

# NEMATODOS

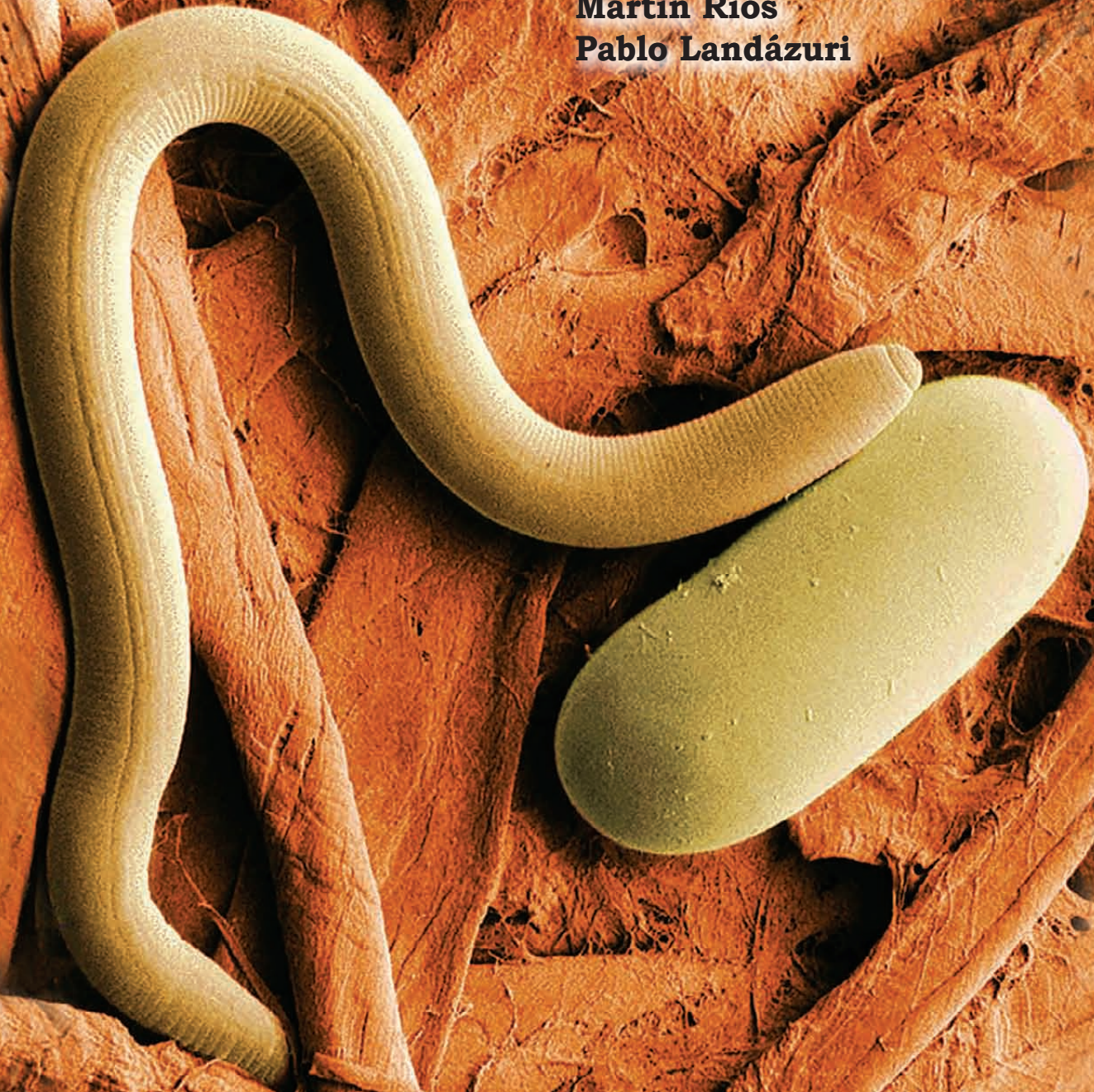
FITOPATÓGENOS Y SUS ESTRATEGIAS DE CONTROL

**Ignacio Armendáriz**

**Diana Quiña**

**Martín Ríos**

**Pablo Landázuri**



**ESPE**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



# **NEMATODOS FITOPATÓGENOS Y SUS ESTRATEGIAS DE CONTROL**

**IGNACIO ARMENDÁRIZ  
DIANA QUIÑA  
MARTÍN RÍOS  
PABLO LANDÁZURI**



# **NEMATODOS**

## **Fitopatógenos y sus estrategias de control**

## **Nematodos fitopatógenos y sus estrategias de control**

PhD. Ignacio Armendáriz G.; Lcda. Diana Quiña C.; Lcdo. Martín Ríos S.;  
Dr. Pablo Landázuri A.

**Primera edición electrónica.** Junio 2015

**ISBN:** 978-9978-301-63-0

**Revisión científica:** Dr. Rafael Ocete; Dra. María Ángeles Hernández M.

**Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE**

Grab. Roque Moreira Cedeño

Rector

**Publicación autorizada por:**

Comisión Editorial de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE

**Edición y producción:**

David Andrade Aguirre

**Diseño:**

Pablo Zavala A.

Derechos reservados. Se prohíbe la reproducción de esta obra por cualquier medio impreso, reprográfico o electrónico.

El uso de fotografías, gráficos, cuadros, tablas y referencias es de **exclusiva responsabilidad** del autor.

Los derechos de esta edición electrónica son de la **Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE**, para consulta de profesores y estudiantes de la universidad e investigadores en: <http://www.repositorio.espe.edu.ec>

**Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE**

Av. General Rumiñahui s/n, Sangolquí, Ecuador.

<http://www.espe.edu.ec>

# Introducción





## Las plagas y los nematodos en la agricultura

La FAO considera como **plaga** a cualquier especie, raza o biotipo vegetal o animal o agente patógeno dañino para las plantas o productos vegetales.

En sentido amplio, el concepto de plaga se refiere a cualquier ser vivo que el hombre considera perjudicial para su persona o su propiedad. Por ello podemos hablar de plagas de interés médico o veterinario, tales como los vectores de enfermedades (pulgas, mosquitos, garrapatas, etc.) y de plagas denominadas agrícolas, que afectan a las plantas cultivadas así como a los productos vegetales, ya sean frescos o almacenados. Debe entenderse como plaga a una situación en la cual un ser vivo produce daños económicos. Es decir, si existe la especie potencialmente dañina y se dan las condiciones que permiten el desarrollo de poblaciones suficientes, se está ante la presencia de una plaga. Se habla así de un nivel de daño, concepto económico que justifica una actuación. Dicho de otro modo hay que valorar los beneficios y los costes de cualquier medida antes de realizarla. Y por otra parte podemos aplicar el proverbio aquel de que una golondrina no hace primavera; se necesita una población generalmente grande para que se provoquen daños. En esta valoración económica falta incluir el daño, no medible desde el punto de vista económico, que afecta al medio ambiente.

Podemos afirmar que las plagas han existido siempre junto a la agricultura, con relatos tan antiguos como el de las 10 plagas de Egipto (Éxodo, 11 y 12), que presentan una sucesión lógica en el tiempo, ya que una plaga crea las condiciones para la siguiente. Como reflexión pensemos que se trata en todo caso de rebajar el daño que originan las plagas, pero sabiendo que siempre estarán ahí y que tenemos que convivir con ellas.

Desde el punto de vista de su importancia fitosanitaria cabe establecer una clasificación, no exhaustiva, de las plagas como:

**Plaga cuarentenaria.** De importancia económica potencial para un área, cuando aún la plaga no existe o, si existe, no está extendida y se encuentra bajo control oficial. P.ej. el ácaro *Panonychus ulmi* en Ecuador.

**Plaga no cuarentenaria.** No es considerada como cuarentenaria para un área determinada según el concepto anterior. P.ej. el picudo del plátano, *Cosmopolites sordidus*.



Plaga **reglamentada**. Plaga cuarentenaria o no cuarentenaria sometida a una reglamentación. P.ej. el hongo *Botryosphaeria ribis*.

Plaga **forestal**. Propia de los productos forestales. P.ej. El coleóptero *Hyllobius abietis*.

Plaga **exótica**. No existe en un área determinada. P.ej. La bacteria *Xanthomonas cucurbitae*.

Lógicamente se pueden combinar las categorías y así una plaga forestal puede ser exótica y cuarentenaria.

El término **nematodo** proviene de los vocablos griegos (*Nema* = hilo y *Oidos* = con aspecto de). Son animales invertebrados, pseudocelomados, con unas 25000 especies descritas.

Si bien los nematodos tienen en general aspecto de gusano, son taxonómicamente bastante distintos de los anélidos o verdaderos gusanos y de otros grupos de invertebrados que tiene el mismo nombre, como los poliquetos o las larvas de insectos conocidas con este nombre. Algunos nematodos están relacionados con la salud humana o animal, como *Ascaris lumbricoides* y *Enterobius vermicularis*, y causan diversas enfermedades y parasitosis como la triquinosis, filarisis, anisakiasis, anquilostomiasis, ascariasis, estrongiloidiasis y toxocariasis. Los nematodos probablemente son los organismos multicelulares más comunes.

Con una amplia distribución, se presentan en gran número y en muchos hábitats o ambientes diferentes, como suelos, mar, lagos y ríos. Dependen del agua para su supervivencia, aunque algunas especies pueden tolerar sequías prolongadas. Aparecen en registros fósiles con millones de años de antigüedad (Fig. 1).

Según su interacción con la agricultura podemos distinguir tres grupos:

1. **Fitopatógenos**. Afectan de forma negativa a los cultivos, siendo en ocasiones plagas muy importantes. Son más de 4000 especies entre las que destacan *Meloidogyne*, *Hemicriconemoides*, *Longidorus*, *Trichodorus*, *Paratrichodorus*, *Belonolaimus*, *Criconemella*, *Criconema*, *Xiphinema*, *Paratylenchus*, y *Helicotylenchus* entre otros (Guzmán *et al.*, 2012).

2. **Entomopatógenos**. Son unas cuantas especies de nematodos capaces de infectar a los insectos y otro tipo de plagas, controlando de forma natural sus poblaciones. Destacan los géneros *Heterorhabditis* y *Steinernema*.

3. **De vida libre.** Están en el medio cumpliendo una labor fundamental en el equilibrio y desarrollo del mismo. Agrupan a la mayoría de las especies y su papel es imprescindible en la dinámica del suelo. Se clasifican por su alimentación en distintos grupos tróficos, como bacteriófagos, omnívoros, predadores, fungívoros (consumidores de hongos) y fitófagos, abarcando ambientes acuáticos y terrestres. El número estimado de especies puede llegar al millón. Un investigador en nematodos, N.A. Cobb, afirmó que si los extendiéramos cubrirían en una sola capa toda la superficie del planeta. Uno de los primeros genomas descifrados por el hombre fue el del nematodo *Caenorhabditis elegans* (Fig. 2), usado ampliamente como modelo en investigaciones médicas.

De los dos primeros hablaremos en esta obra, dadas sus relaciones fundamentales con la agricultura, ya sea como plaga o como elemento de control biológico.



Figura 1: nematodo de 40 millones de años emergiendo de un insecto (Foto: George Poinar, Oregon State University).



Figura 2: *Caenorhabditis elegans*.

En: [www.nematodes.org](http://www.nematodes.org), consultado el 16/06/2014.

# Capítulo

A microscopic image showing a cross-section of plant tissue. A yellowish, elongated nematode is visible, partially embedded in the tissue. The surrounding tissue is reddish-brown and shows signs of damage or discoloration.

# 2

**NEMATODOS FITOPATÓGENOS**





## 2.1 generalidades y clasificación de los nematodos fitopatógenos

Los nematodos fitopatógenos o fitoparásitos, miden en general menos de 1 mm de largo, carecen de aparato respiratorio y circulatorio, presentan simetría bilateral y poseen un estilete (Fig. 3). En ocasiones la cutícula presenta una anillación marcada, como en el caso de los Criconemátidos.

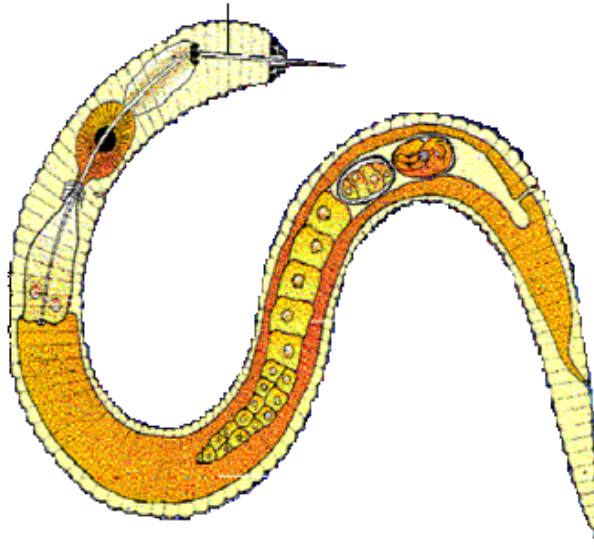


Figura 3: esquema de las partes constitutivas de un nematodo Fitopatógeno. En: [http://www.pv.fagro.edu.uy/fitopato/cursos/fitopato/Materiales/Teoricos\\_2011/Nematodos2011.pdf](http://www.pv.fagro.edu.uy/fitopato/cursos/fitopato/Materiales/Teoricos_2011/Nematodos2011.pdf)). Consultado el 24/06/2014.

El ataque de los nematodos fitopatógenos provoca síntomas en raíces, así como en los órganos aéreos de las plantas. En las raíces es muy común ver nudos, agallas, ramificaciones excesivas y pudriciones, cuando el ataque va acompañado de ataque bacteriano (Agrios, 1995). Los trastornos radiculares están acompañados con síntomas no característicos como la falta de crecimiento de las plantas. A veces se confunden con carencias nutricionales, ya que los nematodos afectan a las plantas mediante la privación de nutrientes y la alteración de las funciones fisiológicas (INIAP, 1992; Agrios, 1995).

Los nematodos fitopatógenos pueden clasificarse según el tipo de parasitismo que ejercen sobre sus hospederos. Así tenemos:

**Endoparásitos.** El adulto penetra totalmente en la planta, los huevos se desarrollan dentro y sólo las formas juveniles salen al exterior liberándose al morir la planta. Se alimentan por sincitios o células gigantes. Ejemplos: *Meloidogyne*.

**Semi-endoparásitos.** El adulto se fija profundamente a la planta hospedadora, dejando parte del cuerpo expuesto al exterior. La puesta se libera al suelo al eclosionar. Se alimentan por sincitios. Ejemplos: *Heterodera*, *Globodera* y *Pratylenchus* (Fig. 4).

**Ectoparásitos sedentarios.** Introducen únicamente la cabeza en la planta, no suelen desprenderse salvo para la reproducción. Realizan la puesta directamente en el suelo. Ejemplos: *Paratylenchus* y *Rotylenchus*.

**Ectoparásitos migradores,** pueden ser asimilados a nematodos de vida libre con alimentación fitófaga. Sólo introducen en la planta el estilete. Algunos forman sincitios. Ejemplos: *Xiphinema* y *Trichodorus*.



Figura 4: *Pratylenchus*. En [www.nemachile.cl](http://www.nemachile.cl). Consultado el 16/06/2014.

Estos nematodos atacan a las plantas mediante la inserción de su estilete en el tejido. Esto provoca laceración del tejido y la inoculación de sustancias tóxicas, provenientes de las glándulas del esófago (INIAP, 1992). La succión es inducida por contracciones del bulbo muscular situado en el esófago del nematodo. Los nematodos rara vez llegan a matar a las plantas, pero cuando el ataque es producido por un complejo nematodo-bacteria, nematodo-virus o nematodo-hongo puede producirse la muerte de las plantas en poco tiempo (Fraga, 1984).

## 2.2 Importancia económica de los daños causados por los nematodos

Las estimaciones de las pérdidas causadas por los nematodos en distintos cultivos permiten comprender la importancia de estos parásitos desde el punto de vista económico. Se generan pérdidas que han podido evaluarse

más correctamente desde la utilización de nematicidas, que permitieron realizar ensayos de comparación entre plantas sanas y afectadas. Sus efectos son comúnmente sobrestimados por los agricultores, agrónomos y consultores que realizan manejo de plagas, al mezclarlos con otras causas como déficit de agua o de nutrientes, ataques de hongos, variedades incorrectas, fototoxicidad, etc.

Se ha estimado que cerca del 10% de la producción mundial de cultivos se pierde como resultado de los daños causados por los nematodos (Whitehead, 1998). En los Estados Unidos el rango más alto determinado de pérdidas fueron para las Solanáceas (tomate, pimiento, berenjena y papa) (9,4%) y el menor para crucíferas (5,3%) referidos a 1994. El género con mayor prevalencia fue *Meloidogyne*. Sin embargo las pérdidas en promedio de todos los vegetales cultivados (5,2%) disminuyeron a la mitad de lo reportado en 1971 (11%). Esta reducción se debió principalmente al uso de nematicidas y de variedades resistentes (Koenning *et al.*, 1999).

En Colombia se obtuvo una reducción en producción para naranjilla (*Solanum quitoense*) en campo del 50%, en parcelas sin control y en promedio un 40% en reducción de los parámetros de desarrollo y crecimiento en invernadero debido al ataque de nematodos, prevaleciendo *M. incognita* raza 2 (FONTAGRO, 2000). En Ecuador las pérdidas por nematodos en el cultivo de tomate de árbol (*Solanum betacea*) en el ecotipo amarillo, alcanza un estimado del 90% y una reducción de la vida útil de la planta cercano al 50% (de tres años y medio a uno y medio), siendo el género de nematodo más prevalente *Meloidogyne* (FONTAGRO, 2000).

En el estudio realizado por Robalino y Jijón (1976) en Ecuador sobre la resistencia a *Meloidogyne* spp. en diez variedades de tomate de mesa (428-F2, Marglober, Marmande, San Marzano, Mana Lucie, Marmande of extra, Pierre, New Stone, Jefferson y Manapal), en los cuales se inocularon tres densidades de larvas de *Meloidogyne* spp. por cada 100 cc de suelo (10, 100 y 500) se encontraron pérdidas en promedio del 6,70%, 28,33 % y 53,27% con respecto al testigo sin inocular.

Las pérdidas que se reportan en la producción mundial por causa de *Meloidogyne* son aproximadamente de 115 000 millones de dólares anuales. En Ecuador, se encuentran presentes en todas las regiones, aunque las poblacio-

nes más altas están en las zonas calientes, con ciclos biológicos que fluctúan entre 21 y 50 días e índices de reproducción sobre los 1000 huevos por hembra. Los cultivos que presentan las mayores pérdidas económicas a causa de este nematodo son las hortalizas, leguminosas y frutales (INIAP, 2006).

Son solo unos ejemplos para indicar la importancia de las pérdidas agrícolas originadas por estos nematodos.

Como se hablará más adelante en esta obra hay una serie de sustancias comerciales conocidos como nematicidas y que, correctamente empleados, ayudan a controlar las poblaciones de estas especies parásitas, unido a las prácticas agrícolas convenientes.

### **2.3 *Meloidogyne* spp. Generalidades, taxonomía y ciclo de vida**

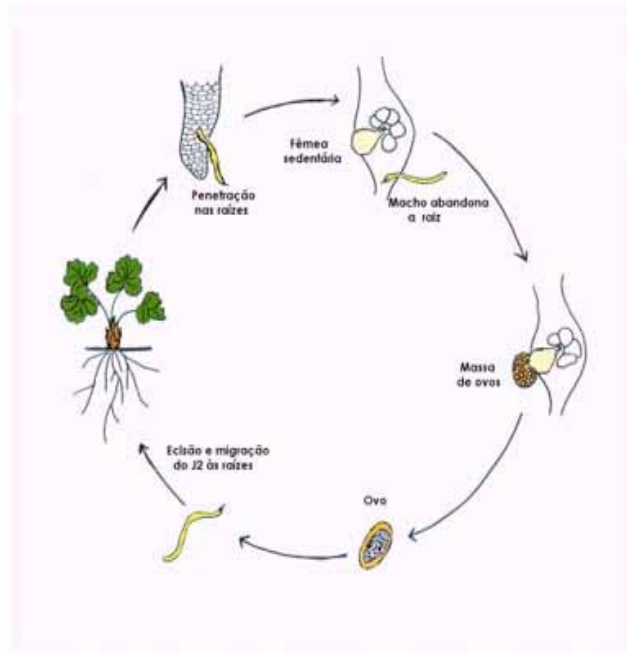
El primer reconocimiento del género *Meloidogyne* como un nematodo que causaba nudos en las raíces de pepino bajo invernadero, se realizó en 1855 en Inglaterra por Berkeley (Cepeda, 1996). Las especies de este género son llamadas nematodos formadores de nódulos, nudos o agallas. En inglés se les conoce como *root knot nematodes* (Yépez, 1972). Los nódulos o agallas de la raíz, son muy destructivos y pueden producir lesiones de magnitud en la planta. Esto depende de las condiciones de temperatura, humedad, textura de suelo y tipo de hospedero (Cepeda, 1996). Las plantas perjudicadas por este nematodo son numerosas, pero hay algunas en las que su infección se convierte en un factor limitante para el cultivo, pudiendo citarse al tomate riñón, pimiento, berenjena, papa, tabaco, remolacha, algodón, soya y diversas especies de cucurbitáceas. En viveros de plantas forestales y frutales es también frecuente la presencia de *Meloidogyne* (Fraga, 1974).

Dentro del género *Meloidogyne* han sido descritas más de ochenta especies, de las cuales diez son importantes organismos causantes de plagas y cuatro de ellas se encuentran distribuidas en áreas agrícolas de todo el mundo, por lo que se consideran las principales especies de este género. Estas últimas especies son: *M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria* y *M. hapla*. Las dos primeras 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.



Estas especies son parásitos obligados de las plantas y endoparásitos. En la figura 5 puede verse un esquema de su ciclo biológico. Su reproducción ocurre después de que el segundo estadio larval infectivo (J2) penetra en las raíces, justamente sobre la caliptra (punta de la raíz). Se mueven entre las células no diferenciadas de la raíz y colocan sus cabezas en el cilindro central de desarrollo, cerca de la región de elongación celular, y sus cuerpos en la corteza. Con sus estiletes perforan las paredes de las células e inyectan secreciones de sus glándulas esofágicas (Taylor y Sasser, 1983).

Su acción provoca la aparición de nódulos en las plantas (Fig. 6). En hospederos susceptibles por medio de su estilete perforan las células en el cilindro vascular, aumentando así la proporción de la división celular, dando origen a células gigantes, llamadas sincitios. La respuesta de la planta es el engrosamiento de la raíz formando agallas visibles (Taylor y Sasser, 1983; Cepeda, 1996).



**Figura 5: ciclo biológico de Meloidogyne.** En: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Morango/SistemaProducaoMorango/cap08.htm>. Consultado el 23/02/2015.

Para convertirse en hembra, el juvenil J2 se alimenta y empieza a engordar rápidamente, dejando de nutrirse en los estados larvarios 3 y 4, despren-

diéndose de las cutículas en la muda final, a la vez que se forman el útero y la vagina. Para la formación del macho en el tercer y cuarto estado el nematodo engorda, pero el estilete ya no es muy visible, se ha degenerado el bulbo medio y la gónada se ha alargado. Posteriormente ocurre una metamorfosis que se caracteriza por el desarrollo del cuerpo alargado dentro de una cutícula larval (Cepeda, 1996).

El ciclo de vida dura entre 30 y 50 días, dependiendo de las condiciones ambientales, pero el macho tiene una vida más corta. Bajo condiciones de sequía y temperaturas bajas, la eclosión de los huevos se detiene por períodos limitados. Así mismo se ha observado que después de una sequía prolongada las lluvias pueden provocar que un elevado número de larvas de segundo estadio queden libres en el suelo (Cepeda, 1996). En lugares cálidos e invernaderos pueden contarse hasta doce generaciones anuales (Fraga, 1974).

## **2.4 Control químico**

En la actualidad los productos químicos son de amplio uso en la agricultura y en múltiples ámbitos de la vida. La agricultura depende de abonos, correctores de suelo, insecticidas, fungicidas, herbicidas y plástico y materiales sintéticos, por citar algunos de los productos químicos que son empleados a diario. De su buen uso depende el disminuir su impacto en la naturaleza, tanto por su producción como por las contaminaciones que aumentan su mal empleo y su abandono en el campo.

### **2.4.1 Nematicidas**

Son productos químicos utilizados para el control de nematodos parásitos de plantas. Los agricultores manejan nematicidas para proteger a las plantas susceptibles de ataques de nematodos, incrementando el rendimiento y calidad de la cosecha (Llerena y Llerena, 2010).

El principal uso de los nematicidas es el control de las poblaciones de nematodos antes de sembrar. La aplicación de nematicidas en el suelo se denomina tratamiento del suelo. Pero también hay algunos nematicidas que son usados

para matar nematodos que han infectado al hospedero. Su empleo se ha realizado desde 1946 y con el paso de los años se ha incrementado. Son beneficiosos utilizándolos en cultivos de alto valor económico, como el tabaco, hortalizas, algodón, huertos, plantaciones de cítricos, viveros e invernaderos (Taylor, 1971).

En Ecuador el uso de nematicidas se ha incrementado constantemente. Un ejemplo son las importaciones de estos productos, que desde 1978 a 1998 aproximadamente han cuádruplicado su cantidad, de 531 660 a 2 165 161 kg/año respectivamente (Terán, 2007). Los nematicidas son relativamente caros y su aplicación requiere de la utilización de equipos adecuados. En los inicios del desarrollo de este mercado, fue evidente que no era posible controlar a todos los nematodos del suelo con el empleo de estos productos. Con el uso de nematicidas químicos, los productores esperan incrementar el valor de la cosecha al menos de tres a cuatro veces.

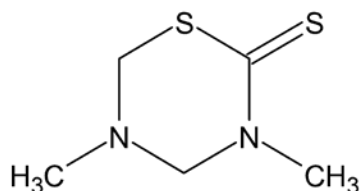
Un grupo de nematicidas son productos principalmente fumigantes de suelo, que se incorporan en los poros del suelo. El proceso comienza con la evaporación, produciendo gases que entran en el cuerpo de los nematodos por la cutícula, originando la muerte de los mismos (Taylor y Sasser, 1978).

A continuación se describen los principales nematicidas utilizados actualmente en la agricultura. Esta información básica es obtenida del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) y de Llerena y Llerena (2010).



Figura 6: nódulos de *Meloidogyne* en raíz de nabo. En: <http://www.pv.fagro.edu.uy/>. Consultado el 13/05/2014.

## Basamid



**Nombre químico:** Tetrahydro-3,5-dimetil-2H-1,3,5-thiadiazine-2-thione

**Nombres comerciales:** Basamid®, Crag 974, Mylone®, Dazomet

**Clasificación Pesticida:** fumigante del suelo nocivo y no tóxico.

**Formulaciones:** los productos comerciales granuladas generalmente contienen uno o más ingredientes inertes. Basamid Granular: Dazomet (99,0%) ingredientes inertes (1%).

**Patógenos que controla:** es usado para controlar un alto rango de malezas. Además controla nematodos fitopatógenos como especies de *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Rotylenchus*, *Tylenchorrhynchus* y *Xiphinema*. Dazomet es también efectivo contra enfermedades causadas por hongos como el Damping off, *Aphanomyces* spp., *Fusarium* spp., *Phytophthora cactorum*, *Pythium* spp., *Rhizoctonia* spp., *Thielaviopsis basicola* y *Verticillium* spp.

**Modo de acción:** Basamid se descompone rápidamente en suelos húmedos para formar metil isotiocianato (MITC), formaldehído, ácido sulfúrico y monometilamina, siendo tóxicos todos estos productos. MITC es el principal compuesto tóxico. Estos compuestos se difunden en el suelo, matando a los organismos vivos que se encuentran en él.

**Persistencia:** la descomposición de este producto depende de la humedad, la temperatura y el tipo de suelo. Bajas temperaturas y alta alcalinidad o salinidad del suelo disminuyen la eficacia del producto. Mientras que suelos con alta salinidad o alcalinidad, húmedos y con temperaturas altas favorecen la descomposición del químico, aumentando su eficacia en el control de patógenos. Tiene una vida media con rangos de pocos días a algunas semanas, persistiendo más en el suelo con temperaturas bajas y condiciones húmedas. La vida media del formaldehído es de 2 a 3 días en el suelo. La monometilamina tiene una vida media de 2 a 4 días en el suelo y reacciona con el formaldehído para producir dióxido de carbono y amoníaco.

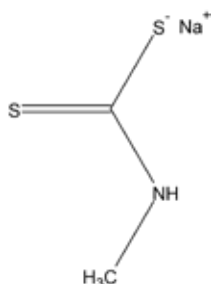


**Toxicidad:** no se debe aplicar Basamid en cultivos en crecimiento. Además no sembrar ningún cultivo hasta que los residuos de este producto se hayan eliminado. Las pruebas de germinación son de gran ayuda para conocer si el suelo presenta residualidad del producto. Este producto es tóxico para microorganismos del suelo, es moderadamente tóxico para aves y mamíferos, pero es poco tóxico para abejas.

En contacto con humanos Dazomet en pequeñas concentraciones causa irritación en ojos y piel, mientras que en altas concentraciones puede causar la muerte en cortos períodos de tiempo. La probable dosis oral letal para humanos es de 50 a 500 mg kg<sup>-1</sup> de peso.

**Primeros auxilios:** si el producto ha sido ingerido, inducir al vómito con dos vasos de agua caliente y tocándose la garganta. Repetir hasta que el vómito sea claro. No inducir al vómito si la persona esta inconsciente. Si el contacto ha sido en los ojos rápidamente lavarlos con abundante agua y llamar al médico. Si el contacto ha sido con la piel rápidamente lavar las partes afectadas con abundante agua y jabón. Si la irritación persiste es necesario llamar al médico. Guardar siempre el envoltorio del producto. Este último consejo es válido para cualquier producto que se emplee en agricultura.

## Metam Sodio



**Nombre químico:** N-metil ditiocarbamato de sodio

**Nombres comerciales:** Amvac Metam Sodium®, Busan®, Metam CL-RTM 42%, Sectagon 42® y Vapam®

**Clasificación pesticida:** fumigante del suelo, categoría III Organización Mundial de la Salud (OMS) (ver Tabla I).

**Tabla I:** Clasificación de la Organización Mundial de la Salud para el riesgo de los pesticidas.

Clasificación de la OMS según riesgo	Clasificación del peligro	Color de la banda	Leyenda
CLASE Ia	MUY TÓXICO	ROJO	MUY TÓXICO
CLASE Ib	TÓXICO	ROJO	TÓXICO
CLASE II	NOCIVO	AMARILLO	NOCIVO
CLASE III	CUIDADO	AZUL	CUIDADO
Productos que normalmente no ofrecen peligro		VERDE	CUIDADO

**Formulaciones:** N-metil ditiocarbamato de sodio (41,82%) e ingredientes inertes (58,18%).

**Patógenos que controla:** Metam Sodio es un producto de amplio espectro. Controla malezas, no permitiendo su germinación, combate a nematodos fitopatógenos y hongos parásitos de plantas como *Rhizoctonia*, *Pythium*, *Phytophthora*, *Verticillium* y *Sclerotinia*.

**Modo de Acción:** este producto aplicado al suelo se descompone rápidamente en el gas fumigante metil isotiocianato, que es su componente activo.

**Persistencia:** dependiendo de las condiciones climáticas y el tipo de suelo, el metil isotiocianato se disemina en el suelo de 24 a 48 horas después de la aplicación, aunque si las condiciones no son favorables, es decir suelo seco y bajas temperaturas, el MITC puede permanecer en el suelo por algunas semanas sin reaccionar.

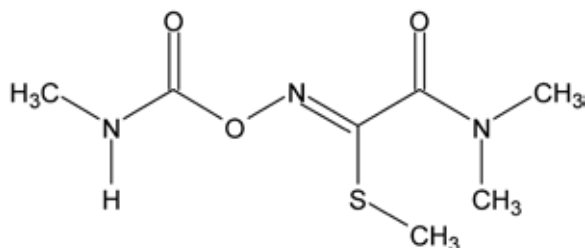
Otro producto que se obtiene de la descomposición del Metam Sodio es el sulfuro de hidrógeno cuyo olor característico es similar al huevo en estado de descomposición.

**Toxicidad:** tóxico para cultivos establecidos. Se emplea antes de la siembra. Siguiendo las recomendaciones para el uso, Metam Sodio no presenta residualidad en los cultivos, ya que este producto se descompone rápidamente en el suelo.

**Primeros Auxilios:** en caso de ingestión, provocar el vómito si la persona está consciente y llamar inmediatamente al médico. En caso de inhalación, retirar a la persona intoxicada del lugar contaminado para evitar mayor con-

tacto y dar respiración artificial o administrar oxígeno, si fuera necesario. En caso de contacto con la piel, lavar el área contaminada con agua y jabón. En caso de contacto con los ojos, lavarlos con agua corriente durante un mínimo de 15 minutos.

## Oxamil



**Nombre químico:** S-metil N', N',-dimetil-N-(metilcarbamoiloxi)-1-tio-oxamimidato.

**Nombres Comerciales:** Blade, DPX 1410, Oxamil, Oxamimidic Acid, Pratt, Thioxamil y Vydate.

**Clasificación pesticida:** carbámico, categoría OMS Ib.

**Formulaciones:** concentrados solubles.

**Patógenos que controla:** Oxamil es un insecticida/acaricida/nematicida del grupo de los carbamatos, que controla una amplia gama de insectos, ácaros y nematodos.

**Modo de acción:** algunas veces actúa de forma sistémica y otras en contacto sobre la plaga. Oxamil es usado sobre cultivos a campo abierto, vegetales, frutas y plantas ornamentales y puede ser aplicado directamente sobre las plantas o la superficie del suelo.

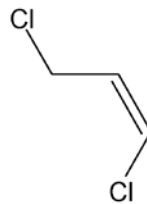
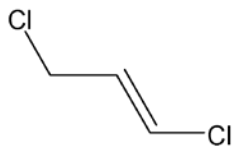
**Persistencia:** no se considera persistente en el suelo y presenta una bioacumulación ligera.

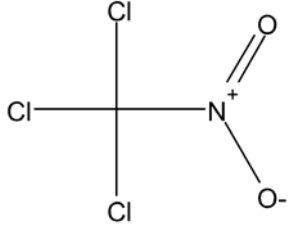
**Toxicidad:** los productos que contienen Oxamil son restringidos porque presentan toxicidad en humanos, pájaros y mamíferos. Es importante destacar que este producto sólo puede ser comprado por empresas o aplicadores especializados o certificados. Las formulaciones granuladas están regularizadas en los Estados Unidos. Oxamil es altamente tóxico por vía oral. Su dosis letal media (DL50) es de 5,4 mg · kg<sup>-1</sup> en ratas. La exposición a este compuesto tiene efectos similares a otros carbamatos. Es capaz de tener efectos

inhibitorios de la colinesterasa, en corto tiempo y reversibles. Estos efectos incluyen: dolor de cabeza, náusea, sudoración, lagrimación, temores y visión borrosa. Tiene una muy baja toxicidad a través de la piel. Su  $DL_{50}$  es de  $2960 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  en conejos. La exposición a través de la piel y los ojos puede causar envenenamiento, aunque su absorción a través de ojos y piel, así como el tracto digestivo es muy lenta. No causa efectos en la reproducción humana. No tiene efectos teratogénicos, carcinogénicos ni mutagénicos demostrados.

**Primeros auxilios:** en caso de contacto con los ojos lavar con agua abundante durante 15 a 20 minutos. En caso de contacto con la piel retirar la ropa contaminada y lavar con agua según la pauta indicada. En caso de inhalación llevar al paciente a un lugar ventilado y suministrar respiración artificial si fuera necesaria. En caso de ingestión suministrar agua y provocar el vómito si la persona está consciente.

**Telone**



Cis- dichloropropeno      1,3	Trans- dichloropropeno      1,3
 <p>Cloropicrina (Tricloronitrometano)</p>	

**Nombre químico:** 1-3 dicloropropeno 77,9% y Tricloronitrometano 16,5%.

**Nombres comerciales:** Telone, Drafol One, Spintor, Telopic, InLine y Certis.

**Clasificación pesticida:** uso restringido. Tóxico y peligroso para el medio ambiente.

**Formulaciones:** líquido.

**Patógenos que controla:** principalmente hongos, hierbas infestantes, bacterias, nematodos y sinfílicos.

**Modo de acción:** es un fumigante líquido, en contacto con el aire se transforma inmediatamente en gas. Se debe preparar el suelo, el mismo que debe estar libre de terrones grandes o material vegetal sin descomponer. La humedad del suelo no debe sobrepasar el 50% de la capacidad del campo, de tal forma que se pueda acceder fácilmente con un tractor. Después de la aplicación, el área tratada debe ser cubierta en su totalidad por un plástico durante dos semanas, sin dejar espacios por donde se pueda escapar el producto. Durante ese tiempo es importante que el personal no ingrese al área, al igual que no se realicen riegos intentando aumentar la humedad del suelo, ya que esto podría afectar negativamente a la movilidad del producto en el perfil del suelo. **Persistencia:** la siembra se debe realizar tres semanas después de la aplicación, asegurándose de que no haya residuos del producto o sus derivados en el suelo. Para facilitar la liberación de residuos se debe remover el suelo muy bien antes de la siembra.

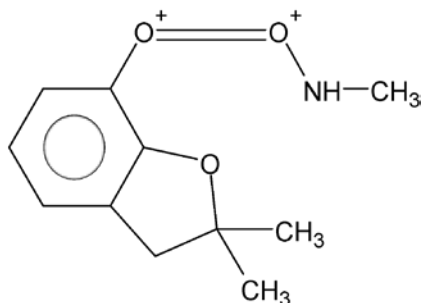
**Toxicidad:** este producto debe ser manipulado necesariamente con guantes y botas de neopreno, overol resistente a líquidos corrosivos, máscara para gases que cubra totalmente el rostro y un casco plástico que cubra la cabeza, para así evitar cualquier contacto directo con la piel, ojos y evitando también la aspiración de vapores. Después de la aplicación del producto es importante lavar y limpiar adecuadamente el equipo de protección personal, asegurándose de no contaminar ninguna fuente de agua. El producto no debe ser usado, transportado, ni almacenado cerca de fuentes de calor, productos alimenticios, medicinas u otros productos químicos. El personal debe lavarse con abundante agua y jabón después de haber aplicado el producto. En caso de derrame absorba y recoja con aserrín o tierra seca y guar-



de en un envase bien cerrado, hasta poder incinerar. De la misma manera los envases desocupados deben ser incinerados. Puede provocar dolor de garganta, dolor de cabeza, vértigo, náuseas, vómitos, pérdida del conocimiento, enrojecimiento y dolor en piel y ojos y dificultad respiratoria. Ha demostrado ser cancerígeno para animales en laboratorio y aumentar los cánceres de pulmón en ratones. No es teratogénico ni afecta a la reproducción en animales de laboratorio.

**Primeros auxilios:** en caso de inhalación forzar la ventilación y la extracción localizada o protección respiratoria. Llevar al paciente al aire limpio y reposo. Proporcionar asistencia médica. En caso de exposición a la piel quitar las ropas contaminadas, aclarar y lavar la piel con agua y jabón y proporcionar asistencia médica. En caso de afectación a los ojos enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica. En caso de ingestión dar a beber agua abundante. Proporcionar asistencia médica.

### Carbofurano



**Nombre químico:** 2,2-dimethyl-2,3-dihydro-1-benzofurano-7-yl methylcarbamato

**Clasificación pesticida:** extremadamente peligroso. Categoría OMS Ia.

**Formulaciones:** suspensión acuosa, polvo y granulado.

**Patógenos que controla:** el carbofurano es un pesticida de amplio espectro que elimina insectos, ácaros y nematodos. Es usado contra plagas que afectan al suelo.

**Modo de acción:** es un producto sistémico, lo que significa que la planta lo absorbe mediante las raíces, y que desde allí la planta lo distribuye al resto de sus órganos (principalmente vasos, tallos y hojas donde se alcanzan las

mayores concentraciones del insecticida. El carbofurano también tiene una actividad de contacto contra las plagas.

**Persistencia:** persiste en la atmósfera por 13 horas y en suelo entre 30 y 120 días.

**Toxicidad:** este producto es altamente tóxico por inhalación o ingestión y es levemente tóxico por absorción dérmica. Los síntomas de envenenamiento son náusea, vómito, dolor abdominal, transpiración, diarrea, salivación excesiva, debilidad, desequilibrio, visión borrosa, dificultad respiratoria, incremento de presión sanguínea e incontinencia. La muerte puede estar asociada con la inhalación de altas dosis de carbofurano. El envenenamiento agudo por inhalación de carbofurano no produce daño de salud a largo plazo si se deja de exponer al producto y la víctima recupera su nivel normal de colinesterasa.

Toxicidad crónica. Las exposiciones prolongadas o repetitivas a carbofurano pueden provocar pérdida de peso.

Efectos reproductivos. El carbofurano no tiene ningún efecto reproductivo en ratas o ratones, por lo tanto es poco probable que tenga algún efecto reproductivo en humanos. Igualmente tampoco se la atribuyen efectos teratogénicos ni mutagénicos.

Efecto carcinogénico. Resultados de estudios en animales muestran que el carbofurano no posee riesgo carcinogénico para humanos. Sin embargo en los estudios realizados por Bonner *et al.* (2005) se muestra que 5 millones de libras de carbofurano se utilizaron anualmente en los Estados Unidos, y el 45% de las mujeres urbanas afro-americanas tienen niveles detectables de carbofurano en el plasma sanguíneo. El carbofurano nitrosado ha demostrado propiedades mutagénicas. En este trabajo se examinó la exposición al carbofurano y varios sitios tumorales entre 49 877 aplicadores de pesticidas con licencia de Iowa y Carolina del Norte. Se obtuvo información de cuestionarios, en los que se preguntaban a los agricultores al respecto de los años de uso, frecuencia en un año promedio, y cuando empezó su aplicación para 22 plaguicidas distintos. El riesgo de cáncer de pulmón era tres veces mayor para aquellos con exposiciones mayores a 109 días continuada al carbofurano, en comparación con aquellos con menos de 9 días de exposición de por vida, con una tendencia significativa dosis-respuesta para los días de uso

por año y total de años de uso. Sin embargo, el uso de carbofurano no se asoció con el riesgo de cáncer de pulmón cuando se utiliza a las personas no expuestas como referente. Además, la exposición al carbofurano no se asoció con cualquier otro sitio u otro tipo de cáncer examinados.

**Toxicidad orgánica.** El carbofurano produce inhibición de la colinesterasa en animales y humanos, afectando a las funciones del sistema nervioso central.

El carbofurano es pobremente absorbido por la piel, es metabolizado en el hígado y eventualmente es excretado por la orina. La vida media de este producto dentro del cuerpo es de 6 a 12 horas. Menos del 1% es excretado por leche materna y no se acumula en tejidos.

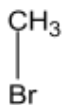
El carbofurano es altamente tóxico en aves y en muchos peces. Es tóxico en abejas excepto en la formulación granular.

Este producto en los Estados Unidos de Norteamérica ha sido cancelado cuando, de acuerdo con la página WEB de la EPA (Agencia para la Protección del Ambiente). Este organismo se pronuncia de la siguiente manera: “La EPA ha concluido que los riesgos en la dieta, en los operarios y daños ecológicos son inaceptables para todos los usos de carbofurano. Todos los productos que contienen carbofurano generalmente causan efectos adversos no razonables en los seres humanos y el medio ambiente y no cumplen las normas de seguridad, y por lo tanto no son elegibles para la reinscripción. La EPA alienta a los productores a cambiar el carbofurano por plaguicidas más seguros o de baja inocuidad u otras estrategias de control de plagas ambientalmente amigables”.

Cabe mencionar que en la Unión Europea se ha retirado desde 2008 este plaguicida altamente tóxico, que ha provocado muertes e intoxicaciones agudas en humanos y animales en todo el Mundo. En Ecuador está prohibido desde el año 2013 por la resolución DAJ 20133-FAde AGROCALIDAD.

**Primeros auxilios:** en caso de inhalación trasladar al aire fresco y de ser necesario, suministrar respiración artificial. En caso de ingestión no inducir al vómito y llevar a un centro asistencial. En caso de exposición a la piel quitar la ropa contaminada y lavar con abundante agua y jabón. En caso de contacto con los ojos lavar con agua por 15 minutos (párpados abiertos). Antídoto: Sulfato de Atropina.

## Bromuro de Metilo



**Nombre químico:** CH<sub>3</sub>Br.

**Nombres comerciales:** Fumigran, Bromopic 70 y Metabromo 1000.

**Clasificación pesticida:** extremadamente tóxico. Categoría OMS Ia.

**Formulaciones:** gas.

**Patógenos que controla:** se utiliza como pesticida para controlar un gran número de plagas y enfermedades, tanto en las zonas rurales como en la ciudad. En zonas rurales, generalmente, se utiliza para esterilizar el suelo controlando nematodos, hongos, maleza e insectos y en la ciudad el uso principal es para controlar plagas caseras como cucarachas, ratones, etc.

**Modo de acción:** el Bromuro de Metilo es un gas que a temperatura ambiente es gaseoso, incoloro, inodoro, sin sabor y tres veces más pesado que el aire. Es un fungicida/herbicida/insecticida altamente tóxico y el segundo en importancia entre los usados más ampliamente en el mundo. Es un producto químico versátil: es penetrante y efectivo bajo un amplio rango de temperaturas y su acción biocida es segura, además de airearse en forma rápida. Es muy penetrante y muy efectivo a bajas concentraciones. La aplicación en el suelo es muy sencilla; se cubre el suelo con una lámina plástica, se difunde el Bromuro de Metilo y como su densidad es mayor que la del aire desciende en profundidad a lo largo de todo el perfil del suelo.

La acción es rápida, no se conocen resistencias en el campo, se disipa rápidamente después del tratamiento y se puede usar en suelos con rangos de temperatura y humedad más amplios que otros fumigantes.

**Persistencia:** en la atmósfera está presente como vapor, el cual se degrada mediante reacciones con radicales hidroxilo, con una vida media de un año. Este compuesto no es susceptible a la fotólisis directa en el aire. En el suelo muestra una movilidad muy alta y una persistencia moderada (vida media de 30 a 60 días). En los sistemas terrestres puede ser degradado por reacciones químicas o biológicas, procesos favorecidos por un alto contenido de materia orgánica. La volatilización es un destino ambiental importante

para este compuesto tanto en el agua como en el suelo. Su potencial de bioconcentración en organismos acuáticos es baja y puede ser absorbido por las plantas.

**Toxicidad:** el Bromuro de Metilo es clasificado por la Organización Mundial de la Salud como categoría 1, es decir es extremadamente tóxico y representa un riesgo a la salud de las personas expuestas a esta sustancia, las que se ven afectadas a nivel del sistema nervioso e inmunológico. Además, los gases de este producto se movilizan fácilmente, afectando a las comunidades cercanas donde se ha aplicado. Los síntomas pueden ser a corto o largo plazo en las personas expuestas. Por ello es importante mencionar que algunas veces los síntomas no aparecen hasta seis o más horas después de haber estado expuestos a este gas.

Los síntomas a corto plazo son: irritación en ojos y pulmones, edema pulmonar y neumonía, convulsiones y vómitos, erupciones en la piel, ampollas o úlceras, desmayos, confusión, debilidad, dificultad para hablar, daño al cerebro, al riñón y al hígado, ataque al corazón y finalmente la muerte.

Los síntomas a largo plazo son: daño permanente al cerebro, problemas en la vista, dificultad para hablar, problemas psiquiátricos, cáncer de próstata y piel y efectos mutagénicos en el embrión.

Por otra parte el Bromuro de Metilo al evaporarse a las capas superiores de la atmósfera destruye la capa de ozono. Sin esta protección aumenta la radiación ultravioleta en la tierra y se pueden provocar cánceres a la piel, daños irreversibles en los ojos, afecciones al sistema inmunológico, así como al fitoplancton en el mar e inducción de cambio climático.

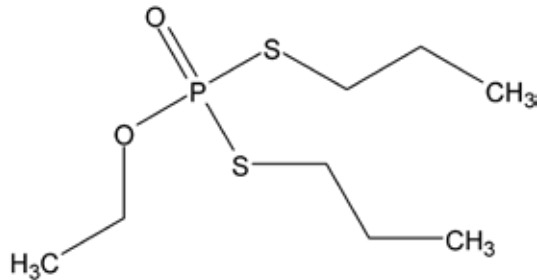
Por todo lo anterior Ecuador ha firmado el Protocolo de Montreal por el que se compromete a no usar este producto más allá de diciembre de 2014. Y hay además un gran número de investigaciones para encontrar alternativas a este producto.

**Primeros auxilios:** en caso de contacto con los ojos lavar de inmediato con agua por quince minutos, incluyendo debajo de los párpados, si el dolor y/o la irritación persiste, acuda al médico de inmediato. En caso de contacto con la piel remover la ropa contaminada de inmediato y lavar el área afectada por lo menos por quince minutos con jabón. En caso de ingestión administrar suficiente agua o leche si el paciente está consciente, no induz-



ca a la víctima al vomito, acuda a un medico. En caso de inhalación llevar a la víctima a un lugar con aire fresco, mantenerla caliente, asegurarse que pueda respirar libremente, si no está respirando, dar respiración artificial y administrar oxígeno, acudir al medico de inmediato.

## Etoprofos



**Nombre químico:** O-etil *S,S*-dipropil fosforoditioato

**Nombres comerciales:** ENT 27 318, Ethoprop, Jolt, MOCAP, PROFOS y VC9-104.

**Clasificación pesticida:** Categoría OMS II, moderadamente peligroso.

**Formulaciones:** granulado y líquido.

**Patógenos que controla:** principalmente gusanos de alambre, nematodos y gusanos de las raíces del maíz y artrópodos que habitan en el suelo.

**Modo de acción:** Etoprofos es un pesticida de amplio espectro, no acumulativo, no sistémico, que es extremadamente tóxico para mamíferos. Este producto es un inhibidor directo de la colinesterasa, con una excelente acción de contacto. Este plaguicida tiene una moderada actividad residual y no es fitotóxico.

Etoprofos es un inhibidor directo de la colinesterasa a través de la fosforilación de la enzima de los sitios esteéricos. La acumulación de la acetilcolina en la sinapsis de los nervios y las uniones mioneurales causa efectos tóxicos.

**Persistencia:** en el aire está presente únicamente como vapor, con un tiempo estimado de vida media de 5,6 horas. En el suelo tiene una alta movilidad y no se espera que su volatilice. Su vida media en los sistemas terrestres es 4,7 días en presencia de luz solar y de 12,3 días en la oscuridad. Su potencial de bioconcentración en organismos acuáticos es bajo.

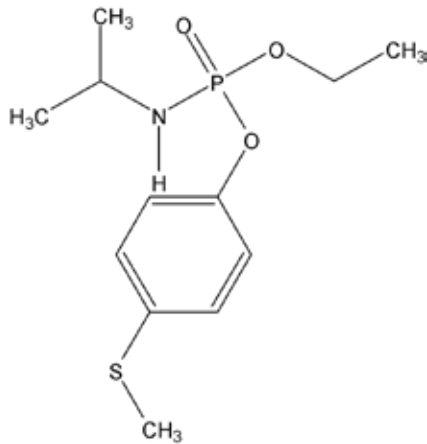
**Toxicidad.** La dosis  $DL_{50}$  oral en ratas es de  $62 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , la dermal es de  $226 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  y la concentración letal media  $CL_{50}$  por inhalación es de  $250 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  en aire.

Efectos Carcinogénicos. Después de 109 semanas de exposición en la dieta la incidencia de adenomas en las células C del tiroides, se incrementó entre los machos de rata en el grupo de la más alta dosis.

Efectos Teratogénicos. En ratas, las dosis de 0,16, 1,6 y 16,0  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  de Etoprofos administrado diariamente por sonda provocaron un aumento de la incidencia de osificación incompleta vertebral en el 43, 39 y 58 por ciento de las camadas del grupo de tratamiento, respectivamente. Un aumento de la incidencia de costillas rudimentarias y extras también se observó en la dosis intermedia de  $1,6 \text{ mg} \cdot \text{p.c. kg}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ . Efectos Neurotóxicos. No existen efectos neurotóxicos reportados. Irritaciones en la piel. La irritación de piel no ha podido ser evaluada, debido a la alta mortalidad de los animales de prueba con las dosis recomendadas. Etoprofos es muy tóxico en peces, aves silvestres, mamíferos y no tóxico para abejas.

**Primeros auxilios:** en caso de ingestión provocar el vómito. En caso de inhalación llevar al paciente al aire limpio, reposo y respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica. En caso de contacto con la piel quitar las ropas contaminadas, aclarar y lavar con agua y jabón y proporcionar asistencia médica. En caso de contacto con los ojos enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y después proporcionar asistencia médica. En caso de ingestión enjuagar la boca y dar a beber una papilla de carbón activado en agua. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.

## Fenamifos



**Nombre químico:** etil 4-metiltio-m-tolyl isopropylfosforamidato  
 CAS:etil3-metil-4-(metiltio)fenil(1metiletil)fosforamidato.

**Nombres comerciales:** Nemacur R, Nemacur PR y Nemacur Micro.

**Clasificación pesticida:** categoría OMS Ia.

**Formulaciones:** granulares 5-15% y solución emulsificable al 40%.

**Patógenos que controla:** efectivo para endo y ecto parásitos de vida libre y nematodos formadores de quistes y agallas. También puede controlar ácaros, áfidos y trips.

**Modo de acción:** Fenamifos un organofosforado. Es extremadamente tóxico para los mamíferos. Se absorbe fácilmente a través de follaje y raíces de las plantas y tiene una muy larga acción sistémica en las plantas. Los residuos son en general moderadamente bien absorbidos en el suelo, reduciendo la cantidad de lixiviación a través del suelo y aguas freáticas. No hay indicios de toxicidad que no sea a través de la inhibición de la actividad de la acetilcolinesterasa.

Se utiliza como tratamiento del suelo, con o sin incorporación, como pasta de raíces, tratamiento de semillas o como aplicación foliar. Fenamifos es rápidamente absorbido por las raíces, presentando una acción nematicida sistémica. Controla nematodos en una gran variedad de terrenos, cultivos de hortalizas y frutas. Su solubilidad lo hace particularmente útil en suelos húmedos y pesados.

**Persistencia:** en el aire está presente como vapor y como partícula. El vapor se degrada en la atmósfera con un vida media estimada de 5 horas,

mientras que las partículas son eliminadas por precipitación húmeda y seca. En el suelo su movilidad varía de baja a moderada, dependiendo del contenido de arcilla o materia orgánica. En este medio, el Fenamifos se degrada fácilmente por acción de la luz solar (vida media de 3,23 horas) y de los microorganismos (vida media de 15,7 días). En el agua se adsorbe ligeramente a los sólidos suspendidos y sedimentos y es estable a la hidrólisis a pH ácido y neutro. Su potencial de bioconcentración en organismos acuáticos es moderado. Este compuesto puede ser absorbido por las raíces de las plantas y transportado hasta las hojas.

**Toxicidad:** en mamíferos la ruta de absorción de Fenamifos varía si es por el tracto gastrointestinal o por inhalación o absorción a través de la piel intacta. Su modo de acción es a través de la inhibición de las colinesterasas. Los metabolitos sulfóxido y sulfona son inhibidores más potentes que el mismo Fenamifos. La  $DL_{50}$  oral en ratas 2,3-19,4  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  p.v.; dosis dermal en ratas 73-500  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  p.v.;  $CL_{50}$  por inhalación en ratas es de 110-175  $\text{mg} \cdot \text{m}^3$  en una hora y en cuatro horas es de 91-100  $\text{mg} \cdot \text{m}^3$ . Efectos carcinogénicos. No existe evidencia de carcinogenicidad en estudios de dos años en ratas o en ratones alimentados por Fenamifos durante 18 meses.

Efectos teratogénicos. En ratas preñadas a las cuales se administró por vía oral Fenamifos (92,5%) a dosis de 0, 0,3, 1,0 y 3,0  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  de peso corporal/día a partir del día 6 al 15 de gestación, los signos colinérgicos se observaron en 18 de las 25 hembras que recibieron 3  $\text{mg} \cdot \text{p.v. kg}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$  y se observaron también, pero en menor proporción, en las dosis de 0,3 y 1,0  $\text{mg} \cdot \text{p.v. kg}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ . Se concluyó que Fenamifos a dosis de hasta 3,0  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  peso corporal  $\cdot \text{día}^{-1}$  no fue embriotóxico o teratogénico en ratas.

### **No se presentaron efectos mutagénicos.**

Efectos neurotóxicos. No se presentaron efectos neurotóxicos en gallina después de una sonda de 5  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  de peso vivo o treinta días en la administración en la dieta de 1, 3, 10 o 30  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

Tóxicos para aves, peces y mamíferos. La EPA a través de su página WEB, afirma que la exposición a fuentes de agua potable de las tablas (acuíferos) de aguas poco profundas (menos de 50 pies de profundidad) y en suelos sumamente vulnerables plantea la preocupación por los riesgos de contami-

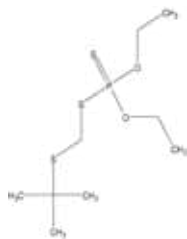
nación por Fenamifos. Los suelos extremadamente vulnerables, se definen como: «grupo hidrológico del suelo (suelos A) que son excesivamente drenados y predominantemente de arena o arena arcillosa, como los suelos del suborden Psamments». Estas clasificaciones y taxonomía del suelo se refieren a las definiciones del USDA. Por lo tanto, todos los usos de Fenamifos en zonas con suelos muy vulnerables y las tablas de aguas poco profundas fueron eliminados el 31 de mayo de 2005 en los Estados Unidos.

Cabe resaltar que el solicitante de registro único, *Bayer Corporation*, solicitó la cancelación voluntaria y la eliminación de todos los registros existentes Fenamifos en vez de comprometerse a desarrollar datos adicionales de éste producto. La EPA aprobó esa solicitud.

Fenamifos no se utiliza en entornos residenciales. Sin embargo se ha usado en césped y campos de golf, lo que podría conducir a una exposición de los golfistas a los residuos en campos tratados. No obstante la EPA considera que el riego adecuado con Fenamifos protege a los golfistas.

**Primeros auxilios:** en caso de inhalación llevar al paciente al aire limpio, reposo, posición de semiincorporado y someterlo a atención médica. Respiración artificial si estuviera indicado. En caso de contacto con la piel quitar las ropas contaminadas y lavar con agua y jabón y proporcionar atención médica. En caso de contacto con los ojos enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después consultar a un médico. En caso de ingestión enjuagar la boca. Dar a beber una papilla de carbón activado y agua y someter a atención médica. Provocar el vómito con ayuda de guantes protectores.

## Terbufos



**Nombres químico:** S-[[1,1-dimeteil]tio]metil]O,O-dietil fosforoditioato

**Nombres comerciales:** Contarven y Counter.



**Clasificación pesticida:** de uso restringido. Categoría OMS I.

**Formulaciones:** granulado.

**Patógenos:** usado en maíz y remolacha azucarera. Controla gusanos de alambre, gusanos de las semillas del maíz y nematodos.

**Modo de acción:** Terbufos es un insecticida y nematicida organofosforado. Este insecticida es aplicado en el trasplante a la banda o, directamente, en el surco de siembra.

**Persistencia:** Terbufos se mueve desde el suelo hacia el interior de las plantas, donde se descompone rápidamente. Pequeñas trazas de compuesto original se encuentran en las plantas. Cincuenta y siete días después de la siembra y aplicación, los residuos totales de Terbufos en brócoli fueron muy bajos, mientras que en las cabezas de brócoli negociables cosechado a los 90 días después de la siembra se obtuvieron sólo trazas (menos de 0,01 ppm. en peso fresco) de los residuos. En las mismas condiciones, en repollo y en coliflor negociables había rastro a niveles no detectables de residuos totales.

**Toxicidad:** los productos que contienen más del 15% de Terbufos son clasificados como pesticidas de uso restringido en los Estados Unidos de Norte América. Estos productos en este país solamente son vendidos y usados por aplicadores certificados.

**Toxicidad aguda.** Los productos con Terbufos deben ser etiquetados con la palabra de advertencia “**Peligroso**”, y son extremadamente tóxicos. Los síntomas de toxicidad aguda incluyen náusea, calambres abdominales, salivación, vómito, excesiva sudoración y diarrea a los 45 minutos de ingestión. La absorción dentro de la corriente sanguínea puede causar inhibición en la colinesterasa. Esto, a su vez, puede conducir a la opresión en el pecho, respiración aguda, visión borrosa, fatiga, dolor de cabeza, problemas del habla y confusión. Una alta dosis puede causar la muerte.

**Efectos teratogénicos.** Terbufos no causa defectos en animales, excepto en situación extrema. Sin embargo no se puede anticipar que estos efectos se repitan en humanos. No existieron efectos en las camadas de ratas a las que fueron dadas dosis de 0,005, 0,1 y 0,2 mg · kg<sup>-1</sup> · día.

**Efectos mutagénicos.** Los ensayos realizados en Terbufos demuestran que no es mutagénico.

**Efectos carcinogénicos.** No se encontraron tumores en ratones a los

cuales se les suministró  $1,8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{día}$ . Los mismos resultados se determinaron en ratas durante dos años de estudio, a las cuales se les suministró  $0,40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{día}$ . La EPA ha declarado que Terbufos no aumenta el riesgo de cáncer en seres humanos.

**Toxicidad en órganos.** Terbufos, al ser un inhibidor de la colinesterasa, puede afectar a los ojos, pulmones, piel y al sistema nervioso central, dependiendo de la ruta de exposición y la concentración.

**Rutas en humanos y animales.** En las ratas que recibieron una dosis oral única de Terbufos, el 10% se mantuvo en el hígado seis horas después de la administración. Los productos de degradación se encuentran en el riñón 12 horas después de la administración. De la dosis original administrada, el 83% se excreta en la orina dentro de siete días después de la administración y el 3,5% se encuentra en las heces. Terbufos y sus metabolitos no se acumulan en los tejidos.

No se encontraron residuos detectables en huevos, leche o tejidos del cuerpo de los animales (gallinas y vacas) alimentadas con dosis muy altas de Terbufos en su dieta, ni de los metabolitos que inhiben la colinesterasa.

Terbufos es extremadamente tóxico para aves, peces, invertebrados acuáticos, mamíferos y reptiles. No es tóxico para abejas, cuando se usa apropiadamente.

**Primeros auxilios:** si se ingiere, provocar de inmediato el vómito introduciendo un dedo en la garganta o dar un vaso de agua tibia con una cucharada de sal, repetir el tratamiento hasta que el vómito sea claro. No administrar nada por la boca a una persona inconsciente. Si se inhala, lleve al paciente al aire fresco, si no respira proporcionar respiración artificial. Si hay contacto con la piel quitar la ropa contaminada y lavar con abundante agua y jabón la zona afectada. Si el contacto es con los ojos, lavar con suficiente agua durante 15 minutos.

Cabe sugerir que en todos los nematocidas mencionados anteriormente, por su peligrosidad y su alto riesgo de intoxicaciones, su aplicación debe realizarse por empresas especializadas en el tema, que tengan todos los equipos necesarios y protección para sus operadores, a fin de minimizar al máximo contaminaciones ambientales, malas aplicaciones y sobre todo daño y pérdida de vidas humanas.

Conviene aquí destacar el exquisito cuidado con el que se debe manipular cualquier sustancia química, nematicidas y otros, siguiendo al pie de la letra las instrucciones de dosificación y aplicación, con las precauciones indicadas de uso de guantes, mascarillas y otros equipos de protección y guardando siempre las etiquetas del producto, que serán vitales en caso de accidente y necesitar una intervención médica.

Por otro lado la restricción de sustancias químicas como el bromuro de metilo y otras, ha originado una interesante búsqueda de alternativas más amigables con el medio ambiente. De algunas de ellas se habla a continuación.

## 2.5 Alternativas para el control de los nematodos fitopatógenos

Como se ha indicado anteriormente la aplicación de sustancias nematicidas comerciales presenta sus limitaciones, peligros e implicaciones sanitarias y medioambientales. Por todo ello es muy conveniente buscar alternativas que sean más amigables con nuestro entorno.

### 2.5.1 Prácticas culturales

De forma breve indicaremos algunas prácticas culturales que disminuyen la incidencia de los nematodos.

1. Elección de **variedades resistentes**. No todas las variedades presentan la misma susceptibilidad y algunas ofrecen una buena resistencia.

2. **Cambios de cultivo**. En ocasiones es necesario variar los cultivos durante más de una campaña. Los quistes de nematodos, al no encontrar hospederos adecuados, acaban perdiendo su viabilidad. Así especies hortícolas como cebolla, ajo, col, coliflor y otras crucíferas son ligeramente susceptibles o resistentes a *Meloidogyne* por lo que pueden ser empleadas en una estrategia de control.

3. **Cultivos trampas**. Consisten en sembrar un hospedante susceptible, dejarlo crecer por un período de tiempo y retirarlo antes de la formación de las masas de huevos. Es importante eliminar y destruir todas las raíces antes de la siembra del siguiente cultivo. La lechuga es un ejemplo.

También pueden emplearse cultivos de cobertura, que a un nivel dado de madurez se incorporan al suelo como residuos verdes secos. Entre los

más empleados para la reducción de poblaciones de nematodos formadores de agallas se encuentran marigold (*Tagetes patula*), la falsa marigold (*Tagetes minuta*), la hierba de Sudán (*Sorghum vulgare* var. *sudanense*) y algunos representantes de los géneros *Crotalaria* y *Ricinus* (Puertas e Hidalgo, 2014).



Figura 7: marigold en un invernadero

**4. Enmiendas de suelo.** Las enmiendas orgánicas tales como el compost, estiércoles, tortas oleaginosas y residuos de cultivos pueden controlar patógenos del suelo y ser fácilmente aplicados. Con su adición aumentan considerablemente los enemigos naturales de los nematodos parásitos, lo cual reduce los niveles de infestación en forma satisfactoria. Y por otra parte se aumenta el contenido orgánico del suelo, que mejorará su estructura y retención de agua y nutrientes.

La mayor dificultad con el empleo de las enmiendas orgánicas radica en la variabilidad de los materiales que se utilizan en su preparación. Estudios realizados por diferentes autores demuestran la efectividad del uso del compost en el control de nematodos fitopatógenos con resultados similares a los obtenidos con productos químicos y menores costos de aplicación (Puertas e Hidalgo, 2014). En el mismo sentido la aplicación de enmiendas a base de residuos de varias especies de plantas y estiércoles de origen animal ha permitido reducir los daños y disminuir poblaciones de *M. incognita* en diferentes cultivos hospedantes.

**5. Control biológico.** El control biológico de plagas abarca el fortalecimiento del control natural, la introducción de especies no nativas y el uso de plaguicidas derivados de animales, plantas, hongos, bacterias y virus para prevenir, repeler, eliminar o bien reducir el daño causado por las plagas. De este tema hablaremos más extensamente después.

No obstante su efectividad, los bioplaguicidas constituyen solo el 2% del mercado mundial de plaguicidas, aspecto que debe cambiar en el futuro, pues el uso de organismos biológicos constituye una opción más amigable con el ambiente. En el caso particular de los nematodos fitopatógenos, aunque numerosos microorganismos son sus antagonistas y constituyen el grupo principal de bioplaguicidas, muy pocos de ellos están comercialmente disponibles, debido fundamentalmente a los resultados inconsistentes obtenidos en la producción masiva y aplicación de los mismos.

Entre los principales grupos microbianos con potencialidades como agentes de control biológico de nematodos formadores de agallas se encuentran las bacterias y los hongos. Destacan entre ellos *Pasteuria penetrans*, *Tsukamurella paurometabola*, *Paecilomyces lilacinus*, *P. chlamydosporia* y *Myrothecium verrucaria*.

### 2.5.2 Biofumigación

Existen diversos medios físicos para el control de nematodos fitopatógenos como la solarización (cobertura con plástico), inundación y biofumigación (aplicación de productos naturales). Entre ellos la biofumigación es una estrategia sustentable en el manejo de plagas. Consiste en la incorporación al suelo de sustancias orgánicas, principalmente provenientes de la familia Brassicácea, con efectos fumigantes. En los últimos años ha recibido mucho interés, porque esta técnica es eficaz contra múltiples problemas causados por enfermedades transmitidas por el suelo, es fácil su incorporación dentro de un régimen de cultivo y es posible su combinación con otros manejos como la solarización o el uso de cultivos resistentes. Estas estrategias pueden llegar a ser un importante componente de un programa de manejo integrado de plagas (Roubtsova *et al.*, 2007).

La biofumigación es importante al igual otras técnicas basadas en las enmiendas del suelo con materia orgánica, que son determinantes en las propiedades del suelo, mejoramiento en la disponibilidad de los nutrientes, capacidad de retención de agua e incremento de organismos beneficiosos, algunos de los cuales son antagonistas de los nematodos fitopatógenos (Stirling, 1991; Bridge *et al.*, 1996; Lazarovits *et al.*, 2001).

Se ha comprobado que la familia de las Brassicáceas (Fig. 8) es la fuente principal de material para realizar la biofumigación. Plantas como el bróco-



li (*Brassica oleracea-italica*), col (*Brassica oleracea-capitata*) y mostaza (*Sinapis nigra*) producen compuestos químicos que son tóxicos para patógenos del suelo como nematodos, bacterias y hongos (Bello *et al.*, 2001).

Las brasicáceas contienen metabolitos secundarios llamados glucosinolatos, que son inactivos contra microorganismos, ya que cuando se hidrolizan por acción de la enzima mirosinasa dan lugar a los isotiocianatos. Estos productos de la hidrólisis son biocidas muy eficaces contra nematodos, bacterias, hongos, insectos y germinación de semillas (Brown y Morra, 1997).

Los isotiocianatos son compuestos muy similares a ciertos fumigantes, como el metil isotiocianato que es el compuesto activo del Metam Sodio. Este último producto empleado como nematicida tiene un amplio espectro de actividad, no sólo sobre los organismos causantes de plagas y enfermedades, sino también sobre muchos organismos beneficiosos (Matthiessen y Kierkegaard, 1993).

Brown y Morra (1997) señalan que la eficacia de la biofumigación depende de varios factores, pero fundamentalmente de la especie de brasicácea empleada, la forma de incorporación, la actividad enzimática de la mirosinasa que es responsable de la hidrólisis de los glucosinolatos, las pérdidas por volatilización, la absorción por la arcilla, la pérdida por percolación y la degradación microbiana. Vemos que es un proceso complejo en el que intervienen muchos factores.



**Figura 8: una brasicácea**

Kierkegaard y Sarwad (1998) estudian las implicaciones del ambiente en la optimización de la biofumigación, encontrando que ésta es eficaz entre 12 y 20 °C en invernadero. El contenido de glucosinolatos aparece relativamente constante en las diferentes condiciones ambientales y estados de crecimiento

de la planta, disminuyendo el contenido desde el inicio de la floración, no encontrándose grandes diferencias entre las raíces y la parte aérea. La excepción es el nabo silvestre, *Brassica campestris*, que tiene una mayor cantidad de glucosinolatos durante la floración. Además estos autores señalan que el período óptimo para la incorporación de las brasicáceas es a la mitad de la floración, ya que en esta época coinciden con las máximas concentraciones de glucosinolatos en estas plantas.

Se han realizado diversos estudios para determinar el efecto de la biofumigación en el combate de los nematodos. Rodríguez-Kábana *et al.* (1991) presentan un biofumigante que controla *M. incognita*. Otro ejemplo corresponde a Arias *et al.* (1999), quienes estudian las alternativas al Bromuro de Metilo en una rotación pepino - acelga en invernaderos de la Comunidad de Madrid (España), afectada fundamentalmente por *M. incognita*. Utilizan compost de champiñón en cantidades de 5 kg m<sup>-2</sup>, observando incrementos de la producción en las parcelas tratadas con este compost. Roubtsova *et al.* (2007) realizan un estudio del efecto del brócoli incorporado a diferentes profundidades en columnas de suelo para el control de *M. incognita*. El objetivo de este estudio fue determinar los efectos directos (localizados) e indirectos (volátiles) de las enmiendas en el suelo con tejidos de brócoli sobre la población de nematodos. Para esto se utilizó suelo infestado con *M. incognita*, en tubos de 50 cm de largo, el cual fue enmendado con tejido de brócoli y concentrado en una capa de 10 cm.

Después de tres semanas a 28 °C, la población de *M. incognita* en los tubos se redujo entre un 57 y un 80%, con relación a los tubos no enmendados. Las capas enmendadas con brócoli a 10 cm tuvieron la capacidad de reducir la población de *M. incognita*, entre el 31 y el 71% respecto a las capas no enmendadas, probablemente debido al efecto nematicida de los compuestos volátiles libres. Sin embargo, el efecto directo fue mayor que el indirecto por los compuestos volátiles.

La utilización conjunta de brasicáceas y gramíneas para la realización de biofumigación es una técnica recomendada por Villeneuve y Lepaumier (1999), quienes señalan que la fermentación de la materia orgánica provoca una modificación de la atmósfera del suelo, incrementando el CO<sub>2</sub> y disminuyendo el O<sub>2</sub>, dando lugar a fenómenos de anaerobiosis. Se consigue así del

90 al 100% de reducción de patógenos (Blok *et al.*, 1998), al mismo tiempo que se aportan microorganismos exógenos al suelo.

La biofumigación es una técnica fácil de aplicar. Los materiales para esta técnica preferiblemente deben provenir de la zona para facilitar el transporte y abaratar costos. Se trata de asimilar estos materiales al suelo de forma mecánica, como se verá más adelante. El cultivo de brasicáceas después de la biofumigación actúa como indicador de la posible fitotoxicidad, puesto que la germinación de las semillas es sensible a las sustancias fitotóxicas, al mismo tiempo que son muy sensibles a los nematodos fitopatógenos y permiten detectar las áreas del cultivo donde la biofumigación no ha sido eficaz, pudiendo actuar como plantas trampa, al incorporarlas al suelo, como biofumigantes (Bello *et al.*, 2001).

# Capítulo



# 3

**CASOS PRÁCTICOS EN EL CONTROL  
DE NEMATODOS**





### 3.1 Biofumigación en cultivo de tomate riñón

En la Carrera de Ciencias Agropecuarias de la Escuela Politécnica del Ejército (IASA1), se realizó un estudio de biofumigación por Rios (2006), en la parroquia de Tumbaco, Sector el Arenal, en el cultivo de tomate riñón. Para este ensayo se utilizaron desechos de Brócoli y ray grass anual en cantidades de 3,8 y 4,0 kg m<sup>-2</sup> respectivamente, de acuerdo a las especificaciones de Bello *et al.* (2001). Las dos especies biofumigantes se distribuyeron de manera uniforme, para evitar la aparición de focos de patógenos que pudieran crear problemas en el cultivo, para luego ser incorporadas con azadón a una profundidad de 25 cm. Los suelos son de tipo mollisol. El terreno se regó a capacidad de campo por una semana y para su desinfección se cubrió con láminas plásticas el área tratada. En esta investigación se utilizó el plástico Osgard, con una película de cinco capas P.V.T (Película Virtualmente Transparente), con espesor de 35 micrones (Fig. 9). Un kg de lámina cubre un área de 28,54 m<sup>2</sup> (Israriego, S.A.)



**Figura 9: tratamiento de biofumigación cubierto con plástico**

Para comparar los efectos de la biofumigación, se utilizaron químicos convencionales como Dazomet (Basamid) a razón de 50 g/m<sup>2</sup>, Metam Sodio 20 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> e Intercept (*Pseudomonas cepacia*) con Neem X (Azaridactina) 1,2-1,5 litros/ha.

Previamente a la aplicación de los productos Basamid y Metam Sodio se regaron las camas de cultivo a capacidad de campo durante una semana, con la finalidad de activar los microorganismos del suelo. Para Basamid se cubrió con plástico Osgard por el lapso de 14 días, mientras que para Metam Sodio el intervalo fue de 7 días, según las indicaciones de Montalvo (2004).

Para el uso de los productos biológicos Intercept más Neem X se solarizó el terreno previamente durante 30 días y adicionalmente se añadió materia orgánica a razón de 10 tm /ha.

El cultivo se estableció bajo invernadero. La preparación del suelo se realizó manualmente, con la ayuda de implementos agrícolas que permitieron remover el terreno y dejarlo desmenuzado. Se colocaron estacas para el trazado de los bloques y camas.

El área de ensayo fue de 156 m<sup>2</sup>. Se trabajó con 20 unidades experimentales, consistentes en una cama en donde se sembró el tomate a una densidad de 6,6 plantas por m<sup>2</sup>, con un ancho de 0,8 m. La distancia entre camas fue de 0,5 m. Cada unidad experimental tuvo una superficie de 7,8 m<sup>2</sup>. Sus medidas fueron de 6 m de largo por 1,3 m de ancho, evaluándose un total de 52 plantas por unidad experimental. El área total del terreno fue de 942 m<sup>2</sup>.

El trasplante se realizó con plantas del híbrido Sheila (SAKATA) de 4 a 5 semanas. Se sembraron a una distancia de 0,2 m entre plantas, en camas de 30 m de largo y 0,8 m de ancho, a una profundidad de 10 cm, presionando el suelo para asegurar el contacto con las raíces. A los 30 días posteriores al trasplante se colocaron tutores, distribuyendo las plantas a la izquierda y derecha, dejando a la plantación en forma de V. Los deshierbes se realizaron en forma manual. El primero fue a las tres semanas del trasplante, el segundo a los tres meses, cuando los frutos comenzaron a cuajar y el último durante la producción (Fig. 10).

Se realizaron dos aporques para mejorar el anclaje de la planta, el primero a las tres semanas del trasplante con el deshierbe y el segundo al cuajado del fruto. La poda de chupones se realizó semanalmente con tijeras de podar. El sistema de riego fue por goteo con una frecuencia diaria. La fertilización del cultivo se ejecutó de acuerdo al programa estándar que maneja el productor en el invernadero.

Los controles fitosanitarios se realizaron basados en los resultados de los monitoreos semanales de plagas y enfermedades. La cosecha empezó a los 90 días de la siembra, con una frecuencia de dos veces por semana. Los frutos “pintones” que empezaban a tomar un color rojo fueron los seleccionados para la recolección.



**Figura 10: aspecto de las plantas de tomate en producción**



**Figura 11: Índice de nodulación**

Se realizaron dos tipos de muestreo de suelo. El primero para obtener un análisis completo de fertilidad, con el fin de conocer las necesidades de materia orgánica, las cantidades de nutrientes existentes del terreno y los requerimientos para un manejo nutricional adecuado. El segundo se realizó para conocer la población inicial de *Meloidogyne* spp. Cada muestreo siguió el mismo procedimiento: se recolectaron 10 submuestras por unidad experimental recorriendo en forma de zigzag su superficie. Se homogenizó cada muestra en un balde y se guardó en fundas identificadas. Para cuantificar el efecto de los tratamientos sobre la población del nematodo se evaluaron las siguientes variables:

1. Población de *Meloidogyne* spp.
2. Índice de nodulación (fig. 11)
3. Altura de planta
4. Número de flores por piso de producción
5. Número de frutos cuajados por piso de producción
6. Producción de frutos
7. Diámetro del fruto
8. Peso del fruto.

En la Tabla II se presenta la densidad poblacional de *Meloidogyne* spp. medida en 100 gramos de suelo y 10 gramos de raíces, la variable índice de nodulación promedio y el peso seco y fresco de raíces de tomate de mesa.

Al realizar el análisis de varianza (ANDEVA) para la población de J2 en 100 gramos de suelo no se encontraron diferencias significativas para las evaluaciones realizadas en el ensayo (1 día, 128 días y 221 días) después del trasplante. Es decir, no hay un efecto significativo de los tratamientos en la reducción de *Meloidogyne*, aunque siempre el control o testigo presenta valores más altos.

Para la población de larvas J2 de *Meloidogyne* spp. en 100 g de suelo, los promedios generales en los tratamientos Dazomet, Metam Sodio, Intercept + Neem-X, Biofumigación y el Testigo Absoluto fueron de 323, 66, 66, 79 y 120 larvas respectivamente. Con Dazomet se obtuvo sorprendentemente la población promedio más alta de larva. Con respecto a la biofumigación la población de juveniles J2 en 100 g de suelo se incrementó a medida que transcurrió el cultivo y las evaluaciones (Tabla II), desde 40 larvas en el primer día a 300 en el día 221.

Este aumento se da en todos los tratamientos, especialmente en el control que llega hasta 390 J2. De acuerdo con los estudios realizados con Roubtsova *et al.* (2007) el efecto de los tejidos de brócoli en enmienda en el suelo puede resultar en componentes volátiles con acción nematostática o nematicida que se produce por la descomposición del tejido; por esta razón finalizado este efecto, la población tiende a incrementarse en el suelo, debido principalmente a la población remanente que sobrevivió al control inicial.

Al realizar el análisis de la varianza (ANDEVA) para la población de larvas J2 de *Meloidogyne* spp. en 10 g de raíces, no se encontraron diferencias significativas para los días de evaluación 83 y 176, Mientras que para los 110 días de evaluación se encontraron diferencias significativas al comparar los nematicidas de origen químico (Dazomet y Metam Sodio) frente a Intercept + Neem X y el sistema de biofumigación ( $F_{1,8} = 5,52$ ;  $P = 0,0468$ ), mostrando un mayor promedio de larvas en 10 gr de raíz para los productos químicos (105 larvas en 10 de raíz Dazomet y 270 Metam Sodio) en contraste al biológico y biofumigación (20 larvas en 10 gramos de raíz Intercept + Neem · y 30 en Biofumigación) (ver Tabla II). Es decir, en esta

fecha los tratamientos no químicos presentan un mejor resultado frente a los químicos.

Para el índice de agallamiento, los tratamientos con Dazomet y biofumigación resultaron los de menor promedio general en la escala de Bridge y Page (1980): 1,89 y 1,80 respectivamente. Este hecho significa que las raíces están más sanas y pueden absorber de mejor manera los nutrientes y esto se verá reflejado en la producción del cultivo, en contraste con el testigo cuyo índice promedio es de 2,62.

Cabe resaltar que los elementos vasculares en los nódulos se rompen y se deforman, interrumpiendo mecánicamente el flujo normal del agua y nutrientes, provocando varias patologías como falta de crecimiento de las plantas, carencias nutricionales, desuniformidad en el campo y marchitez en días calurosos entre otros (Taylor y Sasser, 1983).

El testigo tuvo menor peso seco ( $F_{1,185} = 16,48$ ,  $P = 0,0001$ ) y fresco de raíz ( $F_{1,185} = 17,22$ ,  $P = 0,0001$ ) con relación a los tratamientos químicos, biológico y biofumigación, debido principalmente a que el testigo muestra un mayor porcentaje de nodulaciones, presentando alteraciones fisiológicas en la raíz. En plantas infectadas y cultivadas con irrigación irregular, como en el caso habitual del tomate en donde los productores no mantienen un control adecuado de la humedad en el suelo alternando entre el 50% y 100% de la capacidad de campo, los pesos secos pueden reducirse hasta en un 78,6% con respecto de las plantas no infectadas.

Para las variables agronómicas (Tabla III) se puede evidenciar que el tratamiento que obtuvo una altura promedio final más alta fue el de biofumigación, con un promedio de 195,83cm a los 135 días de evaluación; mientras que el testigo alcanzó una altura promedio de 138,83cm. Estas diferencias en altura pueden deberse a que producto de la biofumigación, algunos nutrientes se incorporan a la planta mejorando su desarrollo (Bello *et al.*, 2000). Adicionalmente Harvey y Sams (2001) indican que la biofumigación incrementa la capacidad de absorción y retención de agua por parte de la planta.

Para el número de frutos de producción se determinó que el primer piso presentó diferencias estadísticas entre los tratamientos ( $F=4,192 = 3,58$ ,  $P = 0,0077$ ). El testigo presentó un número menor de frutos (5,05), con respecto a Dazomet (6,20), biofumigación (5,70) e Intercept + Neem X (5,50). Mientras



que el segundo, tercero, cuarto y séptimo piso no presentaron diferencias significativas para el número de frutos.

El número de frutos que se desarrollaron en el quinto ( $F=4,192 = 4,74, P = 0,0012$ ) y sexto piso ( $F=4,174 = 2,36, P = 0,0563$ ) presentaron diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo para el quinto piso, al igual que el primero, el testigo presentó un menor número de frutos que el resto de tratamientos (Tabla III). Mientras que en el sexto piso Dazomet presentó un mayor número de frutos (4,45) que Metam sodio (2,88).

Para la variable peso del fruto (159,11g) y diámetro del fruto, el tratamiento (5,98 cm) biofumigación obtuvo un mayor promedio que los tratamientos químicos (Dazomet y Metam Sodio) y el biológico con el testigo. Estos dos aspectos son muy importantes ya que el mercado prefiere tomates de buen calibre y pesos que fluctúan entre 220 a 250 gramos.

La promedios de producción de la cosecha total promedio fue de 93,14 kg para Dazomet, 78,32 kg para Metam Sodio, 76,23 kg Intercept + Neem X, 80,30 kg para biofumigación y el testigo absoluto de 57,54 kg (Fig. 12).

Vemos como siempre el testigo presenta los valores mínimos, es decir, los tratamientos siempre tiene un efecto positivo en los parámetros considerados, ya sea número y peso de frutos como altura de las plantas.

Esta información demuestra que el uso de la biofumigación, es medianamente eficiente para el control de *Meloidogyne* spp. Sin embargo el rol de los compuestos volátiles en la reducción de la población de los nematodos aún no es clara.

Muchos esfuerzos han sido direccionados hacia la caracterización de los glucosinolatos y hacia la selección y mejoramiento de variedades cultivables con altos niveles de glucosinolatos (Roubtsova *et al.*, 2007). Finalmente se puede decir que el uso de los desechos de brócoli es una alternativa viable para la desinfección de suelos en un sistema de producción de tomate de mesa.

**Tabla II.** Densidad poblacional de *Meloidogyne* spp. medida en 100 gramos de suelo y 10 gramos de raíces, índice de nodulación promedio, peso seco y fresco de raíces de tomate de mesa en invernadero.

Sector del Arenal, Pichincha, desde junio de 2005 a enero de 2006.

Tratamiento	Población de larvas J2 posterior al trasplante de <i>Meloidogyne</i> spp. en 100 g suelo				Población de larvas J2 de <i>Meloidogyne</i> spp. en 10 g/raíces				Índice de Nodulación Promedio según escala de Bridge y Page (0-10)	Peso Seco (gr)
	1 día	128 días	221 días	X*	83 días	110 días	176 días	X		
DAZOMET	100	110	1695	323,3	240	105	930	425,0	1,89	9,05
METAM SODIO	35	80	190	65,8	1355	270	1322	982,0	2,39	9,29
INTERCEPT+NEEMX	60	120	200	65,8	480	20	945	481,6	1,94	7,77
BIOFUMIGACIÓN	40	90	300	79,1	465	30	490	328,3	1,80	7,43
TESTIGO	110	120	390	120,0	615	105	255	325,0	2,62	6,14

\*El promedio proviene de 6 observaciones

**Tabla III.** Variables agronómicas tomadas para la evaluación de productos químicos fumigantes, control biológico y biofumigación de tomate de mesa en invernadero.

Sector del Arenal, Pichincha desde junio de 2005 a enero de 2006.

Tratamiento	Altura de planta (cm)				Número de frutos por piso de producción								X	Peso del fruto (gr)
	30 días	90 días	120 días	135 días	1° Piso	2° Piso	3° Piso	4° Piso	5° Piso	6° Piso	7° Piso			
DAZOMET	46,23	149,68	175,65	175,90	6,20	5,93	6,00	5,90	5,13	4,45	3,53	5,31	152,94	
METAM SODIO	32,50	130,40	152,18	152,75	5,00	5,58	5,38	4,83	4,53	2,88	2,08	4,33	149,20	
INTERCEPT +NEEMX	30,68	127,55	152,25	156,73	5,50	5,68	5,53	4,93	3,95	2,68	1,63	4,27	145,41	
BIOFUMIGACIÓN	40,08	151,45	181,28	195,83	5,70	4,98	5,73	5,03	5,08	3,75	2,95	4,75	159,11	
TESTIGO	27,20	123,10	137,43	138,83	5,05	4,95	5,13	4,25	3,38	2,15	1,38	3,76	144,97	
X	35,34	136,44	159,76	164,01	5,49	5,42	5,55	4,99	4,41	3,18	2,31	4,48	150,33	

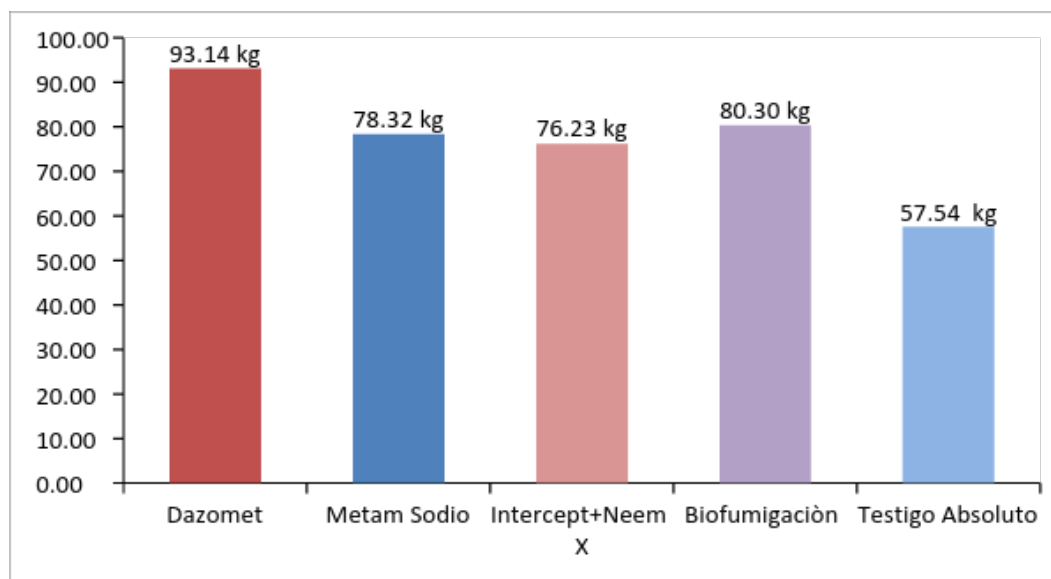


Figura 12: promedio de producción total en (kg) de tomate riñón en invernadero bajo el efecto de fumigantes de suelo. Sector del Arenal, Pichincha desde junio de 2005 a enero de 2006.

### 3.2 Injerto de tomate riñón en el patrón Beaufort tolerante a *Meloidogyne*

En el siguiente ensayo se demuestra cómo las técnicas de injerto sirven para aumentar la resistencia de las plantas de tomate de riñón al ataque de *Meloidogyne*.

La producción usando plantas injertadas fue primero iniciada en Japón y Corea a finales de los años 20 en melón de agua (*Citrullus lanatus*) sobre patrones (Lee, 1994). En berenjena fueron injertados sobre la berenjena escarlata (*Solanum integrifolium*) en los años cincuenta. Desde entonces el área de frutales y vegetales usando injerto se ha incrementado.

En países europeos como Italia, Francia y España se ha injertado el cultivo de tomate sobre híbridos interespecíficos entre *Solanum lycopersicum* · *S. habrochaites*, conocidos comercialmente como Beaufort, KVNF, KNFV2, Brigeor, Hemam e Hirés, los cuales son tolerantes a *Meloidogyne* spp., inducida por el gen de resistencia Mi.

### Técnicas de injertos en tomate riñón

a) **Injerto de púa de cabeza.** Se realiza un corte, por debajo de la segunda a tercera hoja verdadera eliminando la raíz, haciendo un corte en bisel en su

extremo inferior. Mientras que en el patrón se corta horizontalmente de uno a dos cm más arriba de la segunda hoja verdadera, realizando un corte diametral hacia abajo, aquí se incrusta la variedad, haciendo coincidir ambos cortes (Fig. 13) (Acosta, 2005).

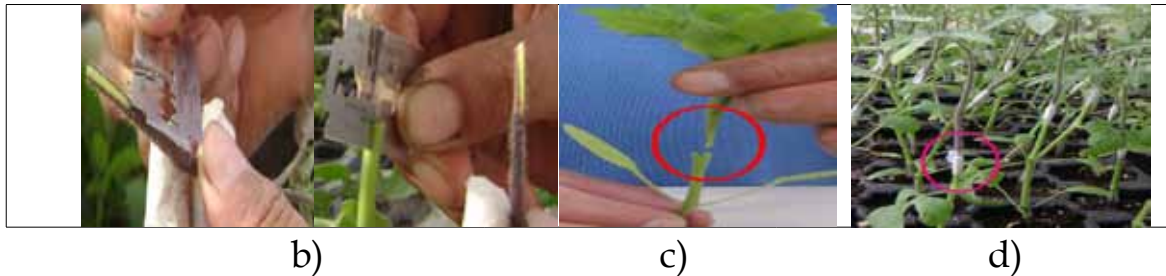


Figura 14. Injerto de púa de cabeza. a) Tallo de híbrido corte en bisel. b) Tallo del patrón cortado en el centro. c) Unión de los tallos. d) Injerto cubierto con parafilm.

**b) Injerto de empalme.** Consiste en realizar un corte a  $45^\circ$  tanto en el híbrido como en el patrón. Al híbrido se le realiza el corte debajo de las hojas del cotiledón y al patrón sobre las mismas (Fig. 14). Para la unión del injerto con el patrón se usan pinzas de silicona (Camacho, et al., 1997; Acosta, 2005; Miguel y Cebolla, 2005; Solís, 2004).

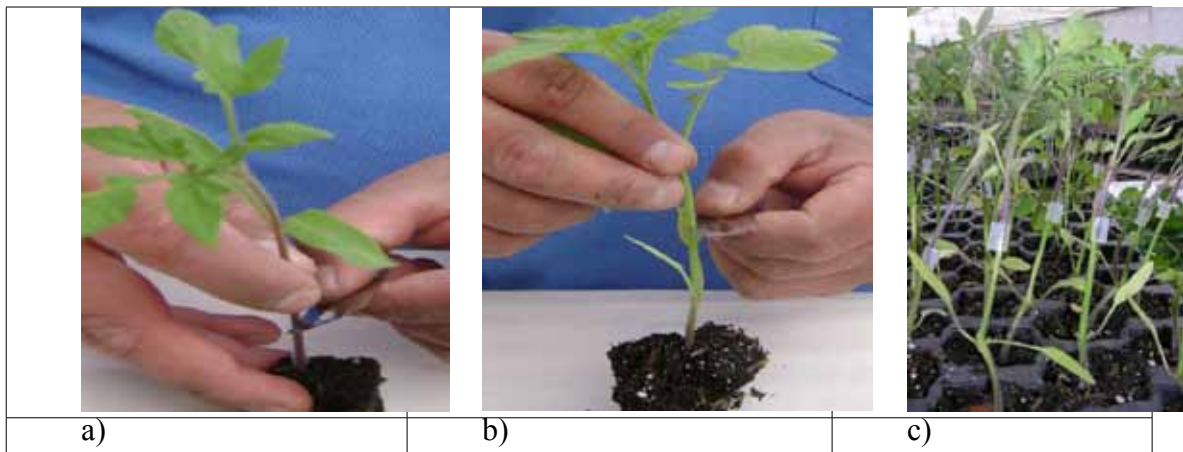
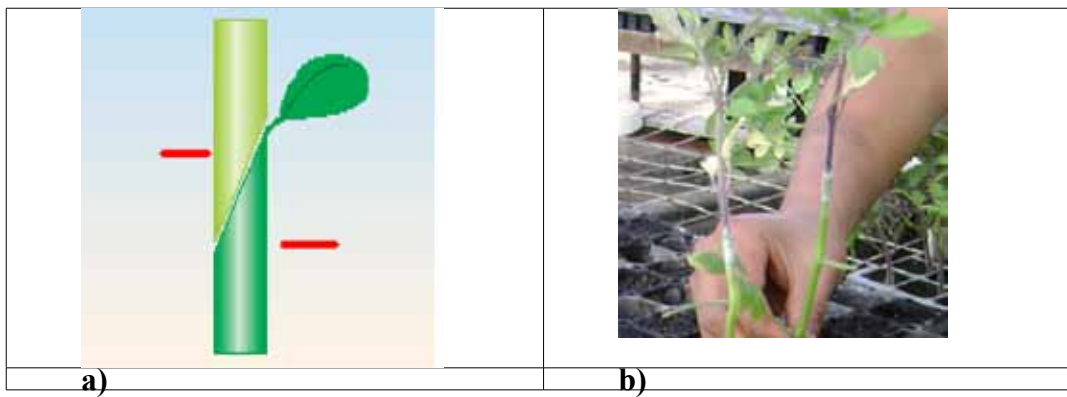


Figura 13. Injerto de empalme. a) Corte del Híbrido a  $45^\circ$  bajo los cotiledones. b) Corte del patrón a  $45^\circ$  sobre los cotiledones. c) Plantas injertadas con uniones de silicona.

**c) Injerto Adosado.** El híbrido debe tener de dos a tres hojas verdaderas (Fig. 14), en el cual se realizará un corte en un ángulo de  $45^\circ$ , por debajo de los cotiledones, eliminando la raíz. Mientras que al patrón se le harán dos cortes: un corte diagonal en el cual se eliminará uno de los cotiledones y el ápice vegetativo y un segundo corte que elimina la raíz. Se adosará el híbrido haciendo coincidir ambos cortes, una vez unido el patrón con la variedad se colocará la cinta de injertar (Camacho, *et al.*, 1997; Acosta, 2005; Miguel y Cebolla, 2005).



**Figura 14 a) Esquema del injerto Adosado b) Plantas injertadas en sistema Adosado trasplantadas a nuevo sustrato.**

La fase de germinación e injerto se realizó en una empresa de germinación comercial, ubicada en la Provincia de Pichincha, parroquia Tumbaco, a una altitud de 2550 m.s.n.m. y una temperatura media de  $20^\circ\text{C}$ . La fase de campo se llevó a cabo en un invernadero con un suelo franco arenoso, con fertilización media, ubicado en la Provincia de Pichincha, parroquia Tumbaco, sector el Arenal, a una altitud de 2650 m.s.n.m. y una temperatura media de  $20^\circ\text{C}$ . Los análisis de suelo y raíces fueron realizados en el laboratorio de nematología de AGROCALIDAD, ubicado en la misma parroquia.

Los híbridos de tomate riñón evaluados fueron: Sheila (SAKATA), Gently y Corvette. Fueron utilizados como injertos y Beaufort como patrón. Se tomaron como testigos sin injertar a Ágora (resistente a nematodos) y Sheila (susceptible a nematodos).



## Fase de injerto de plantas de tomate de mesa

El material vegetativo fue sembrado en bandejas plásticas de germinación de 162 hoyos con turba como sustrato. El patrón fue sembrado 8 días antes que los híbridos usados como injertos, y 15 días antes que los testigos de acuerdo con Kacjan y Osvald (2004). El patrón fue repicado en bandejas plásticas de 38 hoyos en lotes homogéneos a los 40 días, para facilitar el manejo en la injerto. Cuando los híbridos y el patrón tuvieron en sus tallos diámetros similares se inició el proceso de injerto. Esto ocurrió a partir de los 45 días, empleando tres métodos de injerto: Empalme, Púa de cabeza y Adosado. La climatización del injerto se realizó en un microtúnel construido dentro de la pilonera, que permitió mantener condiciones del 90 a 95 % de humedad relativa y 25 a 30 °C de temperatura, necesarios durante los primeros seis días posteriores al injerto.

**Para la fase del estudio se tomaron las siguientes variables:**

- Días al prendimiento
- Porcentaje de prendimiento
- Compatibilidad del injerto
- Altura y diámetro del tallo

Para la toma de estas variables, se usaron 15 plantas al azar por unidad experimental (bandeja de 38 hoyos).

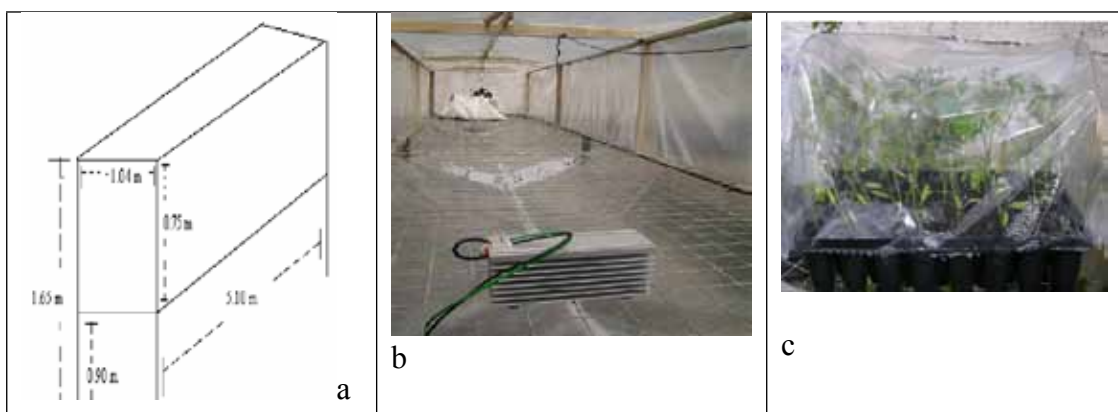




Figura 15. a) Esquema del microtúnel. b) Equipos que regulan el clima en el microtúnel. c) Bandeja cubierta con plástico transparente. d) Bandejas cubiertas con papel blanco en microtúnel. e) Microtúnel armado.

### Evaluación del comportamiento, desarrollo y producción de los injertos en campo

El área utilizada en el presente ensayo fue de 234 m<sup>2</sup>. Un día antes del trasplante el suelo fue humedecido a capacidad de campo. A los 65 días de la germinación se realizó el trasplante de los híbridos injertados con los métodos de empalme y púa de cabeza, injertados sobre el patrón Beaufort y a los 73 días se realizó el trasplante de las plantas injertadas con el método por adosado. Se aplicó el manejo cultural del agricultor, hasta la cosecha que fue 90 días después del trasplante. Los tratamientos se distribuyeron en bloques completamente al azar.

**Para esta fase se evaluaron las siguientes variables:**

- Altura de planta
- Diámetro del tallo
- Número de flores y frutos cuajados hasta la cosecha
- Peso en cosecha

#### **Dinámica poblacional de *Meloidogyne* spp.**

Se muestreo en zigzag la población de *Meloidogyne* spp. del suelo por la superficie de cada unidad experimental, recolectando 500 g de suelo. Posteriormente se realizó el muestreo de raíces recolectando 10 g por unidad experimental. Ambos tipos de muestra se llevaron al laboratorio de nematología de AGROCALIDAD, para realizar la extracción de larvas.

### **Extracción de larvas de *Meloidogyne* spp. del suelo**

La extracción se realizó colocando 100 g de suelo en un recipiente, añadiendo 2 litros de agua corriente, agitándose posteriormente hasta deshacer los terrones existentes. Se dejó reposar por 20 s, después de los cuales se derramó el agua sobre tamices de 600 y 45  $\mu\text{m}$ . A las 24 h se colectó el agua en un vaso de precipitación y se aforó a 100 ml, para luego realizar el conteo de larvas.

### **Extracción de larvas de *Meloidogyne* spp. de raíces**

Se lavaron y picaron 10 g de raíces en el vaso de una licuadora añadiendo 100 ml de agua, licuando por 15 s, de acuerdo al método de Sttemirding (1964) (citado por Zuckeman *et al.*, 1985). Se vertió el contenido del vaso en tamices de 150 y 45  $\mu\text{m}$ . El residuo de los tamices se colocó en una malla cubierta por papel filtro, dejándose reposar por 48 h. El agua se recolectó en un vaso de precipitación y se aforó a 100 ml, procediéndose al conteo.

Para cuantificar la dinámica poblacional de nematodos se evaluó la población de *Meloidogyne* en suelo y raíz, el índice de nodulación, el peso fresco y seco de la raíz. Se contó el número de larvas de *Meloidogyne* spp. existentes en 100 g de suelo y en 10 g de raíz por unidad experimental. Los cinco muestreos se realizaron los días 0, 43, 87, 133 y 160 del trasplante. Los cuatro muestreos de raíces se realizaron los días 46, 93, 138 y 168 del trasplante.

El índice de nodulación fue tomado al final del ensayo. Para cuantificar esta variable se procedió a sacar la mayor cantidad raíz por planta y luego clasificarlas de acuerdo a la cantidad de agallas presentes, según la escala propuesta por Bridge y Page (1980).

El peso seco y fresco de la raíz se midió igualmente al final del ensayo. Las raíces fueron lavadas y pesadas para obtener el peso fresco. Posteriormente, se dejó secar en la estufa a 30° C hasta peso constante, para obtener el peso seco (Montalvo, 2004).

### **Resultados y discusión**

Al analizar el porcentaje de prendimiento de plantas de tomate riñón, se determinó un efecto significativo de las técnicas de injerto ( $p = 0,0001$ ), y de la interacción técnica de injerto híbrido.

Las plantas de tomate riñón injertadas con el método de Empalme presentaron menor porcentaje de prendimiento que los métodos por Adosado y por Púa de cabeza ( $p = 0,001$ ) (Tabla IV).

**Tabla IV.** Promedio ( $\pm$ ) error estándar, para prendimiento, días al prendimiento y diámetro de tallo, en la obtención de plantas injertadas de tomate riñón, usando diferentes técnicas de injerto.

Tumbaco, Pichincha, 2007.

<b>Técnicas de Injerto</b>	<b>Prendimiento</b>	<b>Días al prendimiento</b>	<b>Diámetro (mm)</b>
<b>Adosado</b>	100 $\pm$ 0,00 b	18,02 $\pm$ 0,09 a	3,57 $\pm$ 0,05 b
<b>Empalme</b>	90 $\pm$ 0,03 a	18,52 $\pm$ 0,66 a	3,21 $\pm$ 0,12 a
<b>Púa de Cabeza</b>	100 $\pm$ 0,00 b	18,68 $\pm$ 0,06 a	3,51 $\pm$ 0,06 b

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas,  $p < 0,05$ .

Los híbridos Corvette, Gentyll y Sheila, presentaron porcentajes de prendimiento similares y superiores, que van desde el 94 (Sheila) al 97% (Gentyll). Los días al prendimiento varían entre el 18,40  $\pm$  0,23 (Corvette) al 18,48  $\pm$  0,50 (Sheila) y el diámetro de injerto entre 3,38  $\pm$  0,10 mm (Sheila) al 3,49  $\pm$  0,07mm (Corvette). Hay que indicar que estos porcentajes tan altos de prendimiento estuvieron relacionados con un control exhaustivo de las condiciones del invernadero en cuanto a humedad y temperatura.

Al comparar los diferentes tratamientos se determinó que Sheila, presentó el menor porcentaje de prendimiento del injerto (83  $\pm$  0,70). Las razones por la cual la técnica de injerto por Empalme tuvo este prendimiento, fue el uso de pinzas, que no facilitaron la unión adecuada entre el injerto y el patrón, disminuyendo la zona de contacto entre ambas partes. Las técnicas por Adosado y por Púa de cabeza presentaron un 100 % de prendimiento, debido al uso de parafilm que proporcionó mayor seguridad a la unión de las dos plantas. Los promedios de prendimiento mayores al 90 % obtenidos en las tres técnicas de injerto, justifican la rentabilidad, mientras que porcentajes menores al 80 la disminuyen.

### **Efecto de los tratamientos sobre las variables de rendimiento**

Después de haber efectuado 19 cosechas en seis pisos, se realizó un análisis de los valores obtenidos para las calificaciones de frutos con relación a los factores en estudio. Se encontró alta significación para la calidad primera frente al factor híbridos ( $p = 0,0045$ ) y para técnicas de injerto y tratamientos (Tabla IV). Las calidades de fruto bajo el efecto de las técnicas de injerto, según la prueba de Duncan al 5 %, presentaron mejores rendimientos para la calidad de primera en las técnicas por Adosado y por Empalme, obteniendo promedios de 48,35 y 48,04 kg respectivamente ( $p = 0,0499$ ).

El tratamiento que mayor producción en calidad de primera presenta es el tratamiento Sheila, con un promedio de 64,08 kg. Al comparar los diferentes híbridos utilizados como injertos, presentaron un comportamiento similar ( $p = 0,4879$ ). En plantas de tomate riñón los tratamientos que mayor producción en calidad de segunda presentaron son los tratamiento Sheila y Corvette con un promedio de 25,05 y 26,52 kg respectivamente ( $p = 0,0006$ ).

Las plantas injertadas presentaron mejores rendimientos en las diferentes calidades en comparación con los tratamientos de Sheila sin injertar y Ágora sin injertar, ya que solo pudieron cultivarse hasta el tercer piso en el mejor de los casos, dando promedios menores a 13 kg/planta.

Una vez analizadas las variables se determinó que la nueva tecnología de injerto utilizando un patrón resistente o tolerante, incrementa la producción y rendimiento de las plantas. Este hecho es atribuible a las características de rusticidad y vigorosidad propias del patrón, que permitieron al híbrido desarrollarse, mejorando así su estructura y disminuyendo el ataque de nematodos. La cosecha en términos generales presentó un buen porcentaje de producción (Tabla V), mejorando el rendimiento y calidad del fruto en los tratamientos del Sheila con Empalme y con Adosado, con valores cercanos a 55 y 65 Kg en calidades de primera respectivamente.

En el extremo contrario están los tratamientos usados como testigos, sin injerto, que rondan los 11 y 8 kg para esta categoría de calidad. Estos mismos resultados se obtienen en ensayos anteriores realizados en diferentes países (Mitidieri *et al.*, 2005; Solís, 2004; Kacjan & Osvald, 2004). En este trabajo se pudo demostrar que los cultivares normalmente utilizados por productores hortícolas en el país pueden ser injertados sobre este tipo

de patrón que tolera el ataque de nematodos, sin disminuir rendimiento y calidad de frutos.

### Evaluación de *Meloidogyne* en raíces

Al comparar los diferentes tratamientos se determinó, que el tratamiento Ágora sin injertar presentó la población más baja, con un promedio de 84,67 larvas en 100 g de suelo ( $p = 0,7524$ ). El máximo se encuentra en Gentyl Adosado con 600 larvas. El índice de agallamiento es mínimo en Sheila con Púa y de nuevo en Ágora sin injertar (1,33 y 1,34 respectivamente) y máximo en Corvette con Púa. El peso fresco es mínimo en Ágora sin injertar (23,17) y máximo en T9 (52,12) al igual que el peso seco (7,13 y 4,22 respectivamente). Más datos de este ensayo pueden encontrarse en Quiña (2008).

**Tabla V:** promedio en la producción de plantas injertadas y no injertadas de tomate riñón, frente a los tratamientos, en invernadero.

El Arenal, Ecuador, desde agosto 2007 a enero 2008

Rendimiento en Calidades	Tratamientos primera (kg)	segunda (kg)	tercera (kg)	cuarta (kg)
Sheila x Empalme	54,97 cd	25,05 d	9,33 ab	11,46 cd
Corvette x Empalme	47,55 bc	26,52 d	18,37 d	12,58 d
Gentyl x Empalme	41,59 bc	22,45 cd	12,33 bc	7,96
Sheila x Púa de cabeza	46,48 bc	20,38 bcd	11,44 abc	13,61 d
Corvette x Púa de cabeza	33,93 b	19,75 bcd	14,38 bcd	11,32 cd
Gentyl x Púa de cabeza	29,36 b	15,60 bc	9,93 abc	9,88 bc
Sheila x Adosado	64,80 d	19,99 bcd	5,74 a	11,44 cd
Corvette x Adosado	40,04 bc	21,95 cd	11,09 abc	8,99 b
Gentyl x Adosado	40,20 bc	23,11 cd	16,13 cd	9,02 b
Sheila sin injerto	11,15 a	13,68 8 a	10,58 abc	5,73 a
Ágora sin injerto	7,68 a	8,39 a	8,66 ab	4,73 a

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas,  $p < 0.05$



# Capítulo

A horizontal rectangular image showing a microscopic view of several nematodes. The nematodes are light-colored, cylindrical, and have a distinct ribbed texture. They are set against a dark, reddish-brown background.

# 4

## **NEMATODOS ENTOMOPATÓGENOS**



## 4.1 Conceptos de control biológico

El **control biológico** es un método de control de plagas, enfermedades y malezas que consiste en utilizar organismos vivos o sus productos para controlar las poblaciones de otro organismo para que no llegue al nivel de plaga.

Es un método agrícola que usa depredadores, parásitos, herbívoros u otros medios naturales. Puede ser un componente importante del Control Integrado de Plagas (también conocido como Manejo Integrado de Plagas, MIP), planteamiento más complejo del control de plagas, y es de gran importancia económica para la agricultura y para el medio ambiente. En la naturaleza unas especies controlan a otras, de tal manera que, unido a las limitaciones del medio (espacio, luz, nutrientes, temperatura, agua, etc.), en el medio natural no suelen darse las plagas. Se habla así de un control natural. Y también se puede afirmar que las plagas son, en su mayoría, una creación del hombre junto con la agricultura.

Desde el punto de vista de la estrategia se trata de buscar el eslabón más débil de la cadena de la plaga (p.ej. los huevos, larvas, adultos, reproducción, lugares de alimentación y refugio, especies vegetales alternativas, cultivos trampas, etc.) para ahí atacar. Y tratar de buscar siempre alternativas de control, no fiarse de una única baza, ya que ésta puede fallar. Si se rompe la cadena en dos o tres eslabones siempre será más seguro el método.

### **Entre los inconvenientes más importantes se encuentran:**

1. Normalmente su aplicación requiere un planteamiento y manejo más complicado, mayor seguimiento de la aplicación, y es menos rápido y drástico que el control químico.
2. El éxito de su aplicación requiere mayores conocimientos de la biología de los organismos implicados (tanto del agente causante del daño como de sus enemigos naturales).
3. La mayoría de los enemigos naturales suelen actuar sobre una o unas pocas especies, es decir, son altamente selectivos. Esto puede resultar una ventaja pero en ocasiones supone una desventaja al incrementar la complejidad y los costes derivados de la necesidad de utilizar distintos programas de control.

A pesar de ello, también presenta una serie de **ventajas** que hace que este tipo de control se convierta en uno de los más importantes para la protección de cultivos. Entre ellas se pueden destacar:

1. Poco o ningún efecto nocivo colateral de los enemigos naturales hacia otros organismos no diana, incluido el hombre.
2. La resistencia de las plagas al control biológico es muy rara.
3. El control es relativamente a largo término, con frecuencia permanente.
4. El tratamiento con insecticidas es eliminado por completo o de manera sustancial.
5. La relación costo/beneficio es muy favorable.
6. Evita plagas secundarias.
7. No existen problemas de intoxicaciones.
8. Se le puede usar dentro del Manejo Integrado de Plagas (MIP).

Caben distinguir tres estrategias básicas de aplicación del control biológico: **importación** e **incremento**, como resultado de la intervención directa del hombre y **conservación** como resultado de acciones indirectas. Se definen dos estrategias adicionales al considerar al mismo nivel que las anteriores las estrategias de **inoculación** e **inundación**.



**Figura 16: Adulto *Rodolia cardinalis*, alimentándose de la cochinilla acanalada, un clásico del control biológico**

### **Importación**

Se puede decir que el control biológico inicia su desarrollo con el éxito obtenido en 1880 tras la importación a EE.UU. desde Australia del coleóptero coccinélido *Rodolia cardinalis* (Fig. 16) para el control de una plaga exótica en América, la cochinilla acanalada *Icerya purchasi*. De esta forma se plantea

la estrategia de importación como la introducción de un enemigo natural para el control de un agente exótico (no autóctono) productor de daños. Esta misma especie ha sido introducida recientemente en las islas Galápagos con el mismo fin. La Norma Internacional para Medidas Fitosanitarias (NIMF) “Directrices para la exportación, el envío, la importación y liberación de agentes de control biológico y otros organismos benéficos” (NIMF No. 3, 2005), proporciona lineamientos para la importación y utilización segura de ciertos enemigos naturales de las plagas (invertebrados y microorganismos). A pesar de la aparente sencillez del planteamiento de la estrategia de importación, su puesta en práctica requiere una serie de pasos, en ocasiones sumamente especializados. Y todo ello por la existencia de casos de importación en el que el agente introducido ha desplazado a especies del entorno y ha acabado siendo él mismo una plaga.

Desde sus inicios, la estrategia de importación ha sido la más frecuentemente utilizada contra plagas introducidas en nuevas áreas y establecidas de forma permanente sin un complejo de enemigos naturales asociado. Se han introducido tanto invertebrados como vertebrados, así como también microorganismos en áreas agrícolas, naturales y urbanas.

La principal ventaja de la importación de agentes de control biológico es la posibilidad de obtener niveles de control permanentes, resultando, a pesar de la inversión inicial, una relación costo/eficacia muy favorable, que algunos autores estiman en una proporción de 30:1, la más alta obtenida en cualquier sistema de control de organismos perjudiciales.

Sin embargo, en la actualidad se discute la inconveniencia ecológica de introducir especies en lugares donde antes no existían. Por ello, la estrategia de importación sólo debe aplicarse para el control de organismos nocivos foráneos, habiendo realizado previamente serios estudios ecológicos con objeto de evitar desplazamientos de los enemigos naturales autóctonos.

**Incremento:** consiste en aumentar artificialmente la población de enemigos naturales con objeto de producir una mayor tasa de ataque y con ello una disminución de la población del agente productor de daños. Esta estrategia tiende a ser utilizada en situaciones donde el control natural está ausente o se encuentra a niveles demasiado bajos para ser efectivos. Y se refiere siempre a especies preexistentes en el medio.

Generalmente ha sido una técnica prohibitiva en la mayor parte de las aplicaciones debido al elevado costo de producción y aplicación de las liberaciones de enemigos naturales. Sin embargo van apareciendo empresas especializadas o administraciones públicas que ofrecen el material dispuesto para su liberación o aplicación a un costo que lo hace viable. El gran éxito de esta técnica surge con los cultivos protegidos en invernaderos, debido a que son sistemas cerrados, con problemas constantes, ambiente controlado y producción elevada tanto en cantidad como en valor económico.

En función de las características de aplicación y planteamiento del control es posible diferenciar dos tipos fundamentales: inoculación, con finalidad preventiva; e inundación, con finalidad curativa.

**Inoculación:** la inoculación es una estrategia utilizada cuando es posible una cierta permanencia del enemigo natural en el cultivo, pero que es incapaz de vivir sobre él de forma permanente. Las liberaciones se hacen al establecimiento del cultivo para colonizar el área durante el tiempo de permanencia del cultivo (o estación climatológica) y de esta forma prevenir los incrementos de la densidad del agente perjudicial.

**Inundación:** la estrategia de inundación consiste en liberaciones de un número muy elevado de enemigos naturales para la reducción de la población del agente dañino a corto plazo, cuando la densidad alcanza niveles de daño económico. Esta estrategia es muy similar a la aplicación de productos fitosanitarios tanto en sus objetivos como en su formulación y aplicación.

**Conservación:** la estrategia de conservación de enemigos naturales es la menos estudiada y la más compleja de las estrategias de control biológico, fundamentalmente debido a que, a diferencia de las anteriores, su aplicación se lleva a cabo a través del manejo de las interacciones del agroecosistema para potenciar la eficacia de los enemigos naturales autóctonos y de esta forma prevenir el ataque.

Para poder llevar a cabo esta estrategia es fundamental la existencia de enemigos naturales que lleven a cabo un control natural de la población que produce el daño, pudiendo actuar sobre los elementos del medio tanto, modificando los factores que interfieren con las especies beneficiosas, como realizando un manejo de las necesidades de las especies beneficiosas en su ambiente. Nos referimos p.ej. a potenciar los lugares de cría o refugio, de



proporcionar hospederos alternativos o alimentación en los momentos de ausencia de la plaga. En este sentido se explica p.ej. la colocación de nidos de pájaros insectívoros o de posaderos para rapaces.

Dentro del control biológico con plantas podemos distinguir:

**Alelopatía:** es el estudio de la producción y secreción de sustancias por parte de las plantas para establecer relaciones simbióticas o antagónicas entre plantas en un mismo cultivo. En otras palabras, es el estudio entre plantas que son afines o se repelen entre ellas con aleloquímicos.

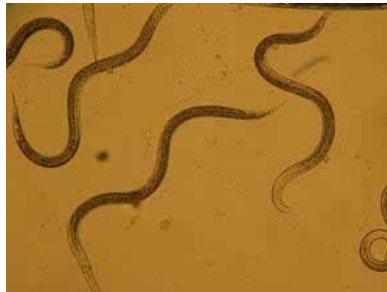
**Plaguicidas botánicos:** en la naturaleza las plantas se defienden naturalmente de los animales que las consumen a través de distintas estrategias. Las sustancias empleadas se conocen como plaguicidas botánicos y su aprovechamiento y producción comercial facilita el control de plagas de hongos o artrópodos. Se pueden utilizar en forma acuosa, infusión, o por extracción con compuestos orgánicos como alcoholes o acetonas. Para cultivos orgánicos se recomienda la aplicación en forma de extractos acuosos, por su fácil degradación con los factores del ambiente y que no dejan residuos en los productos agrícolas cosechados

**Cultivos trampa:** son cultivos de plantas con el fin de atraer insectos dañinos para mantenerlos alejados de los cultivos principales. Suelen ser plantados en el perímetro del terreno cuyo cultivo se trata de proteger o en forma intercalada. Es típico en los viñedos colocar rosales, ya que estos manifiestan antes el ataque de los hongos. El control biológico con plantas ofrece independencia y sostenibilidad a los cultivadores, sin la necesidad de contaminar mantos freáticos o aguas superficiales y sin perjudicar a los suelos.

## 4.2 Los nematodos entomopatógenos

Como su nombre indica (patógenos de insectos), este grupo de nematodos tiene la capacidad de infectar a los insectos, provocando su muerte y facilitando su control. Pueden actuar sobre las larvas o los adultos de los insectos, pero no sobre los huevos, como sí lo hacen algunas especies de avispijas (himenópteros). Estas especies de nematodos se caracterizan por poseer ciertas bacterias en el esófago, las cuales puede transmitir a insectos a la vez que se alimentan de ellos, causándoles la muerte. Las bacterias pertenecen a los géneros *Xenorhabdus* y *Photorhabdus*.

Estas especies de nematodos son de vida libre en su segundo estadio, el J2 (Fig.17) , que es que localiza e infecta a los insectos. Al comenzar a alimentarse de ellos liberan las bacterias, que por septicemia matarán en unos días al insecto. Ya antes de su muerte los insectos quedan inactivos y dejan de ocasionar daño en los cultivos. Mientras tanto los nematodos cambian de fase, se reproducen y salen por miles al medio, siendo capaces de permanecer en él y localizar e infectar a otros insectos. Es una de sus ventajas, que una vez realizada una infección, si las condiciones son adecuadas, no hay que volver a añadirlos. Hay reportes de su permanencia durante años en un mismo lugar.



**Figura 17: nematodos entomopatógenos en fase de J2** (cortesía de KOPPERT)

Los géneros más conocidos son **Steinernema** y **Heterorhadtis**, con más de 60 especies conocidas. Cada año se describe alguna especie nueva de los mismos. Los nematodos entomopatógenos son de reciente uso en la agricultura en comparación con otros métodos de control biológico. Su uso y aplicación en el control de plagas es poco común, debido, en gran parte, al desconocimiento que se tiene de los mismos y a la falta de disponibilidad comercial.

Existe una familia de nematodos entomopatógenos acuáticos, *Mermithidae*. Los insectos susceptibles a ser controlados con estos nematodos son aquellos que pasan un estadio de su ciclo en el agua (charcos, lagunas, aguas estancadas), especialmente aquellos dípteros que causan problemas de salud pública por la transmisión de enfermedades. Otras especies son útiles en el control de moluscos. Pertenecen a una familia llamada *Phasmarhabditidae*. Con ellos se han hecho pruebas para controlar al caracol manzana y otros moluscos plaga (Fig. 18).



**Figura 18: caracoles en una platanera**

Las familias *Heterorhabditidae* y *Steinernematidae* son usadas principalmente en cultivos agrícolas, en aquellos insectos que poseen un estadio susceptible en el suelo o en la superficie del mismo, como el gorgojo negro del vino (*Otiorhynchus sulcatus*, Coleóptera: Curculionidae), el gorgojo de la raíz de los cítricos (*Pachnaeus litus*), el cortador negro (*Agrotis ipsilon* Lepidóptera: Noctuidae), el cortador de las gramíneas (*Parapediasia teterrella*, Lepidóptera: Crambidae) y en insectos que ocurren en hábitats crípticos, especialmente las especies taladradoras o perforadoras (Kaya, 1993).

Por otro lado las especies de nematodos empleadas son muy específicas. Esto quiere decir que no afectan a cualquier especie de insecto, sino en general a unas pocas. Esto es una ventaja para su uso, ya que no van a afectar a especies de insectos útiles, como sí lo hacen los insecticidas, y no van a provocar así desequilibrios en el medio.

En muchas ocasiones la aplicación de un insecticida en vez de disminuir una plaga la multiplica a corto plazo, al hacer desaparecer las especies que controlaban a la plaga.

Sin embargo los nematodos presentan una limitación y es la humedad. Para su aplicación y, sobre todo, para su establecimiento en el campo, deben de contar con humedad suficiente en el suelo, ya que sin ella mueren.

Por eso no son válidos para cultivos de secano, salvo en temporada de lluvias. Igualmente la luz ultravioleta les afecta negativamente. Para minimizar este efecto los nematodos deben ser aplicados de preferencia al atardecer y además las formulaciones comerciales presentan sustancias bloqueadoras de la luz.

**Una vez aplicados al cultivo los nematodos usan una distinta estrategia según las especies:**

1. Unas especies se conocen con el nombre de **emboscadoras**. Los individuos permanecen atentos al paso de sus presas, sin gastar energía en desplazamientos. Ello les permite resistir más tiempo, pero limita su capacidad de encuentro.

2. Otras especies se conocen como **navegantes**. Ellas sí presentan un movimiento activo de búsqueda, lo que aumenta su capacidad de encuentro, pero supone un mayor gasto energético. La energía está contenida en la grasa. Los nematodos van siguiendo pistas de olor de su especie presa. En un medio conveniente se han registrado movimientos de varios centímetros, lo cual si tenemos en cuenta el tamaño de los nematodos es una gran distancia.

**Como siempre hay especies con un comportamiento intermedio.**

Las especies de nematodos entomopatógenos son habitantes usuales en la naturaleza. Por ello pueden ser aislados de su medio. Ello normalmente se realiza tomando muestras de suelo, homogeneizándolas y colocándolas en un bote de plástico, en cuya superficie se colocan larvas de lepidóptero, p.ej. del gusano del maíz. Teniendo cuidado de que el suelo mantenga su humedad en una semana se sacan las larvas y se colocan en placas de Petri con papel de filtro. Cuando están infectadas por nematodos cambian su color, de forma característica según la especie que la infectó. Así *Heterorhabditis* produce coloraciones rojas y *Steirnernema* marrones o amarillas. Si las larvas han muerto por otras causas tomarán una coloración negruzca. Las larvas presuntamente infectadas se colocan individualmente en placas de Petri con papel de filtro y agua. En unos días, si el resultado es positivo, veremos miles de pequeños nematodos saliendo del cadáver de la larva y moviéndose hacia el agua. Estos J2 se limpian varias veces en agua destilada y pueden conservarse en recipientes de plástico con agua en una nevera por meses. Necesitaremos de un experto para determinar su especie y es conveniente cada cierto tiempo repetir el proceso de multiplicación para mantener su infectividad. Esta población será local y tendremos menos problemas para emplearla. Otro paso será conocer si esa especie es activa frente a la plaga que queramos combatir, lo cual supone ensayos de laboratorio. Con todo si

tenemos que optar por introducir una población con otro origen, por las características de las mismas, estamos seguros de no provocar desequilibrios en el medio.

Aunque ya hemos nombrado algunas vamos a enumerar las **características** de los nematodos entomopatógenos:

De fácil **aplicación**, en agua y están ya disponibles comercialmente

**Inocuos:** no presentan interacciones ni con el hombre ni con especies animales superiores, ni afectan a los cultivos vegetales

**Permanentes:** tras una aplicación masiva y a falta del hospedero permanecen en poblaciones operativas durante meses. En presencia del hospedero se reproducen aumentando sus poblaciones

**Específicos:** son muy específicos en sus hospederos, evitándose así daños secundarios

Con un rango amplio de **Temperatura:** en frío y en calor según las especies de nematodos. *S. riobravis*, aislada cerca de este río fronterizo entre México y EEUU actúa en temperaturas de suelo próximas a 30°C.

Hemos dicho que están disponibles comercialmente, pero ¿cómo se reproducen industrialmente? Es importante que en el medio que los queramos reproducir exista sólo la especie de nematodo deseada y su bacteria asociada, pero no otras. Necesitamos además una superficie grande para que los nemátodos puedan crecer, una fuente de alimento para los nemátodos y una base alimentaria para las bacterias. Beeding (1986) propone un método que ha sido muy aceptado. Utiliza medio de vísceras de aves, placas de poliuretano para material de superficie y frascos grandes de vidrio o bolsas.

Otras técnicas han desarrollado la cría en contenedores de varios miles de litros de capacidad, que actúan como fermentadores. Los medios utilizados son harina de soya, extracto de levadura, aceite de maíz y yema de huevo, entre otros.

Hay técnicas más sencillas de reproducción a menor escala, in vivo, utilizando larvas de lepidópteros y placas de Petri. Es el denominado método de White (1927).

Una vez obtenidos los nematodos hay que lograr un producto final de fácil aplicación y con una adecuada protección, ya que los nemátodos son



organismos vivos sujetos a deterioro y pérdida de calidad durante el almacenamiento y el transporte. Se han elaborado así fórmulas con distintos productos que reducen su movilidad para disminuir el metabolismo y mejoran la estabilidad del almacenamiento, como las arcillas, los geles de poliacrilamida, las esponjas y los alginatos. La idea es tener un producto estable que permita reavivar los nematodos y usarlos para el control de plagas. Durante este tiempo los nematodos, aunque están en un estado de dormancia, siguen consumiendo sus reservas lipídicas, las cuales necesitarán cuando se activen para infectar a su presas.

La aplicación debe velar por la supervivencia de los nematodos y el situarlos cerca de la plaga. Dada la especificidad de las especies empleadas debemos asegurarnos primero de que la que se va a aplicar actúe contra la plaga que queremos combatir.

Cuando son aplicados en suelo se recomienda que éste tenga humedad suficiente y si no asegurarla con un riego previo a capacidad de campo. Una vez logrado esto hay que calcular la dosis, expresada normalmente en miles de individuos/m<sup>2</sup>. Si la superficie es pequeña la aplicación puede hacerse manualmente con una regadera. Si la superficie es mayor pueden emplearse aspersores mecánicos, siempre y cuando la presión no sea excesiva, pues ésta dañaría a los nematodos y se elimine además cualquier tipo de filtro del sistema.

Una vez en agua los nematodos por gravedad tienden a situarse en el fondo de los recipientes. Para su correcta aplicación deberemos remover periódicamente los contendores. De otra manera corremos el riesgo de una aplicación incierta en su dosis. En todo caso conviene dejar unas horas entre que los nematodos hayan sido resuspendidos en agua y que ésta sea aplicada. Con ayuda de una lupa pequeña debemos comprobar que los nematodos estén activos. Cuando están en actividad presentan un aspecto vermiforme, con movimientos sinusoidales.

Cuando están muertos o inactivos su aspecto es de un palo recto. Como se dijo más arriba los rayos ultravioletas presentan un efecto negativo en la actividad y supervivencia. Por ello es mejor aplicar los nematodos a última horas de la tarde o primeras de la mañana. Si el objetivo es aplicar los nematodos en la superficie del cultivo, además de ser válido el consejo anterior, se



deberán añadir sustancias surfactantes, que ayuden a los nematodos a fijarse a hojas y tallos y otras que les protejan de las radiaciones.

Se han desarrollado distintos estudios para valorar el efecto de otros tratamientos sobre la actividad de los nematodos, como insecticidas, herbicidas, fungicidas y abonados (Shapiro-Ilan *et al.* 2010). La mayor parte de los productos son compatibles y pueden aplicarse conjuntamente, hecho que disminuye los costos de aplicación.

Si la aplicación es correcta y las condiciones adecuadas, sobre todo la humedad y temperatura, evitando desecaciones y temperaturas extremas de frío y calor, los nematodos pueden permanecer durante años en el medio, reproduciéndose en la plaga por generaciones sucesivas.

Desafortunadamente la comercialización de los nematodos está aún muy reducida, y en países como el Ecuador no hay productos comerciales disponibles. Es un aspecto a resolver. En otros países hay grandes y pequeñas empresas implicadas en este mundo.

La mayoría de insectos susceptibles pertenecen a los órdenes Lepidoptera y Coleoptera, como las mariposas *Chilo spp.*, *Spodoptera littoralis*, *Pieris rapae*, *Agrotis segetum*, *Cossus*, *Zeuzera pyrina* y los Coleópteros: *Melolontha spp.*, *Otiorynchus spp.*, *Vesperus xatarti*, el picudo *Cosmopolites sordidus* y *Capnodis tenebrionis*.

También son susceptibles algunas especies de los órdenes Tisanóptera (*Frankliniella occidentalis*), Díptera (*Ceratitis capitata*), Homóptera (*Bemisia tabaci*, *Trialeurodes vaporariorum*, *Dysmicoccus vaccini*), Heteróptera (*Dysdercus peruvianus*), Isóptera (*Reticulotermes spp.*) y Orthóptera (*Locusta migratoria*).

Además se ha comprobado un importante efecto nematostático contra nematodos fitopatógenos de las especies *Meloidogyne spp.*, *Tylenchorhynchus spp.*, *Globodera spp.* y Criconemátidos (Fernández *et al.*, 2014).

Los nematodos pueden ser empleados en combinación con otros agentes de control. Cuando se incluyen sustancias químicas y otros controladores biológicos, principalmente hongos y virus, puede incrementarse la eficacia total de un control contra una especie de plaga. La combinación de nematodos con otros agentes biológicos, como por ejemplo, el uso del hongo *Beauveria bassiana* (Fig. 19) y *Heterorhabditis bacteriophora*, produce una mortalidad mayor que si se usara cada uno por separado (Barbercheck & Kaya, 1991).



**Figura 19. Adulto del picudo del plátano infectado por *Beauveria bassiana*.**

La combinación de nematodos y del insecticida bacteriano *Bacillus thuringiensis* (Kaya & Burlando, 1989) también ofrece la posibilidad de controlar diferentes especies en una misma aplicación, ya que la bacteria ataca a larvas de lepidóptera y el nematodo a otras plagas como los coleópteros. Un ejemplo de esta práctica es el uso de la bacteria *B. thuringiensis* y *H. bacteriophora* contra *Trichoplusia ni* (Lepidóptera: Noctuidae) en las hojas y larvas de *Cyclocephala hirta* (Coleóptera: Scarabaeidae) en el suelo. Asimismo, se pueden combinar dos especies de nematodos con estrategias de búsqueda distintas.

Entre las ventajas de estos nematodos está el hecho de que no causan daño a las plantas ni a los mamíferos, así como a los insectos que no son plaga. Entre sus inconvenientes está el que su efecto no suele ser visible, es difícil observar en campo a los insectos muertos, pero sí su protección en el cultivo. Frente a ello los insecticidas tienen un efecto aparente más rápido pero nunca estable.

Como puede observarse, las ventajas predominan sobre las limitaciones, ello refuerza la idea de que deben intensificarse los estudios sobre nematodos entomopatógenos en el marco de una agricultura ecológicamente competitiva, sostenible en el tiempo y que ofrezca productos de alta calidad.

### **4.3 Algunos casos prácticos**

Los nematodos entomopatógenos son empleados en la actualidad para el control de numerosas plagas agrícolas. Además de su presencia natural en el campo están disponibles comercialmente en formulados de fácil aplicación. Desafortunadamente en Ecuador no están muy difundidos.

En la tabla VI pueden verse algunos ejemplos de aplicación efectiva en algunas plagas.

**Tabla VI: ejemplos de aplicación exitosa del control biológico con nematodos entomopatógenos**

EPN especies	Principales plagas
<i>S. glaseri</i>	gusanos blancos, <i>Popillia</i> spp.
<i>S. kraussei</i>	gorgojo de la vid ( <i>Otiorhynchus sulcatus</i> )
<i>S. carpocapsae</i>	fungívoros, gorgojos
<i>S. feltiae</i>	moscas del mantillo ( <i>Bradysia</i> spp.)
<i>S. scapterisci</i>	Grillos de césped ( <i>Scapteriscus</i> spp.)
<i>S. riobrave</i>	Gorgojo de las raíces en cítricos ( <i>Diaprepes</i> spp.)
<i>H. bacteriophora</i>	gusanos blancos, curculiónidos
<i>H. megidis</i>	gorgojos
<i>H. indica</i>	fungívoros
<i>H. marelatus</i>	gusanos blancos, curculiónidos

### ***Hylobius abietis*, el gorgojo de los abetos**

Una de las principales plagas de las coníferas en Europa es la especie de Coleóptero curculiónido conocida como el gorgojo de los pinos (*Hylobius abietis*) (Fig. 19). Las larvas de esta especie son lignícolas y viven en tocones y árboles dañados. Los adultos se alimentan de la corteza de los árboles. Cuando atacan a una planta joven y realizan un anillado en la corteza provocan la muerte del vegetal. Un ataque masivo en una replantación puede originar un 90% de mortandad.

La práctica habitual es la aplicación de insecticidas en los primeros años de la reforestación. La restricción sucesiva de sustancias insecticidas en la Unión Europea, así como el respeto con el medio ambiente, aconsejan plantear estrategias alternativas de control de esta plaga.

Durante los años 1998 a 2000 se realizó una experimentación sobre los métodos de control de esta plaga. Los resultados están reflejados en Armendáriz *et al.* (2002). La estrategia consistía en plantear un control a través de tres elementos:

1. Hongos para acelerar la destrucción de los tocones; *Phlebiopsis gigantea*
2. Nematodos entomopatógenos; *Heterorhabditis bacteriophora*, *H. megidis*, *Steirnenema feltiae* y *S. carpocapsae*.
3. Parásitos de larvas; el himenóptero *Bracon hylobii* (Fig. 20)

El objetivo básico era comprobar la efectividad de los tres elementos y el que no hubiera interacciones negativas entre ellos y pudieran ser empleados conjuntamente en un sistema de control.

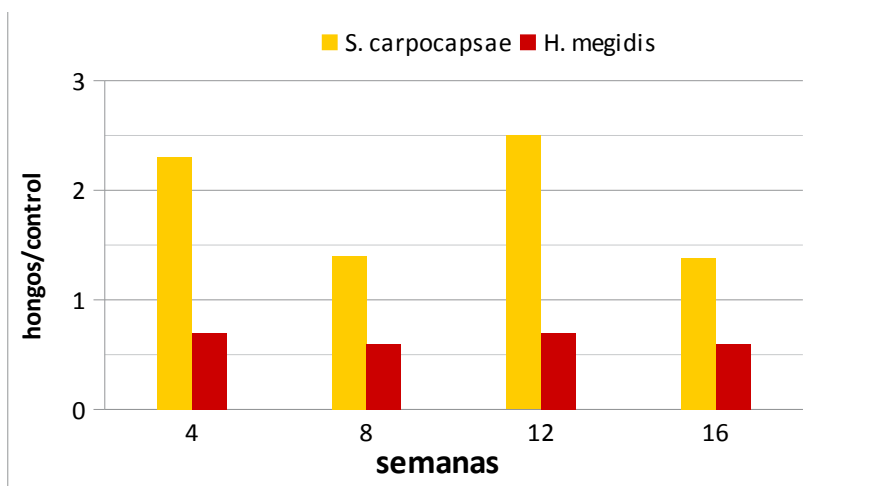
En la figura 21 se muestra la infectividad de dos especies de nematodos en presencia del hongo en diferentes semanas. Se ve como una de las especies se ve favorecida por el hongo (el control, nematodos sin hongos, se expresa como la unidad) y la otra ligeramente impedida, pero ambas son compatibles. En otros experimentos se probó la compatibilidad relativa del himenóptero con los nematodos y los hongos.



**Figura 19: adulto de *Hylobius abietis* alimentándose de corteza de una conífera**



**Figura 20: hembra de *Bracon hylobii* ovipositando sobre una larva de *H. abietis***



**Figura 21. Infectividad de dos especies de nematodos entomopatógenos en presencia del hongo *Phlebiopsis gigantea*.**

Los tres elementos son compatibles y pueden ser usados en conjunto. Técnicamente tanto los nematodos como el hongo pueden ser producidos a gran escala para su aplicación. Pero el himenóptero no, ya que solo se reproduce en presencia de la larva del gorgojo y aún no se ha encontrado un método asequible de producción masiva. En los años 2004 a 2006 se realizó un ensayo en Irlanda con la aplicación masiva de nematodos y hongos en campo, con resultados semejantes (Dillon *et al.*, 2008).

# Capítulo



5

**A MODO DE RESUMEN**





A lo largo de estas páginas se han expuesto de forma resumida una serie de conceptos sobre la agricultura y los nematodos, especialmente de las especies fitopatógenas y del género *Meloidogyne*, ideas orientadas en su mayor parte a su control. Este se puede realizar mediante:

**Nematicidas:** sustancias químicas aplicadas al suelo y que bien aplicadas controlan a los nematodos. Métodos eficaces pero con efectos secundarios indeseados, incluidos daños a la salud humana. Y además un recurso temporal dada la política de prohibición sucesiva de sustancias químicas en la agricultura por sus efectos nocivos en el medio ambiente y la salud humana.

**Prácticas culturales,** como son la elección de variedades más resistentes, la alternancia de cultivos, el empleo de cultivos trampa y las enmiendas del suelo con materia orgánica.

**Control biológico:** el uso de organismos vivos y sus derivados para controlar las plagas. En el caso de *Meloidogyne* son efectivas las bacterias y los hongos. Destacan entre ellos *Pasteuria penetrans*, *Tsukamurella paurometabola*, *Paecilomyces lilacinus*, *P. chlamydosporia* y *Myrothecium verrucaria*.

Como corolario se han citado dos casos de experimentación en la resistencia a *Meloidogyne*, uno con sustancias nematicidas en un cultivo de tomate riñón, entre las que se incluye el tratamiento de biofumigación y otro con injertos en plantas de tomate. Se puede ver como ambos métodos funcionan en el control de la plaga con resultados semejantes a otros químicos.

Como añadido hemos hablado de los nematodos entomopatógenos, organismos capaces de controlar distintas plagas agrícolas y ganaderas de forma mantenida y sostenible, evitando daños al medio ambiente y a especies no diana.

# BIBLIOGRAFÍA

- **Acosta A.** 2005. La técnica del injerto en plantas hortícolas. Viveros extra. Horticultura Internacional. Barcelona, España. Pp. 62-65.
- **Agrios G.N.** 1995. Fitopatología. 2 Edición. Limusa S.A. México. 756 pp.
- **Arias M., López-Pérez J. A., Sanz R. & Escuer M.** 1999. Alternatives to metil 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.
- **Armendáriz I., Downes M.J. & Griffin C.** 2002. Effect of Timber Condition on Parasitization of Pine Weevil (*Hylobius abietis* L.) Larvae by Entomopathogenic Nematodes under Laboratory Conditions. Biocontrol, Science & Technology, 12:225-233, En internet: <http://www.informaworld.com/smpp/content~db=all~content=a713655647>.
- **Barbercheck M. & H. K. Kaya.** 1991. Competitive interactions between entomopathogenic nematodes and *Beauveria bassiana* (Deuteromycotina: Hypomycetes) in soilborne larvae of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). Environmental Entomology: 20(2):707-712.
- **Beeding R.A.** 1986. Mass rearing, storage and transport of entomopathogenic nematodes. En R.A. Samson, J. M. Ulak and D. Peters (ed.). Fundamental and Applied aspects of invertebrate Pathology. Netherlands, pp:303-311.
- **Bello A., López-Pérez J.A. y Díaz-Viruliche L.** 2000. Biofumigación y solarización como alternativa al bromuro de metilo. In: J.Z. Castellanos, F. Guerra (Eds). Memoria del Simposio Internacional de la Fresa, Zamora 2000, INCAPA, México.
- **Bello A., López-Pérez J.A., Díaz Viruliche L.Ñ. & Tello J.** 2001. Alternatives to metil bromide for soil fumigation in Spain. En: Labrada R, Fornasari L (eds.) Global report on validated alternatives to the use of metil bromide for soil fumigation. FAO plant production and protection. Paper 166.
- **Blok W.J., Slomp C.P., Termorshuizen A.J. & Lamers J.A.** 1998. Control of soil-borne pathogens by inducing soil anaerobiosis. Phytoparasitica 26:244.

- **Bonner P.J., Xu Q., Black W.P., Li Z., Yang Z. and Shimkets L.J.** 2005. The Dif chemosensory pathway is directly involved in fosphatidylethanolamine sensory transduction in *Myxococcus xanthus*. *Mol. Microbiol.* 57(5): 499-508.
- **Bridge J. & Page S.L.J.** 1980. Estimation of Root-knot Nematode Infestation levels on roots using a rating chart. *Tropical Pest Management* 26 (3): 296-298.
- **Bridge J., Hunt D.J. & P. Hunt.** 1996. Plant-parasitic nematodes of crops in Belize. *Nematropica*, Vol 36(2): 111-119.
- **Brown P.D. & Morra M.J.** 1997. Control of soil-borne plant pests using glucosinolate-containing plants. *Advan. Aron.* 61: 167-231.
- **Camacho J.P.M., Cabrero J., López-León M.D. & Shaw M.W.** 1997. Evolution of a near-neutral B chromosome. In: Henriques-Gil N., Parker J., Puer-tas M.J. eds. *Chromosomes Today*, 12: 301-318, London: Chapman & Hall.
- **Cepeda S.M.** 1996. *Nematología Agrícola*. Ed. Trillas. México, D.F. 135 pp.
- **Dillon A.B., Moore C.P., Downes M.J. and Griffin C.T.** 2008. Evict or Infect? Managing populations of the large pine weevil, *Hylobius abietis*, using a bottom-up and top-down approach. *Forest Ecology and Management* 255, 2634-2642.
- **Fernández E., Arteaga E. y Pérez M.** 2014. Utilización de los nemátodos entomopatógenos en el control de plagas agrícolas. En Internet: <http://www.aguascalientes.gob.mx/codagea/produce/NEMA-ENT.htm>. Consultado el 21/01/2015.
- **FONTAGRO.** 2000. Informe Técnico Final consolidado del Proyecto: Manejo Integrado de Plagas para el mejoramiento de la producción sostenible de frutas en la Zona Andina Convenio BID-IICA-ATN/SF-6486-RG; FONTAGRO 5(28). En internet: [http://www.fontagro.org/sites/default/files/stecnico/final\\_infotec\\_98\\_28\\_consolidado.pdf](http://www.fontagro.org/sites/default/files/stecnico/final_infotec_98_28_consolidado.pdf). Consultado el 06/01/2015.
- **Fraga C.P.** 1984. *Introducción a la nematología agrícola*. 2º ed. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires. 119 pp.

- **Fraga F.** 1974. Distribution des masses d'eau dans l'upwelling de Mauritanie. *Téthys* 6 (1-2): 5-10.
- **Guzmán Piedrahita O.A., Castaño Zapata J., Villegas Estrada B.** 2012. Principales nematodos fitoparásitos y síntomas ocasionados en cultivos de importancia económica. *Agron.* 20(1): 38 – 50.
- **Harvey S. & Sams C.** 2001. Brassica Biofumigation Increases Marketable Tomato Yield. En Internet: [http://bioengr.ag.utk.edu/Extension/ExtProg/Vegetable/year/VegInitReport01/54brassica\\_biofumigation\\_increases.htm](http://bioengr.ag.utk.edu/Extension/ExtProg/Vegetable/year/VegInitReport01/54brassica_biofumigation_increases.htm). Consultado el 21/01/2015.
- **INIAP.** 1992. Informe Técnico anual del Programa de Leguminosas de la Estación Experimental Santa Catalina. Quito, Ecuador. P 2-6.
- **INIAP.** 2006. Control biológico del nematodo agallador *Meloidogyne* sp. con la bacteria *Pasteuria penetrans* en campos de producción. Informe final. En internet: [http://www.iniap.gob.ec/sitio/index.php?option=com\\_sobi2&sobi2Task=sobi2Details&catid=2&sobi2Id=127&Itemid=](http://www.iniap.gob.ec/sitio/index.php?option=com_sobi2&sobi2Task=sobi2Details&catid=2&sobi2Id=127&Itemid=). Consultado el 06/01/2015.
- **Kacjan Maršić N. & Osvald J.** 2004. The influence of grafting on yield of two tomato cultivars (*Lycopersicon esculentum* Mill.) grown in a plastic house. *Acta Agriculturae Slovenica* 83(2):243-249.
- **Kaya H. & Burlando T. M.** 1989. Development of *Steinernema feltiae* (Rhabditida: Steinernematidae) in diseased insect host. *J. Inverteb. Pathol.* 53: 164-168.
- **Kaya H.** 1993. Contemporary issues in biological control with entomopathogenic nematodes. Food and Fertilizer Technology Center. Taipei, Republic of China on Taiwan. Extension Bulletin N° 375, 13 p.
- **Kierkegaard J.A. & Sarwad M.** 1998. Biofumigation potential of brassicas: I. Variation in glucosinolate profiles of diverse field - grown brassicas. *Plant and Soil* 201: 71-89.
- **Koenning S., Overstreet C., Noling J.W., Donald P.A., Becker J.O. & Fortnum B.A.** 1999. Survey of crop losses in response to phytoparasitic nematodes in the United States for 1994. Supplement to the *Journal of Nematology*, 31(4S): 587-618.



- **Lazarovits G., Tenuta M. & Conn K.L.** 2001. Organic amendments as a disease control strategy for soil borne disease of high-value Agricultural crops. *Australians. Plant Pathol.* 30(2): 111-117.
- **Lee J.M.** 1994. Cultivation of grafted vegetables I. Current status, grafting methods, and benefits. *HortScience* 29(4): 235-239.
- **Llerena B.S. y Llerena S.P.** 2010. Control del nematodo *Meloidogyne sp.* en tomate riñón (*Lycopersicon esculentum*) híbrido nemoneta con tres dosis de Intercept y Nemasol en la Parroquia Yaruquí, Provincia Pichincha. Tesis de Grado. Universidad de Bolívar, Ecuador. 166 pp.
- **Matthiesen J. N. & Kirkegaard J. A.** 1993. Biofumigation, a new concept for 'clean and green' pest and disease control. *Western Australian Potato Grower* October Issue 14-15.
- **Miguel A. y Cebolla V.** 2005. Unión del Injerto. *Revista Terralia*, IX (53: 50-60, España - Valencia. En Internet: <http://www.terralia.com/articulo.php?recordID=1203>.
- **Mitidieri M. S., Brambilla M.V., Piris M.; Piris E. y Maldonado, L.** 2005. El uso de portainjertos resistentes en cultivo de tomate bajo cubierta: resultados sobre la sanidad y el rendimiento del cultivo. INTA Centro Regional Buenos Aires Norte, Buenos Aires, Argentina. 8 pp.
- **Montalvo D.** 2004. Evaluación de productos químicos y sus combinaciones con microorganismos antagonistas en el cultivo de hipericum (*Hipericum incolorum*) como alternativas al bromuro de metilo en la desinfección del suelo. Tesis. Ing Agrop. Quito. Escuela Politécnica del Ejército. 150 pp.
- **NIMF.** En Internet: [www.fao.org/docrep/015/i2080s/i2080s09.pdf](http://www.fao.org/docrep/015/i2080s/i2080s09.pdf). Consultado el 25/02/2015.
- **Puertas Arias A. e Hidalgo Díaz L.** 2014. Nematodos fitoparásitos: Los nematodos formadores de agallas, tácticas para su manejo. En internet: <http://www.monografias.com/trabajos75/nematodos-fitoparasitos-manejo-formadores-agallas/nematodos-fitoparasitos-manejo-formadores-agallas2.shtml>. Consultado el 14/12/2014.
- **Quiña Cepeda D.M.** 2008. Estudio de compatibilidad y rendimiento de híbridos de tomate riñón injertados sobre el patrón Beaufort tolerante

- a Meloidogyne. Tesis de Grado. Universidad de las Fuerzas Armadas, ESPE. 87 pp.
- **Rios Salgado M.E.** 2006. Combate de *Meloidogyne* sp. En tomate riñón (*Lycopersicon esculentum*) con métodos químicos, físicos, biológicos y biofumigación bajo invernadero. Tesis de Grado. Universidad de las Fuerzas Armadas, ESPE. 78 pp.
  - **Robalino G.M. y Jijón G.T.** 1976. Estudio de resistencia a *Meloidogyne* sp. (Goeldi 1887) en diez variedades de tomate, control químico y efecto poblacional en cultivos antagónicos. Quito Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Agronómica y Medicina Veterinaria. 119 pp.
  - **Rodríguez-Kábana R., Robertson D.G. & Wells L.** 1990. Peanut-soybean rotation for the management of *Meloidogyne arenaria*. Proceedings of the Southern Soybean Disease Workers p.31.
  - **Roubtsova T., López-Pérez J.A., Edwards S. & Ploeg A.T.** 2007. Effect of broccoli (*Brassica oleracea*) tissue, incorporated at different depths in a soil column, on *Meloidogyne incognita*. J. Nematol. 39(2): 111-117.
  - **Shapiro-Ilan D.I., Cottrell T.E., Mizell R.F., Horton D.L., Behle B. & Dunlap C.** 2010. Efficacy of *Steinernema carpocapsae* for control of the lesser peachtree borer, *Synanthedon pictipes*: Improved aboveground suppression with a novel gel application. Biological Control 54: 23-28.
  - **Solís F.** 2004. Evaluación de la Injertación de Tomate y su Comportamiento en Invernadero Sobre Prendimiento, Enfermedades, Rendimiento y Calidad de Fruto. ICTA, Guatemala.
  - **Stirling G.R.** 1991. Biological Control of Plant Parasitic Nematodes: Progress, Problems and Prospects. En: Stirling G.R. eds. Safety of Fungal Biocontrol Agents. CAB International, Wallingford UK, 1991.
  - **Taylor A.L. & Sasser J.N.** 1978. Biological identification and control of root knot nematodes (*Meloidogyne* species). North Carolina State University and U.S. Agency for International Development, Raleigh. North Carolina, USA. 111 pp.

- **Taylor A.L.** 1971. Introducción a la nematología vegetal aplicada. Guía de la FAO para el estudio y combate de los nematodos parásitos de las plantas. 2ª ed. FAO, Roma. 131 pp.
- **Taylor A.L. & Sasser J.N.** 1983. Biología, identificación y control de los nematodos de nódulo de la raíz (especies de Meloidogyne). Departamento de Fitopatología de la Universidad del Estado de Carolina del Norte, USA. 111 pp.
- **Terán G.** 2007. Entorno En Que Vive La Gente (Los plaguicidas). Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS) 2007. *La equidad en la mira: la salud pública en Ecuador durante las últimas décadas* (Quito: OPS/MSP/CONASA). 166-176, En internet: [www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd68/GuidoTeran.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd68/GuidoTeran.pdf). Consultado el 08/12/2014.
- **USDA.** En internet: (<http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/person/990/Chitwood2003NematicideReview.pdf>, consultado el 08/12/2014).
- **Villeneuve F. & Lepaumier B.** 2000. Biofumigation, first results on lettuce in protected culture. En: Gullino M.L., Katan J. & Matta A. (eds.) Proceedings of the Fifth International Symposium on Chemical and Non-Chemical Soil and Substrate Disinfestation, Acta Horticulturae 532:65-70.
- **Whitehead A.G.** 1998. Plant nematode control. CAB international, Wallingford. Oxon, UK. 1-12 pp.
- **Yépez T.G.** 1972. Los nematodos enemigos de la Agricultura. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Instituto de Zoología Agrícola. Maracay, Ven. Imprenta Universitaria, Caracas. 120 pp.
- **Zuckerman B.M., Mai W.F. & Harrison M.B.** 1985. Fitonematología. Manual de Laboratorio. Versión en Español por N. Marbán-Mendoza. CATTIE, Turrialba, Costa Rica. 248 pp.



# Publicaciones Científicas



ISBN: 978-9978-301-63-0



9 789978 301630