

## PROPIEDADES BIOPLAGUICIDAS DEL VERMICOMPOST

**Jorge DOMÍNGUEZ, María GÓMEZ-BRANDÓN & Cristina LAZCANO**

Departamento de Ecología y Biología Animal. Universidad de Vigo. Vigo E-36310, España. E-mail: jdguez@uvigo.es, mariagomez@uvigo.es, cristina@uvigo.es

**Domínguez, J., M. Gómez-Brandón & C. Lazcano.** 2010. Propiedades bioplaguicidas del vermicompost. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)*, Número Especial 2: 373-383.

**RESUMEN.** A pesar de la abundante información sobre las propiedades bioplaguicidas de algunos fertilizantes orgánicos como el compost, existen muy pocos trabajos acerca de este tipo de propiedades en el vermicompost. Recientemente se ha investigado el potencial del vermicompost como bioplaguicida contra patógenos vegetales, insectos, ácaros y nematodos parásitos de plantas. La adición de vermicompost al suelo incrementa la diversidad microbiana del mismo y por lo tanto hay un rango más amplio de microorganismos que pueden actuar como agentes biocontrol contra diferentes plagas para las plantas. Además, el vermicompost constituye una fuente de nutrientes de liberación lenta, que se van poniendo a disposición de la planta a medida que ésta los va necesitando, y su aplicación puede aumentar la producción de compuestos fenólicos en la misma, haciéndola más resistente a la herbivoría. Aunque existen evidencias científicas del papel del vermicompost como bioplaguicida, es necesario esclarecer qué factores desencadenan esta supresión y en qué medida éstos dependen del material de origen, de la especie de lombriz de tierra y del proceso de vermicompostaje.

**Palabras clave:** Control biológico, fitosanidad, enmiendas orgánicas, fitopatógenos, lombrices de tierra.

**Domínguez, J., M. Gómez-Brandón & C. Lazcano.** 2010. Bio-pesticide properties of vermicompost. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)*, Número Especial 2: 373-383.

**ABSTRACT.** Despite the extensive literature on the suppression of pests by some organic fertilizers like compost, there are very few studies related to the control of pests by vermicompost. Recently, the potential of vermicompost in the suppression of plant pathogens, insects, mites and plant parasitic nematodes has been investigated. The addition of vermicompost to soils increases microbial diversity, providing a wider range of microorganisms that can act as biocontrol agents against different plant plagues. Furthermore, vermicompost is a slow releasing nutrient source providing nutrients in synchrony with plant needs, and its application can increase the production of phenolic compounds in plants, making them more resistant to herbivory. Although, there is scientific evidence of the role of vermicompost in the suppression of pests, it is necessary to clarify which factors trigger this suppression and to what extent these are dependent on the source of the material, on the species of earthworm and the vermicomposting process.

**Key words:** Biological control, plant health, organic amendments, plant pathogens, earthworms.

## INTRODUCCIÓN

El compost y el vermicompost son dos tipos de fertilizantes orgánicos con una efectividad, en muchos casos, superior a la de otros abonos orgánicos como los estiércoles naturales. En los últimos años se ha reforzado el estudio de los efectos de la aplicación de los mismos en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. En estudios a largo plazo, se ha demostrado que su adición produce una disminución significativa de la densidad aparente, un aumento de la estabilidad de los agregados y de la capacidad de retención de agua del suelo (Albiach *et al.* 2001, Ferreras *et al.* 2006, Weber *et al.* 2007), así como un incremento de la concentración de carbono orgánico y de las cantidades totales de nutrientes esenciales para las plantas en comparación con los fertilizantes minerales (García-Gil *et al.* 2000, Bulluck *et al.* 2002, Chaoui *et al.* 2003, Nardi *et al.* 2004, Weber *et al.* 2007). La adición de estos fertilizantes orgánicos al suelo incrementa además la concentración de sustancias húmicas de estructura molecular compleja, aumentando por lo tanto la relación ácidos húmicos/ácidos fúlvicos (Albiach *et al.* 2001, Nardi *et al.* 2004, Weber *et al.* 2007).

Además de modificar las propiedades químicas, la adición de fertilizantes orgánicos produce también cambios en las propiedades biológicas del suelo, aumentando la biomasa y la actividad microbiana y modificando distintas actividades enzimáticas (Benitez *et al.* 2000, García-Gil *et al.* 2000, Arancon *et al.* 2005, Ros *et al.* 2006) y la estructura misma de las comunidades microbianas (Ros *et al.* 2006). Bulluck *et al.* (2002) y Nardi *et al.* (2004) observaron que tras la adición de diferentes tipos de compost, aumentaba la abundancia de microorganismos beneficiosos para el crecimiento vegetal, reduciéndose el número de microorganismos patógenos, y además aumentaba la actividad biológica de los ácidos húmicos extraídos del suelo con efectos hormonales similares a los de las giberelinas sobre plantas de maíz. En el Cuadro I se muestran algunos ejemplos de trabajos recientes sobre la supresión de distintas enfermedades de plantas tras la aplicación de enmiendas orgánicas.

Debido a esto, en los últimos años el empleo del vermicompost para otros fines distintos a los tradicionales ha suscitado un gran interés científico (Edwards *et al.* 2004); su potencial como bioplaguicida contra patógenos vegetales y nematodos parásitos de plantas abre un campo científico casi inexplorado y de indudable interés. Aunque hay algunos trabajos que indican que la aplicación del vermicompost a distintos cultivos reduce notablemente el número de nematodos parásitos de plantas (Ribeiro *et al.* 1998, Swathi *et al.* 1998) y la incidencia de enfermedades producidas por hongos (Nakamura 1996, Nakasone *et al.* 1999), es necesario esclarecer qué factores desencadenan esta supresión, y en qué medida éstos dependen del material de origen, de la especie de lombriz de tierra y del proceso de vermicompostaje.

### **El vermicompost como bioplaguicida contra enfermedades causadas por microorganismos**

Recientemente se ha demostrado que los vermicomposts pueden tener efectos notables en la supresión de patógenos vegetales que producen podredumbre y necrosis

radicular en plantas de cultivo. Nakamura (1996) estudió las propiedades bioplaguicidas de los vermicomposts contra *Plasmidiophora brassicae*, *Phytophthora nicotianae* y *Fusarium lycopersici*, tres hongos patogénicos que causan podredumbre en los cultivos de tomate. Orlikowski (1999) observó una reducción en la esporulación del patógeno *Phytophthora cryptogea* tras la adición de vermicompost, y Nakasone *et al.* (1999), utilizando extractos acuosos de vermicompost, observaron una inhibición en el crecimiento del micelio de hongos patogénicos como *Botrytis cinerea*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Corticium rolfsii*, *Rhizoctonia solani* y *Fusarium oxysporum*. La adición de vermicomposts de residuos ganaderos a semillas de tomate redujo notablemente la infección causada por *Fusarium lycopersici* (Szczzech 1999) y *Phytophthora nicotianae* (Szczzech & Smolinska 2001); sin embargo, Szczzech & Smolinska (2001) no encontraron diferencias significativas en la supresión de *Phytophthora nicotianae* con respecto al sustrato control (turba) cuando utilizaron vermicomposts de lodos residuales.

Arancon *et al.* (2007a) utilizaron té de vermicomposts de distintos residuos orgánicos (estiércol de vaca, purín de cerdo, restos de comida y residuos de la industria papelera) como bioplaguicida contra los parásitos vegetales *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Plectosporium* y *Verticillium*, y observaron una reducción notable de la incidencia de estos patógenos en diferentes cultivos. Sahni *et al.* (2007) estudiaron los efectos de la inoculación de microorganismos antagonistas (*Pseudomonas syringae*) y vermicompost de restos vegetales en la incidencia de *Sclerotium rolfsii* en la planta del garbanzo (*Cicer arietinum*) y encontraron que este tratamiento combinado incrementó la disponibilidad de nutrientes para la planta, y redujo su mortalidad.

Siguiendo los modelos de supresión propuestos para el compost (Hoitink & Bohem 1999, Noble & Coventry 2005), la reducción en la incidencia de estas enfermedades podría explicarse bien por una supresión directa del patógeno por el vermicompost, o bien mediante la inducción de resistencia sistémica en la planta (Fig. 1).

La supresión directa del patógeno por la microflora y la microfauna asociadas al vermicompost, puede ser general o específica dependiendo de si hay un solo agente supresor o si la supresión se debe a la acción conjunta de varios factores. En ambos casos, los mecanismos de supresión propuestos son la competencia, la antibiosis y el parasitismo. Los mecanismos de supresión específica por el vermicompost no se conocen bien por lo que el papel bioplaguicida de los vermicomposts suele explicarse por el mecanismo de supresión general, ya que la adición de vermicompost incrementa la diversidad de los microorganismos y de la fauna del suelo (Gunadi *et al.*, 2002) y por lo tanto hay un rango amplio de organismos que pueden actuar como agentes de biocontrol y supresión de enfermedades. Sin embargo, no se conoce el mecanismo exacto de supresión, ni se sabe hasta qué punto la capacidad supresora

**Cuadro I.** Trabajos recientes sobre la supresión de distintas enfermedades de plantas por enmiendas orgánicas

Patógeno	Planta	Enmienda orgánica	Forma y tasa de aplicación	Resultados/Mecanismo	Referencia bibliográfica
Hongo <i>Pytophthora cinnamomi</i>	Altramuz blanco <i>Lupinus albus</i> L.	Compost de estiércol de caballo	En medio de cultivo (15%, v/v)	Activación de agentes biocontrol (bacterias formadoras de endosporas)	Aryantha <i>et al.</i> (2000)
Hongo <i>Verticillium dahliae</i>	Cultivo de la patata <i>Solanum tuberosum</i>	Purin de cerdo	En medio de cultivo	Liberación de NH <sub>3</sub> y HNO <sub>2</sub>	Bailey & Lazarovits (2003)
Hongo <i>Pythium macrosporum</i>	Bulbos de lirio <i>Iris xyphium</i>	Compost de restos vegetales	En medio de cultivo (1%, p/v)	Incremento en la biomasa y la actividad microbiana	van Os & van Ginkel (2001)
Hongo <i>Plasmodiophora brassicae</i>	Cultivo de calabacín	Compost de restos vegetales	En medio de cultivo (100%, v/v)	Modificación de las propiedades físico-químicas del sustrato (pH y conductividad eléctrica)	Tilston <i>et al.</i> (2002)
Hongo <i>Pythium ultimum</i>	Cultivo del guisante	Compost de bagazo	En medio de cultivo (30%, v/v)	—Incremento en la biomasa y la actividad microbiana —Liberación de compuestos fenólicos	Erihart <i>et al.</i> (1999)
Hongo <i>Fusarium oxysporum</i>	Cultivo del tomate <i>Lycopersicon esculentum</i>	Compost de bagazo Compost de corteza de roble	En medio de cultivo	Incremento de la diversidad microbiana	Borrero <i>et al.</i> (2006)
Bacterias <i>Erwinia tracheiphila</i> <i>Pseudomonas syringae</i>	Cultivo del pepino <i>Cucumis sativus</i>	Compost de estiércol de vaca	En suelo (14,6 t/ha)	Activación de agentes biocontrol	Huelsman & Edwards (1998)
Bacteria <i>Xanthomonas campestris</i> pv. vesicatoria	Cultivo del tomate <i>Lycopersicon esculentum</i>	Compost de residuos hortícolas y animales	En suelo (62 t/ha)	—Inóculo de microorganismos productores de sustancias reguladoras del crecimiento vegetal —Activación de agentes biocontrol	Abbasi <i>et al.</i> (2002)

Cuadro I. Trabajos recientes sobre la supresión de distintas enfermedades de plantas por enmiendas orgánicas

Patógeno	Planta	Enmienda orgánica	Forma y tasa de aplicación	Resultados/Mecanismo	Referencia bibliográfica
—Insectos minadores de la hoja del manzano <i>Phyllostorycter blancardella</i> —Pulgón lanigero del manzano <i>Eriosoma lanigerum</i>	Manzano <i>Malus domestica</i>	Compost	En suelo (1.1-2.9 g/cm <sup>2</sup> )	—Reducción significativa en las poblaciones de insectos patógenos	Brown & Tworkoski (2004)
Áfidos <i>Brevicoryne brassicae</i> L.	Brécol <i>Brassica oleracea</i>	Compost	En suelo (100kg/Ha)	Disminución significativa en la densidad de población de áfidos debido a la disminución en el contenido de N foliar	Ponti <i>et al.</i> (2007)
Áfidos <i>Rhodopalosiphum maidis</i>	Maíz <i>Zea mays</i>	—Estiércol de vaca —Compost	En el suelo (3000kg/Ha)	Disminución significativa en la densidad de población de áfidos debido a la disminución en el contenido de N foliar	Morales <i>et al.</i> (2007)
Escarabajo de la patata <i>Leptinotarsa decemlineata</i>	Patata <i>Solanum tuberosum</i>	Estiércol de vaca	En el suelo (107 kg/Ha)	Disminución significativa en la densidad de población de escarabajos debido a cambios en la composición nutricional de las hojas	Alyokhin <i>et al.</i> (2005)
Nematodo parásito de plantas <i>Pratylenchus penetrans</i>	Festuca alta <i>Festuca arundinacea</i>	Purin de vaca	En el suelo (50-100 kg/Ha)	Disminución significativa en la densidad de población de nematodos parásitos	Forge <i>et al.</i> (2005)
Nematodo parásito de plantas <i>Meloidogyne incognita</i>	Cultivo de tomate <i>Lycopersicon esculentum</i> , cultivo de pimiento <i>Capsicum annuum</i>	—Residuos de cultivo de pimiento —Estiércol de oveja - corral	En el suelo (1.5-4 kg/m <sup>2</sup> )	Reducción significativa de la infección	Piedra Buena <i>et al.</i> (2007)

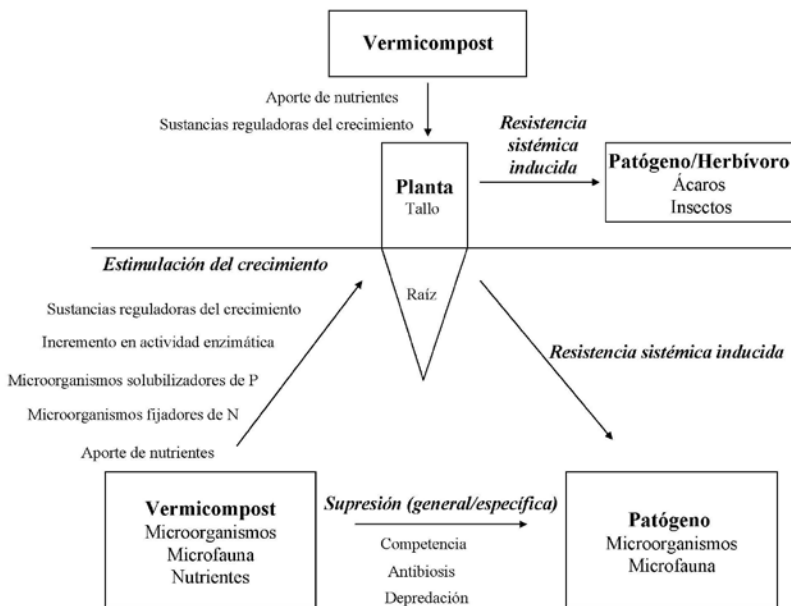


Figura 1. Esquema de los posibles mecanismos de supresión de patógenos por vermicompost.

de los vermicomposts depende del material de origen, de la especie de lombriz de tierra y del proceso de vermicompostaje. En este sentido, Lores *et al.* (2006) demostraron que, en función de la especie de lombriz empleada y del residuo de partida, las comunidades microbianas originadas tras el proceso de vermicompostaje eran diferentes, lo que podría implicar distintas capacidades para la supresión de enfermedades.

Por otro lado, otros trabajos apuntan a la existencia de mecanismos de inducción de resistencia sistémica. Por ejemplo, Zaller (2006), encontró que la aplicación foliar de extractos de vermicompost redujo la incidencia de *Phytophthora infestans* en el tomate, y Singh *et al.* (2003), encontraron que la aplicación de extractos acuosos de vermicompost a la planta del guisante (*Pisum sativum*) y al bálsamo de jardín (*Impatiens balsamina*) incrementó la resistencia de las mismas contra el ataque de los hongos patógenos *Erysiphe pisi* y *Erysiphe cichoracearum*, incrementando también la producción de compuestos fenólicos de la planta.

### El vermicompost como bioplaguicida contra los ataques de insectos y ácaros

Hay pocos estudios de la aplicación del vermicompost como bioplaguicida contra insectos y ácaros parásitos de plantas. Mediante una serie de experimentos de campo, se ha demostrado que la aplicación de vermicomposts al suelo redujo notablemente: el

grado de infestación producido por el psilido *Heteropsylla cubana* en la acacia forrajera *Leucaena leucocephala* (Biradar *et al.* 1998); la incidencia del insecto minador *Approaerema modicella* sobre las hojas de la planta del cacahuete (Ramesh 2000); y el ataque de jassidos, áfidos, escarabajos coccinélidos y ácaros-araña a la planta del cacahuete (Rao 2002).

Además de reducir el nivel de infestación de las plantas, algunos trabajos muestran que tras la aplicación de vermicompost al suelo se produce una reducción significativa de las poblaciones de insectos parásitos. La adición de vermicompost de restos de comida a un cultivo de tomate redujo considerablemente las poblaciones de dos especies de escarabajos (*Acalymma vittatum* y *Diabrotica undecimpunctata*) con respecto al tratamiento de fertilización inorgánica; su aplicación en un cultivo de pepino también disminuyó las larvas del gusano *Manduca quinquemaculata* (Yardim *et al.* 2006). Estos autores evaluaron los efectos del vermicompost tanto en invernadero como en campo, y obtuvieron los mismos resultados en ambos experimentos.

Arancon *et al.* (2005) adicionaron vermicompost de restos de comida a cultivos de tomate, pepino y col, y observaron una disminución de las poblaciones de áfidos (*Myzus persicae* Sulz.), chinches (*Pseudococcus* spp.) y orugas blancas (*Pieris brassicae* L.). Arancon *et al.* (2007b) también registraron una reducción notable de las poblaciones de ácaros-araña (*Tetranychus urticae*), chinches (*Pseudococcus* sp.) y áfidos (*Myzus persicae*) en cultivos de tomate y pepino tras la aplicación de vermicompost de restos de comida.

El vermicompost constituye una fuente de nutrientes de liberación lenta, que se van poniendo a disposición de la planta a medida que ésta los va necesitando (Chaoui *et al.* 2003); y actúa también como inóculo de microorganismos que pueden producir sustancias reguladores del crecimiento vegetal, así como microorganismos responsables de la fijación de N y de la solubilización del P. Todo ello puede producir una mejora significativa en la eficacia biológica de la planta y consecuentemente, en su capacidad para combatir plagas (Patriquin *et al.* 1995). Sin embargo, tal y como sucede en la supresión de enfermedades causadas por microorganismos, tampoco se conoce el mecanismo exacto de supresión de insectos y ácaros, ni cuáles son los principales factores que lo desencadenan, y en qué medida éstos dependen del material de origen, de la especie de lombriz de tierra y del proceso de vermicompostaje.

### **El vermicompost como bioplaguicida contra nematodos parásitos de plantas**

Hay muy pocos estudios del posible efecto del vermicompost en la supresión de nematodos parásitos de plantas. Swathi *et al.* (1998) demostraron que la adición de 1 kg m<sup>-2</sup> de vermicompost al suelo inhibió los ataques del nematodo parásito del tabaco *Meloidogyne incognita*. Tras la aplicación de vermicompost, Morra *et al.* (1998) registraron un control parcial de *Meloidogyne incognita*, y Ribeiro *et al.* (1998) en-

contraron una reducción de la masa de huevos de *Meloidogyne javanica*. Arancon *et al.* (2003) añadieron vermicompost de restos de comida y de residuos de la industria papelera a un cultivo de uva (*Vitis vinifera*) y fresa (*Fragaria ananasa*), y observaron una reducción notable de las poblaciones de nematodos parásitos de plantas. Arancon *et al.* (2007a) también registraron una reducción de las poblaciones de nematodos parásitos de plantas (géneros *Heterodera* y *Meloidogyne*) tras la aplicación de té de vermicomposts de distintos residuos orgánicos.

Los posibles mecanismos biológicos que participan en la supresión de nematodos parásitos de plantas se basan principalmente en interacciones depredador-presa. La adición de vermicompost al suelo puede incrementar la población de artrópodos y nematodos omnívoros depredadores de nematodos parásitos de plantas (Bilgrami 1996), y/o estimular el crecimiento de hongos depredadores y de especies fúngicas que atacan los quistes de nematodos (Kerry 1988). Las enzimas y toxinas producidas por parte de rizobacterias también pueden actuar como bioplaguicidas contra los nematodos parásitos de plantas (Siddiqui & Mahmood 2001). Otros trabajos como el de Blouin *et al.* (2005) observaron una reducción en la tasa de infección pero no en la población de nematodos, lo que sugiere que la presencia de las lombrices afecta a la planta más que al patógeno, y apunta a la existencia de otros mecanismos indirectos como una mayor disponibilidad de nutrientes, la estimulación de microorganismos beneficiosos y a cambios microbianos en rizosfera que podrían fácilmente estar implicados también en la supresión de nematodos parásitos de plantas por la aplicación de vermicompost.

Mientras que existen numerosas evidencias científicas que demuestran el papel bioplaguicida de los composts hay muy pocos estudios de la posible aplicación del vermicompost en este campo. Se han observado casos de reducción de la incidencia de patógenos vegetales, insectos y nematodos parásitos de plantas tras la aplicación de vermicompost. El papel bioplaguicida de los vermicomposts suele explicarse por el mecanismo de supresión general, ya que la adición de vermicompost incrementa la diversidad de los microorganismos y de la fauna del suelo, y por lo tanto hay un rango amplio de organismos que pueden actuar como agentes biocontrol contra la supresión de enfermedades. Sin embargo, no se conoce el mecanismo exacto de supresión, ni cuáles son los principales factores que lo desencadenan, y en qué medida éstos dependen del material de origen, de la especie de lombriz de tierra y del proceso de vermicompostaje. El desarrollo de investigaciones en este sentido es fundamental para incrementar tanto la eficacia del vermicompost como bioplaguicida, como su valor comercial.

### **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo ha sido financiado por la Xunta de Galicia (proyectos 07MRU023383PR) y el Ministerio de Ciencia e Innovación (proyecto CTM2009-08477). María Gómez



ha sido financiada por una beca del Ministerio español de Educación. Cristina Lazcano ha sido financiada mediante un contrato del programa 'Ángeles Alvariño' (Xunta de Galicia).

## LITERATURA CITADA

- Abbasi, P. A., J. Al-Dhamani, F. Sahin, H. A. J. Hoitink, & S. A. Miller.** 1997. Induction of systemic resistance against bacterial spot in tomato seedlings by compost amended substrates and Actigard. *Plant Disease*. 86: 156-161.
- Albiach, R., R. Canet, F. Pomares, & F. Ingelmo.** 2001. Organic matter components and aggregate stability after the application of different amendments to a horticultural soil. *Bioresource Technology*. 76: 125-129.
- Alyokhin, A., G. Porter, E. Groden, & F. Drummond.** 2005. Colorado potato beetle response to soil amendments: a case in support of the mineral balance hypothesis? *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 109: 234-244.
- Arancon, N. Q., P. Galvis, C. A. Edwards, & E. Yardim.** 2003. The trophic diversity of nematode communities in soils treated with vermicompost. *Pedobiologia*. 47: 736-740.
- Arancon, N. Q., P. A. Galvis, C. A. Edwards.** 2005. Suppression of insect pest populations and damage to plants by vermicompost. *Bioresource Technology*. 96: 1137-1142.
- Arancon, N. Q., C. A. Edwards, R. Dick, L. Dick.** 2007a. Vermicompost tea production and plant growth impacts. *BioCycle*. 48: 51-52.
- Arancon, N. Q., C. A. Edwards, E. N. Yardim, T. J. Oliver, R. J. Byrne, & G. Keeney.** 2007b. Suppression of two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*), mealy bug (*Pseudococcus sp.*) and aphid (*Myzus persicae*) populations and damage by vermicomposts. *Crop Protection*. 26: 29-39.
- Aryantha, I. P., R. Cross, & D. I Guest.** 2000. Suppression of *Phytophthora cinnamomi* in potting mixes amended with uncomposted and composted animal manures. *Phytopathology*. 90: 775-782.
- Bailey, K. L., & G. Lazarovits.** 2003. Suppressing soil-borne diseases with residue management and organic amendments. *Soil Tillage Research*. 72: 69-180.
- Benítez, E., R. Melgar, H. Sainz, M. Gómez, & R. Nogales.** 2000. Enzyme activities in the rhizosphere of pepper (*Capsicum annuum*, L.) grown with olive cake mulches. *Soil Biology & Biochemistry*. 32: 1829-1835.
- Bilgrami, A. L.** 1996. Evaluation of the predation abilities of the mite *Hypoaspis calcuttaensis*, predaceous on plant and soil nematodes. *Fundamental and Applied Nematology*. 20: 96-98.
- Biradar, A. P., N. D. Sunita, R. G. Teggelli, & S. B. Devaranavdgi.** 1998. Effect of vermicomposts on the incidence of subabul psyllid. *Insect Environment*. 4: 55-56.
- Blouin, M., Y. Zuily-Fodil, A. T. Pham-Thi, D. Laffray, G. Reversat, A. Pando, J. Tondoh, & P. Lavelle.** 2005. Belowground organism activities affect plant aboveground phenotype, inducing plant tolerance to parasites. *Ecology Letters*. 8: 202-208.
- Borrero, C., J. Ordovás, M. I. Trillas, & M. Avilés.** 2006. Tomato *Fusarium* wilt suppressiveness. The relationship between the organic plant growth media and their microbial communities as characterised by Biolog®. *Soil Biology & Biochemistry*. 38: 1631-1637.
- Brown, M. W., T. Tworkoski.** 2004. Pest management benefits of compost mulch in apple orchards. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2004: 465-472.
- Bulluck, L. R., M. Brosius, G. K. Evanylo, & J. B. Ristaino.** 2002. Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms. *Applied Soil Ecology*. 19: 147-160.

- Chaoui, H. I., L. M. Zibilske, & T. Ohno.** 2003. Effects of earthworm casts and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability. *Soil Biology & Biochemistry*. 35: 295-302.
- Edwards, C. A.** 2004. *Earthworm ecology*. CRC Press, Boca Raton.
- Erhart, E., K. Burian, W. Hartl, & K. Stich.** 1999. Suppression of *Pythium ultimum* by biowaste composts in relation to compost microbial biomass, activity and content of phenolic compounds. *Journal of Phytopathology*. 147: 299-305.
- Ferreras, L., E. Gómez, S. Toresani, I. Firpo, & R. Rotondo.** 2006. Effect of organic amendments on some physical, chemical and biological properties in a horticultural soil. *Bioresource Technology*. 97: 635-640.
- Forge, T. A., S. Bittman, & C. G. Kowalenko.** 2005. Impacts of sustained use of dairy manure slurry and fertilizers on populations of *Pratylenchus penetrans* under tall fescue. *Journal of Nematology*. 37: 207-213.
- García-Gil, J. C., C. Plaza, P. Soler-Rovira, & A. Polo.** 2000. Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass. *Soil Biology & Biochemistry*. 32: 1907-1913.
- Gunadi, B., C. A. Edwards, & N. A. Arancon.** 2002. Changes in trophic structure of soil arthropods after the application of vermicomposts. *European Journal of Soil Biology*. 38: 161-165.
- Hoitink, H. A. J., & M. J. Boehm.** 1999. Biocontrol within the context of soil microbial communities: a substrate-dependent phenomenon. *Annual Review of Phytopathology*. 37: 427-446.
- Huelsenman, M. F., & C. A. Edwards.** 1998. Management of diseases in cucumbers (*Cucumis sativus*) and peppers (*Capsicum annuum*) by using composts as fertility inputs. Pp. 881-886. *In: Proceedings of the 1998 Brighton Crop Protection Conference: Pests & Diseases*. Volume 3. British Crop Protection Council, Farnham.
- Kerry, B.** 1988. Fungal parasites of cyst nematodes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 24: 293-305.
- Lores, M., M. Gómez-Brandón, D. Pérez-Díaz, & J. Domínguez.** 2006. Using FAME profiles for the characterization of animal wastes and vermicomposts. *Soil Biology & Biochemistry*. 38: 2993-2996.
- Morales, H., I. Perfecto, & B. Ferguson.** 2001. Traditional fertilization and its effect on corn insect populations in the Guatemalan highlands. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 84: 145-155.
- Morra, L., A. D. Palumbo, M. Bilotto, P. Ovieno, & S. Picascia.** 1998. Soil solarization: organic fertilization and grafting contribute to build an integrated production system in a tomato-zucchini sequence. *Colture-Protette*. 27: 63-70.
- Nakamura, Y.** 1996. Interactions between earthworms and microorganisms in biological control of plant root pathogens. *Farming Japan*. 30: 37-43.
- Nakasone, A. K., W. Bettiol, & R. M. de Souza.** 1999. The effect of water extracts of organic matter on plant pathogens. *Summa Phytopathologica*. 25: 330-335.
- Nardi, S., F. Morari, A. Berti, M. Tosoni, & L. Giardini.** 2004. Soil organic matter properties after 40 years of different use of organic and mineral fertilisers. *European Journal of Agronomy* 21: 357-367.
- Noble, R., & E. Coventry.** 2005. Suppression of soil-borne plant diseases with composts: a review. *Biocontrol Science & Technology*. 15: 3-20.
- Orlikowski, L. B.** 1999. Vermicompost extract in the control of some soil borne pathogens. Proceedings of the 51<sup>st</sup> International Symposium on Crop Protection. *Mededelingen Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen*. 64: 405-410.
- Patriquin, D. G., D. Baines, & A. Abboud.** 1995. Diseases, pests and soil fertility. Pp. 161-174. *In: H. F. Cook and H. C. Lee (Eds.). Soil management in sustainable agriculture*. Wye College Press, Wye.

- Piedra Buena, A., A. García-Álvarez, M. A. Díez-Rojo, C. Ros, P. Fernández, A. Lacasa, & A. Bello. 2007. Use of pepper crop residues for the control of root-knot nematodes. *Bioresource Technology*. 98: 2846-2851.
- Ponti, L., M. A. Altieri, & A. P. Gutierrez. 2007. Effects on crop diversification levels and fertilization regimes on abundance of *Brevicoryne brassicae* (L.) and its parasitisation by *Diaretia rapae* in broccoli. *Agricultural and Forest Entomology*. 9: 209-214.
- Ramesh, P. 2000. Effects of vermicomposts and vermicomposting on damage by sucking pests to ground nut (*Arachis hypogea*). *Indian Journal of Agricultural Science*. 70(5): 334.
- Rao, K. R. 2002. Induced host plant resistance in the management of sucking insect pests of groundnut. *Annals of Plant Protection Sciences*. 10: 45-50.
- Ribeiro, C. F., E. H. Mizobusi, D. G. Silva, J. C. R. Pereira, & L. Zambolin. 1998. Control of *Meloidogyne javanica* on lettuce with organic amendments. *Fitopatologia Brasileira*. 23: 42-44.
- Ros, M., S. Klammer, B. Knapp, K. Aichberger, & H. Insam. 2006. Long-term effects of compost amendment of soil on functional and structural diversity and microbial activity. *Soil Use & Management*. 22: 209-218.
- Sahni, S., B. K. Sarma, D. P. Singh, H. B. Singh, & K. P. Singh. 2007. Vermicompost enhances performance of plant growth-promoting rhizobacteria in *Cicer arietinum* rhizosphere against *Sclectrotium rolfsii*. *Crop Protection*. 27: 369-376.
- Siddiqui, Z. A., & A. Mahmood. 2001. Effects of rhizobacteria and root symbionts on the reproduction of *Meloidogyne javanica* on growth of chickpea. *Bioresource Technology*. 79: 41-45.
- Singh, U. P., S. Maurya, & D. P. Singh. 2003. Antifungal activity and induced resistance in pea by aqueous extract of vermicompost and for control of powdery mildew of pea and balsam. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*. 110: 544-553.
- Swathi, P., K. T. Rao, & P. A. Rao. 1998. Studies on control of root-knot nematode *Meloidogyne incognita* in tobacco miniseries. *Tobacco Research*. 1: 26-30.
- Szczeczek, M. 1999. Suppressiveness of vermicompost against *Fusarium* wilt of tomato. *Journal of Phytopathology*. 147: 155-161.
- Szczeczek, M., & U. Smolinska. 2001. Comparison of suppressiveness of vermicomposts produced from animal manures and sewage sludge against *Phytophthora nicotianae* Breda de Haan var. *nicotianae*. *Journal of Phytopathology*. 149: 77-82.
- Tilston, E. L., D. Pitt, & A. C. Groenhof. 2002. Composted recycled organic matter suppresses soil-borne diseases on field crops. *New Phytologist*. 154: 731-740.
- Van Os, G. J., & J. H. Van Ginkel. 2001. Suppression of *Pythium* root rot in bulbous iris in relation to biomass and activity of the soil microflora. *Soil Biology & Biochemistry*. 33: 1447-1454.
- Weber, J., A. Karczewska, J. Drozd, M. Licznar, E. Jamroz, & A. Kocowicz. 2007. Agricultural and ecological aspects of a sandy soil as affected by the application of municipal solid waste composts. *Soil Biology & Biochemistry*. 39: 1294-1302.
- Yardim, E. N., N. A. Arancon, C. A. Edwards, T. J. Oliver, & R. J. Byrne. 2006. Suppression of tomato hornworm (*Manduca quinquemaculata*) and cucumber beetles (*Acalymma vittatum* and *Dia-botrica undecimpunctata*) populations and damage by vermicomposts. *Pedobiologia*. 50: 23-29.
- Zaller, J. G. 2006. Foliar spraying of vermicompost extracts: effects on fruit quality and indications of late-blight suppression of field-grown tomatoes. *Biological Agriculture and Horticulture*. 24: 165-180.