente. Éstos presentaron diferencias estadísticamente significativas con el testigo y el resto de los tratamientos, a excepción del tratamiento 6 (pulpa de café 10 g). El menor contenido de K (30,6 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) se observó en el tratamiento 3 (vinaza de caña 5%), el cual no mostró diferencias significativas con los tratamientos 2 (vinaza de caña 10%), 4 (vinaza de caña 3%) y 5 (gallinaza 5 g).

Tabla III.40. Efecto de la biodesinfección sobre las propiedades químicas del suelo en el ensayo 7*

Tratamientos	%				pH	CE µScm ⁻¹	P ₂ O ₅	K	Ca	Na	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	N	MO	C	C/N											
Testigo	0,211 cd	4,040 ab	2,335 abc	11,05 ab	8,032 c	293,7 ab	362,5 a	42,1 bc	283,4 cd	5,8 bed	37,7 cd	19,6 bed	11,62 ab	1,32 ab	0,32 ab
Vinaza de Caña 10 %	0,225 abc	4,277 ab	2,472 abc	10,94 ab	8,072 bc	285,7 ab	320,0 a	36,5 cd	299,7 bed	6,5 abc	41,8 bed	22,9 abcd	13,12 a	1,32 ab	0,37 ab
Vinaza de Caña 5 %	0,236 a	4,117 ab	2,382 abc	10,08 b	8,172 abc	273,5 ab	337,0 a	30,6 d	278,2 d	5,8 cde	37,1 d	19,3 bed	11,42 b	1,22 ab	0,35 ab
Vinaza de Caña 3 %	0,235 a	4,302 ab	2,487 ab	10,55 ab	8,170 abc	259,2 ab	339,2 a	34,6 cd	340,7 b	6,7 abc	44,4 ab	17,4 cd	11,45 b	1,25 ab	0,30 b
Gallinaza 5 g	0,236 a	4,322 a	2,487 a	10,56 ab	8,165 abc	276,0 ab	346,0 a	38,0 cd	392,9 a	7,4 a	49,3 a	17,0 d	12,35 ab	1,37 a	0,35 ab
Pulpa de Café 10 g	0,219 abc	3,985 b	2,310 c	10,51 b	8,142 abc	250,7 b	330,2 a	49,0 ab	296,8 bed	4,7 e	37,9 cd	24,0 ab	11,87 ab	1,12 b	0,32 ab
V. Caña 5 % + P. Café 10 g	0,216 bed	4,002 b	2,315 bc	10,69 ab	8,097 bc	292,7 ab	341,0 a	51,5 a	270,2 d	5,2 de	36,9 d	23,3 abc	12,15 ab	1,22 ab	0,32 ab
V. Caña 5 % + P. Caña 5 g	0,223 abc	4,247 ab	2,467 abc	11,00 ab	8,262 a	266,0 ab	336,5 a	40,9 bc	331,3 bc	6,7 abc	44,4 ab	28,4 a	12,65 ab	1,20 ab	0,37 ab
V. Caña 5 % + C. Arroz 5 g	0,232 ab	4,140 ab	2,385 abc	10,32 b	8,195 ab	264,5 ab	335,2 a	39,4 c	345,0 ab	7,1 a	45,0 ab	22,2 bed	12,85 ab	1,32 ab	0,40 a
V. Caña 5 % + Gallinaza 5 g	0,201 d	4,017 ab	2,322 bc	11,55 a	8,062 bc	301,5 a	342,0 a	50,7 a	335,6 b	6,9 abc	43,4 abc	22,8 abcd	12,72 ab	1,42 a	0,37 ab
EE (X)	±0,008	±0,130	±0,074	±0,295	±0,044	±13,52	±10,90	±2,52	±14,68	±0,31	±1,84	±1,76	±0,66	±0,06	±0,03

* Medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey HSD a p < 0,05.

** EE (X): Error estándar de las medias.

Para el caso del Ca, el mayor valor se encontró en el tratamiento 5 (gallinaza 5 g) con $392,9 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$, el cual mostró diferencias estadísticamente significativas con el testigo y el resto de los tratamientos, a excepción del tratamiento 9 (vinaza de caña 5 % + cascarilla de arroz 5 g). El menor contenido de Ca ($278,2 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) se observó en el tratamiento 3 (vinaza de caña 5%), el cual no presentó diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos 2 (vinaza de caña 10%), 6 (pulpa de café 10 g) y 7 (vinaza de caña 5% + pulpa de café 10 g), ni con el testigo.

Con respecto al Na, los mayores valores se observaron en los tratamientos 5 (gallinaza 5 g) y 9 (vinaza de caña 5% + cascarilla de arroz 5 g) con 7,4 y 7,1 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente, los cuales mostraron diferencias estadísticamente significativas con el testigo y con los tratamientos 3 (vinaza de caña 5%), 6 (pulpa de café 10 g) y 7 (vinaza de caña 5% + pulpa de café 10 g). El valor más bajo se observó en el tratamiento 6 (pulpa de café 10 g), con $4,7 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$, el cual no mostró diferencias significativas con los tratamientos 3 (vinaza de caña 5%) y 7 (vinaza de caña 5% + pulpa de café 10 g).

Con respecto al Mg, el mayor contenido ($49,3 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) se observó en el tratamiento 5 (gallinaza 5 g), el cual mostró diferencias estadísticamente significativas con el testigo y con los tratamientos 2 (vinaza de caña 10%), 3 (vinaza de caña 5%), 6 (pulpa de café 10 g) y 7 (vinaza de caña 5% + pulpa de café 10 g), los cuales no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre sí. El menor contenido de Mg ($36,9 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) se observó en el tratamiento 7 (vinaza de caña 5% + pulpa de café 10 g).

En cuanto a los microelementos, el mayor nivel de Fe se observó en el tratamiento 8 (vinaza de caña 5% + paja de caña 5 g), con $28,4 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$, el cual no mostró diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos 2 (vinaza de caña 10%), 6 (pulpa de café 10 g), 7 (vinaza de caña 5% + pulpa de café 10 g) y 10 (vinaza de caña 5% + gallinaza 5 g), pero sí con el resto de los tratamientos y con el testigo. El menor contenido de Fe se encontró en el tratamiento 5 (gallinaza 5 g), con $17 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$. En el caso del Mn el mayor valor ($13,12 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) se observó en el tratamiento 2 (vinaza de caña 10%), el cual sólo mostró diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos 3 (vinaza de caña 5%) y 4 (vinaza de caña 3%). En cuanto al Zn, el mayor contenido se encontró en el tratamiento 5 (gallinaza 5 g) con $1,37 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$. Este tratamiento sólo mostró diferencias estadísticamente significativas con el tratamiento 6 (pulpa de café 10 g) que presentó el menor contenido de Zn ($1,12 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$). Por último, el mayor contenido de Cu ($0,40 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) se observó en el tratamiento 9 (vinaza de caña 5 % + cascarilla de arroz 5 g), el cual sólo mostró diferencias estadísticamente significativas con el tratamiento 4 (vinaza de caña 3%).

III.7.7. Distribución de las variables de suelo y los tratamientos en función del Análisis de Componentes Principales

La Tabla III.41 muestra los resultados del Análisis de Componentes Principales para las variables de suelo correspondiente al ensayo 7. En esta Tabla se observa que las cuatro primeras componentes explican el 74,61% de la variabilidad total, que de éstas, las componentes 1 y 2 explican el mayor porcentaje de dicha variabilidad (52,21%).

Tabla III.41. Valores propios de las componentes principales y correlaciones entre las variables y las componentes en el ensayo 7

Componentes principales		1	2	3	4
Valores propios		4,47	3,36	1,84	1,52
Contribución total		29,79	22,42	12,24	10,16
% Acumulado		29,79	52,21	64,45	74,61
Variables	Mg	0,83	0,18		0,45
	Na	0,81	0,20		0,34
	Ca	0,80			0,46
	C	0,80	-0,23	-0,18	-0,27
	MO	0,80	-0,23	-0,19	-0,27
	N	0,62	-0,59	0,21	-0,37
	Mn	0,43	0,69	0,37	-0,27
	CE	-0,13	0,67	-0,24	-0,17
	Zn	0,54	0,62	-0,25	-0,26
	Cu	0,36	0,61	0,43	-0,20
	Fe	-0,18	0,49	0,70	
	pH	0,15	-0,45	0,61	0,47
	P₂O₅			-0,41	0,31

Las variables de suelo que mostraron mayor peso sobre la componente 1 fueron Mg, Na, Ca, C, MO y N, mientras que las variables con mayor peso sobre la componente 2 fueron Mn, CE, Zn y Cu (en negrita en la Tabla III.41).

La distribución de las variables de suelo de acuerdo a su peso sobre las componentes 1 y 2 se representa en la Fig. III.20. En esta Figura se observa que en el lado derecho de la componente 1 se sitúan las variables de suelo Mg, Na, Ca, C, MO y N, que fueron las de mayor peso sobre esa componente, mientras que en la parte superior se encuentran las variables de suelo Mn, CE, Zn y Cu, que fueron las de mayor influencia sobre la componente 2.

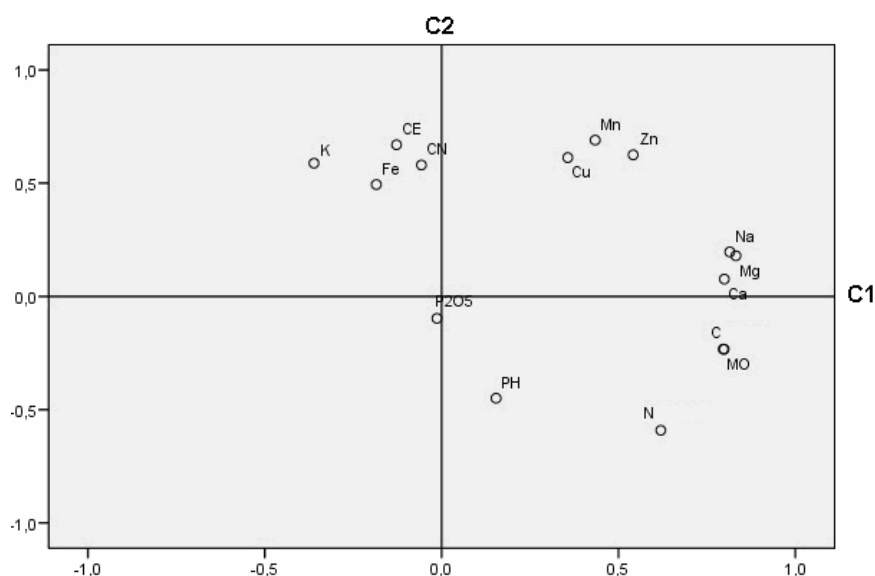


Figura III.20. Distribución de las variables de suelo de acuerdo al ACP en el Ensayo 7.

La distribución de los tratamientos en función de su influencia sobre las variables de mayor peso en las dos componentes se representó en forma gráfica (Fig. III.21).

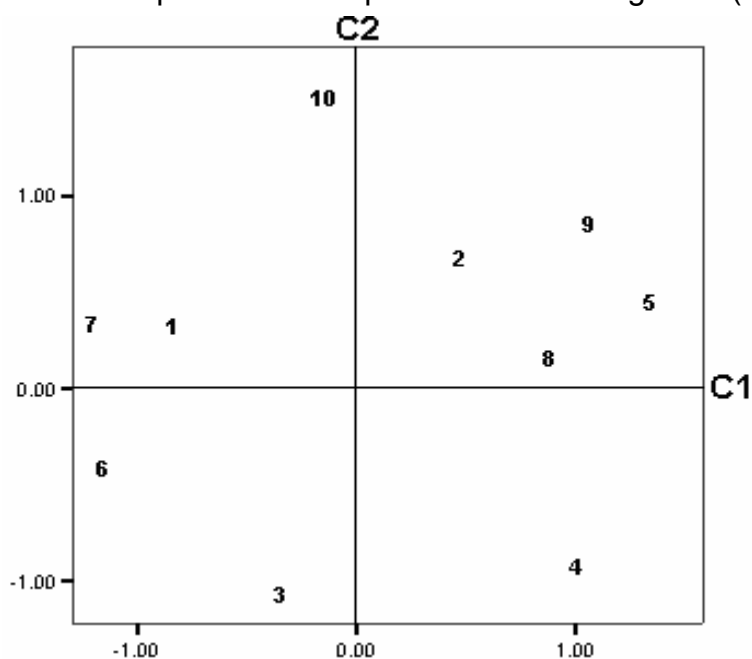


Figura III.21. Distribución de los tratamientos de acuerdo a las componentes principales en el ensayo 7.
 1: testigo, 2: vinaza de caña 10%, 3: vinaza de caña 5%, 4: vinaza de caña 3%, 5: gallinaza 5 g, 6: pulpa de café 10 g, 7: vinaza de caña 5% + pulpa de café 10 g, 8: vinaza de caña 5% + paja de caña 5 g, 9: vinaza de caña 5% + cascarilla de arroz 5 g, 10: vinaza de caña 5% + gallinaza 5 g.

Los resultados mostraron que los tratamientos 5 (gallinaza 5 g), 9 (vinaza de caña 5% + cascarilla de arroz 5 g), 4 (vinaza de caña 3%) y 8 (vinaza de caña 5% + paja de caña 5 g) tuvieron mayor peso sobre la componente 1, mientras que los tratamientos con mayor influencia sobre las variables de suelo de la componente 2 fueron el 10 (vinaza de caña 5% + gallinaza 5 g) y el 9 (vinaza de caña 5% + cascarilla de arroz 5 g).

En este capítulo la discusión de los resultados obtenidos en el trabajo se recogen en varios apartados. En primer lugar (Apartado (IV.1) se analiza el efecto de los residuos agroindustriales evaluados en los ensayos de biodesinfección sobre los nematodos fitoparásitos de la especie *Meloidogyne incognita*, así como sobre los nematodos de vida libre (Rabdítidos y Doriláimidos) y los Enquitreidos, considerando estos tres últimos grupos como microfauna edáfica beneficiosa debido a su función positiva en el suelo. A continuación, se estudia la influencia de los tratamientos biodesinfectantes realizados sobre el índice de nodulación, el crecimiento y la nutrición de plantas de tomate (Apartados IV.2, IV.3 y IV.4), así como sobre la fertilidad del suelo (Apartado IV.5), seleccionando aquellos tratamientos que mostraron el mejor comportamiento sobre estas variables. En el apartado IV.6 se realiza un comentario general, sintetizando los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio y su relación con la aplicación de la biodesinfección en condiciones de campo. Por último (Apartado IV.7) se discute la posibilidad de incluir prácticas alternativas en forma conjunta con la biodesinfección, dentro de sistemas de manejo de agrosistemas diseñados con criterios agroecológicos.

IV.1. Efecto de la biodesinfección sobre el nematodo *M. incognita* y la microfauna beneficiosa

En este apartado se discuten los resultados obtenidos al aplicar los residuos agroindustriales evaluados en los ensayos de biodesinfección sobre los nematodos formadores de nódulos del género *Meloidogyne*, el cual constituye un problema de gran importancia tanto en Cuba como a nivel mundial. También se estudia el efecto de estos residuos sobre los Rabdítidos, Doriláimidos y Enquitreidos, considerados como microfauna edáfica beneficiosa.

En el caso del ensayo 1, el 60% de los tratamientos evaluados alcanzó el 100% de mortalidad de J2 de *M. incognita*, como fue el caso de los tratamientos 2 (cascarilla de arroz 5 g), 3 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 3%), 4 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 5%), 6 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g), 7 (paja de caña 5 g + tabaco 5 g), 9 (gallinaza 2,5 g). En el 30% de los tratamientos estudiados en este ensayo se alcanzó una mortalidad de 83,3–87,5%:

tratamientos 5 (cascarilla de arroz 5 g + tabaco 5 g), 10 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g) y 11 (pulpa de café 2,5 g), mientras que en el 10% restante de los tratamientos, correspondiente al tratamiento 8 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g), la mortalidad fue de un 69,2%. Algunos de estos resultados son similares a los obtenidos por DÍAZ VIRULICHE (2000), quien encontró que la utilización de pulpa de café y cascarilla de arroz -sola o en combinación con gallinaza a diferentes dosis- logró 100% de mortalidad de *Meloidogyne*.

En los ensayos 2, 3, 5 y 6 todos los tratamientos estudiados alcanzaron 100% de mortalidad de J2 de *M. incognita*, aunque es importante destacar que en los ensayos 3, 5 y 6 las poblaciones iniciales del nematodo en el suelo eran relativamente bajas.

En el caso del ensayo 4, el 67% de los tratamientos estudiados lograron 100% de mortalidad de J2 de *M. incognita*, en los tratamientos 2 (pulpa de café 5 g), 3 (pulpa de café 2,5 g), 4 (gallinaza 5 g), 7 (paja de caña 5 g), 9 (cascarilla de arroz 5 g), 10 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g), 11 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), y 12 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g). En el 25% de los tratamientos se alcanzó una reducción en las poblaciones de *Meloidogyne* de 66,6–86,0%. De todos los tratamientos estudiados en este ensayo, el que mostró el menor % de mortalidad fue el tratamiento 8 (cascarilla de arroz 10 g), con 50%. En este ensayo, como se observó en el anterior, las poblaciones iniciales de infestación del suelo por *Meloidogyne* eran bajas.

Por último, en el ensayo 7 todos los tratamientos ensayados alcanzaron valores superiores al 78% de mortalidad de J2 de *M. incognita*. En el 27% de los tratamientos se alcanzó 100% de mortalidad, como fue el caso de los tratamientos 5 (gallinaza 5 g), 10 (vinaza de caña 5% + gallinaza 5 g), 13 (vinaza de caña 10% + paja de caña 5 g) y 15 (vinaza de caña 3 % + paja de caña 5 g), mientras que un 60% de los tratamientos alcanzó un 95–99% de efectividad: tratamientos 2 (vinaza de caña 10%), 3 (vinaza de caña 5%), 6 (pulpa de café 10 g), 7 (vinaza de caña 5% + pulpa de café 10 g), 8 (vinaza de caña 5% + paja de caña 5 g), 9 (vinaza de caña 5 % + cascarilla de arroz 5 g), 11 (paja de caña 5 g), 12 (cascarilla de arroz 5 g) y 14 (vinaza de caña 10% + cascarilla de arroz 5 g).

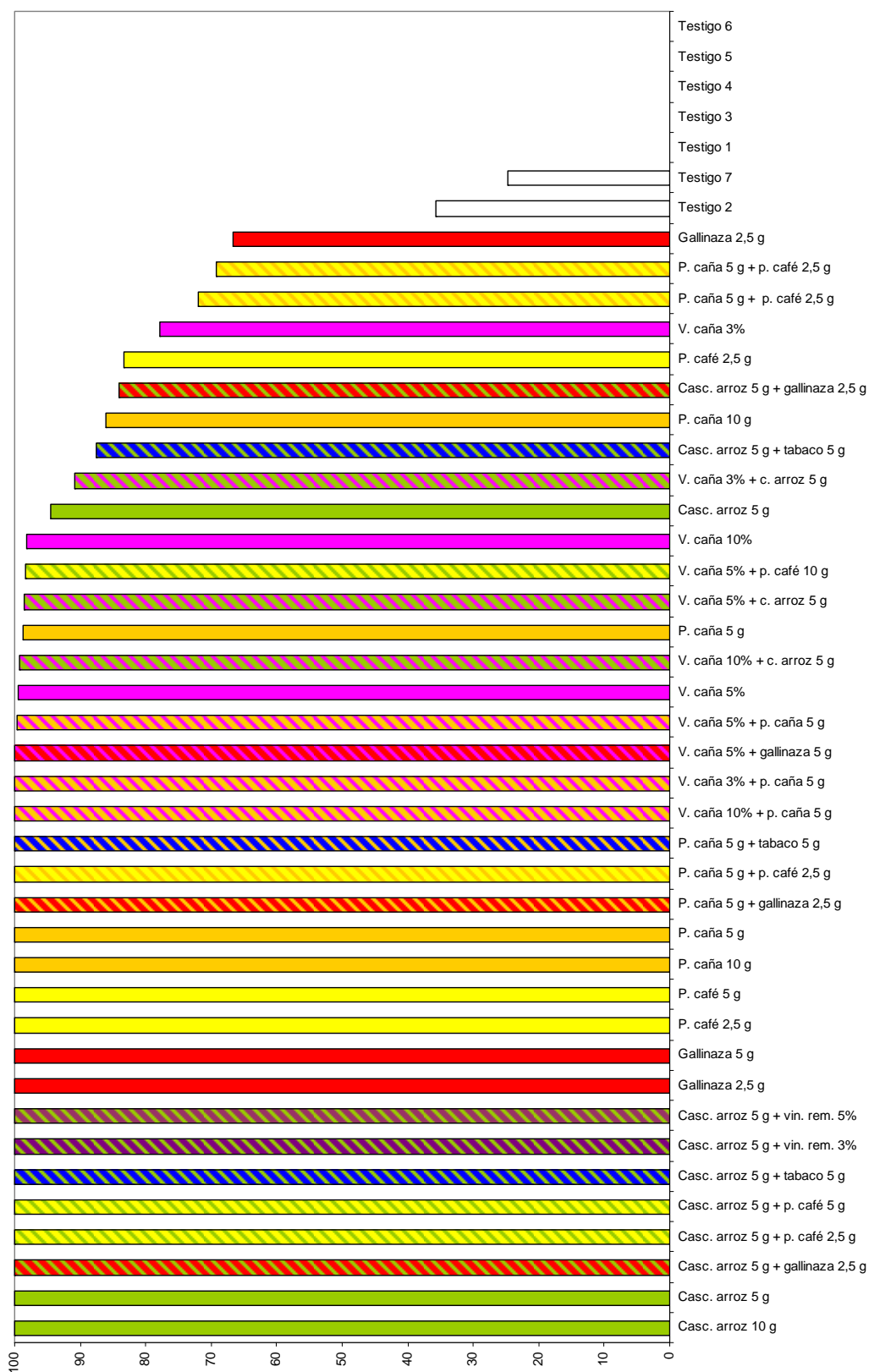


Figura IV.1. Porcentaje de mortalidad de J2 de *M. incognita* en los diferentes tratamientos de bioinfección ensayados en condiciones de laboratorio.

En resumen, el análisis del efecto de los materiales evaluados sobre los nematodos del género *Meloidogyne* mostró que el 68% de los tratamientos estudiados en los 7 ensayos (59 biodesinfecciones y 7 testigos) alcanzó 100% de mortalidad (Fig. IV.1). Esto demuestra el potencial de los residuos agroindustriales ensayados como materiales biodesinfectantes capaces de reducir las poblaciones de *Meloidogyne* en el suelo.

Con respecto a las poblaciones de la microfauna beneficiosa, se destaca un incremento general considerable de los organismos estudiados en todos los tratamientos, en comparación con el testigo sobre todo en el caso de los Rabdítidos y los Enquitreidos, siendo más bajo el incremento para el caso de los Doriláimidos. Para los **Rabdítidos**, sus poblaciones se incrementaron en todos los tratamientos ensayados, con respecto al testigo. En el ensayo 1 los tratamientos que presentaron las mayores poblaciones fueron el 7 (paja de caña 5 g + tabaco 5 g), 8 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g), y 10 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), y en el ensayo 2 las mayores poblaciones se encontraron en los tratamientos 5 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), 6 (paja de caña 5 g), 7 (paja de caña 10 g) y 8 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g). En el ensayo 3 la población más alta de Rabdítidos se presentó en el tratamiento 3 (paja de caña 5 g + tabaco 5 g), con diferencias estadísticamente significativas con el resto de los tratamientos, aunque los tratamientos 4 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g) y 5 (gallinaza 5 g) también mostraron poblaciones elevadas de este grupo de nematodos, que en general en este suelo se encontró en gran cantidad. Por su parte, en el ensayo 4 la mayor cantidad de estos organismos se observó en el tratamiento 8 (cascarilla de arroz 10 g), y aunque este tratamiento mostró diferencias significativas con el resto de los tratamientos, también se encontraron poblaciones altas de Rabdítidos en los tratamientos 4 (gallinaza 5 g), 6 (paja de caña 10 g), 7 (paja de caña 5 g), 12 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g) y 13 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g). En el ensayo 5 también se observaron altas poblaciones de Rabdítidos en todos los tratamientos, destacando los tratamientos 3 (cascarilla de arroz 10 g) y 5 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g). En el caso del ensayo 6, aunque presentó poblaciones más bajas que en el ensayo 5 porque las muestras se tomaron a mayor profundidad en el perfil del suelo (20–40 cm), también se encontraron poblaciones elevadas de estos individuos. La mayor cantidad de Rabdítidos se encontró en el tratamiento 4 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g). Finalmente, aunque en el ensayo 7 no se observó tanta abundancia de Rabdítidos como en los ensayos

anteriores, los tratamientos 7 (vinaza de caña 5 % + pulpa de café 2,5 g) y 11 (paja de caña 5 g) presentaron gran cantidad de estos individuos, en niveles comparables a los observados en los demás ensayos.

En general, se observó que los tratamientos que contribuyeron más a incrementar las poblaciones de Rabdítidos fueron aquellos que incluían paja de caña y gallinaza, seguidos por la cascarilla de arroz.

Con respecto a las poblaciones de **Doriláimidos**, las mayores poblaciones se observaron en los tratamientos 6 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g), 7 (paja de caña 5 g + tabaco 5 g), 8 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g) y 10 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g) del ensayo 1 y en el tratamiento 3 (cascarilla de arroz 10 g) del ensayo 5. Sin embargo, se debe destacar que, en general, las poblaciones de Doriláimidos fueron muy bajas, mostrando que los residuos agroindustriales utilizados en los ensayos de biodesinfección no contribuyeron a la presencia de estos individuos. Estos resultados coinciden con los obtenidos por PIEDRA BUENA (2005) al utilizar diferentes restos de cultivos como materiales biodesinfectantes, encontrando que en todos los casos el número de Doriláimidos fue muy bajo o nulo.

En relación a la presencia de **Enquitreidos**, en el caso del ensayo 1 las mayores poblaciones se observaron en los tratamientos 6 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g), 7 (paja de caña 5 g + tabaco 5 g), 8 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g) y 10 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), mientras que en el ensayo 2 destacan los tratamientos 4 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g), 5 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), 7 (paja de caña 10 g) y 8 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g). En el ensayo 3 las poblaciones más altas de Enquitreidos se encontraron en los tratamientos 2 (cascarilla de arroz 5 g + tabaco 5 g) y 5 (gallinaza 2,5 g). En el ensayo 4 destacaron los tratamientos 6 (paja de caña 10 g) y 13 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g), con diferencias estadísticamente significativas con el resto de los tratamientos de este ensayo, aunque también se encontraron poblaciones altas de Enquitreidos en los tratamientos 7 (paja de caña 5 g), 9 (cascarilla de arroz 5 g) y 13 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g). En el Ensayo 5, el tratamiento 5 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g) presentó las poblaciones más altas, con diferencias estadísticamente significativas con el resto de los tratamientos, y seguido por el tratamiento 3 (cascarilla de arroz 10 g). Por su parte, en el ensayo 6 la mayor cantidad de Enquitreidos se

observó en los tratamientos 3 (cascarilla de arroz 10 g) y 4 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), mientras que en el ensayo 7 la mayor presencia de estos organismos se observó en los tratamientos 6 (pulpa de café 10 g), 7 (vinaza de caña 5 % + pulpa de café 10 g), 8 (vinaza de caña 5 % + paja de caña 5 g), 9 (vinaza de caña 5 % + cascarilla de arroz 5 g) y 11 (paja de caña 5 g). En general, todos los tratamientos de los 7 ensayos realizados incrementaron las poblaciones de Enquitreidos, en comparación con el testigo.

En general, se observó que en este estudio la microfauna beneficiosa se vio favorecida por la aplicación de los residuos agroindustriales utilizados como materiales biodesinfectantes. Los individuos que se encontraron en poblaciones más elevadas fueron los Rabdítidos, seguidos por los Enquitreidos, mientras que las poblaciones de Doriláimidos fueron generalmente bajas. Estos resultados coinciden con los trabajos de BELLO *et al.* (1997a) y RIEGEL Y NOE (2000), que subrayan el efecto selectivo de la biodesinfección, el cual produce una reducción del nivel de patógenos del suelo y favorece a los organismos antagonistas. DÍAZ VIRULICHE (2000) encontró resultados similares al aplicar diferentes residuos agroindustriales al suelo, observando una reducción considerable de las poblaciones de nematodos de especies fitopatógenas y un incremento de los nematodos de vida libre en el suelo, como es el caso de los Rabdítidos y Doriláimidos. Por su parte, RODRÍGUEZ *et al.* (2006) indicaron que la fauna saprobiótica de nematodos del suelo se vio favorecida en forma notable por la biodesinfección con residuos de la industria azucarera.

IV.2. Efecto de la biodesinfección sobre el índice de nodulación en plantas de tomate susceptible a nematodos del género *Meloidogyne*

Este análisis se realizó para todos los ensayos, a excepción de los ensayos 5 y 6, donde esta evaluación no fue posible debido a la muerte de las plantas de tomate por una avería en las cámaras de crecimiento.

En el caso del ensayo 1, el testigo presentó índice de nodulación 4, contrastando con los tratamientos 3 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 3%) y 4 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 5%), donde el índice de nodulación fue 0. Este resultado coincide con los obtenidos en la evaluación de las poblaciones de *Meloidogyne* tras la biodesinfección, donde los tratamientos 3 y 4 alcanzaron 100%

de mortalidad de este nematodo. Sin embargo, estos dos tratamientos no favorecieron el incremento de la microfauna beneficiosa estudiada, que es un aspecto de gran importancia para el equilibrio ecológico en el suelo. En cambio, los tratamientos 5 (cascarilla de arroz 5 g + tabaco 5 g), 6 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g), 8 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g) y 10 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g) favorecieron la microfauna beneficiosa, y presentaron índices de nodulación inferiores a 1. Aunque de estos tratamientos sólo el tratamiento 5 había alcanzado 100% de mortalidad de J2 de *Meloidogyne*, los resultados muestran que todos fueron efectivos para reducir las poblaciones de este nematodo, a la vez que favorecieron a la microfauna beneficiosa. En el caso de los tratamientos 7 (paja de caña 5 g + tabaco 5 g) y 9 (gallinaza 2,5 g), que habían mostrado 100% de mortalidad de J2, también se encontraron índice de nodulación bajos ($\leq 1,75$), que fueron estadísticamente diferentes al testigo.

En el ensayo 2 el testigo presentó un índice de nodulación de 1,75, que aunque es bajo, fue el más alto en este ensayo, mostrando diferencias estadísticamente significativas con todos los tratamientos realizados. En este ensayo la mayoría de los tratamientos presentaron índice de nodulación 0, como fue el caso de los tratamientos 4 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g), 5 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), 7 (paja de caña 10 g), 8 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g), 9 (pulpa de café 5 g) y 10 (pulpa de café 2,5 g). Sólo los tratamientos 2 (cascarilla de arroz 5 g), 3 (cascarilla de arroz 10 g) y 6 (paja de caña 5 g) presentaron índices de nodulación superiores a 0, aunque con valores bajos (0,25–0,50). Estos resultados presentan una coincidencia total con los obtenidos en la evaluación del efecto de los materiales aplicados sobre los J2 de *Meloidogyne*, puesto que todos los tratamientos habían alcanzado 100% de mortalidad.

En el ensayo 3 el índice de nodulación fue cero en todos los tratamientos y 1 en el testigo, coincidiendo con los resultados de los conteos de nematodos, en los cuales se observó bajo nivel de infestación por *Meloidogyne* en este suelo.

De manera similar, en el ensayo 4 el índice de nodulación fue 0 en todos los tratamientos y en el testigo alcanzó índice 1,50, de acuerdo con resultados de los conteos de nematodos, que mostraron bajo nivel de infestación por *Meloidogyne* en este suelo. Otros autores indican resultados similares, como es el caso de PIEDRA

BUENA (2005), que indica que en algunos ensayos de biodesinfección los bajos índices de nodulación encontrados en las raíces se correspondían con bajas poblaciones de *Meloidogyne* en el suelo.

En el caso de ensayo 7, el mayor índice de nodulación se observó en el testigo (6,50), el cual no presentó diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos 2 (vinaza de caña 10%) y 4 (vinaza de caña 3%), los cuales también mostraron altos índices de nodulación, con valores de 3,25 y 4,50 respectivamente. Estos resultados coinciden con el % de mortalidad de J2 observado para el tratamiento 4, que había mostrado el valor más bajo del ensayo (77,8% de mortalidad). Sin embargo, en el caso del tratamiento 2 el índice de nodulación observado fue superior al esperado de los resultados de mortalidad, que había alcanzado el 98,3%. En este ensayo los menores índices de nodulación (inferiores a 1) se observaron en los tratamientos 8 (vinaza de caña 5 % + paja de caña 5 g), 11 (paja de caña 5 g), 13 (vinaza de caña 10 % + paja de caña 5 g), 14 (vinaza de caña 10% + cascarilla de arroz 5 g) y 15 (vinaza de caña 3% + paja de caña 5 g). Estos tratamientos habían mostrado % de mortalidad de J2 de *Meloidogyne* de 98–100%. Otros tratamientos que también mostraron índices de nodulación bajos fueron los tratamientos 5 (gallinaza 5 g), 6 (pulpa de café 10 g), 7 (vinaza de caña 5 % + pulpa de café 10 g) y 10 (vinaza de caña 5% + gallinaza 5 g), con valores entre 1,25–1,50, coincidiendo con los altos % de mortalidad observados en la evaluación de las poblaciones de *Meloidogyne* en el suelo.

En general, los índices de nodulación observados en los ensayos realizados muestran que la mayoría de los tratamientos presentaron índices de nodulación inferiores al testigo, indicando que los materiales utilizados como biodesinfectantes son efectivos para el manejo de *Meloidogyne*.

IV.3. Efecto de la biodesinfección sobre el crecimiento de las plantas

Los resultados obtenidos permitieron seleccionar, para cada ensayo, aquellos tratamientos que mostraron los mejores resultados generales sobre las variables de crecimiento medidas en las plantas de tomate. En el caso del ensayo 1, destacan con los tratamientos 3 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 3%), 4 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 5%) y 10 (cascarilla de arroz 5 g +

gallinaza 2,5 g), puesto que éstos presentaron los mayores valores para todas las variables de crecimiento estudiadas. En este ensayo el 60% de los tratamientos mostraron alturas superiores a la del testigo, en el 83% de los casos con diferencias estadísticamente significativas. En cuanto al peso total, el 70% de los tratamientos mostró valores superiores al testigo, de los cuales el 57% mostraron diferencias estadísticamente significativas. Estos resultados son similares a los obtenidos por DÍAZ VIRULICHE (2000), que observó un incremento tanto en la altura como en la biomasa de tomate cv “Marmande” cultivado en suelo biodesinfectado.

En el ensayo 2 los tratamientos que mostraron los mejores resultados sobre el crecimiento de las plantas fueron el 7 (paja de caña 10 g), el 9 (pulpa de café 5 g) y el 10 (pulpa de café 2,5 g), aunque todos los tratamientos estudiados en este ensayo mostraron alturas superiores al testigo (en el 44,4% de los casos, con diferencias estadísticamente significativas). Del mismo modo, todos los tratamientos tuvieron mayor peso total de planta que el testigo, en el 78% de los casos con diferencias estadísticamente significativas con respecto al testigo.

En el ensayo 3 los tratamientos con mejor efecto sobre el crecimiento de las plantas fueron el 3 (paja de caña 5 g + tabaco 5 g), el 4 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g), el 5 (gallinaza 5 g) y el 6 (gallinaza 2,5 g). En este ensayo todos los tratamientos estudiados mostraron valores de altura significativamente superiores al testigo desde el punto de vista estadístico, y mostraron peso total superior. En el caso del peso total, esta diferencia fue estadísticamente significativa en el 67% de los tratamientos.

En el ensayo 4 los mejores resultados generales sobre el crecimiento de las plantas se observó en los tratamientos 3 (pulpa de café 2,5 g) y 5 (gallinaza 2,5 g). En este ensayo el 92% de los tratamientos presentó plantas más altas que el testigo, de los cuales el 27% mostró diferencias estadísticamente significativas. En cuanto al peso total, el 75% de los tratamientos presentó valores superiores al testigo, aunque de ellos sólo el 22% mostró valores significativamente superiores al testigo desde el punto de vista estadístico.

En el ensayo 7 el mejor efecto sobre el crecimiento de las plantas evaluadas se observó en los tratamientos 6 (pulpa de café 10 g) y 7 (vinaza de caña 5% + pulpa de café 10 g). En este ensayo el 87% de los tratamientos dio lugar a plantas más altas y de mayor peso que el testigo; de estos tratamientos, un 46% mostró diferencias estadísticamente significativas con el testigo en cuanto a la altura, y un 35% presentó diferencias estadísticamente significativas con el mismo para el peso total.

Las evaluaciones realizadas sobre las variables de crecimiento de las plantas muestran que en todos los ensayos en los que se analizaron dichas variables el testigo mostró una tendencia a presentar los valores más bajos. Se subraya el hecho de que los tratamientos con mejor efecto sobre el crecimiento de las plantas coinciden con los de índices de nodulación 0 o muy bajos. Sin embargo, se considera que el efecto estimulante sobre la planta provino fundamentalmente del aporte nutricional de los materiales aportados al suelo en el tratamiento de biodesinfección, puesto que en la mayoría de los ensayos el nivel de infestación inicial de *Meloidogyne* era bajo, aunque sin dejar de tener en cuenta la importancia de la reducción de los índices de nodulación en raíces, ya que los altos índices de nodulación repercuten negativamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Como se ha comentado anteriormente, los cambios morfológicos y fisiológicos en las raíces que producen los nematodos formadores de nódulos en las plantas van en detrimento de su funcionamiento y normal desarrollo, e imposibilitan a las plantas la toma de nutrientes y agua del suelo. Además, las células meristemáticas de las raíces también son destruidas, causando retardos en el desarrollo (KARSSEN Y MOENS 2006).

IV.4. Efecto de la biodesinfección sobre la nutrición de las plantas

Esta evaluación se realizó sobre algunos tratamientos del ensayo 1, y en los ensayos 4 y 7, en los cuales el escaso volumen de las muestras de plantas sólo permitió el análisis químico de las repeticiones agrupadas por tratamiento, de modo que no fue posible el tratamiento estadístico de los datos.

En el ensayo 1 el tratamiento que aportó más nutrientes a las plantas fue el tratamiento 2 (cascarilla de arroz 5 g), en el cual las plantas presentaron los valores más altos de N, P, K, Ca y Mg. También destaca el tratamiento 4 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 5%), que incrementó el contenido de MO. En general, todos los tratamientos realizados en este ensayo presentaron valores superiores al testigo: el 67% mostró valores superiores de MO, P, y Ca, mientras que el 33% mostró valores superiores de K y Mg. En el caso del Na todos los tratamientos fueron inferiores al testigo.

En el ensayo 4 todos los tratamientos estudiados presentaron contenidos de N superiores al testigo, en particular en los tratamientos de gallinaza a las dos dosis ensayadas (5 y 2,5 g). Para el contenido de MO el 92% de los tratamientos estudiados (11 tratamientos de 12) fueron superiores al testigo. El mayor valor de MO se encontró en el tratamiento 10 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g). Con respecto al P, el 75% de los tratamientos estudiados (9 tratamientos de 12) mostró contenidos superiores al testigo, destacando los tratamientos 13 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g) y 6 (paja de caña 10 g), con los valores más altos. En cuanto al K, sólo el 33% de los tratamientos estudiados (4 tratamientos de 12) mostró valores superiores al testigo, observándose el mayor contenido en el tratamiento 7 (paja de caña 5 g). Por su parte, el 83% de los tratamientos estudiados (10 tratamientos de 12) presentaron contenidos de Ca y Mg superiores al testigo, encontrando el mayor valor de Ca en el tratamiento 12 (cascarilla de arroz 5 g) y el mayor contenido de Mg en el tratamiento 11 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g). Con respecto al Na, el 67% de los tratamientos estudiados (8 tratamientos de 12) presentaron valores superiores al testigo, con el valor más alto en el tratamiento 7 (paja de caña 5 g).

En el ensayo 7 se observó un incremento del N y la MO con respecto al testigo en el 93% de los tratamientos realizados (14 tratamientos de 15). El mayor contenido de N se observó en el tratamiento 5 (gallinaza 5 g) y el mayor valor de MO se encontró en el tratamiento 14 (vinaza de caña 10% + cascarilla de arroz 5 g). Con respecto al P, se observó que el 40% de los tratamientos (6 tratamientos de 15) alcanzó valores superiores al testigo, encontrándose los mayores valores en los tratamientos 10 (vinaza de caña 5 % + gallinaza 5 g) y 15 (vinaza de caña 3% + paja de caña 5 g). En el caso del K, el 33% de los tratamientos (5 tratamientos de 15) mostró valores superiores al testigo, encontrando el mayor valor en el tratamiento 8 (vinaza de caña 5 % + paja de caña 5 g). Para el Ca, el 67% de los tratamientos presentó valores superiores al testigo, con el mayor valor en el tratamiento 13 (vinaza de caña 10% + paja de caña 5 g). En relación al Mg, el 87% de los tratamientos mostraron valores superiores al testigo, destacando los tratamientos 9 (vinaza de caña 5% + cascarilla de arroz 5 g) y 12 (cascarilla de arroz 5 g). En el caso del Na, solo el 20% de los tratamientos mostró valores superiores al testigo, correspondiendo a los tratamientos 3 (vinaza de caña 5 %) y 5 (gallinaza 5 g).

En general, la mayoría de los tratamientos evaluados favorecieron la concentración de nutrientes en las plantas, mostrando contenidos superiores al testigo para la mayoría de ellos. Esto indicaría que los materiales biodesinfectantes ensayados estarían aportando elementos nutricionales que pueden ser asimilados por las plantas en forma relativamente rápida, ofreciendo una ventaja adicional a su efecto desinfectante.

IV.5. Efecto de la biodesinfección sobre la fertilidad del suelo

La evaluación del efecto de la biodesinfección sobre la fertilidad del suelo se realizó sobre los 53 tratamientos ensayados más 7 testigos, a los cuales se les analizó un total de 15 variables con incidencia sobre su fertilidad.

En general, el 75% de los tratamientos mostró contenidos de **N** sin diferencias estadísticamente significativas con el testigo, mientras que el 15% de los tratamientos presentó valores inferiores al testigo, y sólo el 9% mostró valores superiores al mismo. Este último porcentaje se correspondió con los tratamientos 5 (cascarilla de arroz + pulpa de café 2,5 g) del ensayo 5, y los tratamientos 3 (vinaza de caña 5%), 4 (vinaza de caña 3%), 5 (gallinaza 5 g) y 9 (vinaza de caña 5% + cascarilla de arroz 5 g) del ensayo 7. Por otra parte, al analizar los valores alcanzados por los testigos en los diferentes ensayos, los menores contenidos de N se observaron en los ensayos 1 y 6. En el caso del ensayo 1 esto se debe posiblemente debido a que la muestra de suelo utilizada es de textura arenosa, y de forma natural los suelos arenosos tienden a ser menos fértiles, es decir, que poseen menor contenido de nutrientes. En el caso del ensayo 6 este menor contenido de N se explicaría por el hecho de que la muestra de suelo fue tomada a una profundidad entre 20-40 cm, y a medida que se incrementa la profundidad en el suelo el contenido de nutrientes disminuye en forma general. Estos ejemplos demuestran la importancia de conocer las características del suelo sobre el cual se van a aplicar los tratamientos de biodesinfección y sus condiciones, por la relación que tienen las mismas sobre la disponibilidad de nutrientes.

En relación al contenido de **MO**, el 92% de los tratamientos no mostró diferencias estadísticamente significativas con respecto al testigo, el 2% de los tratamientos presentó valores inferiores al mismo, y el 6% de los tratamientos mostró valores superiores al testigo. Este último porcentaje estuvo constituido por el tratamiento 7

(paja de caña 5 g) del ensayo 2, y por los tratamientos 2 (cascarilla de arroz 5 g) de los ensayos 5 y 6. La comparación del contenido de MO en los diferentes suelos muestra los menores contenidos de MO en los ensayos 1 y 6, tal como se observó para el contenido de N. De la misma manera que en dicho caso, los menores contenidos de MO observados en estos suelos se deberían a que en el ensayo 1 se utilizó una muestra de suelo arenoso, y a que en el caso del ensayo 6 la muestra el suelo fue tomado mayor profundidad. Este último resultado se apoya en el hecho de que la capa superficial arable de un suelo suele poseer mayor contenido de MO que las capas inferiores, y que a medida que las partículas de suelo aumentan de tamaño el contenido de MO es menor (CAIRO Y FUNDORA 2005). Al comparar suelos arenosos y arcillosos, se observa que en los suelos arenosos la MO sufre una oxidación más rápida y que la adición natural de residuos orgánicos es, por lo general, menor. En cambio, en los suelos arcillosos, por una parte, la oxidación de la MO ocurre con mayor lentitud, lo cual permite un mayor contenido de la misma, y por otra parte, durante los procesos de reacción de las sustancias orgánicas con las arcillas para formar complejos organominerales, los productos orgánicos son protegidos de la acción enzimática, lo que permite una mayor acumulación de los mismos.

En forma característica, los suelos arenosos están bien aireados y absorben el agua con mucha facilidad, aunque presentan dos limitaciones importantes: no retienen bastante agua y tienen poca reserva de elementos nutritivos, por lo cual para ser productivos deben recibir frecuentes adiciones de agua y nutrientes. La MO en los suelos arenosos aumenta la capacidad de retención de agua y el contenido de elementos nutritivos. En cambio, las arcillas tienen la capacidad de retener en su superficie elementos nutritivos en forma asimilable. Aunque dichos elementos pueden ser desplazados por lixiviación, la pérdida es muy pequeña comparada con la que ocurre en suelos ricos en arena. Por otro lado, las arcillas retienen bien el agua, y en mayor cantidad que los suelos arenosos (CAIRO Y FUNDORA 2005).

En cuanto al contenido de **C**, se observó que 94% de los tratamientos no mostró diferencias estadísticamente significativas con respecto al testigo, el 2% de los tratamientos presentó valores inferiores al mismo, y el 4% mostró valores superiores al éste. Los tratamientos con mayor contenido de C que el testigo fueron los tratamientos 7 (paja de caña 10 g) y 2 (cascarilla de arroz 5 g) de los ensayos 2 y 6, respectivamente.

Con respecto a la relación **C/N**, el 85% de los tratamientos no mostró diferencias estadísticamente significativas con respecto al testigo, mientras que el 15% restante presentó valores estadísticamente superiores al mismo. Destaca el tratamiento 2 (cascarilla de arroz 5 g) del ensayo 6, que mostró un valor superior al testigo y al resto de los tratamientos (20,74). Esta elevada relación C/N se explicaría porque el material utilizado como biodesinfectante fue cascarilla de arroz, que naturalmente posee una alta relación C/N. El resto de los tratamientos que mostraron valores mayores al testigo para la relación C/N fueron los tratamientos 2 (pulpa de café 5 g), 6 (paja de caña 10 g), 8 (cascarilla de arroz 10 g), 9 (cascarilla de arroz 5 g), 10 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g), 11 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g) y 12 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g) del ensayo 4. Éstos mostraron, a su vez, los menores niveles de N en comparación con el testigo y el resto de los tratamientos. En general, la relación C/N en los suelos estudiados fue de 8,28–14,51. Estos resultados coinciden con los valores de referencia de CAIRO Y FUNDORA (2005), de relación C/N entre 8–15 en suelos cultivados, con una media entre 10–12.

En cuanto al contenido de **P₂O₅**, el 75% de los tratamientos no mostró diferencias estadísticamente significativas con respecto al testigo, mientras que el 6% presentó valores inferiores al testigo, y el 19% de los tratamientos alcanzó valores superiores al mismo. Este último porcentaje estuvo constituido por los tratamientos del ensayo 4, donde el mayor valor lo presentó el tratamiento 11 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g) el cual mostró diferencias estadísticamente significativas con el resto de los tratamientos y con el testigo, que presentó el menor valor, con diferencias estadísticamente significativas con todos los tratamientos.

El contenido de **K** no mostró diferencias estadísticamente significativas con respecto al testigo en el 45% de los tratamientos. El 44% de los tratamientos mostró valores superiores al testigo y el 11% mostró valores inferiores al mismo. Los mayores contenidos de K se observaron en los tratamientos 4 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 5 %) y 3 (cascarilla de arroz + vinaza de remolacha 3%) del ensayo 1, el tratamiento 7 (paja de caña 10 g) del ensayo 2, el tratamiento 5 (gallinaza 5 g) del ensayo 3, el tratamiento 4 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g) de los ensayos 5 y 6, y los tratamientos 7 (vinaza de caña 5% + pulpa de café 10 g) y 9 (vinaza de caña 5 % + cascarilla de arroz 5 g) del ensayo 7.

Los valores de **Ca** mostraron que un 53% de los tratamientos no presentó diferencias estadísticamente significativas con respecto al testigo, pero un 45% de los tratamientos mostró valores superiores al testigo, y sólo un 2% fue inferior al mismo. Este elemento es importante porque, junto con otros elementos, está relacionado con los valores de pH. Los mayores contenidos de Ca en los ensayos realizados lo presentaron los tratamientos 7 (paja de caña 5 g + tabaco 5 g) del ensayo 1, 7 (paja de caña 10 g) del ensayo 2, 8 (cascarilla de arroz 10 g) y 9 (cascarilla de arroz 5 g) del ensayo 4, 4 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 5 g) del ensayo 5, 4 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g) y 2 (cascarilla de arroz 5 g) del ensayo 6, y 5 (gallinaza 5 g) del ensayo 7.

En cuanto al contenido de **Na**, el 66% de los tratamientos no mostró diferencias estadísticamente significativas con respecto al testigo, aunque sí hubo diferencias entre los tratamientos. El 13% de los tratamientos presentó valores superiores al testigo, y el 21% de los tratamientos presentó valores inferiores al mismo. Se destacan los altos contenidos de Na en el suelo del ensayo 4, que provenía de El Campo de Cartagena. Este suelo presentó valores de Na elevados tanto en el testigo como en los tratamientos, en comparación con los valores observados en el resto de los ensayos, posiblemente por los contenidos de Na del agua utilizada para el riego. El mayor valor de este elemento se encontró en el testigo. El contenido de Na debe ser tenido en cuenta puesto que niveles elevados de este elemento pueden provocar salinidad en el suelo. En los demás ensayos realizados los mayores contenidos de Na se observaron en los tratamientos 4 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 5%) y 3 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 3%) del ensayo 1, y en el tratamiento 7 (paja de caña 10 g) y el testigo del Ensayo 2.

El contenido de **Mg** no mostró diferencias estadísticamente significativas con respecto al testigo en el 70% de los tratamientos, un 21% de los mismos mostró valores superiores al testigo, y un 9% mostró valores inferiores a éste. Los mayores se observaron en los tratamientos 4 (cascarilla de arroz + vinaza de remolacha 5%) del ensayo 1, 3 (paja de caña 5 g + tabaco 5 g) del ensayo 3, 4 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g) del ensayo 5, 3 (cascarilla de arroz 10 g) del ensayo 6 y 5 (gallinaza 5 g) del ensayo 7.

Con respecto a los microelementos estudiados (Fe, Mn, Zn y Cu), los resultados mostraron que en el caso del **Fe** el 58% de los tratamientos no mostraron diferencias estadísticamente significativas con respecto al testigo. Sin embargo, el 42% restante mostró valores estadísticamente superiores al testigo, con los valores más altos en los tratamientos 8 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g) y 4 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 5 %) del ensayo 1, el tratamiento 7 (paja de caña 10 g) del ensayo 2, los tratamientos 3 (paja de caña 5 g + tabaco 5 g) y 4 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g) del ensayo 3, los tratamientos 6 (paja de caña 10 g) y 10 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g) del ensayo 4, el tratamiento 5 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g) del ensayo 5, los tratamientos 3 (cascarilla de arroz 10 g) y 5 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g) del ensayo 6, y el tratamiento 8 (vinaza de caña 5% + paja de caña 5 g) del ensayo 7. Comparando los diferentes suelos utilizados en los ensayos, los mayores contenidos de Fe se observaron en los ensayos 2 y 3, en los cuales la muestra de suelo provenía de Villa del Prado (Madrid).

Con respecto al **Mn**, los resultados mostraron que un 85% de los tratamientos estudiados no presentaron diferencias estadísticamente significativas con respecto al testigo, y el 15% restante mostró valores superiores al mismo. Los mayores contenidos de Mn correspondieron a los tratamientos 7 (paja de caña 5 g + tabaco 5 g) del ensayo 1, 3 (cascarilla de arroz 10 g) del ensayo 2, y 5 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g) de los ensayos 5 y 6.

En relación al contenido de **Zn**, el 68% de los tratamientos no mostró diferencias estadísticamente significativas con respecto al testigo, el 19% mostró valores superiores al testigo, y el 13% mostró valores inferiores al mismo. Este último grupo correspondió a los tratamientos del ensayo 1, que en la mayoría de los casos presentaron contenidos de Zn inferiores al testigo, que fue donde se observó el contenido más alto. Los mayores contenidos de Zn se encontraron en los tratamientos 4 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g) y 5 (gallinaza 5 g) del ensayo 3.

En el caso del **Cu**, el 75% de los tratamientos estudiados no mostró diferencias estadísticamente significativas con respecto al testigo, mientras que el 25% restante presentó valores estadísticamente superiores al mismo. Para este microelemento los mayores valores de forma general se encontraron en los

ensayos 2 y 3, donde se utilizó suelo proveniente de Villa del Prado (Madrid). Este resultado se corresponde con los bajos valores de pH en comparación con los suelos utilizados en los otros ensayos, puesto que la disminución de pH del suelo favorece la presencia de microelementos (CAIRO Y FUNDORA 2005).

Por otra parte, tal como plantean ARZOLA Y FUNDORA (2007), los suelos arcillosos generalmente están bien provistos de Cu asimilable para las plantas. El efecto de la fuerte retención por las arcillas es contrarrestado por el creciente porcentaje de saturación cúprica de las mismas, lo cual hace que haya una fracción del Cu intercambiable que se cede con relativa facilidad, y puede satisfacer las necesidades nutricionales de las plantas. En el caso de suelos arenosos ácidos y muy ácidos la reacción del suelo puede facilitar la pérdida por lavado de una gran parte del Cu asimilable. Comparando los suelos de los diferentes ensayos entre sí, se observa que los mayores contenidos de Cu corresponden a los tratamientos 7 (paja de caña 5 g + tabaco 5 g) del ensayo 1, 8 (cascarilla de arroz 5 g) del ensayo 2, 4 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g) del ensayo 3, y 2 (cascarilla de arroz 5 g) del ensayo 5.

Con respecto al **pH**, el 66% de los tratamientos estudiados no mostró diferencias estadísticamente significativas en comparación con el testigo, mientras que el 34% restante mostró valores superiores al testigo. En general, el pH fue ligeramente alcalino en casi todos los ensayos, a excepción de los ensayos 2 y 3, donde fue ligeramente ácido, según la clasificación de PAGEL *et al.* (1982, citado por CAIRO Y FUNDORA, 2005). Los mayores valores de pH correspondieron a los tratamientos 4 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 5%) del ensayo 1, 9 (pulpa de café 5 g) del ensayo 2, 4 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g) del ensayo 3, 5 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g) de los ensayos 5 y 6, y 8 (vinaza de caña 5 % + paja de caña 5 g) del ensayo 7. Los menores valores de pH correspondieron a los testigos de los ensayos 2 y 3, en donde la aplicación de los residuos agrarios en todos los tratamientos estudiados dio lugar a un ligero incremento del pH en dichos ensayos.

Se debe destacar que la importancia del valor del pH se debe principalmente a su efecto indirecto, más que al directo, puesto que influye en la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes, así como en la vida microbiana del suelo, en las propiedades químico-físicas, etc. Un ambiente agudamente ácido o alcalino puede ser letal, tanto para las plantas superiores como para los organismos, mientras que un pH

débilmente ácido o moderadamente alcalino favorece, en general, su desarrollo (CAIRO Y FUNDORA, 2005). De acuerdo a lo planteado por LEÓN (1991), en los suelos con alto contenido de Ca el pH generalmente se encuentra entre 7–8,3. Cuando el pH se incrementa, se pueden provocar deficiencias fisiológicas, es decir, que la capacidad de las plantas para absorber elementos nutritivos tales como K, Ca y Mg se ve afectada (TEUSCHER Y ADLER 1987). Cuando uno cualquiera de los dos primeros elementos es más o menos abundante en el suelo, se puede acumular en la porción superior de las plantas en concentraciones mayores que las normales. Esto tiene un efecto depresor en la absorción de otros elementos nutritivos, los cuales, al presentarse la carencia o deficiencia, deben penetrar a la planta en proporciones elevadas. El resultado es denominado “deficiencia fisiológica”, la cual es común en ciertos microelementos.

En cuanto a la **CE**, el 70% de los tratamientos estudiados no mostró diferencias estadísticamente significativas en comparación con el testigo, el 6% de los tratamientos presentaron valores estadísticamente superiores al mismo, y el 24% restante presentó valores inferiores al testigo. Los mayores valores de CE en el ensayo 1 correspondieron a los tratamientos 4 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 5%) y 3 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de caña 3%), los cuales mostraron diferencias estadísticamente significativas entre ellos y con el resto de los tratamientos y el testigo. Estos tratamientos también mostraron los mayores contenidos de bases, lo cual conlleva el incremento tanto de su CE como de su pH. En el caso de los ensayos 2 y 3 la mayoría de los tratamientos presentaron valores inferiores al testigo. Como en el caso anterior, los valores de CE se relacionan con los de pH, puesto que en estos ensayos fue donde se observaron los valores de pH más bajos. Se destacan los valores elevados de CE alcanzados en el ensayo 4, que se realizó sobre una muestra de suelo proveniente de El Campo de Cartagena. Si se comparan los valores de CE de este ensayo con los ensayos restantes se observan valores muy por encima de los mismos. Se considera que estas altas CE son debidas a que en esta zona el agua que se utiliza para el riego es salina puesto que, tal como indica PIEDRA BUENA (2005), el uso de aguas salinas para el riego en el Campo de Cartagena está contribuyendo al aumento del contenido de sales del suelo.

La CE ha sido el parámetro más ampliamente utilizado en la estimación de la salinidad (TÓTH *et al.* 1995). Su determinación se basa en la velocidad con la cual la corriente eléctrica atraviesa una solución salina, la cual es proporcional a la concentración de sales en solución. La salinidad afecta principalmente la presión osmótica con la cual el agua es absorbida, requiriendo en consecuencia mayor energía por parte de la planta. Los fertilizantes inorgánicos son sales que pueden contribuir al aumento de la salinidad en las aguas subterráneas. El aumento de la CE en el suelo puede provocar una disminución en la productividad (RICHARD 1996, CAIRO Y FUNDORA 2005).

Los resultados de las variables relacionadas con la fertilidad de los suelos mostraron que, en general, los tratamientos presentaron diferencias significativas con respecto al testigo para la mayoría de las variables estudiadas, a excepción del N en los ensayos 1, 2 y 6, el C en el ensayo 5, la relación C/N en los ensayos 1, 2 y 5, el P₂O₅ en los ensayos 1 y 7, el Mn en el ensayo 3, y el Cu en el ensayo 4, que no mostraron diferencias significativas ni entre los tratamientos ni con respecto al testigo. Aunque el análisis de los efectos de los tratamientos se ha realizado tomando como referencia al testigo, en las Tablas del capítulo de Resultados se pueden observar diferencias estadísticamente significativas también entre los tratamientos.

Cuando se tiene un gran número de variables a evaluar, la capacidad de los análisis univariados para discriminar los tratamientos que más influyeron en las variables de suelo es limitada. En cambio, los análisis multivariados permiten despejar con mayor facilidad las incógnitas en relación con las variables de mayor peso y los tratamientos de mejor comportamiento para esas variables en las condiciones de estudio. El Análisis de Componentes Principales (ACP) aplicado permitió agrupar las variables de suelo que mostraron mayor peso en la variabilidad total, de acuerdo a los tratamientos realizados en los distintos ensayos de biodesinfección.

De acuerdo a este análisis, se observó que las variables que más contribuyeron a la variabilidad total para el ensayo 1 fueron en primer lugar K, Na, CE, Mg y pH, y en segundo lugar las variables Ca y Cu. En el caso del ensayo 2 en primer lugar destacan las variables Fe, Cu, Ca, K, Mg, pH, C, MO, Zn y CE, mientras que las variables que más contribuyeron a la variabilidad total en segundo lugar fueron Na y N. En el caso del ensayo 3, las variables de mayor contribución estuvieron dadas por Mg, Na, K, pH, Ca, MO, C, Cu y Zn, que destacan en primer lugar, y en segundo lugar

las variables que mostraron mayor peso fueron Ca, CE, Fe y P_2O_5 . Con respecto al ensayo 4, destacan las variables Mg, K, Na y Ca en primer lugar, y en segundo lugar N, MO y C. Para el ensayo 5 destacan las variables K, Mg, Ca, Fe y Mn en primer lugar, mientras que en segundo lugar las variables que mostraron mayor peso fueron C, MO, y la relación C/N. En el caso del ensayo 6 las variables de suelo que mostraron mayor peso en primer lugar fueron Ca, K, Mg, Na, MO y C, mientras que en segundo lugar el mayor peso estuvo dado por el P_2O_5 . En el ensayo 7 se destacaron las variables Mg, Na, Ca, C, MO y N en primer lugar, y en segundo lugar las que mostraron mayor peso fueron Mn, CE, Zn y Cu.

Se observa que las variables con mayor contribución a la variabilidad total, para la mayoría de los ensayos evaluados, son predominantemente las bases cambiables (K, Ca, Mg, Na), en los diferentes tratamientos de biodesinfección. Este aspecto se considera positivo, puesto que influye en el pH del suelo, así como en los contenidos de MO y N, lo que redundará finalmente en una mejora de la calidad del suelo y la productividad de los cultivos (CAIRO Y FUNDORA 2005). El contenido de bases tiene un efecto directo en la MO, pues el contenido de MO y N se reduce a medida que disminuye el contenido de bases, sobre todo el Ca. Además, el contenido y tipo de base influye directamente sobre la composición de la flora microbiana, la cual tiene gran incidencia en el proceso de humificación. Cuando la flora está constituida por bacterias la acumulación de humus es mayor, porque en este caso el Ca mantiene un pH adecuado para que las bacterias se desarrollen. Por otra parte, por medio del Ca se forman complejos entre la MO y las arcillas, lo cual estabiliza los productos orgánicos. Esto se confirma cuando se comparan suelos de contenido en bases limitado con aquellos de mayor contenido. Sin embargo, si el empobrecimiento en bases es tal que se produce una deficiencia importante en nutrientes y existe una reacción muy ácida del suelo, la actividad microbiana decrece, de manera tal que aumenta la MO, pero la misma está débilmente humificada y por lo tanto es de menor calidad que en el caso anterior (CAIRO Y FUNDORA 2005).

Tomando en consideración los resultados del análisis efectuado sobre las variables de suelo, el ACP permitió seleccionar los tratamientos de mayor peso, de acuerdo a su influencia en las variables de suelo que más contribuyeron a la variabilidad total. Estos tratamientos fueron:

- En el ensayo 1, los tratamientos 3 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 3%), 5 (cascarilla de arroz 5 g + vinaza de remolacha 5%) y 7 (paja de caña 5 g + tabaco 5 g).
- En el ensayo 2, los tratamientos 7 (paja de caña 10 g), 6 (paja de caña 5 g), 9 (pulpa de café 5 g), 5 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g) y 2 (cascarilla de arroz 5 g).
- En el ensayo 3, los tratamientos 4 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g) y 5 (gallinaza 5 g).
- En el ensayo 4, los tratamientos 7 (paja de caña 5 g), 8 (cascarilla de arroz 10 g), 9 (cascarilla de arroz 5 g), 12 (paja de caña 5 g + gallinaza 2,5 g), 10 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g), 11 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), 13 (paja de caña 5 g + pulpa de café 2,5 g), 5 (gallinaza 2,5 g), y 4 (gallinaza 5 g).
- En el ensayo 5, los tratamientos 4 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g), 5 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g) y 2 (cascarilla de arroz 5 g).
- En el ensayo 6, los tratamientos 4 (cascarilla de arroz 5 g + gallinaza 2,5 g) y 5 (cascarilla de arroz 5 g + pulpa de café 2,5 g).
- En el ensayo 7, los tratamientos 5 (gallinaza 5 g), 9 (vinaza de caña 5% + cascarilla de arroz 5 g), 4 (vinaza de caña 3%), 8 (vinaza de caña 5% + paja de caña 5 g) y 10 (vinaza de caña 5% + gallinaza 5 g).

El aporte de nutrientes observado al aplicar los residuos agroindustriales también ha sido señalado por otros autores, tales como DÍAZ (2004a, b), que indica que la gallinaza y la pulpa de café son materiales ricos en macro y micronutrientes, y JULCA-OTINIANO *et al.* (2008), que han encontrado altos valores de MO, P y K al incorporar pulpa de café al suelo. También PÉREZ *et al.* (2008) indican altos contenidos de MO, P, K, Ca, Mg, Cu y Zn en el suelo al aplicar enmiendas elaboradas a base de gallinaza, pulpa de café, tierra de bosque y residuos vegetales.

IV.6. Consideraciones generales sobre la biodesinfección

A pesar de que la mayoría de los tratamientos ensayados fueron efectivos para reducir las poblaciones de *M. incognita* e incrementar la microfauna beneficiosa del suelo, así como también mostraron tener una influencia positiva sobre la fertilidad del suelo y el crecimiento de las plantas, estos resultados corresponden a ensayos en condiciones de laboratorio, por lo cual deberían complementarse con estudios en condiciones de campo para validar su efectividad.

Se debe tener en cuenta que la técnica de la biodesinfección debe ajustarse a las características particulares de cada localidad (suelo, agua de riego, factores climáticos, materiales orgánicos disponibles, prácticas utilizadas por los agricultores) para decidir si su utilización es factible y aporta beneficios al sistema, y en ese caso elegir los materiales y dosis a utilizar para llevarla a cabo. Por ello, la etapa de experimentación en campo se considera indispensable para adaptar la técnica a las condiciones de cada zona, incluyéndola de forma armónica en los sistemas de manejo existentes.

Por otra parte, se debe destacar que la utilización de restos de cultivos como material biodesinfectante abre nuevas perspectivas para la práctica de la biodesinfección. Ésta ofrece a los agricultores la posibilidad de utilizar materiales orgánicos que no le suponen costes añadidos, a la vez que contribuye a solucionar el problema de la acumulación de residuos agrícolas, que de este modo pasan a ser subproductos del sistema, con valor dentro del mismo (PIEDRA BUENA 2005).

Otro aspecto importante a considerar es que la utilización de residuos agroindustriales mediante la biodesinfección sería más efectiva si se incluye dentro de un agroecosistema equilibrado, que contribuya a la sostenibilidad, y donde se apliquen diferentes prácticas para el manejo de plagas y enfermedades, así como para el mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, basados en criterios agroecológicos. Todo ello proporcionará un mejor ambiente para la fauna y vegetación del agroecosistema, dando como resultado una mayor productividad y mejor calidad.

IV.7. Otras alternativas agroecológicas factibles de ser utilizadas con la biodesinfección

Existen otras alternativas que no han sido evaluadas experimentalmente en nuestra investigación, pero que han sido avaladas por otros autores y se podrían considerar para lograr un mayor equilibrio ecológico en el agroecosistema utilizándolas junto con el proceso de biodesinfección. Éstas prácticas incluyen la rotación y asociación de cultivos, y la utilización de coberturas muertas (mulch). Aunque se podrían mencionar otras prácticas, se hará referencia a las anteriormente mencionadas, por considerarlas compatibles con el proceso de biodesinfección y porque contribuyen a mejorar la gestión de los residuos orgánicos. No obstante, en función de las condiciones particulares de cada región o localidad se podrían valorar e incluir otras alternativas que

se consideren compatibles y que contribuyan a regular las plagas y enfermedades, mejorar las propiedades del suelo, y mantener la productividad de los cultivos.

Las rotaciones y asociaciones de cultivos son prácticas que pueden ser eficaces para los sistemas sostenibles de agricultura, para el mejor manejo (y con menos insumos) de plagas, enfermedades y malezas, aprovechando las ventajas que brinda la biodiversidad, para el manejo agroecológico de suelos y la nutrición vegetal indirecta (SOCORRO *et al.* 2000). La rotación consiste en una secuencia de cultivos dentro de un determinado terreno, mientras que la asociación consiste en la realización de arreglos espaciales, donde se combinan diferentes cultivos (KOLMANS Y VÁZQUEZ 1996). Estas prácticas se fundamentan en el hecho de que una diversidad bien estructurada asegura un uso eficiente del suelo, mejor conservación del mismo, una regulación adecuada de malezas, plagas y enfermedades, una buena fijación de N (por leguminosas), un óptimo aprovechamiento de la energía solar, mayor producción de MO, mejor regulación y retención de humedad, condiciones favorables para el fomento de un edafón diversificado y equilibrado, el cual se expresa en una buena disponibilidad de nutrientes (KOLMANS Y VÁZQUEZ, 1996).

Un buen plan de rotación y asociación se basa principalmente en una combinación de cultivos que se benefician mutuamente. Para la realización de estos planes debe tenerse en cuenta el aporte de cada cultivo a la fertilidad del suelo, y su grado o nivel de extracción. La planificación adecuada de la rotación permite que ésta se ajuste a los requerimientos de los suelos en cada parcela. Un ejemplo de plan de rotación puede iniciarse con un abono verde o un cultivo forrajero de gran aporte de biomasa y N (leguminosas), para generar las condiciones de fertilidad que requiere el cultivo posterior. Con estos criterios, al sucederse cultivos que mejoran la fertilidad del suelo con cultivos extractivos y poco extractivos, se puede completar un ciclo, a la vez que se garantiza la suficiente diversidad. Es conveniente asociar, en lo posible, a los cultivos extractivos con cultivos que aportan a la fertilidad, como es el caso tradicional de la asociación maíz + frijol.

En cuanto a las asociaciones de cultivos existen varias de gran valor, comprobadas y conocidas, muchas de las cuales son parte de sistemas tradicionales de producción. En la determinación de las asociaciones debe ponerse especial consideración en los aspectos de compatibilidad, beneficio mutuo, distanciamiento,

características aéreas y radicales de las plantas (KOLMANS Y VÁZQUEZ 1996). En lo posible, deben asociarse cultivos que presenten características vegetativas y desarrollo radicular diferentes para aprovechar los diferentes niveles tanto en la superficie como dentro del suelo, y así utilizar mejor la disponibilidad de nutrientes y la humedad en los diferentes estratos del suelo. La parte aérea de la planta debe permitir el mejor aprovechamiento de la luz y el espacio disponible tanto en vertical como en horizontal. El ordenamiento estructural del sistema debe buscar también una máxima cobertura del suelo.

Es conocida la tradicional asociación maíz + frijol + calabaza: el maíz aprovecha la luz en la parte más alta, le sigue el frijol en la parte media, que usa el maíz como tutor, y la calabaza, con menos requerimiento de luz, en la parte inferior. El aprovechamiento de nutrientes del suelo también se realiza a diferentes profundidades. Una asociación con estas características permite fijar N en el suelo, aprovechar la humedad de las capas más profundas, mejorar la bioestructura del suelo, aportar más biomasa al suelo, etc. El ejemplo señalado contrasta con la práctica del monocultivo que se lleva a cabo en la agricultura convencional. En el caso del maíz en monocultivo, el enraizamiento superficial de esta planta genera compactación del suelo, desequilibrios nutricionales, erosión, susceptibilidad a plagas y enfermedades, ineficiencia en el uso del agua, baja producción de MO, etc.

De acuerdo con KOLMANS Y VÁZQUEZ (1996), algunas reglas básicas para la rotación y asociación de cultivos son las siguientes:

- Combinar cultivos de enraizamiento profundo, después y junto a los de enraizamiento superficial.
- Rotar y asociar plantas de reducido desarrollo radicular con plantas de gran desarrollo radicular.
- Cambiar la secuencia y combinación de cultivos fijadores de N con cultivos extractores de N (40% de la proporción de cultivos como mínimo deben ser leguminosas).
- La siembra de cultivos de largo estadio juvenil debe hacerse después de cultivos con efectos supresores hacia las malezas.
- Instalar cultivos susceptibles a determinados patógenos, después y junto con aquellos que tienen un efecto supresor sobre estos patógenos.
- La proporción de cereales no debe ser mayor de 60% (lo óptimo sería 50%).

- No dejar descubierto el suelo entre dos cultivos principales. En lo posible, completar el ciclo anual con rotaciones y asociaciones de cultivos de ciclo intermedio o corto (cultivos de cobertura, abonos verdes).
- Teniendo en cuenta que determinados cereales, como sorgo, trigo y cebada, son cultivos altamente extractivos, se deben sembrar después y junto con cultivos que incrementan la fertilidad del suelo.
- Establecer planes de rotación y asociación de una duración mínima de 5–7 años.
- Lograr una máxima intercepción de luz por el área foliar mediante un óptimo aprovechamiento del espacio aéreo.
- Obtener una máxima producción de biomasa para incorporarla al suelo como MO.

Por otra parte, uno de los aspectos a tener en cuenta en el manejo de los cultivos lo constituyen las condiciones climatológicas que predominan en el área a ser cultivada. En Cuba, por ejemplo, la producción de tomate se ve limitada por diferentes factores climáticos que durante gran parte del año no favorecen la expresión de los potenciales productivos de los cultivares (MINAGRI 1997). Una manera de reducir la temperatura es la utilización de la sombra; que en el caso del maíz puede interceptar la luz hasta en un 80%, según el arreglo espacial que se utilice (MIDMORE *et al.* 1988, citados por PINO Y TERRY 1997). También se ha indicado que en condiciones de estrés por altas temperaturas y radiación solar este tipo de asociación mejora el crecimiento, desarrollo y rendimiento del tomate con respecto al monocultivo (PINO Y TERRY 1994, 1997). El quimbombó (*Hibiscus esculentus*) es otro de los cultivos que se puede utilizar como sombra natural en el cultivo del tomate (PINO Y TERRY 1998).

Las asociaciones anteriormente descritas también contribuyen a reducir el impacto de las precipitaciones, al impedir el efecto directa de las gotas de lluvia sobre el cultivo, que provoca la abscisión de flores y frutos, e incluso la muerte de las plantas, si la lluvia viene acompañada por altas temperaturas y es seguida por radiación solar intensa (MIDMORE 1994, citado por FIGUEREDO RODRÍGUEZ 1999).

Por otra parte, algunas investigaciones sobre prácticas beneficiosas para el cultivo de tomate han demostrado que la asociación tomate-maíz produce una reducción marcada de los insectos plaga e incrementa a los enemigos naturales (LEÓN Y PINO 1998) así como también ha reducido las enfermedades causadas por *Alternaria solani*

y *Phytophthora infestans* (AROLA *et al.* 1991, citado por FIGUEREDO RODRÍGUEZ 1999). El uso de maíz y el sorgo como cultivos protectores ejerce una influencia benéfica sobre el cultivo del tomate, disminuyendo la afluencia de plagas (SALGUERO 1992, HILJE 1993, VÁZQUEZ *et al.* 1996), mientras que el intercalar bandas de sorgo o frijol al cultivo del tomate no afecta sus rendimientos y ayuda a disminuir las poblaciones de *Bemisia tabaci* (MIAKA 1991). Por su parte, el uso de barreras de maíz y *Tagetes* favorece la presencia de enemigos naturales (PIÑÓN 1998). En particular, la siembra de tomate intercalado con *Tagetes* produce resultados positivos, ya que el follaje del *Tagetes* emana sustancias volátiles que repelen insectos, como por ejemplo las moscas blancas (VÁZQUEZ 1997, citado por PIÑÓN 1998).

En cuanto al manejo de nematodos fitoparásitos, estudios realizados por YÁÑEZ (1997) señalan que al rotar e incorporar los residuos de *Tagetes*, o al asociarlo con pimiento, se produjo una reducción significativa en la nodulación radicular ocasionada por los nematodos *Nacobbus aberrans* y *Meloidogyne* sp. Por otra parte, SIDDIQUI Y ALAM (1987) señalaron que las secreciones radicales nematóxicas de algunas especies de *Tagetes* reducen las poblaciones de nematodos fitoparásitos.

Existen otras plantas no hospederas de los nematodos formadores de nódulos, como el maíz (*Zea mays*), algodón (*Gossypium hirsutum*), sorgo (*Sorghum bicolor*), haba de terciopelo (*Mucuna deeringiana*), que se utilizan en rotaciones con maní (*Arachis hypogaea*), soja (*Glycine max*) y vegetales (RODRÍGUEZ-KÁBANA *et al.* 1989). La leguminosa *Crotalaria longirostrata* asociada a tomate o incorporando sus residuos al suelo redujo significativamente la nodulación de las raíces inducido por *Meloidogyne* en tomate (VILLAR Y ZAVALA-MEJÍA 1990, citado por ROSADO ARROYO 2005).

Por otra parte, una de las principales razones por la cual los agricultores utilizan los policultivos es la ventaja de una mayor producción por unidad de superficie agrícola respecto a un área de equivalente de monocultivo (ALTIERI 1997). Existen múltiples ejemplos de las ventajas productivas de los policultivos. En esas experiencias se utiliza el Índice Equivalente de Tierra o Uso Equivalente de Tierra (IET o UET), que consiste en el área de los cultivos que se asocian requerida para 1 ha equivalente de producción de ambos cultivos asociados (SOCORRO *et al.* 2005). Si el IET es mayor a 1 el policultivo se considera ventajoso, mientras que si el IET es igual a 1 el modo de sembrar resulta indistinto, y si el IET es menor a 1 se considera que los unicultivos superan a los policultivos. En la Tabla IV.1 se muestran los resultados de investigaciones de varios autores sobre policultivos ventajosos desde el punto de vista de la productividad.

Tabla IV.1. IET en diferentes experiencias de policultivos realizadas en Cuba (SOCORRO *et al.* 2005)

Asociación	IET	Instituciones	Lugar
Frijol-girasol	1,78	Universidad de Ciego de Ávila (UNICA)	Ciego de Ávila
Yuca-maíz	1,82	Instituto de Investigaciones Hortícolas (IIH) "Liliana Dimitrova"	La Habana
Yuca-tomate	1,86		
Yuca-frijol	1,75		
Pepino-habichuela-ajo de montaña-rabanito, en organopónicos	1,45–1,95	Universidad Central de las Villas (UCLV)	Villa Clara
Yuca-frijol	1,64–1,86	Universidad Agraria de la Habana (UAH) - Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA)	La Habana
Yuca-maíz	1,30–1,68		
Maíz-dolichos	1,30–1,85	Instituto de Ciencia Animal (ICA) - UNAH - INCA	La Habana
Yuca-frijol-maíz	2,82		
Maíz-soya	1,50		
Boniato-maíz	1,82	IIH "Liliana Dimitrova"	La Habana
Malanga-maíz	2,00	INCA	La Habana
Malanga-maíz-pepino	1,20		
Frijol-maíz	2,50		
Maíz-frijol negro	2,00	Instituto de Investigaciones de Pastos y Forrajes	La Habana
Maíz-maní	2,50		
Maíz-vigna	1,20–2,50		
Maíz-calabaza	1,10		

En cuanto a la utilización de **coberturas muertas o arropo (mulch)**, es una de las medidas que contribuyen a la utilización de los residuos agrarios. Su efecto es principalmente la reducción del impacto provocado por el déficit hídrico en épocas de sequía, al impedir la acción directa de los rayos solares sobre el suelo, así como los cambios bruscos de temperatura entre el día y la noche, puesto que un suelo cubierto se calienta menos durante el día y se enfría menos durante la noche (FUENTES Y MARRERO 1996). Estas características, unidas al mejoramiento de las propiedades físicas del suelo y la disminución de la evaporación, hacen que el suelo se mantenga húmedo por un período de tiempo más largo, lo que permite a la planta

aprovechar más eficientemente esta agua y mejorar la absorción de nutrientes. Por ello, en áreas de América Latina con déficit de agua durante cierta parte del año se suele usar arroje realizado con material vegetal inerte traído de los bosques adyacentes a las fincas. Se calcula que en Guatemala se llegan a aplicar hasta 40 t ha^{-1} de hojarasca traída de los bosques vecinos (FAO 1990). Son varios los materiales que pueden ser utilizados como arroje, tales como paja de arroz, hierba de guinea, tallos de maíz, hojas y tallos de plátano, hojas y tallos de tabaco, etc.

Las ventajas de utilización del arroje incluyen:

- Evita la erosión del suelo y facilita la infiltración del agua.
- Suministra MO al suelo.
- Reduce la incidencia de plagas.
- Tiene un efecto positivo sobre los rendimientos.

En experimentos realizados en EEUU se ha encontrado que una sola aplicación de cobertura con paja de trigo en el cultivo de cebolla es tan efectiva como la aplicación repetida de materiales sintéticos tales como la poliacrilamida (PAM) para reducir la erosión del suelo, y es más efectiva que PAM para mejorar la infiltración del agua y la conservación del potencial hídrico del suelo en cultivos de cebolla y papa (SHOCK Y SHOCK 1997, citado por FUENTES 2006). En investigaciones realizadas por FUENTES (2006) se señala que la cobertura de los suelos con restos de cosecha impide su sobrecalentamiento, encontrando mejores resultados con la cobertura de hierba de guinea que con los restos de cosechas de arroz, aunque ambos materiales tuvieron resultados satisfactorios. No obstante, estos autores recomiendan usar los restos de cosecha de arroz, puesto que este material está disponible inmediatamente después que el arroz es cosechado, mientras que la hierba de guinea debe ser cortada para utilizarla como cobertura, lo cual es más laborioso.

El uso de arroje en los cultivos da como resultado un suelo mullido, con alta capacidad de infiltración y mayor humedad, con un ambiente más fresco, un suministro constante de MO y una actividad microbiológica estable que favorece la formación del humus, la liberación continua de nutrientes y el mantenimiento de la bioestructura del suelo. Esto, unido a la supresión de malezas, permite un crecimiento más sano y vigoroso de las plantas cultivadas (FUENTES Y MARRERO 1996).

Teniendo en cuenta los resultados de los ensayos de biodesinfección realizados en este trabajo, y que los residuos agroindustriales ensayados suelen ser fundamentalmente desechados, constituyendo un foco de contaminación ambiental, se propone el uso de la biodesinfección como una alternativa de uso ambientalmente sostenible para estos residuos. La biodesinfección es una alternativa de manejo basada en el uso de recursos locales y que reduce el impacto ambiental de la agricultura e incrementa la calidad de las producciones agrícolas (BELLO *et al.* 2002).

Es necesario enfatizar que la biodesinfección, por sí sola, e independientemente del material que se emplee, no es capaz de resolver los problemas ocasionados por los nematodos formadores de nódulos u otras plagas, sino que debe combinarse dentro de un sistema de prácticas agroecológicas. En la medida en que se logre incrementar la biodiversidad y se restablezca el equilibrio del agroecosistema se logrará regular los problemas de plagas y alcanzar un mejor funcionamiento del mismo. En este sentido, BELLO *et al.* (2002) señalaron que la efectividad de la biodesinfección se incrementa con el tiempo cuando está incluida como una práctica más en un sistema de producción con criterios ecológicos. Por ello, es recomendable la combinación de la biodesinfección con otras alternativas de manejo, teniendo en cuenta la compatibilidad entre las mismas y el ambiente (PLOE 2003, citado por RODRÍGUEZ *et al.* 2006). De esta manera, esta práctica debe ser tomada en cuenta como una de las posibles alternativas a ser incluidas en el diseño de agrosistemas con criterios agroecológicos, que contribuyan a la sostenibilidad, y que favorezcan el equilibrio armónico entre sus componentes para lograr su mejor funcionamiento.

CONCLUSIONES

1. La evaluación de los residuos agroindustriales seleccionados (cascarilla de arroz, paja de caña, pulpa de café, vinaza de remolacha y vinaza de caña), así como de residuos agrarios como la gallinaza y residuos de tabaco, los cuales fueron estudiados solos y combinados, utilizando diferentes dosis, en condiciones de laboratorio (59 tratamientos en siete ensayos) mostró su elevado potencial como materiales biodesinfectantes. El 68% de los tratamientos ensayados alcanzó 100 % de mortalidad de juveniles (J2) de *M. incognita*, mientras que un 24% de los tratamientos mostró una mortalidad entre 83–99%, y sólo el 8% restante presentó porcentajes de mortalidad inferiores al 80%, donde el valor más bajo fue de 50%.
2. La microfauna beneficiosa se incrementó en forma considerable con los tratamientos de biodesinfección, especialmente en el caso de los Rabdítidos y Enquitreidos. Los materiales que favorecieron más el incremento de poblaciones de Rabdítidos fueron la paja de caña sola a las diferentes dosis estudiadas, la paja de caña en combinación con tabaco, pulpa de café y gallinaza, algunos de los tratamientos de cascarilla de arroz sola, y la cascarilla de arroz en combinación con gallinaza y pulpa de café. Las poblaciones de Enquitreidos fueron favorecidas por los tratamientos de paja de caña sola y en combinación con pulpa de café, tabaco y vinaza de caña, por los tratamientos de cascarilla de arroz sola y combinada con tabaco, pulpa de café, gallinaza y vinaza de caña, así como también por algunos tratamientos de gallinaza sola y tabaco solo. En el caso de los Doriláimidos, debido a las poblaciones generalmente bajas, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo, aunque sus poblaciones fueron algo inferiores en éste último.
3. Los índices de nodulación en la mayoría de los tratamientos evaluados fueron inferiores al testigo, incluso con valor cero en muchos de ellos. Sólo los tratamientos de vinaza de caña 10% y vinaza de caña 3% no mostraron diferencias estadísticas con respecto al testigo, aunque sus valores también fueron inferiores al mismo. Los índices de nodulación observados y el porcentaje de mortalidad de J2 de *Meloidogyne* mostraron una relación inversa para todos los tratamientos ensayados, donde las plantas con mayores índices de

nodulación se correspondían con los tratamientos con los porcentajes más bajos de mortalidad de J2 de *Meloidogyne*, excepto en la vinaza de caña 10%. Del mismo modo, los menores índices de nodulación se correspondieron con los mayores incrementos de la microfauna beneficiosa en la mayoría de los tratamientos ensayados, excepto en los tratamientos de vinaza de remolacha a las dos dosis estudiadas, que lograron 100% de mortalidad e índices de nodulación 0, pero no contribuyeron al incremento de la microfauna beneficiosa.

4. En todos los ensayos en los cuales se evaluó el crecimiento de las plantas los materiales biodesinfectantes mostraron un efecto favorable con respecto al testigo, siendo más patente este resultado en relación a la altura y al peso total. Los tratamientos que manifestaron los mayores valores fueron los de cascarilla de arroz combinada con la vinaza de remolacha a las dos dosis estudiadas, la gallinaza sola y combinada con cascarilla de arroz y con paja de caña, así como la paja de caña sola, y la pulpa de café sola y combinada con vinaza de caña a la dosis de 5%. Los tratamientos con mejor efecto sobre el crecimiento de las plantas coinciden con los de índices de nodulación cero o muy bajos, no obstante se considera que el efecto estimulante sobre la planta está causado fundamentalmente por el aporte nutricional de los materiales incorporados al suelo en el tratamiento de biodesinfección, puesto que en la mayoría de los ensayos el nivel de infestación inicial de *Meloidogyne* era bajo.
5. Los tratamientos en los cuales se evaluó el efecto de la biodesinfección sobre la nutrición de las plantas, mostraron que se vió favorecida la concentración de nutrientes en las mismas, mostrando contenidos superiores al testigo para la mayoría de ellos. Esto indicaría que los materiales biodesinfectantes ensayados estarían aportando elementos nutricionales que pueden ser asimilados por las plantas en forma relativamente rápida, ofreciendo una ventaja adicional a su efecto desinfectante.
6. Las variables de suelo se vieron modificadas por los materiales biodesinfectantes, en particular las bases cambiables, que en general mostraron el mayor peso en los análisis estadísticos. Mostrándose además que, el 44% de los tratamientos fueron estadísticamente superiores al testigo en cuanto al contenido de K, 45% fueron estadísticamente superiores en cuanto al contenido de Ca, 21% fueron

estadísticamente superiores en cuanto al contenido de Mg, y 13% fueron estadísticamente superiores en cuanto al contenido de Na. En los casos del N, la MO, el C y la relación C/N, aunque la mayoría de los tratamientos no mostraron variaciones estadísticas con respecto al testigo, si se presentaron incrementos de los mismos en varios de los tratamientos estudiados, con valores de 9%, 6%, 4% y 15%, respectivamente. De igual forma para el caso de los microelementos varios de los tratamientos presentaron incrementos estadísticamente superiores al testigo con valores de 42% para el caso del Fe, 15% para el Mn, 19% para el Zn y 25% para el Cu.

7. Los tratamientos que, en general, mostraron mayor influencia sobre las variables de fertilidad de suelo estudiados fueron la cascarilla de arroz 5 g combinada con la vinaza de remolacha a las dos dosis estudiadas, con la gallinaza 5 g, con la pulpa de café 2,5 g y con la vinaza de caña al 5%, la paja de caña sola en las dosis de 5 g y 10 g y combinada con gallinaza 2,5 g, tabaco 5 g, pulpa de café 2,5 g y la vinaza de caña en la dosis de 5%, la gallinaza 5 g sola y combinada con la vinaza de caña 5%, y la vinaza de caña 3%.
8. Se presentaron diferencias en cuanto a los contenidos de nutrientes al comparar los diferentes tipos de suelos sobre los que se diseñaron los experimentos, manifestándose que en los ensayos 1 y 6 se presentaron los menores contenidos de N y MO, debido a que el ensayo 6 correspondió a un suelo arenoso y los suelos arenosos contienen menor contenidos de nutrientes que los arcillosos; y en el caso del ensayo 6 las muestras fueron tomadas a una mayor profundidad evidenciando que a mayor profundidad de suelo disminuye el contenido de N y MO. Lo anterior pone de manifiesto la importancia que tiene conocer el tipo de suelo sobre los cuales se va a aplicar la biodesinfección. De igual forma en el ensayo 4 se presentaron los mayores valores de CE debido a que estos suelos son generalmente regados con aguas que poseen alto contenido de sales.
9. La utilización de residuos agroindustriales mediante la biodesinfección se considera más efectiva si se incluye dentro de un agroecosistema que contribuya a la sostenibilidad, y donde se apliquen diferentes prácticas para el manejo de plagas, así como para el mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, basados en criterios agroecológicos. Dentro de estas

prácticas se propone la asociación y rotación de cultivos, así como la utilización de coberturas (mulch) por considerarlas compatibles con el proceso de biodesinfección y por la contribución de las mismas a la reducción de plagas y al mejoramiento de las propiedades del suelo, contribuyendo de esta forma a un mayor equilibrio y sostenibilidad del agroecosistema.

10. La gestión de residuos agroindustriales mediante el proceso de biodesinfección podría constituir una alternativa medioambiental factible de ser utilizada, ya que reduce las poblaciones de nematodos fitopatógenos de la especie *Meloidogyne incognita* sin la necesidad de utilizar productos químicos, se incrementa la microfauna beneficiosa edáfica del grupo de los Rabdítidos, Enquitreidos y en menor medida los Doriláimidos; y además actúa de forma favorable sobre los parámetros de fertilidad del suelo, contribuyendo de esta forma a la reducción de los costos por el empleo de agroquímicos y disminuyendo el impacto de la contaminación ambiental al darle un valor añadido a los residuos y al disminuir el uso de agroquímicos sobre todo del bromuro de metilo el cual ha venido siendo el principal fumigante del suelo utilizado para el control de nematodos y que fue prohibido su uso por su efecto destructor sobre la capa de ozono estratosférico.

Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación permiten proponer la biodesinfección como una alternativa de gestión para los residuos agroindustriales evaluados, reduciendo el impacto negativo directo de estos materiales sobre el ambiente y contribuyendo a disminuir el uso de desinfectantes químicos de suelo. Sin embargo, a pesar de que la mayoría de los materiales ensayados han mostrado buenos resultados en condiciones de laboratorio, sería necesario que en los trabajos futuros se llevaran a cabo ensayos de campo para evaluar aquellos materiales biodesinfectantes que han mostrado mejores resultados en el laboratorio, de modo de poder validar los resultados obtenidos. Por otra parte, la inclusión de la técnica de la biodesinfección dentro de sistemas de manejo diseñados con criterios agroecológicos requiere de estudios que armonicen el uso de esta alternativa junto con las otras alternativas agroecológicas propuestas, de modo que las diferentes prácticas no sean aplicadas en forma aislada, sino que se combinen para poder lograr agroecosistemas sostenibles.

- Abad, P.; Favery, B.; Rosso, M.N.; Castagnone-Sereno, P. 2003. Root-knot nematode parasitism and host response: molecular basis of a sophisticated interaction. *Molecular Plant Pathology* 4, 217-224.
- Abou-Jawdah, Y.; Melki, K.; Hafez, S. L.; Sobh, H.; El-Masri, Y. y Sundararaj, P. 2000. Alternatives to Methyl Bromide for Root Knot Nematode Management on Cucumber in Lebanon. *Nematropica* 30, 41-45.
- Agrios, G. 1998. *Fitopatología*. 3ª edición. Limusa, México, 838 pp.
- Ahmad, A.; Alam, M.M. 1997. Bare-root-dip treatment of tomato for the management of the root-knot and the reniform nematodes. *Bioresource Technology* 60, 91-93.
- Ahmad, R.; Khan, M.A.; Hussain, S.; Inam-ul-Haq, M. 1998. Relationship of *Meloidogyne javanica* population with growth rate of chilli varieties affected with root-knot disease. *Pakistan Journal of Phytopathology* 10, 108-112.
- Ahmed, S. S.; Kandil, M. M.; Al-Ansi, N. A.. 1991. Effect of some fertilizers on development of *Meloidogyne incognita* and growth of cowpea. *Annals of Agricultural Science*, Moshtohor 29, 1215-1220.
- Akhtar, M. 1993. Utilisation of plant-origin waste materials for the control of plant parasitic nematodes. *Bioresource Technology* 46, 255-257.
- Akhtar, M. 1995. Biological control of the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* in tomato by the predatory nematode *Mononchus aquaticus*. *International Pest Control* 37, 18-19.
- Akhtar, M.; Mahmood, I. 1993. Utilization of fallen leaves as soil amendments for the control of plant-parasitic nematodes. *Pakistan Journal of Nematology*. 11, 131-138.
- Akhtar, M.; Mahmood, I. 1997. Impact of organic and inorganic management and plant-based products on plant-parasitic and microbivorous nematode communities. *Nematologia Mediterranea* 25, 21-23.
- Alam, M.M.; Samad, A.; Anver, S. 1990. Interaction between tomato mosaic virus and *Meloidogyne incognita* in tomato. *Nematologia Mediterranea* 18, 131-133.
- Alonso, I.; Carrobelló, C. 2002. Una mirada hacia abajo. *Revista Bohemia* 13, 24-32.
- Altieri, M.A. 1987. *Agroecology: The scientific basis of alternative agriculture*. Westview Press, Boulder, CO. 12 p.

- Altieri, M.A. 1989. Agroecology and rural development in Latin America. En: *Agroecology and Small Farm Development*. CRS, Boca Ratón, Florida, 113-120.
- Altieri, M. A. 1994. *Biodiversity and pest management in agroecosystems*. Haworth Press, NY, 185 pp.
- Altieri, M.A. 1995. Rotación de cultivos y Labranza mínima. En: *Agroecología. Bases Científicas para una Agricultura Sustentable*. Publicaciones CLADES. Berkeley, CA, 173-183.
- Altieri, M.A. 1997. *Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable*. Consorcio Latino Americano sobre Agroecología y Desarrollo, 249 p.
- Altieri, M.A. 1998. Ecological impacts of industrial agriculture and the possibilities for truly sustainable farming. *Monthly Review* 50, 60-71.
- Altieri, M.A. 2001. Agroecología: principios y estrategias desde la perspectiva cubana. En: *Transformando el campo cubano. Avances de la agricultura sostenible*. Ed. ACTAF. La Habana. 258 p.
- Altieri, M.A.; Letourneau, L. 1982. Vegetation management and biological control in agroecosystems. *Crop Protection* 1, 405-430.
- Altieri, M.; Nicholls, C. 2000. *Agroecología. Teoría y práctica para una agricultura sustentable*. Serie de Textos Básicos para la Formación Ambiental 4. PNUMA. México, 250 p.
- Aly Khan; Shaukat, S. S.; Aslam, M. 1997. Effect of organic amendments on population of *Helicotylenchus dihystra* and *Pratylenchus thornei* in soil and growth parameters of wheat var. ZA-77. *Sarhad Journal of Agriculture* 13, 425-430.
- Amoncho, A.; Sasser, J. N. 1995. Biological control of *Meloidogyne incognita* with *Paelomyces lilacinus*. *Biocontrol* 1, 51-61.
- Arhdt, M.; Leuprecht, B. 1994. Trials on alternatives for control of nematodes in vegetable crops. *Gartenbau Magazin* 3, 24-25.
- Arias, M.; López-Pérez, J. A.; Sanz, R.; Escuer, M. 1999. Alternatives to methyl bromide to control nematodes in a cucumber-swiss chard rotation in greenhouses. *Abstract of XXXI Annual Meeting ONTA*. 21-25 June, 1999, San Juan, Puerto Rico. *Nematropica* 29, 115 p.
- Arzola, N.; Fundora, O. 2007. *Manejo de los suelos, fertilizantes y enmiendas en armonía con la conservación del entorno*. Ed. Universo Azul-Universidad Cienfuegos, Cuba, 243 p.

- Azmi, M.I. 2000. Stimulation of predaceous nematodes through soil amendments in small scale agriculture. *Advances in Agricultural Research in India* 10, 79-82.
- Baker, R. 1988. *Trichoderma* spp as plant growth stimulants. *CRC Reviews Biotechnology* 7, 97.
- Bello, A.; Díaz-Viruliche, L.; López-Pérez, J.A.; de León, L.; García-Álvarez, A.; Sanz, R.; Herrero, J. 2000a. Biofumigation with rice residues in integrated crop production. *2nd International Plant Protection Symposium at Debrecen University*. September 2000, Debrecen, Hungary.
- Bello, A.; Escuer, M.; López-Pérez, J.; Arias, M. 1996. Ecología del suelo y su interés agronómico en el control de nematodos. *IV Congreso de Sociedad Española de la Ciencia del Suelo*. Lérida, España, 339-344.
- Bello, A.; Escuer, M.; Pastrana, M.; López-Robles, J. 1995. El nematodo *Meloidogyne chitwoodi*, un problema del cultivo de la papa en Holanda. *Phytoma-España* 70, 12-16.
- Bello, A.; Escuer, M.; Sanz, R.; López, J.A.; Guirao, P. 1997b. Biofumigación, nematodos y bromuro de metilo en cultivo de pimiento. En: Publicaciones de la CMAA. Región de Murcia. *Posibilidad de alternativas viables al bromuro de metilo en pimiento de invernadero*. Jornadas y Congresos 11, 67-108.
- Bello, A.; García, A.; López-Pérez, J.A.; Díaz, L. 2001. Fundamento científico de la biofumigación. *33 Reunión Anual de la Organización de Nematólogos del Trópico Americano (ONTA)*. Varadero, Cuba.
- Bello, A.; González, J. A. 1994. Potato cyst nematodes in the Canary Island: an epidemiological model for the Mediterranean region. *Bulletin OEPP* 24, 429-438.
- Bello, A.; López-Pérez, J.A.; Díaz-Viruliche, L.; Sanz, R. 2000b. Biofumigation, solarization and nematode control. *XXV International Nematology Symposium*. April 2-7, 2000. Herzliya, Israel.
- Bello, A.; López-Pérez, J.A.; García-Álvarez, A. 2002b. Biofumigation as an alternative to methyl bromide. *Proceedings of International Conference on Alternatives to Methyl Bromide*. Seville, Spain, 5-8 March, 2002, 221-225.
- Bello, A.; López-Pérez, J.A.; García Álvarez, A. 2003. *Biofumigación en agricultura extensiva de regadío*. Fundación Ruralcaja-Mundi Prensa, Alicante, España. 620 pp
- Bello, A.; López-Pérez, J.A.; García-Alvarez, A.; Sanz, R. 2002a. Biofumigation and nematodos control in the Mediterranean region. *Nematology* 4, 143.

- Bello, A.; López-Pérez, J.A.; Sanz, R.; Escuer, M.; Herrero, J. 2000a. Biofumigation and organic amendments. *Regional Workshop on Methyl Bromide Alternatives for North Africa and Southern European Countries*, United Nations Environment Programme (UNEP), Francia, 113-141.
- Bello, A.; Pastrana, M.A.; González, J.A.; Escuer, M.; Orts, C. 1997a. Control de nematodos sin bromuro de metilo y producción integrada en España. En: Bello, A.; González, J.A.; Pérez Parra, J.; Tello, J. (coords). *Alternativas al bromuro de metilo en agricultura. Seminario internacional*. 29-30 Abril 1996, Almería. Consejería de Agricultura y Pesca, pp. 155-171.
- Bello, A.; Pérez, L.; Viruliche, V.; Arias, M. 1999. Bio-fumigation and local resources as methyl bromide alternatives. *Abstracts 3rd International Workshop "Alternatives to Methyl Bromide for the Southern European Countries, 7-10 December, Heraclion, Creta, Grecia*, 17 p.
- Bello, A.; Tello, J. 1997. El bromuro de metilo en la agricultura mediterránea. En: Bello, A.; González, J.A.; Pérez-Parra, J.; Tello, J. (Eds). *Alternativas al Bromuro de Metilo en Agricultura*. Dirección General de Investigación y Formación Agraria, Servicio de Publicaciones y Divulgación, Sevilla, pp. 19-30.
- Bello, A.; Topham, P.; Alpey, A. 1986. Biogeographical classification of some plant parasitic nematode species groups in Spain. *Nematologia Mediterranea* 14, 55-72.
- Bergna, D.A. 1969. Nematodos hallados en cultivos de tomate y pimiento afectados por marchitamiento en el alto Valle del Rio Negro: patogenicidad de *Meloidogyne* spp. *Informe Central regional Rionegrense año 1967-68*, 22 p.
- Bettiol, W.; R. Ghini; M. I. B. da Cunha; R. Tratch; J. A. H. Galvão. 1996. Solarização do solo para controle do nemátode das galhas em quiabeiro. *Horticultura Brasileira* 14, 158-160.
- Bianco, V.; Nicholls, J.; Mattner, S.; Allen, D.; Porter, I. 2000. Biofumigation in Australian horticulture: an integrated approach to MB replacement. *Abstracts of the Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions*. San Diego, California, USA, 5-9 November, 1-3.
- Block, W.J.; Lamers, J.G.; Termorshuizen, A.J.; Bollen, G.J. 2000. Control of soilborne plant pathogens by incorporating fresh organic amendments followed by tarping. *Phytopathology* 90, 253-259.

- Blok, V.C.; Ehwaeti, M.; Fargette, M.; Kumar, A.; Phillips, M.S.; Robertson, W.M.; Trudgill, D.L. 1997. Evolution of resistance and virulence in relation to the management of nematodes with different biology, origins and reproductive strategies. *Nematologica* 43, 1-13.
- Bogoescu, M.; Gullino, M. L.; Minuto, A.; Amadio, A. 2005. Alternatives to Methyl Bromide in Romanian protected crops. *Acta Horticulturae* 698, 315-321.
- Bridge, J.; Page, S. L. 1980. Estimation of root-knot nematodes infestation levels on roots using a rating chart. *Tropical Pest Management* 26, 296-298.
- Bull C.T., Rooskopf E.M. 2003. United Department of Agriculture. Agriculture Research Service. Research on alternatives to methyl bromide. Pre-plant and post-harvest. *Pest Management Science* 59, 814-826.
- Cairo, P.; Fundora, O. 2005. *Edafología*. Tomo I y II. Ed. Félix Varela, La Habana, 475 p.
- Calderón, L.; Solís, F.; Trabanino, E.; Barillas, E.; García, E. 2000. The effect of alternative treatments as methyl bromide for nematode control in different crops: 1998-1999. *Abstracts of the XXXII Annual Meeting of ONTA*, 16-20 April, Auburn, Alabama, O-7, 48.
- Camacho, A.; Ariosa, L. 2000. *Diccionario de términos ambientales*. Publicaciones Acuario, Centro Félix Varela, La Habana. Cuba, 76 p.
- Camacho, F. 2003. Diferentes alternativas para la gestión de la biomasa procedente de cultivos de invernadero. En: Fernández Rodríguez, E.J. (coord.) *Innovaciones tecnológicas en cultivos de invernadero*. Ediciones Agrotécnicas, S.L., Madrid, 211-237.
- Camacho, F. 2004. Diferentes alternativas a la gestión de biomasa procedente de residuos vegetales. *Comunicaciones del VI Congreso de la SEAE*. Almería, 27 Septiembre-2 Octubre 2004, 13-28.
- Cándido, V.; Miccolis, V.; Basile, M.; D'Addabbo, T.; Gatta, G. 2005a. Soil solarization for the control of *Meloidogyne javanica* on eggplant in southern Italy. *Acta Horticulturae* 698, 195-200.
- Cándido, V.; Miccolis, V.; Castronuovo, D.; Basile, M.; D'Addabbo, T. 2005b. Effects of repeated applications of soil solarization in greenhouse in southern Italy. *Acta Horticulturae* 698, 187-194.
- Canullo, G.H.; Rodríguez-Kábana, R.; Kloepper, J.W. 1992. Changes in populations of microorganisms associated with the application of soil amendments to control *Sclerotium rolfsii*. *Plant and Soil* 144, 59-66.

- Carmona, M.; Moreno, M.; Aguado, M.; Ortega, M. 2001. *Reciclado de los residuos de la industria del corcho para su aprovechamiento como sustrato de cultivo*. Colección: Agricultura. Serie: Horticultura. Ed. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca.
- Cartia, G. 1997. Alternatives to Methyl Bromide in Sicily. En: Bello, A.; Gonzalez, J. A.; Arias, M. y Rodríguez-Kábana, R. (Eds.) *Alternatives to Methyl Bromide for the Southern European Countries*, CSIC, Gráficas Papallona S.C.V., Valencia, España, 35-42.
- Castagnone-Sereno, P. 2002a. Genetic variability in parthenogenetic root-knot nematodes, *Meloidogyne* spp., and their ability to overcome plant resistance genes. *Nematology* 4, 605-608.
- Castagnone-Sereno, P. 2002b. Genetic variability of nematodes: a threat to the durability of plant resistance genes? *Euphytica* 124, 193-199.
- Castillo, A. M. 1988. *Biología y control fitotécnico de Meloidogyne incognita en el pimiento en la provincia Granma*. Tesis Doctoral. Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria, La Habana, 120 p.
- Cea, M. E.; Fabregat, M. 1993. *Dinámica y distribución de Meloidogyne incognita en un esquema de rotación de cultivos*. Informe Anual de Investigaciones. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana (ISCAH). San José, La Habana, Cuba.
- Cenis, J.L. 1985. Control del nematodo *Meloidogyne javanica* (Treub) Chit. mediante calor solar (solarización). *Anales INIA. Servicio Agrícola* 28 (nº extraordinario), 121-130.
- Ceuster, T. 1998. Phytotoxic and pathogenic effects of nematofagous fungi. *Proeftuinnieuws* 8, 22-25 [Holandés].
- Chavarría-Carvajal, J.A.; L.F. Osorio; L. Silva-Negrón; E. Rosa. 2000. Use of poultry litter and sewage sludge compost for the management of plant parasitic nematodes on plantain. Abstract. *XXXII Annual Meeting of ONTA*, 16-20 abril, Auburn, Alabama, O-8, 48.
- Chellemi, D. O. 2001. Field validation of methyl bromide alternatives in Florida fresh market vegetable production systems. En: Labrada, R.; Fornasari, L. (Eds). *Global Report on Validated Alternatives to the Use of Methyl Bromide for Soil Fumigation*. FAO-UNEP, 25-28.
- Chian, R.J. 1990. *Inorganic nitrogen compounds as amendments to soil for nematode control*. Auburn University, 143 pp.
- Christie, J.R. 1991. *Nematodos de los Vegetales. Su Ecología y Control*. Ed. Limusa, México, 275 pp.
- CITMA. 2002. *Situación Ambiental Cubana*. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Cuba.

- CITMA. 2007. *Estrategia Ambiental Nacional 2007/2010*. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Cuba.
- Collins, H.P., Rasmussen, P.E., Douglas Jr, C.L. 1992. Crop rotation and residue management effects on soil carbon and microbial dynamics. *Soil Science Society of America Journal* 56, 783-788.
- Companioni, N, Ojeda Yanet, E. Páez, Murphy Catherine. 2001. La Agricultura Urbana en Cuba. En: F.Funes, L. García, M. Bourque, Pérez Nilda, P. Rosset (Eds.) *Transformando el campo cubano: Avances de la Agricultura Sostenible*. Ciudad de la Habana, 93-110.
- Conway, G.R., Barbier, E.B.. 1990. *After the green revolution: sustainable agriculture for development*. Earthsan Publications, London.
- Cook, R.; Barker, K. 1983. *The nature and practice of biological control of plant pathogens*. St. Paul American Phytopathological Society, 539 pp.
- Cuadra, J.; Ortega, O.L.; Morfi, L.; Soto, M.; Zayas,E.; Perera.2008. Efecto de los medios biológicos Triferol y nematicidas sobre los nemátodos de las agallas en la producción protegida de hortalizas. *Revista de Protección Vegetal* Ciudad de La Habana, Cuba 23, 59-62.
- Cuadra, R. 2003. Experiencias de productores. En: *Manual de Agricultura orgánica sostenible*. FAO/INIFAT, Agrinfor. La Habana, 36-38.
- Cuadra, R.; Aguilera, C. 1987. Efecto del hospedante y el tipo de suelo sobre el ciclo biológico de *M. incognita*. *Ciencias de la Agricultura* 31, 19-22.
- Cuadra, R.; Bernal, B. 1997. Lucha contra plagas y enfermedades. Alternativas apropiadas de la Agricultura Urbana. En: *Curso de Agricultura Urbana*. Agencia Española de Cooperación Internacional-INIFAT. La Habana, 121-139.
- Cuadra, R.; Cruz, X.; Fajardo, J. 2000. Los cultivos de ciclo corto como plantas trampa de los nematodos de las agallas. *Nematropica*. 30, 241-246.
- Cuadra, R.; Cruz, X.; Zayas, M.; González, N. 2002. Incidencia de plagas en policultivos de organopónicos. II. Nematodos fitoparásitos. *Revista de Protección Vegetal* 17, 54-58.
- Culbreath, A. K. 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 the literature, 1982-1994. *Nematologia Mediterranea* 23, 299-305.

- Daudi, A. T.; Gowen, S. R. 1992. The potential for managing root-knot nematodes by use *Pasteuria penetrans* and oxamil. *Nematologia Mediterranea* 20, 241-244.
- Davide, R. G. 1972. Influence of root-knot nematodes on the severity of bacterial wilt and *Fusarium* wilt of tomato. *Philippine Phytopathology* 8, 78-81.
- Davies, K.G.; Danks, C. 1993. Carbohydrate/protein interactions between the cuticle of infective juveniles of *Meloidogyne incognita* and spores of the obligate hyperparasite *Pasteuria penetrans*. *Nematologica* 39, 53-64.
- Davis, E.L.; Hussey, R.S.; Baum, T.J.; Bakker, J.; Schots, A.; Rosso, M.N.; Abad, P. 2000. Nematode parasitism genes. *Annual Review of Phytopathology* 38, 365-396.
- De Leij, F.A.A.M.; Kerry, B.R.; Dennehy, J.A. 1993. *Verticillium chlamyosporium* as a biological agent for *Meloidogyne incognita* and *M. hapla* in pot and microplot tests. *Nematologica* 39, 115-126.
- De León, L. 2002. Non chemical alternatives to methyl bromide in Uruguay. *Conferencia Internacional de alternativas al bromuro de metilo*. Sevilla, 5-8 Marzo.
- Di Candilo M., Marino A. 1994. L'Impiego di varietà di pomodoro resistenti ai nematodi come mezzo per la riduzione degli antiparassitari a forte tossicità. *L'Informatore agrario* 6, 53-55
- Dias, C.R.; Ferras, S. 2001. Control of mixed population of *Heterodera glycine* and *Meloidogyne javanica* in soybean through rotation with forage grasses. En: *33 Reunión Anual de la Organización de Nematólogos del Trópico Americano (ONTA)*. Varadero, Cuba (Resumen).
- Dias, C. R.; Maciel, S. L.; Vida, J.B.; Scapaim, C.A. 1998. Efeito de quatro especies de plantas medicinais sobre *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White, 1919) Chitwood, 1949 en cultivo protegido. *Nematologia Brasileira* 22, 58-65.
- Dias, W. P.; Ferraz, S. 1994. Evaluation of species of *Arthrobotrys* for the control of *Meloidogyne incognita*. *Fitopatologia Brasileira* 19, 189-192.
- Díaz Viruliche, L.P. 2000. *Interés Fitotécnico de la Biofumigación en los Suelos Cultivados*. Tesis Doctoral, ETSI Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, España, 600 pp.
- Díaz, E. R. 2004b. La caracterización física de los sustratos. En: Acuña, J.F.; Medina, J.A. (Eds). *Memorias VI Congreso Iberoamericano para el desarrollo y aplicación de plásticos en agricultura CIDALPA 2004*. Bogotá, 8-10 nov 2004.

- Díaz, F. R. S. 2004a. Selección de sustratos para la producción de hortalizas en invernadero. *Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y producción*. Torreón, Coah, México, 13, 14 y 15 Octubre del 2004.
- Díez Rojo, M.A. 2002. *Alternativas químicas y control de nematodos en cultivos de Castilla y León*. Proyecto Técn. Agríc. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola, Universidad Politécnica de Madrid, España, 241 pp.
- Domínguez-Valenzuela, J.; Marbán-Mendoza, N.; De la Cruz, R. 1990. Leguminous crops associated with tomato var. "Dina guayabi" and their effect on *Meloidogyne arabicida* López and Salazar. *Turrialba* 10, 217-221.
- Dube, B. N. 1989. Biological control of *Meloidogyne javanica* by *Paelomyces lilacinus* and *Pasteuria penetrans*. *Proceedings of Integrated Pest Management in Tropical and Subtropical Cropping Systems* , 639-645.
- Dutky, E.M.; Sayre, R.M. 1978. Some factors affecting infection of nematodes by the bacterial spore parasite *Bacillus penetrans*. *Journal of Nematology* 10, 285.
- Edongali, E. A., Ferris, H. 1982. "Varietal response of tomato to the interaction of salinity and *Meloidogyne incognita* infection". *Journal of Nematology* 14, 57-62.
- Edwards, C.A., Lal, R., Madden, P., Miller, R. H., House, G. 1990. *Sustainable Agriculture Systems*. Ankeny, Iowa: Soil and Water Conservation Society, Ankeny, IA.
- Eisenback, J. 1997. *Root-knot nematode taxonomic database*. CD-ROM. Ed. CAB International, Reino Unido.
- Ekanayake, H. M. R.; Jayasundara, N. J. 1994. Effect of *Paelomyces lilacinus* and *Beauveria bassiana* in controlling *Meloidogyne incognita* on tomato in Sri Lanka. *Nematologia Mediterranea* 22, 87-88.
- Elekçioğlu, I.H. 1995. Occurrence of *Pasteuria* bacteria as parasites of plant-parasitic nematodes in the East Mediterranean region of Turkey. *Nematologia Mediterranea* 23, 213-215.
- Escuer, M.; Cano, A.; Bello, A. 2004. Nematodos fitoparásitos de la región de Murcia y alternativas de control. En: CAAM. *Desinfección de suelos en invernaderos de pimiento. II Jornadas sobre alternativas viables al bromuro de metilo en pimiento en invernadero*. Serie Jornadas y Congresos 16, 27-57.
- Escuer, M.; Jiménez-Guirado, D; Bello, A. 1993. Nematode indicator value of anthropic action on soil. En: Eijsackers, H. J. P.; Hamers T. (Eds). *Integrated Soil and Sediment Research: A Basis for Proper Protection*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, 140-141.

- Fakhouri, W. D.; Khlaif, H.; Abu-Gharbieh, W. I. 1996. Interaction between *Meloidogyne javanica* and *Agrobacterium tumefaciens* on tomato plants. *Pakistan Journal of Nematology* 14, 49-54.
- FAO. 1990. Conservación de suelo para la pequeña agricultura de zonas tropicales húmedas. *Boletín de Suelo* 13. 28pp.
- FAO. 1991. *El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Política y cuestiones agrícolas: los años 80 y perspectivas para los 90*. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la Alimentación Colección FAO: Agricultura Roma No. 24, 288 p.
- FAO. 2000. Manual on integrated soil management and conservation practices. *Land and Water Bulletin* 8. Rome, Italy, 214 pp.
- FAO. 2005. *FAOSTAT agriculture database collections*. <http://www.fao.org> (15 de abril 2006).
- Fernández, C., Rodríguez-Kábana, R., Kloepper, J. W. 2000. Approaches to measuring microbial contributions to soil suppressiveness by measuring soil enzymes. *Abstracts XXXII Annual Meeting of ONTA*, 16-20 April, Auburn, Alabama, W-1, 20.
- Fernández, E.; Gandarilla, H., Vinent, E. 1990. *Manejo integrado de plagas del tabaco en plantaciones. Informe de Resultado*. Programa de Tabaco. Academia de Ciencias de Cuba. Ciudad de La Habana, 8 p.
- Fernández, E.; Labrada, R. 1995. Experiencias en el uso de la solarización en Cuba. En: *Memorias Taller Solarización del Suelo*. Escuela Agrícola Panamericana "El Zamorano", Honduras. División de Producción y Protección Vegetal Organización de la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas, FAO, 18-21 septiembre, 9-10.
- Fernández, E.; Lovaina, A.; Cuadra, R. 2004. Pest management in Urban Agriculture Systems: A case study with plant-parasitic nematodes. En: *XXXVI Annual Meeting of ONTA*, p. 58. Puerto Vallarta, México, October 4-8.
- Fernández, E.; Pérez, M.; Hortensia Gandarilla; Vázquez, R.; Fernández, M.; Paneque, M.; Acosta, O.; Bastarrechea, M. 1998. Guía para disminuir infestaciones de *Meloidogyne* spp. mediante el empleo de cultivos no susceptibles. *Boletín Técnico INISAV* 4, 1-18.
- Fernández, M.; Ortega, J. 1998. An overview of nematological problems in Cuba. *Nematropica* 28, 151-164.
- Fernández, P.; Guirao, P.; Ros, C.; Guerrero, M.M.; Lacasa, A.; Quinto, V. 2001. Efecto de la biofumigación con solarización sobre las características físico-químicas del suelo. En: *Publicaciones de la CMAA. Región de Murcia. Desinfección de suelos en invernaderos*

de pimiento. *II Jornadas sobre alternativas viables al bromuro de metilo en pimiento de invernadero. Jornadas y Congresos* 16, 259-277.

Figueredo Rodríguez, M. 1999. *Selección de variedades de tomate adaptadas a condiciones de bajos insumos y propuesta de otras alternativas agroecológicas*. Tesis de Maestría. Universidad Agraria de la Habana, Cuba, 73 pp.

Figueredo Rodríguez, M. 2005. Valoración medioambiental de la gestión de los subproductos del cultivo del arroz y de la caña de azúcar en la provincia Sancti Spíritus. Cuba. *Memorias del Evento Internacional "Entorno Agrario 2005"*. Sancti Spíritus, Cuba.

Fuentes, P. 1996. *Evaluación de coberturas muertas en el cultivo de cebolla (Allium cepa L.) var. Caribe-71*. Tesis de Master en Ciencias en Agroecología y Agricultura Sostenible. Centro de Estudios de Agricultura Sostenibles. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana, 49 pp.

Fuentes, P. 2004. *Evaluación de coberturas muertas del suelo en el cultivo de cebolla (Allium cepa L.)*. *Memorias del Trabajo de Investigación*. Programa de Doctorado en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible. Instituto de Medio Ambiente. Universidad de Girona. España, 89 pp.

Fuentes, P. 2006. *Evaluación de sistemas de siembra con cobertura muerta del suelo en el cultivo de la cebolla (Allium cepa L.)*. Tesis Doctoral. Universidad de Matanzas, Cuba-Universidad de Girona, España, 97 pp.

Funes F.; Hernández, A.; Bello, R.; Alvarez, A. 2008. Suelos vivos. *Revista de Agroecología*. 24, 9-12.

Funes, F. 2006. ¿Sustitución de insumos o agricultura ecológica? *Revista de Agroecología*. 22, 9-10.

Funes, F. 2007. Alimentación, medio ambiente y salud. Integrando conceptos Salud y Agricultura. *Revista de Agroecología*. 23, 12-15.

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

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

Gamliel, A.; Stapleton, J. J. 1993. Characterization of antifungal volatile compounds evolved from solarized soil amended with cabbage residues. *Phytopathology* 83, 99-105.

- Gandarilla, H. 1992. *Uso de la rotación papa-col-boniatto en el manejo de nematodos. Informe del laboratorio*. Provincial de Sanidad Vegetal. Ciudad de La Habana, 5 p.
- Gandarilla, H. 2005. Algunos aspectos sobre las principales especies de fitonematodos asociadas a los cultivos de plantas ornamentales. *Fitosanidad*, 9, 49-57.
- Gandarilla, H.; Fernández, E. 2002. Registro actualizado de fitonematodos en plantas ornamentales de Cuba. *Fitosanidad* 6, 9-27.
- García Álvarez, A.; Bello, A.; Sanz, R.; Piedra Buena, A.; Monserrat, A.; Díez-Rojo, M.A. 2004a. Biofumigation as an alternative to methyl bromide for the production of tomatoes and other vegetables. In: Batchelor, T.; Alfarroba, F. (Eds.) *Proceedings of Fifth International Conference on Alternatives to Methyl Bromide*. Lisbon, Portugal, 171-176.
- García Álvarez, A.; Díez-Rojo, M.A.; López-Pérez, J.A.; Bello, A. 2004b. Materia orgánica, biofumigación y manejo de organismos del suelo patógenos de vegetales. En: Labrador, J. (Ed.) *Conocimientos, técnicas y productos para la agricultura y la ganadería ecológica*. SEAE, Valencia, 71-76.
- Gautam, A.; Siddiqi, Z.A.; Mahmood, I. 1995. Integrated management of *Meloidogyne incognita* on tomato. *Nematologia Mediterranea* 23, 245-247.
- Gheysen, G.; Jones, J. 2006. Nematode Biology and Plant Responses. Molecular Aspects of Plant Nematode Interactions. En: Perry, R.; Moens, M. (Eds). *Plant Nematology* CAB International, Wallingford, UK, 234-252.
- Godoy, G.; Rodríguez-Kabana, R.; Shelby, R.A.; Morgan-Jones, G. 1983. Chitin amendments for control of *Meloidogyne arenaria* in infested soil. II. Effects on microbial population. *Nematropica* 13, 63-74.
- Gómez, E.; Rodríguez, Y.; Álvarez, R. 2006. *Evaluación biológica del Nematicid en el cultivo del tomate de la CPA 17 de Mayo*, provincia Habana. In: *Memorias Taller Latinoamericano de control biológico de fitopatógenos con Trichoderma harzianum en casa de cultivo*. La Habana. Cuba, 62 p.
- Gómez Lucila. 2007. *Diagnóstico de nematodos agalleros y prácticas agronómicas para el manejo de Meloidogyne incognita en la producción protegida de hortalizas*. Tesis Doctoral. UNAH - CENSA. Cuba.
- Gómez Lucila.; Rodríguez, M. G.; Díaz Viruliche, L.; Wagner, F. 2006. Evaluación de materiales orgánicos para la biofumigación en instalaciones de cultivos protegidos para el manejo de *Meloidogyne incognita*. *Revista Protección Vegetal* 21, 178-185.

- Goncalves, M. 1997. Alternatives to MB use in Portugal. En: Bello, A.; Gonzalez, J. A.; Arias, M.; Rodríguez-Kabana, R. (Eds.) *Alternatives to Methyl Bromide for the Southern European Countries* CSIC, Gráficas Papallona S.C.V., Valencia, España, 361-366.
- Gowen, S. R.; Tzortzakakis, E. 1994. Biological control of *Meloidogyne* spp. with *Pasteuria penetrans*. *Bulletin OEPP* 24, 495-500.
- Grinstein, A.; Hertzroni, A. 1991. The technology of soil solarization. In: Katan, J.; De Vay, J.E. (Eds.) *Soil solarization*. CRC Press, Boca Raton, Florida, 159-170.
- Grupo Nacional de Cultivos protegidos. 2002. *Informe de recorrido del Grupo Nacional de Cultivos Protegidos*. Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova". La Habana. Cuba. 10 p.
- Guazzelli, M; Barreto, R; Gonzalves, A; Cralos, L. 2007. El aporte de la naturaleza. Agricultura sostenible y procesos ecológicos. Servicios del agroecosistema. Una experiencia en la Sierra Gaucha. *Revista de Agroecología* Marzo 22, 5-8.
- Guerrero, M.M.; Lacasa, A.; Ros, C.; Bello, A.; Martínez, M.C.; Torres, J.; Fernández, P. 2004a. Efecto de la biofumigación con solarización sobre los hongos del suelo y la producción: fechas de desinfección y enmiendas. En: Publicaciones de la CMAA. Región de Murcia. *Desinfección de suelos en invernaderos de pimiento. II Jornadas sobre alternativas viables al bromuro de metilo en pimiento de invernadero. Jornadas y Congresos* 16, 209-238.
- Guerrero, M.M.; Lacasa, A.; Ros, C.; Guirao, P.; Oncina, M.; Bello, A.; Martínez, M.C.; Torres, J.; López, J.A. 2000. La biofumigación como método de control de patógenos del suelo en cultivos ecológicos de pimiento en invernaderos del Sureste. *Resúmenes del IV Congreso de la SEAE*. Córdoba, 19-20 Septiembre, 51 p.
- Guerrero, M.M.; Lacasa, A.; Ros, C.; Martínez, M.A.; López, J.A.; Guirao, P.; Bello, A.; Torres, J.; Martínez, M.C.; González, A. 2004b. La reiteración de la biofumigación con solarización en la desinfección de suelos en invernaderos de pimiento. En: Publicaciones de la CMAA. Región de Murcia. *Desinfección de suelos en invernaderos de pimiento. II Jornadas sobre alternativas viables al bromuro de metilo en pimiento de invernadero. Jornadas y Congresos* 16, 239-258.
- Guiran, G. de; Villermin, M. A. 1980. Spécificité de la diapause embryonnaire des oeufs de *Meloidogyne incognita* (Nematoda). *Revue de Nematologie* 3, 115-121.

- Hallmann, J.; Sikora, R. A. 1994. Einfluss von *Fusarium oxysporum*, einem Endophyten mit mutualistischer Wirkung, auf den Befall von Tomatem durch *Meloidogyne incognita*. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 101, 475-481.
- Hassan, A. 1986. Interaction between root-knot and stunt nematodes on tomato. *Nematologia Mediterranea* 13, 199-206.
- Heald, C.M. 1987. Classical nematode management practices. In: Veech, J.A.; Dickson, D.W. (Eds.) *Vistas on Nematology*. Society of Nematologists, Hyattsville, MD., pp. 100-104.
- Hecht, S. 1991. La evolución del pensamiento agroecológico. *Agroecología y Desarrollo CLADES* (Consortio Latinoamericano sobre Agroecología y Desarrollo) Santiago de Chile 1, 3-16.
- Hernández, A., Ascanio, O.; Borges, Y.; Morell, F. 2005. Some criteria about Global Soil Change in Cuba. En: *International Conference of Global Soil Change*. Instituto de Geología, UNAM, México, 25 p.
- Hewlett, T.E.; Dickinson, D.W.; Mitchell, D.J.; Kannwischer, M.K.E. 1990. Evaluation of *Paecilomyces lilacinus* as a biological control agent of *Meloidogyne javanica* in tobacco. *Journal of Nematology* 20, 578-584.
- Hilje, L. 1993. Un esquema conceptual para el manejo integrado de la mosca blanca, *Bemisia tabaci* (Guennadius), en el cultivo del tomate. *MIP* 29, 51-57.
- Hoitink, H. 1988. Basis for the control of soilborne plant pathogens with composts. *Annual Review of Phytopathology* 24, 93-114.
- Hornick, S.; Parr, J. 1987. Restoring the productivity of marginal soils with organic amendments. *American Journal of Alternative Agriculture* 2, 64-68.
- IAASTD, 2008. *Agricultura y desarrollo. Un resumen de la evaluación internacional de las ciencias y tecnologías agrícolas para el desarrollo*. www.greenfacts.org/es/agricultura-iaastd (Consultado diciembre 2009).
- Ismail, A. E.; Badawi, M. A. 1998. Role of certain composted plant or animal residues in the control of *Rotylenchulus reniformis* on cowpea. *Pakistan Journal of Nematology* 16, 127-136.
- Jaffee, B.A.; Ferris, H.; Stapleton, J.J.; Norton, M.V.K.; Muldoon, A.E. 1994. Parasitism of nematodes by the fungus *Hisrutella rhossiliensis* as affected by certain organic amendments. *Journal of Nematology* 26, 152-161.

- Janssen, G.J.W.; Scholten, O.E.; Norel, A. van; Hoogendoorn, C.J. 1998. Selection of virulence in *Meloidogyne chitwoodi* to resistance in the wild potato *Solanum fendleri*. *European Journal of Plant Pathology* 104, 645-651.
- Jatala, P.; Katterbach, R.; Bocangel, M.; Devaux, A.J.; Campos, R. 1980. Field application of *Paecilomyces lilacinus* for controlling *Meloidogyne incognita* on potatoes. *Journal of Nematology* 12, 226-227.
- Julca-Otiniano, A., Solano-Arrue, W., Crespo-Costa, R. 2008. Crecimiento de *Coffea arabica* variedad Caturra amarillo en almácigos con substratos orgánicos en Chanchamayo, selva central del Perú. *Investigación Agraria. Serie Producción y Protección Vegetales* 17, 353-365.
- Kaloshian, I.; Kinsey, M.G.; Ullman, D.E.; Williamson, V.M. 1997. The impact of Meu-1-mediated resistance in tomato on longevity, fecundity and behavior of the potato aphid, *Macrosiphum euphorbiae*. *Experimental and Applied Entomology* 83, 181-187.
- Kaloshian, I.; Williamson, V.M.; Miyao, G.; Lawn, D.A.; Westerdahl, B.B. 1996. Identification of "resistance breaking" field populations of root-knot nematodes on tomato in California. *California Agriculture* 50, 18-20.
- Kaplan M.; J. P. Noe; P. G. Hartel. 1992. The role of microbes associated with chicken litter in the suppression of *Meloidogyne arenaria*. *Journal of Nematology* 24, 522-527.
- Karssen, G. 2002. *The plant-parasitic nematode genus Meloidogyne Göldi, 1892 (Tylenchida) in Europe*. Ed. Koninklijke Brill NV, Leiden, The Netherlands, 157 pp.
- Karssen, G.; Moens, M. 2006. Root-knot nematodes. En: Perry, R.; Moens, M. (Eds). *Plant Nematology*. CABI, UK, 59-90.
- Katan, J. 1981. Solar heating (solarization) of soil for control of soilborne pests. *Annual Review of Phytopathology* 19, 211-236.
- Katan, J. 1987. Soil solarization. En: Chet, I. (Ed.) *Innovative approaches to plant disease control*. NY, 77-105.
- Kemarrrec A.; Mauleon, H.; Sirjusingh, C. 1991. Action of the entomopathogenic nematodes *Steinernema carpocapse* and *Heterorhabditis bacteriophora* on the reproduction of the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Meded Faculteit Landbouw Rijksuniversiteit Gent* 56, 1293-1296.
- Kerry, B. R. 1987. Biological control. In: R. H. Brown; Kerry, B. R. (Eds). *Principles and practice of nematode control in crops*. Academic Press Inc, London, UK, 233-263.

- Khan, A.; S. Islam; Shaukat, S. S.; Bilqees, F. M. 1997. The efficacy of some organic amendments in controlling spiral nematodes associated with apple. *Nematologia Mediterranea* 25, 173-175.
- Khan, R.M.; Haq, S.; Saxena, S. K.; Khan, M. W. 1979. Effect of co-inhabiting populations of *Meloidogyne incognita* and *Tylenchorhynchus brassicae* on their multiplication on tomato. *Indian Journal of Nematology* 8, 167-169.
- Kim, K. D.; Nemeč, S.; Musson, G. 1996a. Control of *Phytophthora* stem rot of pepper with compost and soil amendment in the greenhouse. *International Research Conference on Methyl Bromide, Alternatives and Emissions Reductions*. Methyl Bromide Alternatives Outreach, US Dept.of Agriculture, Florida, USA 100, 1-3.
- Kim, K. D.; Nemeč, S.; Musson, G. 1996b. Effect of compost and soil amendments on soil microflora and *Phytophthora* stem rot of pepper. *International Research Conference on Methyl Bromide, Alternatives and Emissions Reductions*. Methyl Bromide Alternatives Outreach, US Dept.of Agriculture, Florida, USA 101, 1-3.
- Kirkegaard, J.A.; Angus, J.F.; Gardner, P.A.; Cresswell, H.P. 1993a. Benefits of brassica break crops in the Southeast wheatbelt. *Proceedings of the 7th Australian Agronomy Cons.* Adelaide, 19-24 Sept., 282-285.
- Kirkegaard, J.A.; Gardner, J.; Desmarchelier, J.M.; Angus, J.F. 1993b. Biofumigation using Brassica species to control pest and diseases in horticulture and agriculture. En: N. Wrather; R. J. Mailes (Eds). *Proceedings of the 9th Australian Research Assembly on Brassicas (Wagga Wagga)* 77-82.
- Kirkegaard, J.A.; Sarwar, M. 1998. Biofumigation potential of brassicas: I. variation in glucosinolate profiles of diverse field-grown brassicas. *Plant and Soil* 201, 71-89.
- Kolmans, E.; Vázquez, D. 1996. *Manual de agricultura ecológica*. Movimiento Agroecológico de América Latina y el Caribe (MAELA). 1ª Ed., SIMAS, CICUTES-Managua, Ed. Enlace, 222 p.
- Labrador Moreno, J. 2001. *La materia orgánica en los agrosistemas*. 2ª Ed., Ed. Mundi Prensa-MAPA, Secretaría General Técnica, Centro de Publicaciones, 293 pp.
- Lacasa, A.; Guerrero, M.M.; Guirao, P.; Ros, C. 2002. Alternatives to methyl bromide in sweet pepper crops in Spain. *International Conference on Alternatives to Methyl Bromide*. Sevilla, España. 5-8 de marzo de 2002. Proceedings, 172-177.

- Lacasa, A.; Guirao, P. 1997. Investigaciones actuales sobre alternativas al uso del bromuro de metilo en pimiento de invernadero del Campo de Cartagena. En: Publicaciones de la CMAA. Región de Murcia. *Posibilidad de alternativas viables al bromuro de metilo en pimiento de invernadero. Jornadas y Congresos 11*, 21-36.
- Lacasa, A.; Guirao, P.; Guerrero, M.; Ros, C.; Bello, A.; Bielza, P.; López, J.A. 1999. Alternatives to Methyl Bromide for sweet pepper cultivation in plastic house in South-East Spain. *3º International Workshop "Alternatives to Methyl Bromide for the European Countries"*. 7-10 December. Heraclion, Creta, Grecia, 41-44.
- Lackey, B. A.; Jaffee, B. A.; Muldoon, A. E. 1994. Effect of nematode inoculum on suppression of root-knot and cyst nematodes by the nematophagous fungus *Hirsutiella rhossiliensis*. *Phytopathology* 84, 415-420.
- Lal, R. 1995. The role of residues management in sustainable agricultural system. *Journal of Sustainable Agriculture* 5, 51-78.
- Lal, R. 2000. *Integrated watershed management in the global ecosystem*. CRC Press. USA, 395 p.
- Lamberti, F. 1997. Plant Nematology in developing countries: Problems and Progress. (Proceedings of the Expert Consultation on Plant Nematode Problems and their Control in the Near East Region Karachi, Pakistan 22-26 November 1992). En: *Plant Nematode Problems and their Control in the Near East Region. FAO Plant Production and Protection Paper*, 144 Maqbool, M. A.; Kerry, B. R. (Eds.) <http://www.fao.org/docrep/V9978E/v9978e00.htm#Contents>. (Consultado mayo 2005).
- Lamotte, M. 1976. *Estadística Biológica. Principios Fundamentales*. Editorial Toray-Massou, S.A., Barcelona, 163 pp.
- Lampkin, N. 1990. Rotation design for organic systems. En: *Organic Farming*. Pub., Farming Press Book, UK, pp. 125-160.
- Larson, W. E.; Clapp, C. E.; Pierre, W.H.; Morachan, Y. B. 1982. Effects of increasing amounts of organic residues on continuous corn II. Organic carbon, nitrogen, phosphorous and sulphur. *Agron. J.* 64, 204-208.
- León, A. 1991. *Nueva edafología. Regiones tropicales y áreas templadas de México. Características y propiedades de los terrenos y su influencia agrícola*. (2ª Ed.) Ed. Fontamara, México, 130 p.
- León, A.; Pino, M. A. 1998. Evaluación de la población de fitófagos y enemigos naturales en variantes de policultivo tomate-maíz. *Programas y Resúmenes INCA XI Seminario Científico* 17-20 Noviembre, 35 p.

- Leoni, S.; Ledda, L.; Marras, G.F. 2004. Adoption of methyl bromide alternatives in tomato and vegetable production in Sardinia. In: Batchelor, T.; Alfarroba, F. (Eds.) *Proceedings of Fifth International Conference on Alternatives to Methyl Bromide*. Lisbon, Portugal, 27-30 September, pp. 151-156.
- López-Cepero, J.; Piedra Buena, A.; Díez-Rojo, M. A.; Regalado, R.; Brito, E.; Hernández, Z.; Figueredo, M.; Almendros, G.; Bello, A. 2007. Evaluation of soil biodesinfestation with crop and garden residues in the control of root-knot nematodes populations. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences, Ghent University* 72, 703-711.
- López-Pérez, J.A.; Arias, M.; Sanz, R.; Escuer, M. 2003. Alternativas al bromuro de metilo en cultivos protegidos de la Comunidad de Madrid. *Boletín Sanidad Vegetal Plagas* 29: 481-489.
- López-Pérez, J.A.; Bello, A.; García Álvarez, A.; Sanz, R.; Díez, M.A.; Ferrándiz, J.C.; Domene, R. 2002. Ecología y control de *Meloidogyne incognita* en hortalizas de la comarca de Villena (Alicante). *V Congreso de la SEAE. I Congreso Iberoamericano de Agroecología*. Gijón, Asturias-España, 16-21 Septiembre 2002. Tomo II, 1067-1078.
- Magdoff, F. 1993. *Building soils for better crops: Organic matter management*. University of Nebraska Press, 176 p.
- Magunacelaya, J.C.; Aravena, S.; Montenegro, E. 1998. Control of *Meloidogyne hapla* on vineyards in Casablanca, Central region of Chile. *XXX Annual Meeting ONTA*, 11-16 octubre, Mendoza, Argentina, 56 p.
- Mahanta, B.; Phukan, P. N. 1992. Effect of different organic amendments for the management of *Meloidogyne incognita*. *Indian Journal of Hill Farming* 5, 45-47.
- Mankau, R.; Prasad, N. 1972. Possibilities and problems in the use of a sporozoan endoparasite for biological control of plant parasitic nematodes. *Nematropica* 2, 7-8.
- MAPA. 1981. *Mapa de cultivos y aprovechamientos. Sueca (Valencia). Escala 1:50.000. Memoria*. Publicaciones del Ministerio de Agricultura, Secretaría General Técnica, Servicio de Publicaciones Agrarias, Madrid, 50 p.
- MAPA. 1994. *Métodos oficiales de análisis*. Tomo III. Madrid, 662 pp.
- MAPA. 2002. *Anuario de estadística agroalimentaria 2001*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Secretaría General Técnica, Centro de Publicaciones, Madrid, 701 pp.
- Margalef, R. 1974. *Ecología*. Ed. Omega, Barcelona, 951 pp.

- Martínez, F.; Calero, B.; Calderón, E.; Valera, M.; Ticante, J. 2001. Transformación de los restos orgánicos en los suelos y su impacto ambiental. *XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. Programas y Resúmenes*. Varadero. Cuba.
- Martínez, M.A.; Lacasa, A.; Guerrero, M.M.; Ros, C.; Guirao, P.; Martínez, M.C.; Barceló, N.; Oncina, M.; Bello, A. 2002. Desinfección de suelos mediante biofumigación con solarización en cultivos ecológicos de pimiento en invernadero. *V Congreso de la SEAE. I Congreso Iberoamericano de Agroecología*. Gijón, Asturias-España, 16-21 de septiembre de 2002. Tomo II, 1015-1020.
- MBTOC. 1995. *Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee. 1995 Assessment*. Montreal protocol on substances that deplet the ozone layer. UNEP, Nairobi, Kenia, 304 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 1998. Assesment of Alternatives to Methyl Bromide*, UNEP, Nairobi, Kenia, 354 pp.
- McGorven, R. J. and R. McSorley. 1997. Physical methods of soil sterilization for disease management including soil solarization. En: Rechcigl, N. A. ; Rechcigl, J. E. (Eds.). *Environmentally Safe Approaches to Crop Disease Control*. CRC Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 283-313
- McSorley, R., McGorven, R. J. 1999. Solarization during autumn for suppression of nematodes on landscape ornamentals. *Nematropica* 29, 124-125.
- McSorley, R., McGorven, R. J. 2000. Effects of solarization and ammonium amendments on plant-parasitic nematodes. *Supplement to the Journal of Nematology* 32, 537-541.
- McSorley, R., Ozores-Hampton, M.; Stansly ,P.; Conner, M. 1999. Nematode management, soil fertility, and yield in organic vegetable production. *Nematropica* 29, 205-213.
- Medina, J.J. 2002. Soil solarization and biofumigation in strawberry in Spain. In: *Proceedings of the International Conference on Alternatives to Methyl Bromide. The Remaining Challenges*. Seville, Spain. 5-8 March, 123-125.
- Medina, J.J.; Miranda, L.; Romero, F.; de los Santos, B.; Montes, F.; Vega, J.M.; Páez, J.I.; Bascon, J.; Soria, C.; López-Aranda, J.M. 2004. The use of biofumigation with new types of solarisation film for strawberry production in Spain. In: Batchelor, T.; Alfarroba, F. (Eds.) *Proceedings of Fifth International Conference on Alternatives to Methyl Bromide*. Lisbon, Portugal. 27-30 September, 61-65.

- Méndez MIR, Polanco GA. 2006. Método de control con *Trichoderma harzianum* en casas de cultivo. *Actas del Taller Latinoamericano de Control Biológico de Fitopatógenos con Trichoderma harzianum en casas de cultivo*. La Habana, Cuba.
- Miaka, M. A. 1991. *Evaluación del comportamiento de Bemisia tabaci en cultivos de pepino y tomate bajo condiciones de hidropónico*. Trabajo de Diploma. ISCAH. La Habana, 89 p.
- Mian, I. H.; Godoy, G.; Rodríguez-Kábana, R.; Morgah-Jones, G. 1982. Chitin amendments for control of *Meloidogyne arenaria* in infested soil. *Nematropica* 12, 71-84.
- Mian, I. H.; Rodríguez-Kábana, R. 1982a. Soil amendments with oil cakes and chicken litter for control of *Meloidogyne arenaria*. *Nematropica* 12, 205-220.
- Mian, I. H.; Rodríguez-Kábana, R. 1982b. Organic amendments with high tannin and phenolic contents for control of *Meloidogyne arenaria* in infested soil. *Nematropica* 12, 221-234.
- MINAGRI, 2001. Programa Nacional de Mejoramiento y Conservación de Suelos. Instituto de Suelos, AGROINFOR (Agencia de Información y Comunicación para la Agricultura), La Habana, 39 p.
- Mittal, N; G. Saxena; K. G. Mukerji. 1995. Integrated control of root-knot disease in three crop plants using chitin and *Paelomices lilacinus*. *Crop Protection* 14, 647-651.
- Mojtahedi, H.; Santo, G.; Pinkerton, J. 1988. Differential response of Thor alfalfa to *Meloidogyne chitwoodi* races and *M. hapla*. *Journal of Nematology* 20, 410-416.
- Monturiol, F.; Alcalá del Olmo, L. 1990a. *Mapa de asociaciones de suelos de la Comunidad de Madrid, Escala 1:200.000*. Comunidad de Madrid-CSIC, 71 p.
- Monturiol, F.; Alcalá del Olmo, L. 1990b. *Mapa de capacidad potencial de uso agrícola de la Comunidad de Madrid, Escala 1:200.000*. Comunidad de Madrid-CSIC, 31 p.
- Moral, J. 1997. Cropping without MeBr in Extremadura. En: Bello, A.; González, J. A.; Arias, M.; Rodríguez-Kábana, R. (Eds). *Alternatives to Methyl Bromide for the Southern European Countries*, CSIC, Gráficas Papallona S.C.V., Valencia, España, 261-266.
- Morra, L.; Palumbo, A. D.; Bilotto, M.; Iovieno, P.; Piscacia, S. 1998. Successioni pomodoro-zucchino: effetti di fertilizzazioni organica, solarizzazione e innesto. *Colture Protette* 27, 63-70.
- Narendrappa, T.; Gowda, D. N.; Narayanaswamy, H. 1999. Integrated management of soil borne diseases of tobacco in nursery. *Family Systems* 8, 41-43.

- Neher, D. 2004. Nematode diversity and soil health. *XXXVI Annual Meeting Organization of Nematologists of Tropical America (ONTA)*, México, 19-21
- Netscher, C.; Sikora, R. A. 1990. Nematodes parasites of vegetables. In: R. A. Sikora; J. Bridge (Eds). *Plant parasitic nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture*, CABI, 237-273.
- Noe, J. P.; Sasser, J. N. 1995. Evaluación de *Paelomyces lilacinus* como un agente para reducir las pérdidas de rendimiento debido a *Meloidogyne incognita*. *Biocontrol* 1, 57-67.
- Noling, J.W. 2002. Field scale demonstration/validation studies of alternatives for methyl bromide in plastic mulch culture. *Proceedings of the Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions*. EPA. Orlando, Florida, USA, 5-8 November, 2002, 34-1, 34-2.
- Nombela, G.; Bello, A. 1983. Modificaciones al método de extracción de nematodos fitoparásitos por centrifugación en azúcar. *Boletín del Servicio Plagas* 9, 183-189.
- Ornat, C.; Verdejo-Lucas, S.; Sorribas, F.J. 2001. A population of *Meloidogyne javanica* in Spain virulent to the *Mi* resistance gene in tomato. *Plant Disease* 85, 271-276.
- Orton Williams, K.J. 1973. *Meloidogyne incognita*. C.I.H. *Descriptions of Plant Parasitic Nematodes*, Set 2, N° 18, 4 p.
- Parveen, S.; Ehteshamul-Haque, S.; Ghaffar, A. 1993. Biological control of *Meloidogyne javanica* on tomato and okra in soil infested with *Fusarium oxysporum*. *Pakistan Journal of Nematology* 11, 151-156.
- Patel, R.R.; Patel, D.J.; Patel, B.A. 1991. Influence of organic amendments on growth and sporulation of nematophagous fungus, *Paecilomyces lilacinus* (Thom.) Samson. *Current Nematology* 2, 39-40.
- Pérez N., L. Vázquez (2001) Manejo ecológico de plagas. En: *Transformando el campo cubano. Avances de la agricultura sostenible*. Ed. ACTAF. La Habana, 191-223.
- Pérez, A., Céspedes, C., Núñez P. 2008. Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 8, 10-29.
- Pérez, N.; Fernández, E.; Vázquez, L. 1995. Concepción del Control de Plagas y Enfermedades en la Agricultura Orgánica. *Conferencias y Mesas Redondas II Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica*, ICA. La Habana, Cuba, 48-55.

- Pérez Montesbravo, E. 2004. Alternatives to methyl bromide for soil treatments in Latin America. En: Batchelor, T.; Alfarroba, F. (Eds.) *Proceedings of Fifth International Conference on Alternatives to Methyl Bromide*. Lisbon, Portugal. 27-30 September, 2004, 157-165.
- Peteira, B.; Hidalgo, L.; Montes de la Oca, N.; Martínez, B. 2005. Aplicación de la biología molecular al desarrollo de *Pochonia chlamydosporia* var. *catenulata* como agente de control biológico. *Revista de Protección Vegetal* 20, 73-80.
- Piedra Buena, A. 2005. *Agroecología de Meloidogyne Göldi, 1892 (Nematoda: Heteroderidae) en cultivos hortícolas protegidos*. Tesis Doctoral, Universidad de Almería, 397 pp.
- Piedra Buena, A.; García-Álvarez, A.; Díez-Rojo, M. A.; Bello, A. 2006. Use of crop residues for the control of *Meloidogyne incognita* under laboratory conditions. *Pest Management Science* 62, 919-926.
- Pimentel, D.E. Garnik, A. Berkowitz, S. Jacobson, S. Napolitano, P. Black, S. Valdez Cogliano, R. Vinzant, E. Hudes y S. Littman. 1980. Environmental quality and natural biota. *Bioscience* 30, 750-755.
- Pino, M. de los A.; Ferry, E. 1998. Los policultivos como modificadores del microclima. *Agricultura Orgánica* Año 4 N° 2, Agosto, 12 p.
- Piñon, M. 1998. *Comparación de sistemas para la producción de plántulas de tomate frente al complejo mosca-geminivirus*. Tesis de Master en Agroecología y Agricultura Sostenible. CEAS. UNAH, 81 p.
- Ploeg, A.T.; Maris, P.C. 2000. Greenhouse and field test on control of *Meloidogyne incognita* using marigolds. *Abstract XXXII Annual Meeting of ONTA*, 16-20 Abril, Auburn, Alabama, O-57, 69.
- Porcuna, L. 1999. III Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica. *Phytoma-España* 108, 72-73.
- Potter, J. W.; Olthof, T. H. 1993. Nematode pest of vegetable crops. En: K. Evans; D. L. Trudgill; J. M. Webster (Eds). *Plant Nematode in Temperate Agriculture*. CABI, 171-207.
- Puertas, A. 2007. *Uso de Pochonia chlamydosporia* var. *catenulata* (*Kamyscho* ex Barron y *Onions*) Zare y Gams como agente de control biológico de *Meloidogyne incognita* (*Kofoid* y *White*) Chitwood en cultivos hortícolas. Tesis Doctoral. UNAH – CENSA.
- Ramírez-Villapuda, J.; Munnecke, D.E. 1988. Effect of solar heating and soil amendments of cruciferous residues on *Fusarium oxysporum* f.sp.conglutinans and other organisms. *Phytopathology* 78, 289-295.

- Rao, M. S.; Reddy, P. P.; Nagesh, M. 1998. Evaluation of plant based formulations of *Trichoderma harzianum* for the management of *Meloidogyne incognita* on egg plant. *Nematologia Mediterranea*. 26, 59-62.
- Ravindra, H.; Onkarappa, T.; Narayanaswamy, H.; Basavaraja, M. K.; Ramaswamy G. R.; Lokamanya D. S. 2001. Integrated management of root-knot nematode in FCV tobacco nursery. *Tobacco Research* 27, 19-23.
- Reis, L.G.L. 1997. Alternatives to methyl bromide in vegetable crops in Portugal. In: A. Bello, J.A. González, M. Arias, R. Rodríguez-Kábana (Eds). *Alternatives to Methyl Bromide for the Southern European Countries*. CSIC, DGXI EU, Madrid, 43-52.
- Richard, T. 1996. The effect of lignin on biodegradability. (Consultado 27 de octubre 2004). <http://compost.css.cornell.edu/calc/lignin.html>
- Riegel, C.; Noe, J.P. 2000. Chicken litter soil amendments effect on soilborne microbes and *Meloidogyne arenaria* in cotton. *Plant Disease* 84, 1275-1281.
- Robertson L, Díez-Rojo MA, López-Pérez JA, Piedra Buena A, Escuer M, López-Cepero J, Martínez C, Bello A. 2009. New Host Races of *Meloidogyne arenaria*, *M. incognita*, and *M. javanica* from Horticultural Regions of Spain. *Plant Disease* 93, 180–184.
- Rodríguez, M.; Gómez, L.; Díaz Viruliche L.; González E.; Wagner F. 2006. Evaluación de materiales orgánicos para la biofumigación en instalaciones de cultivos protegidos para el manejo de *Meloidogyne incognita*. *Revista de Agroecología* 6, 178-185.
- Rodríguez, M.; Sánchez, L.; Rodríguez, I. 1994. Efecto de diferentes sistemas de rotación de cultivos en papa sobre el índice de infestación de *Meloidogyne incognita*. *Revista Cultivos Tropicales*, 15:32.
- Rodríguez, M.G.; Rodríguez, I.; Sánchez, L. 1995. *Meloidogyne mayaguensis*. Morfología, número de cromosomas y respuesta a la prueba de hospedantes diferenciales de una población cubana. *Revista de Protección Vegetal* 10, 65-70.
- Rodríguez, R. C. 1998. Posibilidades de control de *Meloidogyne incognita* en organopónicos utilizando medidas de combate no químicas. *Resúmenes I Forum Tecnológico sobre Manejo Integrado de Plagas*. Matanzas, Cuba, 18 p.
- Rodríguez-Kabana, R. 1996. Alternatives to methyl bromide (MB) soil fumigation. En: Bello, A.; González, J.A.; Arias, M.; Rodríguez-Kábana, R. (Eds.) *Alternatives to Methyl Bromide for the Southern European Countries*. Gráficas Papallona S.C.V., Valencia, 17-34.

- Rodríguez-Kabana, R. 1997. Organic and inorganic amendments to soil as nematode suppressants. *Journal of Nematology* 18, 129-135.
- Rodríguez-Kabana, 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-Kabana, R.; Boube, D.; Young, R.W. 1990. Chitinous materials from blue crab for control of root-knot nematode. I. Effect of soybean meal. *Nematropica* 20, 153-168.
- Rodríguez-Kabana, R.; Godoy, G.; Morgan-Jones, G.; Shelby, R.A. 1983. The determination of soil chitinase activity: conditions for assay and ecological studies. *Plant and Soil* 75, 95-106.
- Rodríguez-Kabana, R.; Morgan Jones, G.; Chet, Y. 1987. Biological control of nematodes: soil amendments and microbial antagonists. *Plant and Soil* 100, 37-247.
- Ros, C.; Martínez, M.A.; Lacasa, A.; Guerrero, M.M.; Guirao, P.; Martínez, M.C.; Barceló, N.; López, J.A. 2002a. El injerto como forma de control de los patógenos en cultivos ecológicos de pimiento. *V Congreso de la SEAE. I Congreso Iberoamericano de Agroecología*. Gijón, Asturias-España, 16-21 de septiembre de 2002. Tomo II, 957-965.
- Ros, M.; Pascual, J.A.; García, C.; Hernández, T.; Guerrero, M.M.; Lacasa, A.; Fernández, D.; Ros, C.; Guirao, P. 2002b. Efectos de la biofumigación con solarización sobre las propiedades de los suelos para cultivos de pimiento en agricultura ecológica. *V Congreso de la SEAE. I Congreso Iberoamericano de Agroecología*. Gijón, Asturias-España, 16-21 de septiembre de 2002. Tomo II, 1021.
- Rosset, P.M. 1997. Alternative agriculture and crisis in Cuba. *Technology and Society* 16, 19-25.
- Rosset, P.M.; Benjamín, M. 1994. *The greening of the revolution: Cuba's experiment with organic agriculture*. Australia, Ocean Press, 58 p.
- Rosner, J.; Zebitz, C.P.W. 1987. Effect of neem products on nematodes and growth of tomato (*Lycopersicon esculentum*) plants. En: Schmitterer, H.; Ascher, K.R.S. (Eds.) *Natural pesticides from the neem tree (Azadirachta indica A. Juss) and other tropical plants. Proceedings of the 3rd International Neem Conference, Nairobi, Kenya, 10-15 July 1986*, 611-621.
- Roy, D.; Sinha, S. P.; Sukul, N. C. 1995. Root-knot nematode extracts increases growth of plants and reduces nematode infestation. *Environment and Ecology* 13, 775-779.

- Sabater, A. 1999. Alternatives to methyl bromide in developing countries. *Proceedings of International Workshop "Alternatives to Methyl Bromide for the Southern European Countries"*, Heraklio, Creta, Grecia, 172-174.
- Salguero, V. 1992. Perspectiva para el manejo del complejo mosca blanca-virosis. La mosca blanca (*Homóptera, Aleyrodidae*) en América Central y el Caribe. En: *Memoria del Taller Centroamericano y del Caribe sobre mosca blanca*, 38 p.
- Salle, L. A.; Sosa, D. A.; Valeiro, A. 2001. Alternatives for the replacement of Methyl Bromide in Argentina. En: Labrada, R.; Fornasari, L. (Eds.) *Global report on validated alternatives to the use of Methyl Bromide for soil fumigation*, FAO-UNEP, 3-10.
- Sánchez, L.; Rodríguez, M.; Rodríguez, I. 1994. *Meloidogyne grahami* Golden y Slana: Nuevo parásito del tabaco en Cuba. *Revista de Protección Vegetal* 9, 89-91.
- Sano, Z. 2002. Nematode management strategies in East Asian countries. *Nematology* 4, 129-130.
- Santos, M.; Castillo, P.; Diáñez, F.; Chebâani, M.; Yélamos, J.; Villaescusa, J.; Gómez-Baena, A.A.; Montoya, J.R.; Blanco, R.; Gea, F.J.; Trillas, I.; Avilés, M.; Sinobas, J.; Tello Marquina, J.C. 2003. Antagonistas en los compostados de restos agroindustriales. En: *Innovaciones tecnológicas en cultivos de invernadero*. Ed. Agrotécnicas, S.L. Madrid, 203-210.
- Santos, M.S.N. de A.; Abrantes, I.M. de O.; Fernandes, M.F.M. 1987. Identificação de populações portuguesas de *Meloidogyne* spp. (Nematoda: Meloidogynidae) pelas reacções induzidas em plantas diferenciadoras-III. *Ciencia Biológica, Ecology and Systematics* 7, 37-43.
- Sanz, R.; Escuer, M.; López-Pérez, J.A. 1997. Alternatives to methyl bromide for root-knot nematode control in cucurbits. En: Bello, A.; González, J.A.; Arias, M.; Rodríguez-Kábana, R. (Eds). *Alternatives to Methyl Bromide for the Southern European Countries*. Gráficas Papallona S.C.V., Valencia, 73-84.
- Sasser, J.N.; Hartmen, K.M.; Freckman, D.W. 1987. *Summary of preliminary crop germoplasm evaluation for resistance to root-knot nematodes*. Raleigh, NC, North Carolina State University and US Agency for International Development, 1-88.
- Schneider, S.; Roskopf E.; Leesch, J; Chellemi, D.; Bull, C.; Mazzola, M. 2003. United States Department of Agriculture-Agricultural Research Service research on alternatives to methyl bromide: pre-plant and post-harvest. *Pest Management Science* 59, 814-826.

- Segura, J.M.; De Cara, M.; Diáñez, F.; Reyes, J.M.; García Gámez, I.; Martínez, R.E.; Santos, M.; Boix, A.; Tello, J. 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). *Comunicaciones del VII Congreso de la SEAE*. 27 Septiembre-2 Octubre, Almería, España, 625-632.
- Sekhar, N. S.; Gill, J. S. 1991. Efficacy of *Pasteuria penetrans* alone and in combination with carbofuran in controlling *Meloidogyne incognita*. *Indian Journal of Nematology* 21, 61-65.
- Serrano, F.; Diaz Viruliche, L.; Sanz, R. 2003. Fertilidad de los Suelos de Villena. En: Bello, A.; López-Pérez, J.A.; García Álvarez, A. (Eds.) *Biofumigación en Agricultura Extensiva de Regadío*, pp. 129-152.
- Sharma, M.; Saxena, S. K. 1992. Effect of *Meloidogyne incognita* (root-knot nematode) and *Aspergillus niger* on growth and root-knot development on tomato. *Current Nematology* 3, 123-126.
- Sharma, S. K.; Sharma, G. L.; Baheti, B. L.. 1997. Management of root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* on tomato through soil amendment with various composts. *Indian Journal of Nematology* 26, 263-265.
- Siddiqi, M. R. 1986. *Tylenchida: Parasites of Plants and Insects*. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, Slough SL2 BN, UK, 645 pp.
- Siddiqi, M. R. 2000. *Tylenchida parasites of plants and insects*. CABI, UK. 833 pp.
- Siddiqi, Z. A.; Mahmood, I. 1994. Culture of *Paecilomyces lilacinus* on leaf extracts and leaf residues for nematode control. *Bioresource Technology* 49, 187-189.
- Siddiqi, M. A.; Alam, M.M. 1987. Control of plant-parasitic nematodes by intercropping with *Tagetes* spp. *Nematologia Mediterranea* 15, 205-211.
- Sikora, R. A. 1978. Einfluss der endotrophen Mykorrhiza (*Glomus mosseae*) auf das Wirt-Parasit-Verhältnis von *Meloidogyne incognita* in Tomaten. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 85, 197-202.
- Sikora, R. A. 1988. Interrelationship between plant health promoting rhizobacteria, plant parasitic nematodes and soil microorganisms. *Meded.Faculiteit Landbouw.Rijksuniversiteit Gent* 53, 867-878.
- Socorro, A.; Padrón, W.R.; Pretil, R.; Parets, E.R. 2000. *Modelo alternativo para la racionalidad agrícola*. CETAS, UCf, Cuba, 320 pp.

- Sorribas, J.; Verdejo-Lucas, S. 1994. Survey of *Meloidogyne* spp. in tomato production fields fo Baix Llobregat County, Spain. *Journal of Nematology* 26 (Suppl.), 731-736.
- Stapleton J.J., J.E. de Vay. 1984. Thermal components of soil solarization as related to changes in soil and root microflora and increased plant growth response. *Phytopathology* 74, 255-259.
- Stephan, Z. A. 1983. The effect of different densities of *Meloidogyne ardensis* and of three populations of *M.hapla* on the growth of tomato at four soil temperatures. *Nematologia Mediterranea* 11, 93-100.
- Stevens, C.; Khan, V. A.; Rodríguez-Kábana, R.; Ploper, L. D.; Backman, P. A.; Collins, D. J.; Brown, J. E.; Wilson, M. A.; Igwegbe, E. C. K. 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.
- Stirling, G. R. 1991. *Biological control of plant parasitic nematodes: progress, problems and prospects*. CAB. International, Wallingford, 282 pp.
- Stirling, G. R.; Wachtel, M. F. 1980. Mass production of *Bacillus penetrans* for biological control of root-knot nematodes. *Nematologica* 26, 308-312.
- Tandon, R. S.; Kumar, P. 1980. Histological changes in *Lycopersicon sculentum* roots parasitized with *Meloidogyne lucknowica* Sing, 1969. *Indian Journal of Nematology* 9, 169-172.
- Tayeta, A. 2001. Approaches for the reduction of the use of methyl bromide and alternatives in Japan. En: Labrada, R.; Fornasari, L. (Eds.) *Global Report on Validated Alternatives to the Use of Methyl Bromide for Soil Fumigation*, 59-69.
- Tello, J.; Lacasa, A. 1997. Problemática fitosanitaria del suelo en el cultivo de pimiento en el Campo de Cartagena. In: *Posibilidad de alternativas viables al bromuro de metilo en pimiento de invernadero*. Publicaciones de la CMAA. Región de Murcia. *Jornadas y Congresos* 11, 11-17.
- Teusher, H; Adler, R. 1987. *El suelo y su fertilidad*. Compañía Editorial Continental, S. A. de C. V., México. 11th Ed., 18 p.
- Tiwari, S. P.; Indira V.; Shukla B. N. 2002. Management of *Meloidogyne incognita* in tomato through nursery bed treatment, solarization and neem cake. *Indian Journal of Phytopathology* 55, 244-246.

- Torres JM, Díez-Rojo MA, Robertson L, López-Pérez JA, de Cara M, Tello J, Bello A. 2007. *Nematodos fitoparásitos del género Meloidogyne Goeldi, 1892 y su manejo en cultivos enarenados en Almería*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 192 pp.
- Trudgill, D. L.; Blok, V. C. 2001. Apomictic, polyphagous root-knot nematodes: exceptionally successful and damaging biotrophic root pathogens. *Annual Review of Phytopathology* 39, 53-77.
- Tzortzakakis, E.A.; Blok, V.C.; Phillips, M.S.; Trudgill, D.L. 1999. Variation in root-knot nematode (*Meloidogyne* spp.) in Crete in relation to control with resistant tomato and pepper. *Nematology* 1, 409-506.
- Tzortzakakis, E.A.; Trudgill, D.L.; Phillips, M.S. 1998. Evidence for a dosage effect of the Mi gene on partially virulent isolates of *Meloidogyne javanica*. *Journal of Nematology* 30, 76-80.
- Uclés Aguilera, D.; Hernández Torrecillas, R. 2003. Macromagnitudes de la agricultura intensiva. En: Fernández Rodríguez, E.J. (coord.) *Innovaciones tecnológicas en cultivos de invernadero*. Ediciones Agrotécnicas, S.L., Madrid, 1-9.
- Unger, P. W. 1988. Residue management for dryland farming. *Proceedings of the International Conference "Challenges in Dryland Agriculture: A Global Perspective"*, Amarillo/Bushland, Texas, 483-489.
- Urbano, E. 2004. Proyecto Alternativas al Uso de Bromuro de Metilo para Flores de Verano en el Ecuador. *Memorias V Seminario Internacional de Sanidad Vegetal*, Ciudad de la Habana, Cuba, 24-28 mayo.
- Van der Boogert, P.H.J.F.; Velvis, H.; Hetteema, C.H.; Bouwman, L.A. 1994. The role of organic matter in the population dynamics of the endoparasitic nematophagous fungus *Drechmeria coniospora* in microcosms. *Nematologica* 40, 249-257.
- Van Gundy, S. D. 1985. Ecology of *Meloidogyne* spp.-Emphasis on environmental factors affecting survival and pathogenicity". En: Sasser, J. N.; Carter, C. C. (Eds.) *An Advanced Treatise on Meloidogyne, Volume 1: Biology and Control*. North Carolina State University Press, Raleigh, NC, 178-182.
- Vawdrey, L. L.; Stirling, G. R. 1997. Control of root-knot nematode (*Meloidogyne javanica*) on tomato with molasses and other organic amendments. *Australasian Plant Pathology* 26, 179-187.

- Vázquez, L. 2007. Adopción de prácticas agroecológicas para el manejo de plagas por los agricultores cubanos. *Revista de Agricultura Orgánica*. Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales (ACTAF) 2, 37-40.
- Vázquez, L.; Fernández, E.; Lauzardo, J. 2005. *Manejo Agroecológico de Plagas en Fincas de la Agricultura Urbana (MAPFAU)*. Ed. CIDISAV. Ciudad de la Habana. Cuba, 80 p.
- Vázquez, L. L.; Murquido, C. A.; González, G.; Gómez, O. 1996. Alternativa para el manejo integrado de mosca blanca-geminivirus en tomate. INISAV. *Boletín Técnico* 1, 30.
- Verdejo-Lucas, S.; Ornat, C.; Sorribas, F.J. 1997. Management of root-knot nematodes in protected crops in North-East Spain. *Bulletin OILS/SROP* 20, 94-98.
- Vicente N., Santos, M.; Diáñez, F.; J., C.; Tello. 2007. Vinazas y hongos del suelo. *Agroecología* 2, 39-45.
- Von der Weid, J. M. 1994. Agroecología y agricultura sustentable. *Rev. Agroecología y desarrollo* CLADES (Consortio Latinoamericano sobre Agroecología y Desarrollo) 7, 9-14.
- Vouyoukalou, E. 1993. Effect of *Arthrobotrys irregularis* on *Meloidogyne arenaria* on tomato plants. *Fundamental and Applied Nematology* 16, 321-324.
- Wahundeniya, I. 1991. Effect of poultry manure on root knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Tropical Agriculture* 147, 143-153.
- Walia, R. K.; Gupta, D. C. 1994. Interaction of *Rhizoctonia solani* and *Meloidogyne javanica* on tomato. *Plant Disease Research* 9, 82-84.
- Wasilewska, L. 1974. Analysis of a sheep pasture ecosystem in the Pieniny Mountains (the Carpathians). XIII. Quantitative distribution, respiratory metabolism and some suggestion on production of nematodes. *Ekol. Pol.* 22, 651-668.
- Weaver, D.B.; Rodríguez-Kábana, R. 1992. Disease management in soybean: use of cultural techniques and genetic resistance. En: Copping, L.G. (Ed.) *Pest management in soybeans*. Elsevier, Essex, England, 214-223.
- Whitehead, A.G. 1998. *Plant nematode control*. CAB International, Wallingford, UK, 384 pp.
- Widmer, T. L.; Mitkowski, N. A.; Abawi G. S. 2002. Soil Organic Matter and Management of Plant-Parasitic Nematodes. *Journal of Nematology* 34, 289-295.
- Williamson, V. M.; Gleason, C.A. 2003. Plant-nematode interactions. *Current Opinion in Plant Biology* 6, 327-333.

- Wischmeier W. H.; Smith D. D. 1978. *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning*, U. S. D. A. Agriculture Handbook No. 537, Washington D.C., 58 pp.
- WRI (World Resources Institute). 1992. *World resources 1992-1993*. Oxford University Press, NY.
- Wright, J. 2006. El forzoso aprendizaje agroecológico de Cuba. *Revista LEISA. Revista de Agroecología*. Sep 2006, 22, 14-17.
- Wyss, U. 1997. Root parasitic nematodes: an overview. Pp. 4-22. En: Fenoll, C.; Grundle, F. M. W.; Ohl, S. (Eds). *Cellular and molecular aspects of plant-nematode interaction*. Kluwer Academic Press, Dordrecht. The Netherlands.
- Yeates, G. W. 1979. Soil nematodes in terrestrial ecosystems. *Journal of Nematology* 2, 213-229.
- Youssef, M. M. A.; Amin, W. A. 1997. Effect of soil amendment in the control of *Meloidogyne javanica* and *Rotylenchulus reniformis* infection on cowpea. *Pakistan Journal of Nematology* 15, 55-63.
- Youssef, M. M. A.; El-Hamawi, M. H. 1996. Yield of rice as influenced by *Hirschmanniella oryzae* population densities and nematode control. *Afroasian Journal of Nematology* 6, 114-116.
- Zaki, F.A.; Bhatti, D.S. 1990. Effect of castor (*Ricinus communis*) and the biocontrol fungus *Paecilomyces lilacinus* on *Meloidogyne javanica*. *Nematologica* 36, 114-122.
- Zambolim, L.; M. A. dos Santos; W. F. Becker; G. M. Chaves. 1996. Agro-waste soil amendments for the control of *Meloidogyne javanica* on tomato. *Fitopatologia Brasileira* 21, 250-253.
- Zuckerman, B. M.; M. B. Dicklow; N. Acosta. 1993. A strain of *Bacillus thuringiensis* for the control of plant-parasitic nematodes. *Biocontrol Science and Technology* 3, 41-46.

Anexo 1. Hoja de recuento de nematodos

HOJA DE RECuento

Ref. general nº:

Ref. nematodos nº:

Nematodos

Suelo

P.R.

R.

Pratylenchus

Paratylenchus

Xiphinema

Criconemoides

Helicotylenchus

Meloidogyne

Tylenchorhynchus

Rotylenchus

Trichodóridos

Boleodorus

Juveniles

Heterodera

quistes

Tylenchus

Ditylenchus

Aphelenchus

Aphelenchoides

Mononchus

Dorylaimidos

Alaimus

Rabditidos

Discolaimus

Criconemella

Anexo 2. Hoja para el estudio del efecto de la biodesinfección sobre la planta

Biodesinfección (fecha y período de duración):									
Tratamiento									
N° Muestra	Indice	Altura	Peso Total	Peso Tallo	Peso Raíz	N° Hojas	Observaciones		
1.									
2.									
3.									
4.									
Total									
Media									
Tratamiento									
1.									
2.									
3.									
4.									
Total									
Media									
Tratamiento									
1.									
2.									
3.									
4.									
Total									
Media									

Anexo 3. Soluciones utilizadas para la determinación de fósforo asimilable y carbono orgánico en suelos

Solución extractora para fósforo asimilable:

- en un recipiente se coloca: 1 g de carbonato cálcico + 0,88 g de carbonato magnésico + 24,5 ml de ácido acético + 7,5 ml de ácido sulfúrico al 20%.
- se agita hasta disolver y se agrega a un recipiente con 6 litros de agua destilada.
- se lleva a 10 litros, con lo que el pH resultante estará entre 3,25 y 3,30.

Solución de dicromato potásico 1 N:

- se seca $K_2Cr_2O_7$ en estufa a 100 °C.
- se toman 49,0400 g y se colocan de secado en un matraz de 1 litro.
- se enrasa con agua.

Solución de difenilamina:

- se disuelven 2,50 g de difenilamina en 20 ml de agua y 100 ml de ácido sulfúrico concentrado.

Solución de sal de Mohr 0,5 N:

- se disuelven 196,10 g $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ en 780 ml agua y 20 ml ácido sulfúrico concentrado.
 - se enrasa a un litro.
 - se valora frente a la solución de dicromato potásico 1N tal como se describe para las muestras de suelos donde se valora la materia orgánica.
-