



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA
AGRÍCOLA



POSGRADO EN PROTECCIÓN VEGETAL

**EVALUACIÓN DE NEMATICIDAS QUÍMICOS CONTRA
NEMATODOS AGALLADORES EN LOS CULTIVOS DE JITOMATE Y
PEPINO EN CONDICIONES DE CAMPO 2014.**

TESIS
QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
DE:
MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL



PRESENTA:

JOSÉ ALONSO CALVO ARAYA

DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

CHAPINGO, ESTADO DE MÉXICO, OCTUBRE 2014

La presente tesis titulada **“EVALUACIÓN DE NEMATICIDAS QUÍMICOS CONTRA NEMATODOS AGALLADORES EN LOS CULTIVOS DE JITOMATE Y PEPINO EN CONDICIONES DE CAMPO 2014”** realizada por el alumno “José Alonso Calvo Araya” bajo la dirección del consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para la obtención del grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

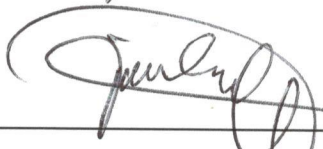
CONSEJO PARTICULAR

DIRECTOR:



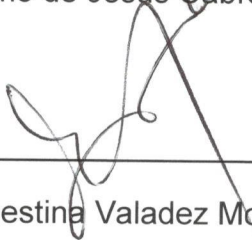
Dr. Nahum Marbán Mendoza

ASESOR:



Dr. Anselmo de Jesús Cabrera Hidalgo

ASESORA:



Dra. Ernestina Valadez Moctezuma

Chapingo, Texcoco, Estado de México, Octubre de 2014

DEDICATORIA

A DIOS que me dio las fuerzas necesarias para superar y enfrentar los momentos difíciles con ánimo.

A mis padres María Araya Campos y José Alberto Calvo, por brindarme incondicionalmente su apoyo en todo momento, enseñándome que con esfuerzo, sacrificio y entrega todo se puede.

A mi esposa Martha Orozco por acompañarme y por apoyarme en todo momento durante la realización de mi maestría en México.

A mis amigos de maestría de la generación 52, gracias por todos los momentos que compartí con ustedes y por recibirme cordialmente en su patria.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) por la beca brindada por medio del Convenio IICA-CONACYT.

A la Universidad Autónoma Chapingo y al personal académico de la Maestría en Ciencias en Protección Vegetal, por el apoyo en bien de esta investigación; y su siempre generosa amistad y calidad humana que me brindaron durante mi estadía en México.

Al profesor y director de mi tesis Dr. Nahúm Marbán Mendoza, por guiarme desde mi llegada a México y por sus valiosas contribuciones para que esta investigación se pudiera llevar a cabo.

Al Dr. Anselmo de Jesús Cabrera Hidalgo por su valiosa colaboración, entrega, dedicación y sugerencias durante cada una de las fases del desarrollo de esta investigación.

A la Dra. Ernestina Valadez Moctezuma por su apoyo y observaciones realizadas para la conclusión de mi tesis.

A la Empresa Bravo AG por la ayuda brindada para la realización de la presente investigación.

DATOS BIOGRÁFICOS



José Alonso Calvo Araya (1985)

Nació el día 27 de marzo de 1985 en la Provincia de Alajuela, Costa Rica. Realizó sus estudios de nivel básico en la escuela primaria “Ricardo Fernández Guardia” (1991-1997) en La Garita de Alajuela; el nivel medio básico y el nivel medio superior en el Liceo de Atenas (1998-2002) localizado en el Cantón de Atenas, Alajuela, Costa Rica. Los estudios de nivel superior los realizó en la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA) (2003-2008) ubicada en la provincia de Heredia, Costa Rica. Donde obtuvo los títulos de Ingeniería en Agronomía con el grado de Bachillerato e Ingeniería en Agronomía con énfasis en Agricultura Alternativa con el grado de Licenciatura. Prestó servicios profesionales en la Universidad Nacional de Costa Rica como asistente de Investigación en Entomología (2007-2009). También ocupó el cargo de Técnico en Entomología en The University of Western Australia (UWA) (2010-2012).

Inicio en el año 2013, sus estudios de Maestría en el Departamento de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, siendo miembro de la generación 52, como alumno del programa de Maestría en Ciencias en Protección Vegetal, finalizando en 2014 con la presentación del presente trabajo de investigación.

Email: josealonsocalvoaraya@gmail.com

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS	ii
DATOS BIOGRÁFICOS	iii
INDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	x
ABSTRACT	x
CAPITULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.1. Generalidades de las hortalizas: jitomate y pepino	1
1.1.2. Importancia económica y social de las hortalizas	3
1.1.3. Nematodos fitoparásitos como factor limitante en la producción de hortalizas.....	5
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	15
1.4. OBJETIVO GENERAL	17
1.5. HIPÓTESIS GENERAL.....	17
1.6. BIBLIOGRAFÍA.....	18
CAPITULO II. EFECTO NEMATICIDA DEL FLUENSULFONE Y OXAMIL SOBRE POBLACIONES DE NEMATODOS AGALLADORES EN CULTIVOS HORTÍCOLAS. COJUMATLÁN DE REGULES, MICHOACÁN. 2013.	24
2.1. INTRODUCCIÓN	24
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	28
2.3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
2.3.1. Localización del área de estudio	29
2.3.2. Condiciones climáticas en el área de estudio	30
2.3.3. Características de los cultivares.....	30
2.3.4. Descripción de la unidad experimental.....	30
2.3.6. Características de los productos evaluados.....	34
2.3.7. Variables evaluadas	35

2.3.8 Análisis estadístico.....	42
2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
2.4.1. Efecto nematicida del fluensulfone sobre poblaciones de <i>M. incognita</i> en el cultivo de jitomate.	43
2.4.2. Efecto nematicida del fluensulfone sobre poblaciones de <i>M. incognita</i> en el cultivo de pepino.	58
3.6. BIBLIOGRAFÍA.....	71

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tratamientos evaluados para el control de poblaciones de <i>M. incognita</i> en los cultivos de jitomate y pepino en Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013.....	32
Cuadro 2. Principales plagas controladas por el producto Vydate L (oxamil).....	35
Cuadro 3. Escala visual de severidad propuesta por Taylor y Sasser (1978) para la evaluación del índice de agallamiento en raíces de pepino y jitomate en Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013.....	39
Cuadro 4. Escala porcentual de la Sociedad Europea de Investigación en Malezas para evaluar la posible fitotoxicidad de los tratamientos en los cultivos de pepino y jitomate, en Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013.	41
Cuadro 5. Efecto del fluensulfone y oxamil sobre las poblaciones de <i>M. incognita</i> en el cultivo de jitomate a los 80 ddt. Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013.	44
Cuadro 6. Efecto del fluensulfone y oxamil sobre el porcentaje e índice de agallamiento ocasionado por <i>M. incognita</i> en el cultivo de jitomate a los 80 ddt. Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013.....	47
Cuadro 7. Efecto del fluensulfone y oxamil sobre la altura de planta y peso fresco de raíz en el cultivo de jitomate a los 80 ddt. Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013.	52
Cuadro 8. Efecto del fluensulfone y oxamil sobre la producción de frutos en las plantas de jitomate a los 70 ddt. Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013.	53
Cuadro 9. Efecto del fluensulfone y oxamil sobre la producción de frutos en las plantas de jitomate a los 80 ddt. Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013.	55
Cuadro 10. Efecto del fluensulfone y oxamil sobre las poblaciones de <i>M. incognita</i> en el cultivo de pepino a los 60 ddt. Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013.	58
Cuadro 11. Efecto del fluensulfone y oxamil sobre el porcentaje e índice de agallamiento ocasionado por <i>M. incognita</i> en el cultivo de pepino a los 60 ddt. Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013.....	61
Cuadro 12. Efecto del fluensulfone y oxamil sobre la longitud de guía principal y peso fresco de raíz de pepino a los 60 ddt. Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013.	66

Cuadro 13. Efecto del fluensulfone y oxamil sobre la producción de frutos en las plantas de pepino a los 56 ddt. Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013.	68
Cuadro 14. Efecto del fluensulfone y oxamil sobre el número de frutos segundo corte, peso frutos por unidad experimental y peso promedio de frutos de pepino a los 63 ddt, tratadas con oxamil y fluensulfone. Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013.	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo biológico de <i>M. incognita</i> . A) Etapa de embriogénesis; B) el segundo estadio juvenil invade las raíces; C) J2 invade la raíz y forma células gigantes; D) J2 se alimenta de células gigantes y comienza a formar agallas; E) tercer estadio juvenil: E1= Primera muda, E2= segunda muda, E3= tercera muda y E4= cuarta muda; F) cuarto estadio juvenil; G) nematodos adultos, el macho abandona la raíz; H) hembra deposita huevos en ovisaco; I) las agallas viejas contienen muchas hembras ovipositoras y constituyen una fuente de nuevas infecciones; J-L) etapas de desarrollo del agallamiento radical. Tomada de Agrios (2005).	9
Figura 2. Raíz de jitomate agallada por <i>M. incognita</i> . Tomada de Greco y Di Vito (2009).....	14
Figura 3. Lote comercial de jitomate infestado naturalmente con <i>M. incognita</i> donde se llevó a cabo el experimento.	29
Figura 4. Distribución de los tratamientos en campo para el control de nematodos agalladores en los cultivos de jitomate y pepino en Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013.....	31
Figura 5. Aplicación de los nematicidas para el combate de <i>M. incognita</i>	33
Figura 6. Patrón de muestreo en zig-zag utilizado para recolectar las muestras de suelo en los cultivos de pepino y jitomate. Tomada de Been y Schomaker (2013)...	36
Figura 7. Procesamiento de muestras edáficas procedentes de Cojumatlán de Regules, Michoacán, mediante tamizado de Cobb (1918). Tomada de Shurtleff y Averre III (2000).	37
Figura 8. Porcentaje de agallamiento en raíces de jitomate tratadas con fluensulfone y oxamil a los 80 ddt. Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013. OX= oxamil; Fsf= fluensulfone	48
Figura 9. Agallamiento ocasionado por <i>M. incognita</i> en plantas de jitomate. A) fluensulfone, 2 L·ha ⁻¹ ; B) fluensulfone, 2.25 L·ha ⁻¹ ; C) fluensulfone, 2.5 L·ha ⁻¹ ; D) fluensulfone, 2.75 L·ha ⁻¹ ; E) oxamil y F) control.....	49
Figura 10. Efecto nematicida del fluensulfone y oxamil contra <i>M. incognita</i> en plantas de jitomate bajo condiciones de campo a los 80 ddt. Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013.	51

Figura 11. Porcentaje de agallamiento en raíces de pepino tratadas con fluensulfone y oxamil a los 60 ddt. Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013.	63
Figura 12. Agallamiento ocasionado por <i>M. incognita</i> en el cultivo de pepino. A) fluensulfone, 2 L·ha ⁻¹ ; B) fluensulfone, 2.25 L·ha ⁻¹ ; C) fluensulfone, 2.5 L·ha ⁻¹ ; D) fluensulfone, 2.75 L·ha ⁻¹ ; E) oxamil; F) Control.....	64
Figura 13. Efecto de control del fluensulfone y oxamil contra <i>M. incognita</i> en plantas de pepino bajo condiciones de campo a los 60 ddt. Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013.	65

**EVALUACIÓN DE NEMATICIDAS QUÍMICOS CONTRA NEMATODOS AGALLADORES
EN LOS CULTIVOS DE JITOMATE Y PEPINO EN CONDICIONES DE CAMPO 2014.
ASSESSMENT OF CHEMICAL NEMATICIDES AGAINST ROOT-KNOT NEMATODES IN
CUCUMBER AND TOMATO CROPS UNDER FIELD CONDITIONS 2014**

Calvo-Araya, J.A¹; Marbán-Mendoza, N².

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto nematicida de fluensulfone y oxamil sobre el nematodo agallador *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) Chitwood, 1949 en los cultivos de jitomate y pepino bajo condiciones de campo.

Se evaluaron seis tratamientos para el control de *M. incognita*: cuatro dosis de fluensulfone, una dosis de oxamil y un control. Los tratamientos se distribuyeron bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se realizó una sola aplicación de los nematicidas diez días antes del trasplante. Los resultados indican que el mejor producto químico en el cultivo de jitomate fue fluensulfone a las dosis de 2.5 L·ha⁻¹ con un porcentaje de control del 82.98%. En el cultivo de pepino el mejor control se obtuvo con la aplicación de fluensulfone a la dosis de 2.25 L·ha⁻¹ dando un porcentaje de control del 81.15%.

En los cultivos de jitomate y pepino las densidades poblacionales más bajas de *M. incognita* se encontraron en las parcelas tratadas con fluensulfone a dosis de 2.75 L·ha⁻¹, con un promedio de 26 y 6.25 J2, respectivamente

La producción más alta en los cultivos de jitomate y pepino se obtuvieron en las parcelas tratadas con fluensulfone a dosis de 2 y 2.5 L·ha⁻¹ con valores promedios de 2,853.3 y 6,180 g de peso de frutos por unidad experimental, respectivamente.

Palabras clave: nematodo agallador, condiciones de campo, fluensulfone.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of the nematicides fluensulfone and oxamyl on the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) Chitwood, 1949, in cucumber and tomato crops under field conditions.

Six treatments were assessed for control of *M. incognita*: four doses of fluensulfone, one of oxamyl and a control. The field design used was the Randomized Complete Block Design (RCBD), with six treatments and four replications. Ten days before transplanting, nematicides were applied in a single application. The results indicated that the best of the chemical products tested in tomato was fluensulfone at the rate of 2.5 L·ha⁻¹, with 82.98% nematode control. In cucumber the best percentage of control was obtained with fluensulfone applied at a rate of 2.25 L·ha⁻¹ with 81.15% nematode control. The lowest final population density of *M. incognita* in tomato and cucumber crops were recorded in the plots treated with fluensulfone at the rate of 2.75 L·ha⁻¹, with an average of 26 and 6.25 J2, respectively.

The highest cucumber and tomato yields were obtained in the plots treated with fluensulfone at the rate of 2 and 2.5 L·ha⁻¹, with an average of 2,853.3 and 6,180 g of fruit per experimental unit, respectively.

Key words: root-knot nematode, field conditions, fluensulfone.

¹Tesista de la Maestría en Ciencias en Protección Vegetal, Universidad Autónoma Chapingo. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México, C.P. 56230. E-mail: josealonsocalvoaraya@gmail.com

²Profesor-Investigador del Posgrado en Protección Vegetal, Universidad Autónoma Chapingo. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México, C.P. 56230. E-mail: nahumm@correo.chapingo.mx

CAPITULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. INTRODUCCIÓN

1.1.1. Generalidades de las hortalizas: jitomate y pepino

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) pertenece a la familia botánica de las solanáceas y es originario de la zona Andina (Perú, Bolivia y Ecuador), siendo la región Sur de México y Norte de Guatemala donde se domesticó. En estas regiones se encuentra el mayor grado de diferenciación varietal de esta especie vegetal. Los nativos lo cultivaron desde antes de la llegada de los conquistadores a América; aunque fue a partir del siglo XIX cuando adquirió una gran importancia económica a nivel mundial, llegando a ser junto con la papa, la hortaliza más difundida y predominante en el mundo (CATIE, 1990).

De acuerdo con Nuez (1995), el jitomate es una planta que puede crecer de forma rastrera, semirrecta o erecta, y puede clasificarse de acuerdo a su crecimiento en variedades determinadas e indeterminadas, pudiendo llegar a medir en estas últimas, hasta 10 m de longitud en un año. El sistema radical de esta planta está constituido por la raíz principal, las raíces secundarias y las raíces adventicias, el tallo típico tiene de 2-4 cm de diámetro en la base y está cubierto por pelos glandulares y no glandulares que salen de la epidermis, las hojas del jitomate son pinnado-compuestas, presentan flores perfectas, regulares e hipóginas que constan de 5 o más sépalos dispuestos de forma helicoidal. El fruto es una baya carnosa, el cual se desarrolla a partir de un ovario y alcanza un peso final en la madurez que oscila entre los 5 a los 500 g, en función de la variedad y las condiciones de desarrollo.

El pepino (*Cucumis sativus* L.) se considera originario de las regiones húmedas y tropicales de la India, aunque algunos autores señalan que primeramente llegó a China y posteriormente a otras regiones asiáticas, antes de ser llevado a Europa; por lo que actualmente se reconoce al sur de Asia como centro de origen de esta hortaliza, en donde ha sido cultivada por más de 300 años. Es una planta herbácea anual, que pertenece al orden cucurbitales, y a la familia cucurbitaceae. Desarrolla una raíz principal que puede alcanzar de 1 a 1.2 m de profundidad en el suelo, dando origen a raíces secundarias, que se caracterizan por ser muy ramificadas y extenderse horizontalmente, encontrando la mayor parte de las raíces secundarias en la capa superficial del suelo (en los primeros 20-30 cm) (Huerres, 1988). De acuerdo a Bolaños (1998), el pepino tiene un tallo anguloso por los 4 lados, de porte rastrero o trepador y vellosos, el tallo principal presenta en cada nudo una hoja y un zarcillo, en las axilas de las hojas crecen ramificaciones que pueden llamarse ramillas primarias y secundarias. Las guías son órganos que sirven de sujeción a la planta, posee hojas las cuales son palmeadas con cinco lóbulos y vellosas tanto el haz como el envés y están recubiertas de vellos finos, son alternas y presentan una cutícula muy fina, la flor tiene el pedúnculo corto en la misma planta de forma separada se presentan flores masculinas, femeninas y además ciertas variedades pueden presentar flores hermafroditas. El fruto es una baya y su superficie puede ser lisa o con pequeñas espinas, el color depende de la variedad y puede variar desde verde claro a verde oscuro, este se divide en dos grupos los de encurtidos y los de ensalada y su recolección se realiza antes de alcanzar la madurez fisiológica.

1.1.2. Importancia económica y social de las hortalizas

En la actualidad las hortalizas, tanto frescas como procesadas, tienen una gran aceptación por parte de los consumidores. Dicha aceptación se debe en gran medida a su facilidad de consumo y a los beneficios que estos alimentos producen en la salud humana (González *et al.*, 2007).

Las hortalizas frescas presentan un alto contenido en vitaminas, minerales, antioxidantes, glucosinolatos y otras sustancias bioactivas. Además, constituyen una buena fuente de energía y de fibra, siendo consideradas alimentos nutritivos (FAO, 2013).

Asimismo, la importancia de estos productos vegetales va más allá del aporte nutricional, ya que además suministran otras sustancias que, sin ser consideradas nutrientes, ejercen un efecto benéfico para la salud humana al ayudar a prevenir enfermedades o a aumentar la resistencia contra ellas. Constituyen una fuente importante de compuestos antioxidantes, que actúan como sistemas reguladores o controladores, que protegen al organismo contra el efecto dañino de los radicales libres, causantes de un amplio número de patologías, entre las que se incluyen el cáncer, los procesos inflamatorios y las enfermedades neurológicas degenerativas (Gueishman *et al.*, 2004).

En las últimas tres décadas, la producción y la comercialización de hortalizas frescas, se ha convertido en el subsector más dinámico de la agricultura mexicana. Esto derivado de los cambios en la oferta y la demanda, tanto a nivel nacional como internacional, así como por las condiciones geográficas que el país presenta para

producir estos cultivos, que son muy rentables en determinadas épocas del año (Macías, 2010)

El jitomate es el onceavo cultivo con mayor producción a nivel mundial, con un total de 159.02 millones de toneladas, provenientes de 4.73 millones de hectáreas cosechadas en el año 2011. México se ubica en el onceavo lugar como productor mundial de esta hortaliza (FAO, 2013).

Según datos del SIAP (2013) la producción de jitomate en México fue de 2.8 millones de toneladas con un rendimiento de 51.4 toneladas por hectárea, con una superficie sembrada de 55.9 mil hectáreas; siendo los principales estados productores Sinaloa, Baja California, Michoacán, Jalisco, Zacatecas, San Luis Potosí, Oaxaca, Nayarit, Sonora, Estado de México y Guanajuato.

Otra hortaliza importante en México es el pepino, el cual ocupa la segunda posición de importancia en producción, después del jitomate. La producción mundial de pepino es de 65.3 millones de toneladas provenientes de 2.0973 millones de hectáreas cosechadas en el año 2013 (FAO, 2013). De acuerdo con el SIAP (2013), en México se sembraron 16.500 hectáreas de pepino, con un valor de la producción de aproximadamente 2 mil millones de pesos, siendo Sinaloa el principal productor, con una participación del 39.5%, lo que representa un volumen de 188,491.27 toneladas, seguido de Michoacán con un 17.9%.

1.1.3. Nematodos fitoparásitos como factor limitante en la producción de hortalizas

1.1.3.1. Importancia de *Meloidogyne* spp.

Uno de los principales factores limitantes en la producción de hortalizas son las plagas y enfermedades, entre estos los nematodos fitoparásitos, los cuales representan una amenaza en la producción de estos cultivos, reduciendo significativamente los rendimientos. A nivel mundial, se ha estimado que estos agentes fitopatógenos causan pérdidas en la producción de hortalizas equivalente a unos \$77 a \$125 billones de dólares americanos (Abawi y Widmer 2000; Chitwood, 2003). Entre las especies de nematodos fitopatógenos con mayor importancia económica, encontramos al género *Meloidogyne* (Goldi, 1892), los cuales se encuentran distribuidos a nivel mundial, poseen una alta capacidad reproductiva y una amplia gama de hospedantes, lo que lo convierte en un patógeno importante y de difícil manejo. Las especies de *Meloidogyne* que causan los mayores daños en hortalizas son: *M. incognita* (Kofoed & White, 1919) Chitwood, 1949, *M. javanica* (Treub, 1885) Chitwood, 1949, *M. arenaria* (Neal, 1889) Chitwood, 1949 y *M. hapla* Chitwood, 1949 (Eisenback *et al.*, 1981; Sikora y Fernández, 2005).

Adams *et al.* (2009) mencionan que *Meloidogyne* spp. tiene más de 3000 especies de plantas como hospederas que representan casi todas las familias de plantas cultivadas, y estos nematodos suelen ser muy destructivos cuando son favorecidos por condiciones ambientales propicias y son de gran importancia económica en climas templados, tropicales, subtropicales y mediterráneos.

Bonnemaison (1975) y Blancard *et al.* (2000), señalan que *Meloidogyne* spp. puede permanecer en el suelo más de dos años en forma de huevo protegido por una sustancia mucilaginosa, mientras que los juveniles pueden sobrevivir varias semanas en suelos secos y varios meses en suelos húmedos, la diseminación de estos es a través de plántulas, agua de riego y herramientas.

Las especies vegetales afectadas por este nematodo incluyen: aguacate, alfalfa, algodón, amaranto, cacahuate, calabaza, cafeto, cebolla, chile, col, durazno, fresa, frijol, garbanzo, guayabo, manzano, melón, plátano, papa, papaya, papaya, quelite, sandía, tabaco, jitomate, vid, entre otros (Eisenback y Triantaphyllou, 1991; Cepeda, 1996).

1.1.3.2. Distribución geográfica

Las especies de *Meloidogyne* presentan un amplio rango de adaptación a condiciones edafoclimáticas, encontrándolas prácticamente en cualquier área donde se producen hortalizas; siendo, las especies más importantes a nivel mundial, por su amplia distribución geográfica y rango de hospedantes: *M. incognita*, razas 1, 2, 3 y 4; *M. arenaria*, razas 1 y 2; *M. javanica* y *M. hapla* A y B (Sasser, 1977; Guiran y Ritter, 1979; Eisenback y Triantaphyllou, 1981; Hartman y Sasser, 1985; Karssen y Van Hoenselaar, 1998).

Taylor *et al.* (1982) indican que *M. hapla* es una especie que se encuentra presente en el Norte de los Estados Unidos y Sur de Canadá, Norte de Europa y de Asia. En América del Sur se encuentra distribuida a los 40° de latitud Sur en las regiones montañosas del lado occidental del continente. En África, se localiza en altitudes

mayores a 1,500 msnm; mientras que en Australia es común encontrarla en la región de Victoria.

M. javanica se encuentra principalmente en áreas agrícolas con climas cálidos. En Norte y Suramérica se localiza muy escasamente sobre los 30° de latitud Norte y 35° de latitud Sur y su presencia es más común en zonas cercanas al Ecuador. En muchas partes de la zona cálida de África, Australia y Sur de Asia, *M. javanica*, *M. incognita* y *M. arenaria* son las especies más comunes (Montes, 1988; Carrillo *et al.*, 2000; Cid del Prado *et al.*, 2001).

En México, las especies de *Meloidogyne* se caracterizan por su amplio rango de hospedantes asociadas a cultivos básicos, frutales, hortícolas y ornamentales de las principales áreas agrícolas del país. *M. incognita* está presente en las zonas productoras de Aguascalientes, Baja California, Chiapas, Coahuila, Durango, Estado de México, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas (Montes, 1988; Carrillo-Fasio *et al.*, 2000; Cid del Prado *et al.*, 2001) reduciendo la producción de los cultivos en un 30 a 100% (Sánchez-Portillo, 2010).

1.1.3.3. Clasificación taxonómica y ciclo de vida de *M. incognita*

De acuerdo con Manzanilla-López y Hunt (2012), *M. incognita* presenta la siguiente clasificación taxonómica:

Phyllum	Nematoda
Clase	Chromadorea
Orden	Rhabditida
Superfamilia	Tylenchoidea
Familia	Hoplolaimidae
Subfamilia	Meloidogyninae
Género	<i>Meloidogyne</i>
Especie	<i>incognita</i>

El ciclo de vida de *M. incognia* dura de 3 a 4 semanas en hospedantes susceptibles, presentes en suelos ligeros, con temperaturas que oscilan entre los 25 y 30°C, pudiéndose presentar de 3 a 10 generaciones por año (Dropkin, 1980).

El ciclo biológico inicia con la oviposición de los huevos, posteriormente se presentan cuatro estadíos juveniles para convertirse en adulto (Bird, 1979). La hembra parcial o totalmente incrustada en la raíz de la planta hospedante, oviposita los huevos en una masa gelatinosa que los mantiene agregados en ésta o en sacos, en los que se han encontrado hasta mil huevos en una misma masa. El desarrollo del huevo inicia pocas horas después de la oviposición, dando como resultado 2, 4, 8 o más células, hasta que se desarrolla un juvenil, el cual presenta un estilete enrollado en la membrana del huevo. Este primer estadío juvenil se puede mover dentro del huevo pero no es muy activo. La primera muda ocurre dentro del huevo, dando origen al segundo estadío (J2), el cual emerge a través de un agujero que este hace mediante pinchazos repetidos con su estilete en uno de los extremos del huevo. Cuando el J2 está completamente desarrollado, con temperatura y humedad favorable, puede

abandonar o no, inmediatamente, la masa mucilaginosa. Generalmente en una misma masa de huevos, pueden encontrarse juveniles emergidos y huevos en diferentes etapas de desarrollo (Bird, 1979; Taylor *et al.*, 1982) (Figura 1).

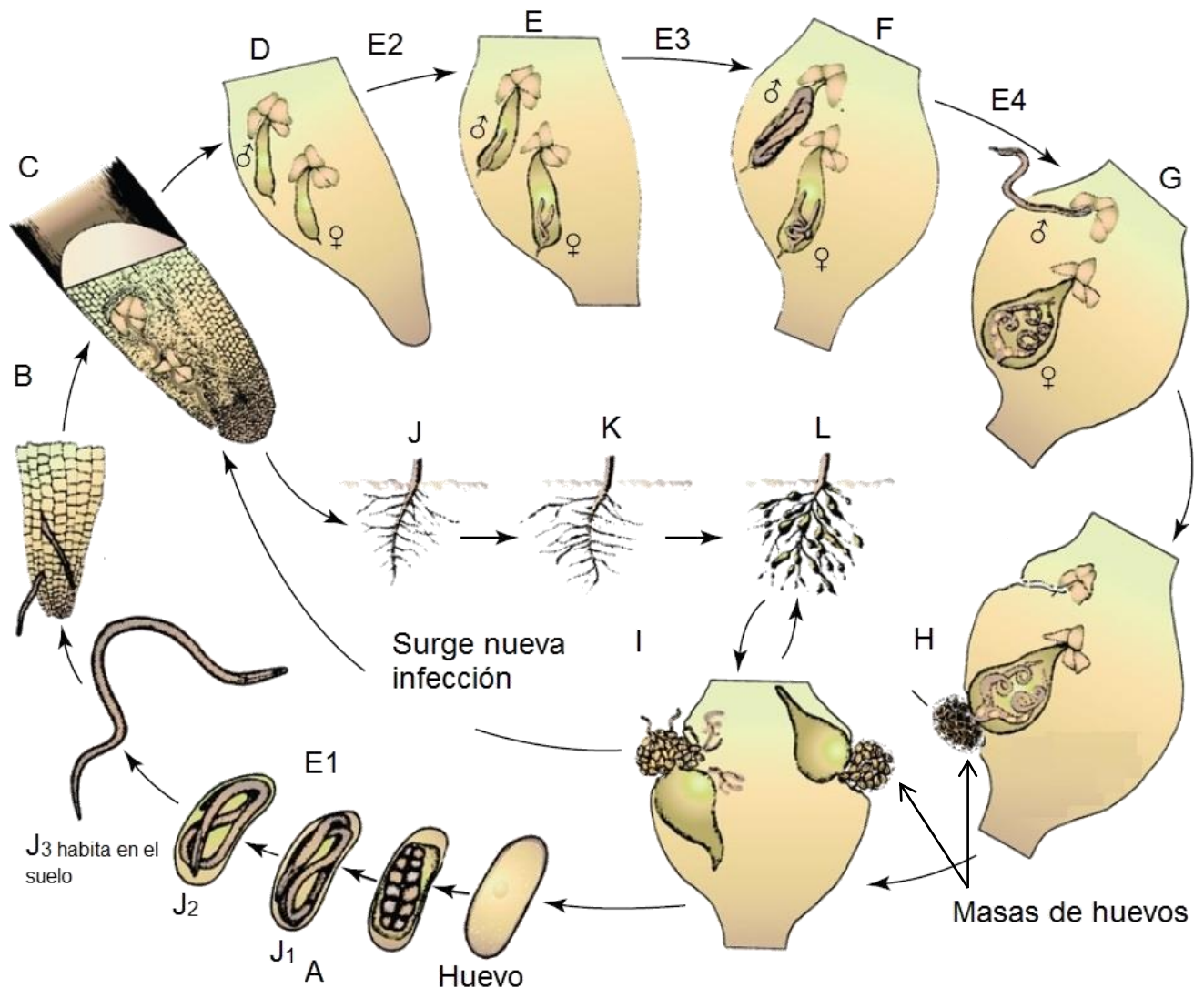


Figura 1. Ciclo biológico de *M. incognita*. A) Etapa de embriogénesis; B) el segundo estadio juvenil invade las raíces; C) J2 invade la raíz y forma células gigantes; D) J2 se alimenta de células gigantes y comienza a formar agallas; E) tercer estadio juvenil: E1= Primera muda, E2= segunda muda, E3= tercera muda y E4= cuarta

muda; F) cuarto estadio juvenil; G) nematodos adultos, el macho abandona la raíz; H) hembra deposita huevos en ovisaco; I) las agallas viejas contienen muchas hembras ovipositoras y constituyen una fuente de nuevas infecciones; J-L) etapas de desarrollo del agallamiento radical. Tomada de Agrios (2005).

Cuando se desprenden dos cutículas se considera que se ha completado la segunda y tercera muda en la hembra, en esta fase el estilete y el bulbo medio son regenerados, se forma la vagina y el patrón perineal se hace visible. Se forman dos gónadas femeninas, que se alargan y se doblan en el cuerpo, casi globular o ligeramente alargado con un cuello que puede ser corto y robusto (Taylor *et al.*, 1982).

Torres *et al.* (2007) propusieron que durante el periodo de alimentación, las hembras se van engrosando hasta adoptar una forma de pera, y 15 a 30 días después, comienza la puesta de huevos. Estos huevos eclosionan cuando se presentan las condiciones favorables de humedad y el estímulo de los exudados radiculares de las plantas hospedantes. La producción de huevos por parte de las hembras puede darse tanto con fecundación del macho (anfimixis) como de forma partenogenética.

De la Garza (1996) señala que *Meloidogyne* es un parásito sedentario, ya que una vez establecido en el sitio de alimentación, no se mueve ni cambia de lugar. Los sexos pueden diferenciarse al final del segundo estadio. Los nematodos no se alimentan en el tercer y cuarto estadio y ocurre un ligero aumento de tamaño, después de la muda final se reanuda la alimentación y el crecimiento es rápido durante diez días.

1.1.3.4. Biología

Hay muchos factores que afectan el desarrollo y distribución de *Meloidogyne* spp., principalmente la temperatura, humedad, textura y el pH del suelo. La temperatura óptima para el desarrollo de las diferentes especies de *Meloidogyne* varía fuertemente, pero para *M. incognita* el rango va de 25 a 30°C.

El tipo de suelo y el pH influyen de manera importante en la distribución de los fitonematodos (Taylor *et al.*, 1982). La migración de los juveniles declina cuando aumenta el contenido de arcilla en más de un 30% (Prot y Van Gundy, 1981). En suelos arenosos los juveniles pueden moverse hasta 75 cm horizontalmente y verticalmente en 9 días (Prot, 1977).

A sí mismo, el pH óptimo para que las especies de *Meloidogyne* sobrevivan y se reproduzcan mejor es de 4.8; específicamente para la emergencia de larvas de *M. javanica* se requiere un pH neutro (6.4 y 7.0) y se inhiben a un pH de 5.2 (Luc *et al.*, 1990).

1.1.3.5. Sintomatología

La forma endoparásita de vivir y alimentarse de las especies de *Meloidogyne*, provoca alteraciones fisiológicas y morfológicas en las raíces de las plantas hospedantes, reduciendo significativamente el rendimiento, la producción y la calidad de las cosechas, de ahí la importancia económica de estos agentes fitopatógenos (Karssen y Moens, 2006).

Los síntomas aéreos que se observan en las plantas infectadas varía en función de la especie vegetal, densidad poblacional del nematodo, etapa fenológica del cultivo, y de las condiciones edafoclimáticas, principalmente; entre los síntomas más comunes

encontramos: supresión del crecimiento del tallo acompañado de la disminución de la relación tallo-raíz, deficiencias nutricionales que se manifiestan en forma de amarillamientos y clorosis, marchitamiento temporal durante períodos de estrés hídrico moderado o durante medio día, incluso cuando hay una humedad adecuada en el suelo y disminución en los rendimientos.

La importancia de estos síntomas a menudo se relaciona con el número de juveniles que penetran y se establecen en el tejido radical de las plantas jóvenes. La explicación común para estos síntomas aéreos es que la infección ocasionada por *Meloidogyne* afecta la absorción de agua y nutrientes y translocación por el sistema radical (Karssen y Moens, 2006).

La infección de *Meloidogyne* en las raíces disminuye la tasa fotosintética en las hojas, además interfiere con la producción de factores derivados de la raíz que regulan la fotosíntesis. Las especies de *Meloidogyne* actúan como un disipador metabólico en las plantas enfermas, principalmente por el incremento de la actividad metabólica en las células gigantes, estimulando la movilización de productos fotosintéticos de tallos a raíces y en particular a las células gigantes donde son removidas y utilizadas por los nematodos.

La movilización y acumulación de sustancias alcanza un máximo cuando las hembras adultas inician la oviposición y declina después de ello. La ramificación de la raíz y el grado de extensión radical son frecuentemente afectados por la infección de *Meloidogyne*. El crecimiento radical anormal provoca un escaso desarrollo de las raíces, afectando su capacidad de exploración en el suelo; como consecuencia, se

presentará una pobre absorción de agua y nutrientes que afectará el desarrollo normal de la planta hospedante (Karssen y Moens, 2006).

Los síntomas provocados por *Meloidogyne* spp. en los sistemas radicales de las plantas infectadas se caracterizan por la formación de agallas, las cuales tienen un diámetro de dos a tres veces mayor al de las raíces sanas, llegando a generar lesiones, manchas necróticas y/o zonas podridas (Marbán y Ávila, 2004) (Figura 2). Las agallas se presentan cuando los J2 salen del huevo y penetran las raíces por la zona de diferenciación celular (caliptra o cofia). Al principio se alimentan de las células corticales, después se desplazan a las células no diferenciadas y finalmente, insertan su estilete en el cambium vascular de la raíz, cerca de la región de elongación celular, con los cuales perforan las paredes celulares e inyectan secreciones de las glándulas esofágicas; generando un agrandamiento de las células en el cilindro vascular, aumentando la proporción de la división celular en el periciclo, lo que da lugar a la formación de las células gigantes (hipertrofia); al mismo tiempo ocurre una intensa multiplicación celular (hiperplasia) alrededor de la cabeza del J2, formándose así un sitio especializado y permanente de alimentación para las hembras (Christie, 1959; Taylor *et al.*, 1982; Siddiqui, 1986; Jepson, 1987).



Figura 2. Raíz de jitomate agallada por *M. incognita*. Tomada de Greco y Di Vito (2009).

Las agallas pueden llegar a medir un centímetro o más de diámetro y cuatro centímetros de longitud, a menudo contienen muchas hembras embebidas en el tejido radical, donde pueden llegar a sobrevivir hasta por más de un año en ausencia de un hospedante susceptible (Taylor y Sasser, 1978; Adams *et al.*, 1989)

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El género *Meloidogyne* constituye uno de los grupos de nematodos fitoparásitos de mayor importancia económica, que ocasionan daños y pérdidas en el rendimiento de la mayoría de plantas cultivadas en todo el mundo, especialmente en países en vías de desarrollo (Sasser y Freckmann, 1987; Netscher y Sikora, 1990). Actualmente, se encuentran reportadas más de 3000 especies de plantas que son hospedantes susceptibles a *Meloidogyne* spp. (Adams *et al.*, 2009); ocasionando pérdidas que

fluctúan entre un 24 al 33% en plantas de jitomate a nivel mundial (Netscher y Sikora, 1990).

La situación actual en México, debido a los problemas ocasionadas por estos agentes patógenos es preocupante, ya que las poblaciones y daños causados por los nematodos se han incrementado en los últimos años, generando pérdidas considerables en los rendimientos de los cultivos y aumentando los costos de producción debido al uso irracional de plaguicidas. Por lo que surge la necesidad de buscar y evaluar alternativas de control químico de nueva generación que contrarresten de manera efectiva los efectos negativos que provocan estos patógenos en los sistemas de producción de hortalizas susceptibles, con el propósito de garantizar una adecuada protección y producción de los cultivos.

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Durante los últimos años, los nematodos se han convertido en un importante factor limitante de la producción, debido a su alta tasa reproductiva y su amplio rango de hospedantes. La forma endoparásita de vivir y de alimentarse en las raíces de sus hospedantes, ocasionan una serie de alteraciones fisiológicas y morfológicas que se manifiestan en formas de agallas, lo que provoca un efecto negativo en las funciones normales de la planta, ocasionando el crecimiento anormal del sistema radical, y una disminución en la cantidad y calidad de las cosechas de diferentes cultivos (Karssen y Moens, 2006). Además, ocasionan heridas que facilitan la entrada de hongos como *Fusarium oxysporum* Schlechtend.: Fr. o *Rhizoctonia solani* Kühn o bacterias fitopatógenas de difícil manejo, produciendo complejos de enfermedades (Karssen y Moens, 2006; Ornat y Sorribas, 2008), las cuales de no atenderse adecuada y

oportunamente pueden causar pérdidas totales de las plantas cultivadas. Estas características combinadas con la existencia de razas fisiológicas y patotipos hacen aún más difícil el manejo de estos patógenos.

El combate de nematodos fitoparásitos en los sistemas agrícolas se ha basado principalmente en el uso de productos químicos de amplio espectro. Los más comúnmente usados pertenecen al grupo de los organofosforados y carbamatos, tales como etoprop, fenamifos, fostiazato y oxamil, los cuales se desarrollaron a mediados de los años 50's y que son considerados nematostáticos debido a que solo paralizan a los nematodos sin matarlos o solo afectan su comportamiento (Oka *et al.*, 2012). Estos productos recientemente han sido objeto de fuertes regulaciones y restricciones para su uso debido principalmente a su alta toxicidad hacia mamíferos, alta persistencia en el suelo y contaminación del agua de mantos freáticos (Marbán-Mendoza y Manzanilla-López, 2012). Todo esto ha generado que los nematodos fitoparásitos sean una de las plagas más difíciles de controlar. Además, la liberación de nuevos nematicidas es poco común debido a que su desarrollo es muy caro y tardado, haciéndolo poco rentable para las compañías de agroquímicos, principalmente por las dificultades involucradas en la búsqueda de nuevas moléculas con propiedades nematicidas que sean seguras para humanos y el medio ambiente. Debido a lo anterior y por la creciente importancia de los nematodos fitoparásitos como agentes limitantes en la producción de cultivos hortícolas, se planteó esta investigación con los siguientes objetivos:

1.4. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto nematocida del fluensulfone y oxamil sobre poblaciones de nematodos agalladores (*M. incognita*) en los cultivos de jitomate y pepino en condiciones de campo.

1.5. HIPÓTESIS GENERAL

Las diferentes dosis del fluensulfone serán eficaces en el control de nematodos agalladores en comparación con el producto de uso regional (oxamil) en los cultivos de jitomate y pepino en condiciones de campo.

La protección del fluensulfone en las dosis evaluadas contra nematodos agalladores aumentará los rendimientos en las plantas de jitomate y pepino en comparación con el producto de uso regional.

1.6. BIBLIOGRAFÍA

- Abawi, G. S; T.L. Widmer. 2000. Impact of soil health management practices on soilborne pathogens, nematodes and rood diseases of vegetable crops. *Applied Soil Ecology* 15: 37-47.
- Adams, C.R; Bamford, K.M; Early, M.P. 1989. *Principios de Hortofruticultura*. Traducido por Dr. Luis Montañés García. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España. 108 p.
- Adams, B.J; Dillman, A. R; Finlinson, C. 2009. Molecular Taxonomy and Phylogeny. Pp. 119-138. *In*: Perry, R.N; Moens, M; Starr, J.L. (eds.). *Root-knot Nematodes* CABI International. London, UK.
- Agrios, G. N. 2005. *Plant pathology*. 5th ed. Elsevier Academic Press. New York, USA. 922p.
- Bird A. F. 1979. Morphology and ultrastructure. Pp. 59-84. *In*: Lamberti , F; Taylor, C. E. (eds.). *Root-knot nematodes (*Meloidogyne* species); systematics, biology, and control*. Academic Press, London and New York.
- Blancard, D; Lecoq, H; Pitrat, M. 2000. *Enfermedades de las cucurbitáceas: Observar, Identificar, luchar*. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 576 p.
- Bolaños, H.A. 1998. *Introducción a la Olericultura*. EUNED. San José, Costa Rica: 380 p.
- Bonnemaison, L. 1975. *Enemigos animales de las plantas cultivadas y forestales*. Segunda edición. Oikos-Tau, S.A. Villasar de Mar-Barcelona, España. 496 p.
- Carrillo-Fasio, J. A., R. S. García-Estrada., R. Allende-Molar, 1. Márquez-Zequera, y J. E. Cruz- Ortega. 2000. *Identificación y distribución de especies del nematodo*

- nodulador (*Meloidogyne* spp.) en hortalizas, en Sinaloa, México. Revista Mexicana de Fitopatología 18:115-119.
- CATIE, 1990. Guía para el manejo integrado de plagas del cultivo de tomate. Turrialba, Costa Rica. 138p.
- Cepeda S. M. 1996. Nematología Agrícola. Editorial Trillas. México, D.F. 305 p.
- Chitwood, D.J. 2003. Research on plant-parasitic nematode biology conducted by the United States Department of Agriculture- Agricultural Research Service. Pest Management Science 59: 748-753.
- Christie, J. R. 1959. Plant Nematodes Their Bionomics and Control. Agricultural Experiment Stations, University of Florida, Gainesville, FL. USA. 256 p.
- Cid Del Prado, V. I., A. T. Soto, y J. A. Hernández. 2001. Distribución de especies y razas de *Meloidogyne* en México. Revista Mexicana de Fitopatología 19:32-39.
- De la Garza G. J. L. 1996. Fitopatología general. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Agronomía. Marín, Nuevo León. 515 p.
- Dropkin, V. H. 1980. Introduction to plant nematology. New York, John Wiley & Sons. 293 p.
- Eisenback D. J; Triantaphyllou, H. H. 1981. Root-knot nematode: *Meloidogyne* species and races. Journal of Nematology 2: 26-32.
- Eisenback, J.D; Triantaphyllou, H.H. 1991. Root-knot nematodes *Meloidogyne* species and races. Pp. 191-274. In: Nickle, W.R (ed.). Manual of Agricultural Nematology. Marcell Dekker. New York, USA.
- FAO. 2013. Estadísticas de la FAO (en línea). Consultado el 20 de diciembre de 2013. Disponible en: <http://faostat.fao.org>

- González, G., Ayala, F., Ruiz, S., Cruz, R., Cuamea, F. 2007. Estado Actual del Mercado de Frutos y Vegetales Frescos Cortados. Dirección de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal. Centro de Investigaciones en Alimentación y Desarrollo. Sonora, México.
- Greco, N; Di Vito, M. 2009. Population Dynamics and Damage Levels. Pp. 246-274. In: Perry, R.N; Moens, M; Starr, J.L. (eds.). Root-knot Nematodes CABI International. London, UK.
- Gueishman, E., Companioni, N., Peña, E., Ramos, B. 2004. La Comunicación y el Consumo de Vegetales. INIFAT. La Habana, Cuba.
- Guiran G; Ritter, M. 1979. Life cycle of *Meloidogyne* species and factors influencing their development. Pp. 173-191. In: Lamberti F; Taylor, C. E. (eds.). Root-knot nematodes (*Meloidogyne* species), Systematics, biology control. Academic. Press. London, UK
- Hartman, K. M; Sasser, J. N. 1985. Identification of *Meloidogyne* species on the basis of differential host test and perineal-pattern morphology. Pp. 69-77. In: Barker, K. R., C. C. Carter, and J. N. Sasser (eds.). An advanced treatise on *Meloidogyne*. Volume II: Methodology. North Carolina State University Graphics, Raleigh, North Carolina. USA.
- Huerres, C; Caraballo, N. 1988. Horticultura. Editorial Pueblo y Educación. 72 p.
- Jepson, S.B. (1987) Identification of Root-knot Nematodes (*Meloidogyne* species). CAB International, Wallingford, UK. 265 p.
- Karssen G; Van Hoenselaar, T. 1998. Revision of the genus *Meloidogyne* Goeldi, 1982 (Nematoda: Heteroderidae) in Europe. Nematologica 44: 713-788.

- Karssen, G; Moens, M. 2006. Root-knot Nematodes. Pp. 59-90. *In*: Perry, R.N and Moens, M. (eds.). Plant nematology. CABI International. London, UK.
- Luc, M; Sikora, R. A; Bridge, J. 1990. Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture. CABI. International of Parasitology. London. 629 p
- Macías, A. 2010. Competitividad de México en el mercado de frutas y hortalizas de Estados Unidos de América, 1989-2009. *Agroalimentaria*. 16: 31-48.
- Manzanilla-Lopez, R.H; Hunt, D. J. 2012. Taxonomy and systematics. Pp. 65-87.*In*: Manzanilla-Lopez, R.H y Marban-Mendoza, N (eds.). Practical Plant Nematology. Mundi-Prensa, Colegio de Postgraduados. Montecillos, México.
- Marbán M. N., and H. J. Ávila. 2004. Anti-nematode evaluation on *Meloidogyne incognita* associated with vineyards at Hermosillo, Sonora, México. *In*: XXXVI Annual Meeting Organization of Nematologists of Tropical America. Puerto Vallarta, Jalisco, México. 30 p.
- Marban-Mendoza, N., and R. H. Manzanilla-López. 2012. Chemical and non-chemical tactics to control plant-parasitic nematodes. Pp. 729-759. *In*: Manzanilla-López R. H. and N. Marban-Mendoza (eds.). Practical plant nematology. Mundi-Prensa, Colegio de Postgraduados. Montecillos, México.
- Montes, B. R. 1988. Nematología Vegetal en México. Sociedad Mexicana de Fitopatología. 158 p.
- Nuez, F.1995. El cultivo del tomate. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 793 p.
- Netscher, C; Sikora, R. A. 1990: Nematodes parasites of vegetables. Pp. 237-283. *In*: Luc, M.; Sikora, R. A.; Bridge, J. (eds.). Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture. CABI International. London, UK.

- Oka, Y, S. Shuker, N. Tkachi. 2012. Systemic nematicidal activity of fluensulfone against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* on pepper, Pest. Management.Science. 68:268-275.
- Ornat, C; Sorribas, F.J. 2008. Integrated management of root-knot nematodes in Mediterranean horticultural crops. Pp. 295-320. *In*: Ciancio, A and Mukerji, K. G (eds.). Integrated Management and Biocontrol of Vegetable and Grain Crops Nematodes. Springer. Dordrecht, The Netherlands.
- Prot, J. C. 1977. Amplitude et cinetique des migrations de nematode *Meloidogyne javanica* sous l'influence d'un plant de tomate. Cahiers O. R. S. T. O. M. Serie Biologie 11:157-166.
- Prot, J. C; S. D. Van Gundy. 1981. Effect of soil texture and the clay component on migration of *Meloidogyne incognita* second stage juveniles. Journal of Nematology 13:213-219.
- Sánchez-Portillo, J.F. 2010. Efecto de quitina y quitosano sobre huevos y juveniles de nematodos formadores de nódulos radiculares, *Nacobbus aberrans* y *Meloidogyne incognita*. Bajo condiciones *in vitro* e *in vivo*. Tesis Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillos. Edo de México. 130 p.
- Sasser J. N. 1977. Worldwide dissemination and importance of the root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.). Journal of Nematology 9: 26-29.
- Sasser, J. N., and D. W. Freckmann. 1987. A world perspective on nematology: The role of the society. Pp. 7-14. *In*: J. A. Veech, and D. W. Dickson (eds.). Vistas on Nematology. Hyattsville, Maryland, USA.

- SIAP. 2013. Consultado el 12 de diciembre de 2013. En línea. Disponible en:
www.siap.gob.mx
- Siddiqi, M.R. 1986. Tylenchida, parasites of plants and insects. Commonwealth Institute of Parasitology, St Albans, England. 645 p
- Sikora, R; Fernández, E. 2005. Nematodes parasites of vegetables. Pp. 319-392. *In*: Luc, M; Sikora, R.A; Bridge, J. (eds.). Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture. 2nd Edition. CABI International. London, UK.
- Taylor, A.; Sasser, J. 1978. Biology, identification and control of rootknot nematode (*Meloidogyne* species). Cooperative Publication of the Department of Plant Pathology. North Carolina State University and the United States Agency for International Development. 911 p.
- Taylor, A. L., J. N. Sasser, and L. A. Nelson. 1982. Relationship of climate and soil characteristics to geographical distribution of *Meloidogyne* species in agricultural soils. Pp. 65 in Cooperative Publication Department of Plant Pathology, North Carolina State University and U. S. Agency International Development, Washington D. C., North Carolina State University Graphics, USA.
- Torres J. M., M. A. Díez R., L. Robertson., J. A. López P., M. De Cara., L. Tello., y A. Bello. 2007. Nematodos fitoparásitos del género *Meloidogyne* Goeldi, 1982 y su manejo en cultivos enarenados de Almería. Ministro de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. 189 p.

**CAPITULO II. EFECTO NEMATICIDA DEL FLUENSULFONE Y OXAMIL SOBRE
POBLACIONES DE NEMATODOS AGALLADORES EN CULTIVOS HORTÍCOLAS.
COJUMATLÁN DE REGULES, MICHOACÁN. 2013.**

2.1. INTRODUCCIÓN

El sector hortícola juega un papel muy importante en la agricultura y economía nacional, ya que contribuye con el 16% del valor de la producción agrícola, con sólo el 2.7% de la superficie agrícola y 2.1% de la producción total (SAGARPA, 2014). Presenta tasas de crecimiento promedio anuales positivas, mostrando un crecimiento del 2.03% en la superficie cultivada y 3.62% en la producción; mientras que el valor de la producción crece en términos nominales a un 27.43%. Lo anterior lo caracteriza como un sector con un fuerte dinamismo y grandes expectativas para el desarrollo agrícola del país.

La producción hortícola constituye un sector estratégico para la economía nacional, ya que esta actividad mantiene una balanza comercial positiva dentro del sector rural, exportando un volumen 4.1 veces mayor que el importado desde 1961 a 2012 (FAO, 2013). Todo esto, convierten a México como el principal exportador de frutas y hortalizas de América Latina, con un volumen de exportación superior al 25% del total regional. Esta posición privilegiada se debe principalmente por el crecimiento que ha tenido el mercado hortícola de los Estados Unidos de América (USA), así como por las ventajas comparativas (entre ellas, la cercanía con los USA) que tiene México para abastecerlo, principalmente en la época de invierno (Macías, 2010).

Dos de las hortalizas de mayor importancia económica y social en México son el jitomate y pepino, no solo por la superficie destinada a su cultivo sino también por la generación de divisas y la demanda de mano de obra.

El jitomate es la hortaliza más difundida en todo el mundo y la de mayor valor económico. Su demanda aumenta continuamente y con ella su cultivo, producción y comercio. Su popularidad radica en su versatilidad de uso y amplia adaptabilidad a diversas condiciones climáticas; además su cultivo presenta varias ventajas: i) genera empleo al requerir mucha mano de obra, desde la siembra hasta el empaque; ii) estimula el empleo urbano proporcionando oportunidades de negocios en aspectos como la manufactura, venta de agroquímicos, maquinaria y equipo; iii) su exportación va en aumento, así como los precios pagados a los productores, generando importantes cantidades de divisas; iv) mejora la nutrición de los consumidores; v) es muy versátil en uso, ya que se puede consumir en fresco, cocido, frito y procesado industrialmente en conservas, salsas, jugos y en polvo (Cruz, 2007).

El cultivo de pepino es una de las actividades agrícolas con una creciente demanda en el mercado nacional e internacional; convirtiendo a México en el segundo exportador mundial de esta hortaliza y el primer proveedor del mercado estadounidense de pepino. Su consumo es cada día mayor, representando una alternativa para diversificar y satisfacer la demanda nutricional del mercado interno, ya que es una hortaliza rica en vitaminas A, B, C y minerales, indispensables en la alimentación humana (Parsons, 1992; CENTA, 2003).

La producción de pepino reviste una particular importancia en la contribución de divisas y la generación de empleo. De acuerdo con datos de la FAO (2013), a nivel

mundial se producen aproximadamente 65.3 millones de toneladas de pepino en unas 2.09 millones de hectáreas; mientras que en México, en el año 2013, se sembraron 16.500 hectáreas con esta hortaliza, con un valor de la producción superior a los 2 mil millones de pesos; siendo Sinaloa el primer lugar al aportar un 39.5% de la producción total, que representa un volumen de 188,491.27 toneladas, seguido por Michoacán con el 17.9%.

Sin embargo, aun cuando los datos reflejan una alta producción de estas hortalizas, en los últimos años, la superficie destinada a estos cultivos ha disminuido gradualmente, como resultado de una reducción en los apoyos a la investigación y a la carencia de apoyos a la innovación tecnológica, así como por la falta de una política adecuada para favorecer las exportaciones de estas hortalizas (Ayala *et al.*, 2012), todo esto ha generado una disminución de la productividad del campo mexicano.

No menos importante son los problemas fitosanitarios, los cuales constituyen uno de los principales factores limitantes para la producción de jitomate y pepino en las diferentes zonas agrícolas de México. Las graves pérdidas económicas ocasionadas por los agentes fitopatógenos de origen edáfico afectan la viabilidad y rentabilidad de los sistemas agrícolas, incrementando los costos de producción al combatir, en muchos casos de manera irracional y poco eficiente a estos organismos (Barres *et al.*, 2006)

Los nematodos agalladores representan uno de los organismos patógenos de mayor importancia económica en los cultivos de jitomate y pepino, no solo por las alteraciones que ocasionan en el sistema radical de estas plantas, sino también por

las pérdidas en la producción. Netscher y Sikora (1990) reportaron pérdidas del 24% al 33% en el cultivo de jitomate ocasionadas por *Meloidogyne* spp. a nivel mundial.

En pepino, se han registrado pérdidas anuales de la producción de hasta el 11% en Carolina del Norte en Estados Unidos de América (Amand y Wehner, 1991). En Punjab, Pakistán, *M. incognita* causó pérdidas del 25% en cultivos a campo abierto (Ismail *et al.*, 2012); mientras que en España, las pérdidas por *M. javanica* alcanzaron hasta un 60% (Ornat *et al.*, 1997).

Comúnmente el combate de nematodos fitopatógenos ha sido mediante el uso de nematicidas del grupo de los carbamatos y organofosforados, tales como el aldicarb, fostiazato, oxamil, etoprofos y fenamifos, cuyo modo de acción consiste en la inhibición de la acetilcolinesterasa, y son considerados como nematostáticos porque solo paralizan a los nematodos sin matarlos, o solo afectan el comportamiento de ellos a las dosis recomendadas. En general, los nematodos paralizados por estos productos logran reponerse después de la remoción de estos nematicidas y logran estar móviles y probablemente infectar de nuevo (Oka *et al.*, 2012). Una de las principales razones por la cual estas moléculas se siguen utilizando es porque su efecto es inmediato o a corto plazo, además son efectivos al retrasar la infección por algunas semanas. Así mismo no son fitotóxicos a las dosis recomendadas y pueden ser aplicados efectivamente a través del sistema de riego (Jackson *et al.*, 2003; Moens *et al.*, 2003).

Así también el bromuro de metilo, uno de los fumigantes más poderosos utilizados en la agricultura, ha sido ampliamente usado para el control de estos agentes patógenos debido a su amplio espectro de acción; sin embargo dado su efecto negativo en la

degradación de la capa de ozono se ha prohibido su uso en los países desarrollados y se tiene contemplado que para el año 2015 desaparezca del mercado en los países en vías de desarrollo (Ornat y Sorribas, 2008).

Aunado a esto, los productos organofosforados y carbamatos actualmente disponibles en el mercado, están siendo objeto de fuertes regulaciones y restricciones para su uso debido principalmente a su alta toxicidad en mamíferos, alta persistencia en el suelo y contaminación del agua de mantos freáticos (Marbán-Mendoza y Manzanilla-López, 2012). Por lo anterior, surge la necesidad de evaluar nuevas moléculas con propiedades nematicidas que permitan reducir o erradicar de manera eficiente las poblaciones de fitonematodos en las etapas fenológicas críticas del cultivo, con el propósito de incluirlos en un programa de manejo integrado de nematodos, con la finalidad de ofrecer a los agricultores nuevas alternativas químicas de combate a fitonematodos que sean eficientes y ecológicamente amigables al ser humano y otros organismos vivos.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1)** Evaluar la eficacia biológica del fluensulfone en cuatro dosis diferentes para el control de *M. incognita* en los cultivos de jitomate y pepino en Cojumatlán de Regules, Michoacán.
- 2)** Comparar el efecto de control del fluensulfone a las dosis evaluadas con el nematicida oxamil para el combate de *M. incognita* en los cultivos de jitomate y pepino en Cojumatlán de Regules, Michoacán.
- 3)** Determinar el posible efecto fitotóxico del fluensulfone a las dosis evaluadas en los cultivos de jitomate y pepino en Cojumatlán de Regules, Michoacán.

2.3. MATERIALES Y MÉTODOS

2.3.1. Localización del área de estudio

El presente trabajo se realizó en un lote comercial de jitomate, infestado naturalmente con *M. incognita* (Figura 3). El estudio se llevó a cabo durante los meses de junio a agosto de 2013, en el municipio de Cojumatlán de Regules, ubicado en la región Lerma-Chapala del Estado de Michoacán. El municipio se localiza al noroeste del estado, en las coordenadas 20°08'00" de latitud norte y 102°52'30" de longitud oeste, a una altura de 1,520 msnm en su parte baja y en las tierras medias entre el lago de Chapala y la cordillera, mientras que en su parte más alta alcanza los 2,100 msnm (SAGARPA, 2013).



Figura 3. Lote comercial de jitomate infestado naturalmente con *M. incognita* donde se llevó a cabo el experimento.

2.3.2. Condiciones climáticas en el área de estudio

El municipio de Cojumatlán de Regules presenta clima templado, con lluvias en verano (Cw), tiene una precipitación pluvial anual de 800 mm y temperaturas que oscilan entre los 10.4 a 25.4°C. El mes más caliente es mayo y el más frío es enero (SAGARPA, 2013).

2.3.3. Características de los cultivos

La variedad de semilla de jitomate que se utilizó fue Pony Express F1. Es una variedad híbrida que completa su ciclo en 75 a 85 días de maduración y con un peso promedio de frutos de 125-130g.

La variedad de semilla de pepino que se utilizó en el experimento fue Cross Country F1. Esta es una variedad híbrida tipo pickle con frutos de 7.5 a 9.0 cm de longitud, requiere de 52 a 62 días para completar su ciclo de maduración, alcanzando rendimientos productivos de hasta rendimientos de 40.5 t·ha⁻¹.

2.3.4. Descripción de la unidad experimental

La unidad experimental estuvo constituida por surcos de 15 m de largo y 0.8 m de ancho, equivalente a 12 m²; por lo que la parcela experimental se constituyó de 24 unidades experimentales (surcos), dando un total de 288 m² (Figura 4).

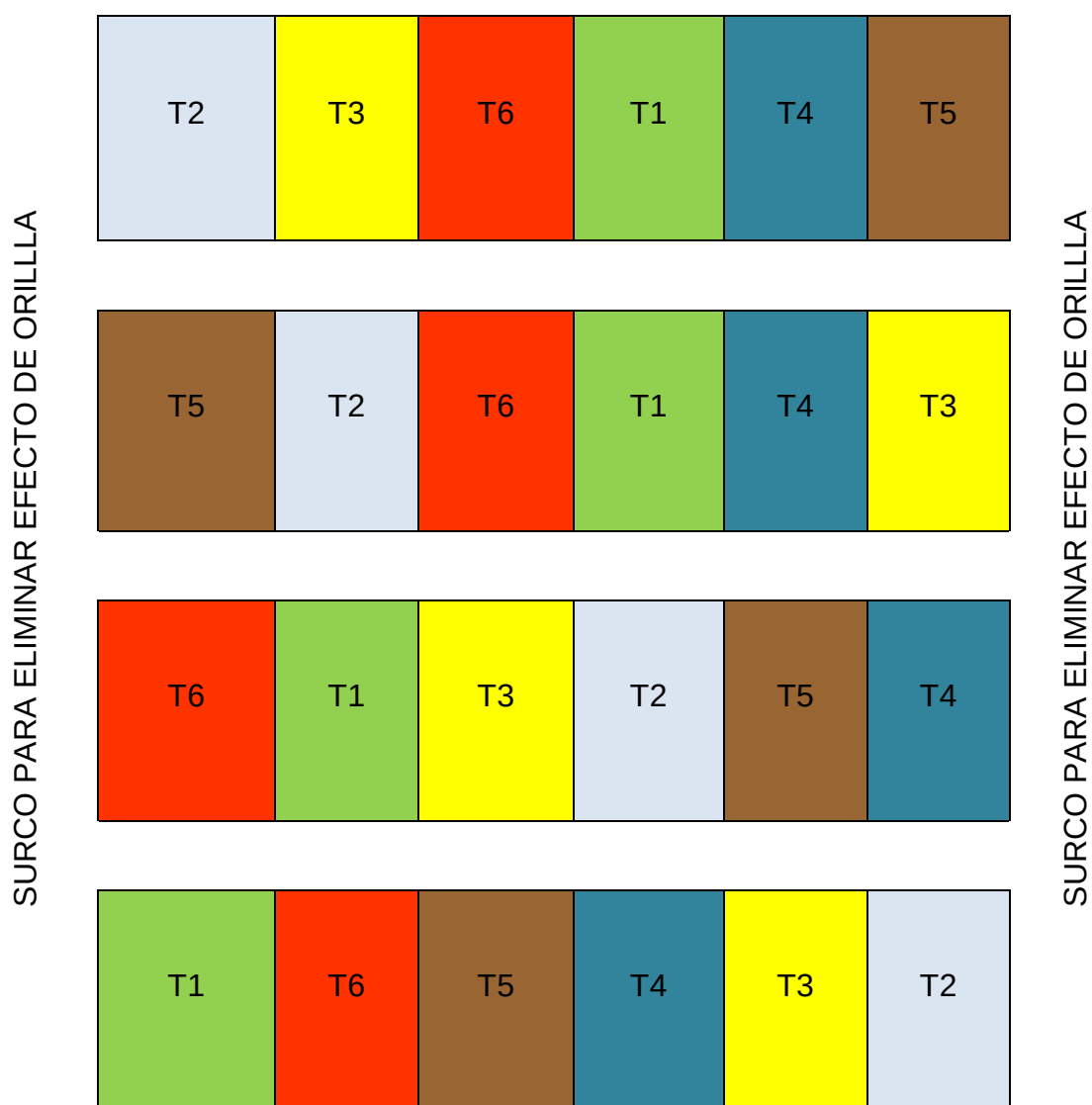


Figura 4. Distribución de los tratamientos en campo para el control de nematodos agalladores en los cultivos de jitomate y pepino en Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013.

La parcela útil por tratamiento fue de 4 surcos de 0.8 m de ancho por 14 m de largo. Se eliminó 0.5 m en cada extremo y se plantó un surco adicional a los lados para eliminar efecto de orilla. Las plantas se mantuvieron en campo hasta la cosecha (dos cortes), regándolas periódicamente y fertilizándolas vía edáfica con las siguientes

fórmulas de fertilizantes N-P-K (13-40-13) y N-P-K (17-17-17). El manejo del cultivo (control de plagas y enfermedades, malezas, etc.) se hizo de acuerdo a las recomendaciones locales de los productores; evitando la aplicación de productos con efecto nematicida.

2.3.5. Tratamientos y diseño experimental

Se establecieron seis tratamientos experimentales para el control de *M. incognita*, que consistieron en cuatro dosis del nematicida fluensulfone, una dosis de Vydate L (oxamil) y un tratamiento control (sin aplicación) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tratamientos evaluados para el control de poblaciones de *M. incognita* en los cultivos de jitomate y pepino en Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013.

Tratamientos	Productos	Ingrediente activo	Concentración g.i.a·L ⁻¹	Dosis L·ha ⁻¹
1	Vydate L	Oxamil	240	3.0
2	NIMITZ	Fluensulfone	480	2.0
3	NIMITZ	Fluensulfone	480	2.25
4	NIMITZ	Fluensulfone	480	2.5
5	NIMITZ	Fluensulfone	480	2.75
6	Control	-----	-----	-----

Los tratamientos se distribuyeron bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, realizando una sola aplicación de los nematicidas diez días antes del trasplante. La aplicación se realizó a través del sistema de riego en surcos altos sin acolchado con la ayuda de una mochila aspersora con una adecuación para cinta

de riego (manguera, válvulas y salidas para las cintillas), aplicando la dosis correspondiente y la dilución experimental del producto (Figura 5).



Figura 5. Aplicación de los nematicidas para el combate de *M. incognita*.

Se aplicó un riego de aproximadamente 0.288 m^3 de agua cada uno, a las 48 y 24 horas antes de aplicar los tratamientos. Durante la aplicación de los nematicidas se empleó un volumen aproximado de agua de 0.864 m^3 distribuidos de la siguiente manera: 0.288 m^3 de agua pura previo a la aplicación del nematicida, se inyectó el producto en los siguientes 0.288 m^3 y se finalizó con 0.288 m^3 de agua pura para favorecer el movimiento del producto. Cuatro días antes del trasplante se realizó un riego de 0.288 m^3 para ayudar a incorporar el producto. La dosificación se calculó por área efectivamente mojada por el riego.

2.3.6. Características de los productos evaluados

2.3.6.1. NIMITZ (fluensulfone)

Este nematocida pertenece al grupo de los fluoroalquenos, y actúa como un verdadero nematocida, presenta baja toxicidad hacia los vertebrados en comparación con los nematocidas organofosforados o carbamatos. La DL_{50} del fluensulfone a ratas, vía administración oral, es de $500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, muy baja en comparación con las dosis letales del aldicarb, fenamifos, oxamil, cadusafos, y fosthiazato, con 0.5-1.5, 2–19, 5.4, 37.1 y $73 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ respectivamente (Oka *et al.*, 2012).

El fluensulfone es efectivo contra un gran número de especies de *Meloidogyne*, principalmente *M. javanica*, *M. incognita* y *M. arenaria*, reduciendo significativamente la infección y la penetración en las raíces (Oka *et al.*, 2009; Csinos *et al.*, 2010; Westerdahl y Schiller 2011; Oka *et al.*, 2013).

Su efectividad se debe a que presenta actividad nematocida irreversible controlando de manera eficaz a especies de *Meloidogyne* spp., además ejerce buen control sistémico de nematodos vía aplicación foliar (Oka *et al.*, 2013).

2.3.6.2. Vydate L (oxamil)

Pertenece al grupo químico de los carbamatos, cuyo modo de acción se basa en la inhibición de la acetilcolinesterasa, enzima necesaria para la transmisión de impulsos nerviosos, siendo activo por contacto directo o por ingestión. Presenta un amplio espectro de acción, controlando diversas especies de nematodos fitopatógenos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Principales plagas controladas por el producto Vydate L (oxamil).

Cultivo	Plaga	Dosis (L·ha ⁻¹)
Algodonero	<i>Pratylenchus sp.</i> , <i>Tylenchorhynchus sp.</i>	2-10
Apio	<i>Ditylenchus dipsaci</i>	20
Melón y pepino	<i>Meloidogyne spp.</i>	4-6
Chile	<i>Meloidogyne spp.</i> , <i>Criconeoides sp.</i> , <i>Ditylenchus dipsaci</i> , <i>Xiphinema sp.</i> , <i>Tylenchorhynchus sp.</i>	2-4
Jitomate	<i>Meloidogyne spp.</i>	2-4

Fuente: Elaboración propia con datos de Du Pont (2014).

2.3.7. Variables evaluadas

Se evaluaron la densidad poblacional inicial y final de juveniles de segundo estadio (J_2) de *M. incognita* en las muestras de suelo donde se establecieron los experimentos, porcentaje e índice de agallamiento, eficacia de los productos, fitotoxicidad, altura de la planta o longitud de guía principal, peso fresco de la raíz, y producción de frutos por unidad experimental.

2.3.7.1. Densidad poblacional inicial y final

Para el monitoreo de las densidades poblacionales iniciales y finales de nematodos, se realizó un muestreo en las parcelas agrícolas; siguiendo un patrón en zig-zag (Figura 6) se recolectaron diez submuestras edáficas a una profundidad de 15-20 cm

de cada parcela útil, para formar una muestra compuesta de aproximadamente un kilogramo (cuatro muestras por tratamiento).

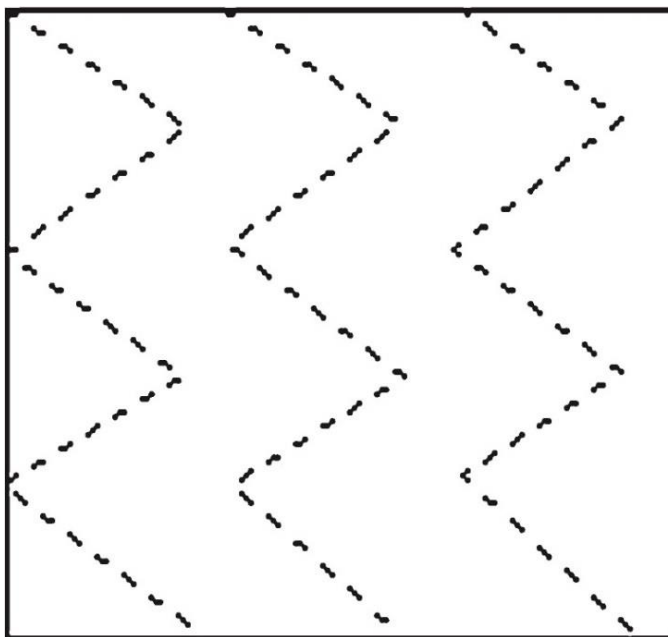


Figura 6. Patrón de muestreo en zig-zag utilizado para recolectar las muestras de suelo en los cultivos de pepino y jitomate. Tomada de Been y Schomaker (2013).

Las muestras de suelo se depositaron en bolsas de plástico debidamente etiquetadas y se trasladaron al Laboratorio de nematodos fitopatógenos del Posgrado en Protección Vegetal de la Universidad Autónoma Chapingo, donde se procesaron para extraer y cuantificar el número de J_2 de *M. incognita* mediante el método de tamizado de Cobb (1918), de la manera siguiente:

1. Las muestras de suelo se homogeneizaron mediante inversión.
2. En un recipiente se mezclaron perfectamente de manera manual, 100 cm^3 de suelo con aproximadamente un litro de agua de la llave (figura 7 A).

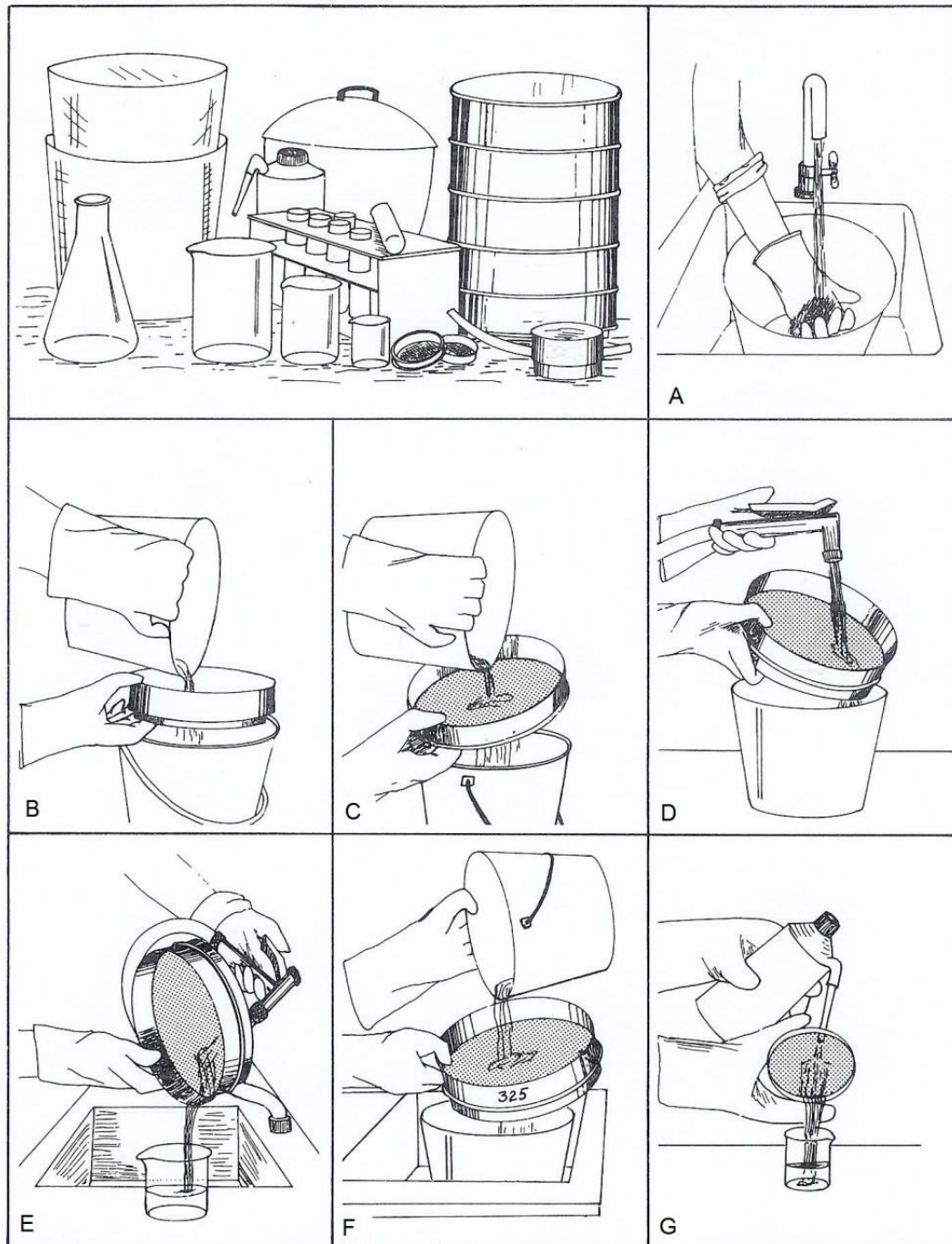


Figura 7. Procesamiento de muestras edáficas procedentes de Cojumatlán de Regules, Michoacán, mediante tamizado de Cobb (1918). Tomada de Shurtleff y Averre III (2000).

3. La suspensión se dejó reposar por 30-40 segundos y se decantó el sobrenadante sobre un juego de tamices de Cobb de 20, 40, 60, 100, 200 y 325 mallas (figura 7 B-F).
4. Los contenidos de los tamices de 20-60 mallas se desecharon (partículas de suelo muy gruesas, piedras, residuos vegetales, etc.); mientras que los contenidos de los tamices de 100-200 son recuperados en el tamiz de 325 mallas.
5. Finalmente, utilizando una piceta, se transfirieron a un vaso de precipitados un volumen aproximado de 10 mL de la suspensión de nematodos retenidos en el tamiz de 325 mallas, para su posterior observación y conteo bajo un microscopio compuesto (figura 7 G).

La evaluación inicial se hizo después de 2 riegos y antes de la aplicación de los nematicidas, mientras que la evaluación final se efectuó a los 63 y 80 días después del trasplante para pepino y jitomate, respectivamente.

2.3.7.2. Porcentaje de agallamiento

El porcentaje de agallamiento en las raíces de las plantas de pepino y jitomate se obtuvo a los 63 y 80 ddt, respectivamente, realizando un muestreo destructivo al azar en las unidades experimentales. Cuidadosamente y con ayuda de una pala recta se extrajeron 10 plantas de cada unidad experimental (40 plantas por tratamiento) y se determinó el porcentaje de agallamiento en los sistemas radicales de las plantas mediante el empleo de la siguiente fórmula:

$$PA = \left(\frac{NRA}{TR} \right) * 100$$

Dónde:

PA= Porcentaje de agallamiento

NRA= Número de raíces agalladas.

TR= Total de raíces en la planta.

2.3.7.3. Índice de agallamiento

El índice de agallamiento se obtuvo usando la escala visual de cinco grados desarrollada por Taylor y Sasser (1978). Esta escala posee valores de cero a cinco, donde el cero corresponde a un sistema radical sin presencia de agallas (0%) y cinco el máximo agallamiento alcanzado (100%) quedando entre estos extremos los demás índices con un porcentaje de agallamiento intermedio (Cuadro 3).

Cuadro 3. Escala visual de severidad propuesta por Taylor y Sasser (1978) para la evaluación del índice de agallamiento en raíces de pepino y jitomate en Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013.

Escala	Porcentaje de agallamiento
0	0 % de agallas (raíz sana)
1	1-10.0% de agallas
2	10.1-20.0% de agallas
3	20.1-60.0% de agallas
4	60.1-80.0% de agallas
5	80.1-100% de agallas

2.3.7.4. Eficacia de los productos sobre *M. incognita*

Usando los datos de porcentaje de agallamiento, se calculó la efectividad biológica de los tratamientos mediante la prueba de eficacia de Abbott (1925).

Fórmula de Abbott:

$$ET = \frac{ST - st}{ST} * 100$$

Dónde:

ET= Eficacia del tratamiento.

ST= Porcentaje de infección o agallamiento en el control.

st= Porcentaje de infección o agallamiento en los tratamientos nematicidas.

2.3.7.5. Fitotoxicidad

La fitotoxicidad de los productos aplicados a las plantas de pepino y jitomate se determinó a los 63 y 80 ddt, respectivamente, utilizando la escala porcentual propuesta por la Sociedad Europea de Investigación en Malezas (EWRS por sus siglas en inglés) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Escala porcentual de la Sociedad Europea de Investigación en Malezas para evaluar la posible fitotoxicidad de los tratamientos en los cultivos de pepino y jitomate, en Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013.

Efectos sobre el cultivo	Fitotoxicidad al cultivo (%)
Sin efecto	0.0-1.0
Síntomas muy ligeros	1.1-3.5
Síntomas ligeros	3.6-7.0
Síntomas que no se reflejan en el rendimiento	7.1-12.5**
Daño medio	12.6-20.0
Daños elevados	20.1-30.0
Daños muy elevados	30.1-50.0
Daños severos	50.1-99.0
Muerte completa	99.1-100

** Limite de aceptabilidad.

2.3.7.6 Altura de planta (AP) y longitud de guía principal (LG)

Se midieron la altura de diez plantas de jitomate y la longitud de la guía principal de 10 plantas de pepino que se encontraban en competencia completa en la parte media de las unidades experimentales (40 plantas por tratamiento). La altura y la longitud se consideraron del cuello hasta el ápice de la planta, usando una cinta métrica de 100 cm.

2.3.7.7 Peso fresco de raíz (PFR)

Los sistemas radicales de cinco plantas por unidad experimental (20 plantas por tratamiento), tomadas al azar, se separaron manualmente. Las raíces, previamente lavadas con agua corriente, se pesaron de manera separada en una balanza mecánica Ohaus® 750 SW.

2.3.7.8 Producción de frutos por unidad experimental.

Se cuantificó el número y peso fresco de frutos que se encontraban en madurez comercial de cada UE, en dos cortes y se pesaron en una balanza mecánica Ohaus®750 SW.

2.3.8 Análisis estadístico

Con los datos obtenidos de las variables evaluadas se realizaron análisis de varianza y pruebas de Tukey ($\alpha=0.05$), usando el software de análisis estadístico SAS® (Statistical Analysis System).

2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.4.1. Efecto nematicida del fluensulfone sobre poblaciones de *M. incognita* en el cultivo de jitomate.

2.4.1.1. Densidad poblacional inicial y final de *M. incognita*

Las poblaciones iniciales de *M. incognita* no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos ($\alpha=0.05$), encontrándose valores promedio de 2 a 2.5 individuos (J2) en 100 cm³ de suelo (Cuadro 5). La baja cantidad de J2 del nematodo posiblemente se debe por la ausencia de plantas hospedantes durante el ciclo agrícola anterior, durante el cual se cultivó maíz; esto provocó que las poblaciones de *M. incognita* disminuyeran dada la biología de estos organismos, los cuales al carecer de alimento (raíces susceptibles) tienden a sobrevivir como huevos y juveniles de tercer y cuarto estadio dentro de las masas de huevos, malezas hospedantes o en residuos vegetales (Hutton, 1993; Cristóbal *et al.*, 2001).

El número de juveniles en las unidades experimentales fluctuó entre 1 a 6 J2, con un promedio de 2.2, sin que se detectarán diferencias significativas ($\alpha=0.05$) entre ellas; por lo que se consideró que la distribución del nematodo en la parcela era uniforme, lo que permitió evaluar el efecto de los productos nematicidas.

Las poblaciones finales de *M. incognita* mostraron diferencias altamente significativas ($\alpha=0.05$) a los 80 ddt, fluctuando entre 26 a 65.75 J2 en 100 cm³ de suelo (Cuadro 5). Los valores más bajos de poblaciones finales se encontraron en las microparcels tratadas con fluensulfone a las dosis de 2.75 y 2.5 L·ha⁻¹, los cuales fueron estadísticamente iguales a las dosis de 2 y 2.25 L·ha⁻¹, permitiendo solamente el

desarrollo de 26 a 32 juveniles, respectivamente. En general, los productos químicos ejercieron un efecto detrimental en las poblaciones del nematodo, evitando que se incrementarán a niveles que generarán daños importantes en el cultivo, confiriendo una buena protección en la etapa susceptible del cultivo.

Cuadro 5. Efecto del fluensulfone y oxamil sobre las poblaciones de *M. incognita* en el cultivo de jitomate a los 80 ddt. Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013.

Tratamiento	Producto	Dosis (L·ha ⁻¹)	Pi [¶]		Pf [¶]	
1	Oxamil	3	2.00	A	41.75	B
2	Fluensulfone	2	2.50	A	32.75	C
3	Fluensulfone	2.25	2.25	A	29.75	C
4	Fluensulfone	2.5	2.00	A	28.25	C
5	Fluensulfone	2.75	2.00	A	26.00	C
6	Control	-----	2.50	A	65.75	A
DMS			5.446		7.9205	

[¶]Medias con la misma letra en la misma columna no son estadísticamente diferentes ($\alpha=0.05$).

DMS= Diferencia mínima significativa.

El incremento posterior de las poblaciones de *M. incognita* en las microparcelas tratadas con los productos químicos, posiblemente ocurrió por el escape de algunos estadios del nematodo, generando infecciones tardías. Estos individuos al contar con condiciones favorables de humedad, temperatura y disponibilidad de alimento iniciaron y activaron los procesos naturales de su biología (embriogénesis y mudas),

consiguiendo que fase la infectiva (J2) invadiera los sistemas radicales de su hospedante y con ello la formación de agallas en niveles bajos para fluensulfone y relativamente altos para oxamil (Poveda, 1991).

De acuerdo con Perry (2002) y Curtis *et al.* (2009), la eclosión de los juveniles (J2) de *M. incognita* es fuertemente influenciada por la presencia de exudados radicales y cuando las condiciones ambientales de temperatura y contenido de humedad son favorables y existe la presencia de un hospedante susceptible, las tasas de éxito en la infección se incrementan. Así mismo, estos factores favorecen la movilidad y atracción de los juveniles hacia el hospedante, optimizando las probabilidades de infección mediante la ocurrencia de una sincronización con la presencia de un hospedante.

Csinos *et al.* (2010) y Cabrera-Hidalgo (2014) al evaluar el efecto del fluensulfone sobre poblaciones de nematodos fitopatógenos en los cultivos de tabaco y jitomate, respectivamente encontraron que las aplicaciones pretransplante de este producto, disminuyeron significativamente las poblaciones finales de *M. arenaria* y *Nacobbus aberrans*, respectivamente. El efecto de este producto se debe principalmente a que actúa como un verdadero nematicida, reduciendo de manera importante la tasa de reproducción de los nematodos (Oka *et al.*, 2012; Cabrera-Hidalgo, 2014).

El oxamil proporcionó una protección relativamente baja en las plantas tratadas, como era de esperarse y esto posiblemente se debió porque solo se realizó una aplicación antes del transplante, cuando la recomendación técnica sugiere realizar al menos tres aplicaciones por ciclo cada 10-14 días (DuPont, 2014). Además, el oxamil pertenece al grupo químico de los carbamatos, los cuales actúan como

nematostáticos a concentraciones muy bajas y períodos de exposición demasiado cortos (Thomason, 1985); es decir, que solamente paralizan a los fitonematodos, afectando algunos aspectos de su comportamiento, tales como la orientación y eclosión, principalmente (Wright *et al.*, 1980; McGarvey *et al.*, 1984; Thomason, 1985; Cavelier, 1987; Opperman y Chang, 1990).

Finalmente, las poblaciones de *M. incognita* en las parcelas control se incrementaron de manera normal al no presentar un factor detrimental, por el contrario estos especímenes tuvieron disponibilidad de un hospedante susceptible que les permitió un desarrollo biológico normal, sin descartar los efectos negativos que fueron propiciados por las constantes lluvias durante el período de experimentación.

2.4.1.2. Porcentaje e índice de agallamiento

De acuerdo con Taye *et al.* (2012), el índice de agallamiento es una metodología que permite evaluar el grado de infección de las especies de *Meloidogyne* spp. en las raíces de sus hospedantes y para medir el grado de daño o severidad causada al cultivo. Los índices de agallamiento en las plantas de jitomate fueron estadísticamente iguales ($\alpha=0.05$), con valores de 1.8 a 3.7 (Cuadro 6), encontrándose los índices más altos en las plantas control.

Cuadro 6. Efecto del fluensulfone y oxamil sobre el porcentaje e índice de agallamiento ocasionado por *M. incognita* en el cultivo de jitomate a los 80 ddt. Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013.

Tratamiento	Producto	Dosis (L·ha ⁻¹)	PA [¶]	IA [¶]
1	Oxamil	3	14.00 B	2.4 A
2	Fluensulfone	2	8.50 B	1.85 A
3	Fluensulfone	2.25	14.50 B	2.45 A
4	Fluensulfone	2.5	8.00 B	1.8 A
5	Fluensulfone	2.75	9.00 B	1.9 A
6	Control	-----	47.00 A	3.7 A
DMS			21.022	1.964

[¶]Medias con la misma letra en la misma columna, son estadísticamente iguales ($\alpha=0.05$).

PA= Porcentaje de agallamiento; IA= Índice de agallamiento; DMS= Diferencia mínima significativa.

Los agallamientos más bajos se encontraron en las microparcels tratadas con fluensulfone a las dosis de 2 y 2.5 L·ha⁻¹; mientras que las plantas control presentaron los mayores índices (3.7).

A los 80 ddt, los porcentajes de agallamiento mostraron diferencias significativas entre los tratamientos ($\alpha=0.05$), siendo las plantas control las que presentaron los mayores porcentajes de infección (47%); mientras que las plantas tratadas con fluensulfone en dosis de 2, 2.5 y 2.75 L·ha⁻¹ redujeron el agallamiento en más del

80% en comparación a las plantas control, con valores de 8.5, 8 y 9% de agallamiento, respectivamente (Figura 8).

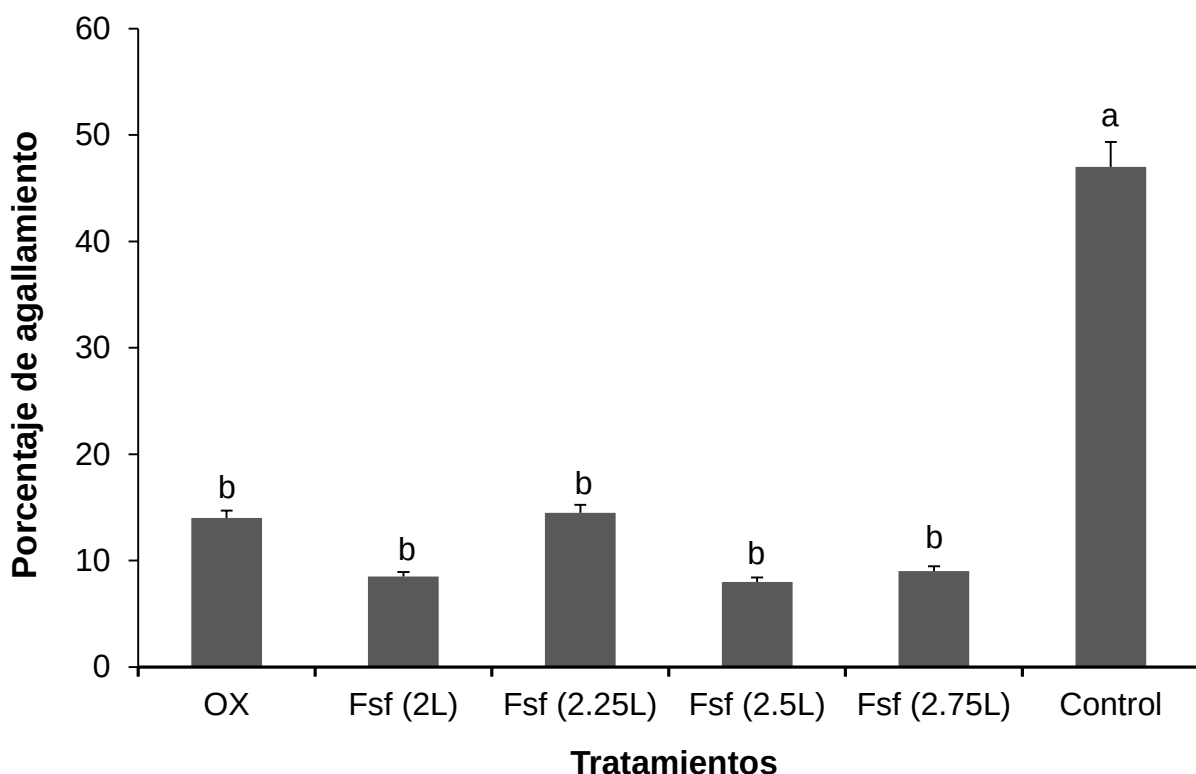


Figura 8. Porcentaje de agallamiento en raíces de jitomate tratadas con fluensulfone y oxamil a los 80 ddt. Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013. OX= oxamil; Fsf= fluensulfone

En las microparcels tratadas con fluensulfone, el daño en las raíces ocasionado por *M. incognita* fue reducido significativamente (Figura 9). Resultados similares fueron reportados por Cabrera-Hidalgo (2014) en plantas de jitomate, quien al aplicar fluensulfone en dosis de $2 \text{ L} \cdot \text{ha}^{-1}$, redujó de manera importante el agallamiento a los 75 ddt.

En la figura 9 se muestran los diferentes niveles de agallamiento expresados en las plantas de jitomate a los 80 ddt, se puede observar que los sistemas radicales de las

plantas mostraron una alta proliferación de raicillas, lo que permitió un desarrollo normal de las plantas y por lo tanto, no se manifestaron síntomas aéreos como consecuencia del agallamiento.



Figura 9. Agallamiento ocasionado por *M. incognita* en plantas de jitomate. A) flusulfone, 2 L·ha⁻¹; B) flusulfone, 2.25 L·ha⁻¹; C) flusulfone, 2.5 L·ha⁻¹; D) flusulfone, 2.75 L·ha⁻¹; E) oxamil y F) control.

2.4.1.3. Efecto de fluensulfone y oxamil sobre *M. incognita*

La mejor protección contra *M. incognita* se obtuvo en las microparcels tratadas con fluensulfone a las dosis de 2.5 y 2 L·ha⁻¹, con porcentajes de control del 82.98% y 81.91%, respectivamente (Figura 10). Investigaciones realizadas por Oka *et al.* (2009, 2012), mostraron un mejor control de nematodos agalladores en las parcelas tratadas con fluensulfone, debido a la actividad nematicida irreversible de este producto.

De acuerdo con Langston y Sanders (2011), la aplicación de fluensulfone brinda una mejor protección y control de nematodos agalladores en comparación a los nematicidas tradicionalmente usados como el oxamil en cultivos hortícolas, logrando reducir significativamente el agallamiento ocasionado por estos fitopatógenos.

En general, todos los productos químicos ejercieron un buen control en el desarrollo de los nematodos dentro del sistema radical, reduciendo el agallamiento en las raíces de las plantas de jitomate.

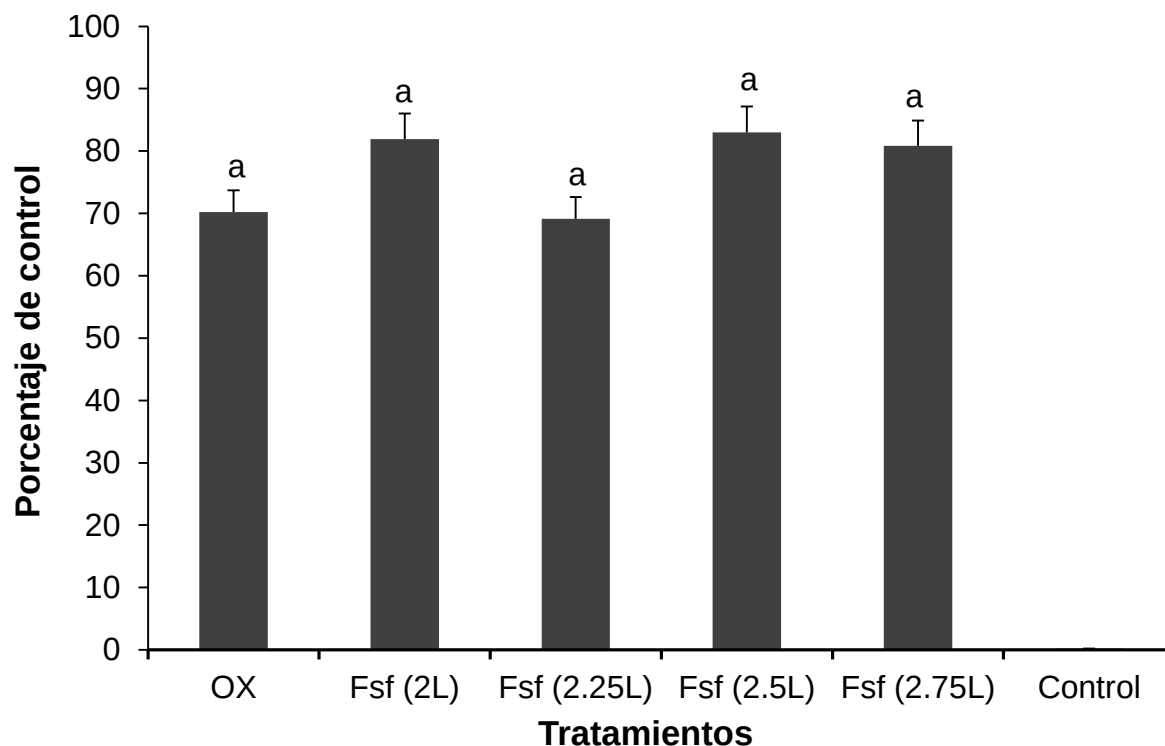


Figura 10. Efecto nematocida del fluensulfone y oxamil contra *M. incognita* en plantas de jitomate bajo condiciones de campo a los 80 ddt. Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013.

2.4.1.4. Fitotoxicidad

Al analizar la respuesta de las plantas de jitomate mediante la escala de la EWRS, se encontró que todos los tratamientos presentaron un valor de 0% en dicha escala, es decir, ninguno de los productos generó un efecto fitotóxico sobre las plantas. Estos datos coinciden con los reportados por Oka *et al.* (2009) quienes al aplicar fluensulfone en el cultivo de jitomate no encontraron ningún efecto fitotóxico en el cultivo.

2.4.1.5. Altura de planta (AP)

La altura de las plantas de jitomate no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($\alpha=0.05$), encontrándose valores promedios de 64.80 y 68.80 cm (Cuadro 7). Las plantas más altas se encontraron en las microparcelas tratadas con oxamil y las más bajas con fluensulfone a una dosis de 2.5 L·ha⁻¹. La altura en las plantas control fue de 68.3 cm, muy similar a lo encontrado en el resto de los tratamientos, esto nos indica que las plantas no sufrieron ningún efecto fitotóxico y que el agallamiento en las plantas control no generó un efecto detrimental en el desarrollo vegetativo de las plantas, posiblemente por tratarse de infecciones tardías o por el bajo nivel poblacional inicial de *M. incognita*, ya que el umbral de daño económico para el cultivo de jitomate es de 78 a 212 individuos (J2) en 100 cm³ de suelo (Bernard y Hadden, 1982).

Cuadro 7. Efecto del fluensulfone y oxamil sobre la altura de planta y peso fresco de raíz en el cultivo de jitomate a los 80 ddt. Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013.

Tratamiento	Producto	Dosis (L·ha ⁻¹)	AP [†]		PFR [†]	
1	Oxamil	3	68.80	A	43.80	A
2	Fluensulfone	2	68.20	A	45.20	A
3	Fluensulfone	2.25	67.80	A	44.10	A
4	Fluensulfone	2.5	64.80	A	43.20	A
5	Fluensulfone	2.75	65.30	A	40.80	A
6	Control	-----	68.30	A	44.20	A
DMS			14.695		20.149	

[†]Medias con la misma letra en la misma columna, son estadísticamente iguales ($\alpha=0.05$). AP=Altura de la planta (cm); PFR= Peso fresco raíz (g). DMS= Diferencia mínima significativa.

2.4.1.6. Peso fresco de raíz (PFR)

El análisis estadístico no mostro diferencias estadísticamente significativas ($\alpha=0.05$) entre los pesos frescos de raíz, con valores promedios de 40.80 a 45.20 g por planta (Cuadro 7). La mayor producción de biomasa fresca se presentó en las microparcelas tratadas con fluensulfone a $2 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ con un promedio de 45.20 g. Estos resultados son similares a los reportados por Oka *et al.* (2012), los cuales al evaluar fluensulfone en el cultivo de chile encontraron que los mayores pesos en las raíces se obtuvieron en las plantas tratadas con este producto.

2.4.1.7. Producción de frutos por unidad experimental

La producción de frutos no presento diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($\alpha=0.05$). De acuerdo con los resultados, el número promedio de frutos fluctuó entre 51 y 67.50 (Cuadro 8).

Cuadro 8. Efecto del fluensulfone y oxamil sobre la producción de frutos en las plantas de jitomate a los 70 ddt. Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013.

Tratamiento	Producto	Dosis ($\text{L}\cdot\text{ha}^{-1}$)	FPC [¶]		PFU [¶]		PPF [¶]	
1	Oxamil	3	66.50	A	2668.80	A	42.236	BA
2	Fluensulfone	2	51.00	A	2058.80	A	37.102	B
3	Fluensulfone	2.25	60.25	A	2136.30	A	39.990	BA
4	Fluensulfone	2.5	59.75	A	2297.50	A	38.763	BA
5	Fluensulfone	2.75	67.50	A	2192.50	A	36.327	B
6	Control	-----	60.00	A	2631.30	A	45.480	A
DMS			46.573		1633.5		7.2403	

[¶]Medias con la misma letra en la misma columna, son estadísticamente iguales ($\alpha=0.05$).

FPC= Número frutos primer corte; PFU= Peso de frutos por unidad experimental (g); PPF= Peso promedio de los frutos (g). DMS= Diferencia mínima significativa.

La mayor producción de frutos se presentó en las microparcels tratadas con fluensulfone ($2.75 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$) y oxamil en dosis de $3 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$, con un promedio de 67.50 y 66.50 frutos, respectivamente.

Los pesos promedios de los frutos en el primer corte presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ($\alpha=0.05$), con valores promedio entre 36.327 y 45.480 g. El peso y producción de frutos en las plantas control y oxamil en el primer corte fueron relativamente más altos que en el resto de los tratamientos, posiblemente por una floración precoz en las plantas, como consecuencia del estrés ocasionado por las poblaciones de *M. incognita*, lo cual generó una producción más temprana de frutos ya que las plantas responden de manera reproductiva cuando las condiciones no son favorables para su crecimiento y desarrollo y de esta manera garantizar la sobrevivencia de su especie (Cuadro 8) (Babatola 1988; Babatola y Omotade, 1991).

Los resultados correspondientes al segundo corte no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($\alpha=0.05$); encontrándose que la menor cantidad de frutos se presentó en las plantas control y las tratadas con fluensulfone a $2.5 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$, con 62.25 y 62.750 frutos, respectivamente. El mayor número de frutos se obtuvo en las plantas tratadas con fluensulfone a $2 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ con un promedio de 74.75 frutos (Cuadro 9).

Cuadro 9. Efecto del fluensulfone y oxamil sobre la producción de frutos en las plantas de jitomate a los 80 ddt. Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013.

Tratamiento	Producto	Dosis (L·ha ⁻¹)	FSC [¶]		PFU [¶]		PPF [¶]	
1	Oxamil	3	63.500	A	2507.5	A	39.528	A
2	Fluensulfone	2	74.750	A	2853.3	A	38.149	A
3	Fluensulfone	2.25	65.250	A	2846.8	A	44.365	A
4	Fluensulfone	2.5	62.750	A	2579.0	A	40.906	A
5	Fluensulfone	2.75	64.750	A	2663.0	A	39.961	A
6	Control	-----	62.250	A	2378.0	A	38.370	A
DMS			28.375		1195.5		12.361	

[¶]Medias con la misma letra en la misma columna, son estadísticamente iguales ($\alpha=0.05$).

FSC= Número frutos segundo corte; PFU= Peso de frutos por unidad experimental (g); PPF= Peso promedio de los frutos (g). DMS= Diferencia mínima significativa.

En cuanto al peso promedio de frutos por unidad experimental, encontramos que las plantas tratadas con fluensulfone a dosis de 2 y 2.25 L·ha⁻¹, proporcionaron los valores más altos, con promedios de 2,853.3 y 2,846.8 g, respectivamente, incrementando los rendimientos en más del 16% con respecto al control; mientras que los frutos más pesados se encontraron en las plantas tratadas con fluensulfone en dosis de 2.25 y 2.5 L·ha⁻¹ (Cuadro 9).

Estos resultados coinciden con los encontrados por Cabrera-Hidalgo (2014) en plantas de jitomate y pepino. Al evaluar diferentes productos a nivel de microparcels en invernadero reportó que la mayor producción se obtuvo en las plantas tratadas con fluensulfone a dosis de 2.0 L·ha⁻¹; esto demuestra la importancia de realizar una aplicación de fluensulfone en pretrasplante para obtener una mayor protección y producción en los cultivos hortícolas (Oka *et al.*, 2012).

La reducción de la producción en las plantas control, posiblemente se debe al daño ocasionado por las poblaciones de *M. incognita*, que si bien no afectaron el desarrollo vegetativo, si generaron un efecto negativo en la producción de frutos y de acuerdo con Wilcox-Lee y Loria (1987) y Davis *et al.* (2014), las infecciones de *M. incognita* y *M. hapla*, estuvieron directamente relacionadas con la reducción en el rendimiento y la producción de ejotes y algodón, respectivamente.

Con base a los resultados obtenidos, el fluensulfone es un nematicida muy promisorio para ser utilizado en programas de manejo integrado de nematodos agalladores en cultivos hortícolas en México, debido a la eficacia mostrada similar o mayor a los nematicidas comúnmente utilizados como el oxamil. Además, es mucho más seguro para el medio ambiente y para el ser humano, debido a su baja toxicidad a mamíferos (Oka *et al.*, 2012).

2.4.1.8. CONCLUSIONES

Bajo condiciones de microparcela experimental, la aplicación de fluensulfone en plantas de jitomate en dosis de $2.75 \text{ L} \cdot \text{ha}^{-1}$ proporcionó la menor población final con 26 J2.

El mejor efecto de control se obtuvo en las microparcelas tratadas con fluensulfone a dosis de $2.5 \text{ L} \cdot \text{ha}^{-1}$ con un porcentaje de control del 82.98%.

Ninguna de las dosis aplicadas de fluensulfone generó algún efecto fitotóxico visible en las plantas de jitomate.

La mayor producción de frutos en las plantas de jitomate se obtuvo en las microparcelas tratadas con fluensulfone en dosis de 2 y $2.25 \text{ L} \cdot \text{ha}^{-1}$; con valores promedios de 2,853.3 y 2,846.8 g por unidad experimental, respectivamente.

Fluensulfone es un nematicida que podría utilizarse como un componente dentro de un paquete de manejo integrado de nematodos agalladores en el cultivo de jitomate.

2.4.2. Efecto nematicida del fluensulfone sobre poblaciones de *M. incognita* en el cultivo de pepino.

2.4.2.1. Densidad poblacional inicial y final de *M. incognita*

Las poblaciones iniciales de *M. incognita* en el cultivo de pepino no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($\alpha=0.05$), encontrándose valores promedios de 1.75 a 2.25 individuos (J2) en 100 cm³ de suelo (Cuadro 10). Las poblaciones del nematodo fueron bajas pero uniformes en las microparcels, como consecuencia del historial de cultivo y nematológico de la parcela.

Cuadro 10. Efecto del fluensulfone y oxamil sobre las poblaciones de *M. incognita* en el cultivo de pepino a los 60 ddt. Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013.

Tratamiento	Producto	Dosis (L·ha ⁻¹)	Pi [¶]		Pf [¶]	
1	Oxamil	3	2.0	A	13.75	AB
2	Fluensulfone	2	2.0	A	7.50	B
3	Fluensulfone	2.25	2.25	A	6.25	B
4	Fluensulfone	2.5	2.25	A	7.00	B
5	Fluensulfone	2.75	1.75	A	8.75	B
6	Control	-----	2.0	A	30.50	A
DMS			3.3968		19.32	

[¶]Medias con la misma letra en la misma columna no son estadísticamente diferentes ($\alpha=0.05$).

DMS= Diferencia mínima significativa.

El número de juveniles en las unidades experimentales fluctuó entre 1 a 5 J2, con un promedio de 2.04, sin que existieran diferencias estadísticamente significativas ($\alpha=0.05$) entre ellas; observándose una distribución uniforme de *M. incognita* en la parcela, lo que permitió evaluar el efecto de los productos nematicidas en condiciones homogéneas de la población del nematodo.

Las poblaciones finales de *M. incognita* mostraron diferencias estadísticamente significativas ($\alpha=0.05$) a los 60 ddt, encontrándose de 3 a 40 J2 en 100 cm³ de suelo. La mayor cantidad de juveniles se presentó en las microparcels control con un promedio de 30.5 individuos; mientras que las poblaciones más bajas se encontraron en las microparcels tratadas con fluensulfone (2.5 y 2.25 L·ha⁻¹), permitiendo solamente el desarrollo de 12 a 13 juveniles, respectivamente (Cuadro 10).

La aplicación de los productos químicos afectó el crecimiento, desarrollo y reproducción de los nematodos, evitando que se incrementaran sus poblaciones a niveles que generarán daños importantes en el cultivo de pepino, confiriendo una buena protección en la etapa susceptible del cultivo.

Sin embargo, el incremento de las poblaciones de *M. incognita* al final del estudio en las microparcels tratadas con los nematicidas posiblemente se debe al escape de algunos estadios del fitonematodo, generando infecciones tardías. Estos nematodos al contar con condiciones favorables de desarrollo y reproducción, y disponibilidad de alimento iniciaron y activaron los procesos naturales de su biología (embriogénesis y mudas), consiguiendo que la fase infectiva (J2) invadiera los sistemas radicales de su hospedante y con ello la formación de agallas en niveles más bajos para

fluensulfone, como resultado de una menor cantidad de individuos en la rizosfera (Poveda, 1991).

De acuerdo con Perry (2002) y Curtis *et al.* (2009) la eclosión de los juveniles (J2) de *M. incognita* es fuertemente influenciada por la presencia de exudados radicales y cuando las condiciones ambientales de temperatura y contenido de humedad son favorables y existe la presencia de un hospedante susceptible, las tasas de éxito en la infección se incrementan. Así mismo, estos factores favorecen la movilidad y atracción de los juveniles hacia el hospedante, optimizando las probabilidades de infección mediante la ocurrencia de una sincronización con la presencia de un hospedante.

Csinos *et al.* (2010) y Cabrera-Hidalgo (2014) al evaluar el efecto del fluensulfone sobre poblaciones de nematodos fitopatógenos en los cultivos de tabaco y jitomate, respectivamente encontraron que las aplicaciones pretransplante disminuyeron significativamente las poblaciones finales de *M. arenaria* y *N. aberrans*, respectivamente. El efecto de este producto se debe porque actúa como un verdadero nematicida, reduciendo de manera importante la tasa de reproducción de los nematodos agalladores (Oka *et al.*, 2012; Cabrera-Hidalgo, 2014).

El oxamil proporcionó una protección relativamente baja en las plantas tratadas con este producto, como era de esperar debido a que solo se efectuó una aplicación antes del transplante, cuando la recomendación técnica sugiere realizar al menos tres aplicaciones por ciclo cada 10-14 días (DuPont, 2014). Además, el oxamil pertenece al grupo químico de los carbamatos, los cuales actúan como nematostático a concentraciones muy bajas y períodos de exposición demasiado

cortos (Thomason, 1985); es decir, que solamente paralizan a los fitonematodos, afectando algunos aspectos de su comportamiento, tales como la orientación y eclosión, principalmente (McGarvey *et al.*, 1984; Thomason, 1985; Cavelier, 1987; Opperman y Chang, 1990).

El aumento en las poblaciones de *M. incognita* en la microparcela control, se debió principalmente a la abundancia de alimento, ya que estas plantas al no contar con ninguna protección proporcionaron las condiciones óptimas para la invasión, desarrollo y reproducción dentro de la planta hospedante (Calvo y López, 1980).

2.4.2.2. Porcentaje e índice de agallamiento

El índice de agallamiento en plantas de pepino tratadas con nematicidas químicos mostraron diferencias estadísticamente significativas ($\alpha=0.05$) con relación al control (Cuadro 11).

Cuadro 11. Efecto del fluensulfone y oxamil sobre el porcentaje e índice de agallamiento ocasionado por *M. incognita* en el cultivo de pepino a los 60 ddt. Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013.

Tratamiento	Producto	Dosis (L·ha ⁻¹)	PA [¶]		IA [¶]	
1	Oxamil	3	24.00	B	3.4	AB
2	Fluensulfone	2	12.00	B	2.2	B
3	Fluensulfone	2.25	11.50	B	2.1	B
4	Fluensulfone	2.5	13.00	B	2.3	B
5	Fluensulfone	2.75	15.50	B	2.5	B
6	Control	-----	61.00	A	4.1	A
DMS			16.901		1.6087	

[¶]Medias con la misma letra en la misma columna, son estadísticamente iguales ($\alpha=0.05$). PA= Porcentaje de agallamiento; IA= Índice de agallamiento. DMS= Diferencia mínima significativa.

Los valores más bajos de índice de agallamiento se presentaron en las microparcels tratadas con fluensulfone a las dosis de 2.25 y 2 L·ha⁻¹, con valores de 2.1 y 2.2, respectivamente. El mayor índice de agallamiento se presentó en las plantas control con un 4.1 (Cuadro 11).

Los menores porcentajes de agallamiento se encontraron en las microparcels tratadas con fluensulfone a las dosis de 2.25 y 2 L·ha⁻¹, con valores de 11.50 y 12%, respectivamente (Figura 11). Estos tratamientos redujeron el agallamiento considerablemente en comparación al control donde se obtuvo un 61% de agallamiento. Aplicaciones de fluensulfone en pretrasplante han sido exitosas en reducir el agallamiento causado por nematodos agalladores en el cultivo de pepino (Cabrera-Hidalgo, 2014).

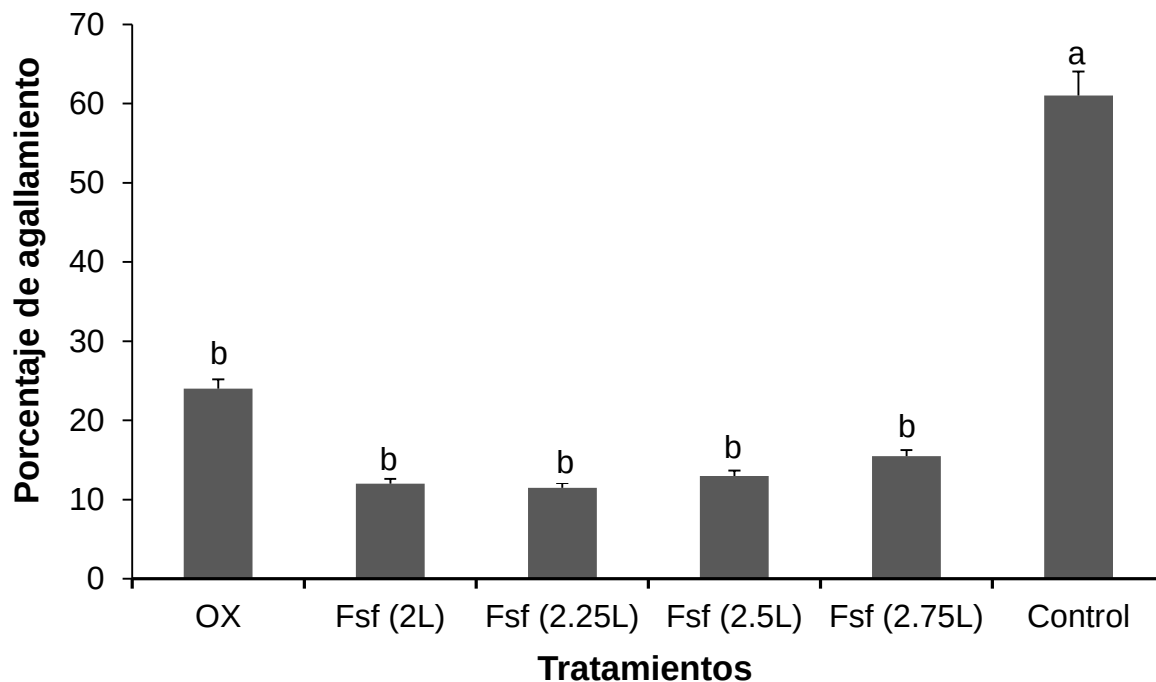


Figura 11. Porcentaje de agallamiento en raíces de pepino tratadas con fluensulfone y oxamil a los 60 ddt. Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013.

El oxamil ($3 \text{ L} \cdot \text{ha}^{-1}$) permitió un mayor desarrollo de agallas en las plantas de pepino, con porcentajes de agallamiento del 24% (Figura 11). De acuerdo con Acosta *et al.* (1987) y Desaegeer *et al.* (2004) el oxamil, utilizado como única herramienta para el combate de nematodos agalladores no provee un buen control y por lo tanto debe de combinarse con otras tácticas de manejo. En general, se observó un menor daño en las raíces de pepino tratadas con fluensulfone en comparación con el resto de los tratamientos (Figura 12).



Figura 12. Agallamiento ocasionado por *M. incognita* en el cultivo de pepino. A) fluensulfone, 2 L·ha⁻¹; B) fluensulfone, 2.25 L·ha⁻¹; C) fluensulfone, 2.5 L·ha⁻¹; D) fluensulfone, 2.75 L·ha⁻¹; E) oxamil; F) Control.

2.4.2.3. Efecto del fluensulfone y oxamil sobre *M. incognita*

La mejor protección se obtuvo con las aplicaciones de fluensulfone en dosis de 2.25 y 2 L·ha⁻¹, con valores del 81.15 y 80.33%, respectivamente (Figura 13); este efecto posiblemente fue debido a que este producto actúa como un verdadero nematicida,

afectando la tasa de reproducción de *M. incognita*; lo que redujo las densidades poblacionales y los daños ocasionados por el nematodo, dando como resultado un mejor control de *M. incognita* durante la etapa más susceptible del cultivo (Oka *et al.*, 2012). El oxamil proporcionó una baja protección contra *M. incognita*, con un 60.66% de control (Figura 13), posiblemente porque este producto actúa como nematostático a las dosis recomendadas y solamente se aplicó en un solo momento, y de acuerdo con Giannakou *et al.* (2005) el oxamil presenta un pobre control de nematodos agalladores en cultivos hortícolas.

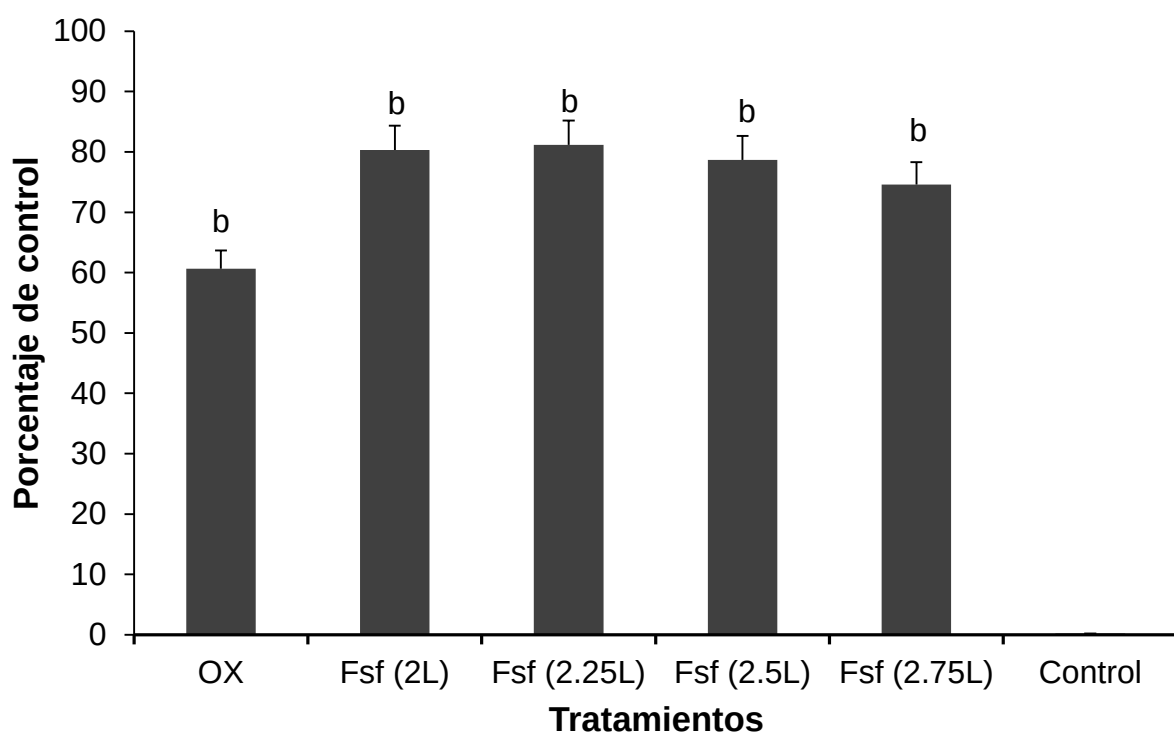


Figura 13. Efecto de control del fluensulfone y oxamil contra *M. incognita* en plantas de pepino bajo condiciones de campo a los 60 ddt. Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013.

2.4.2.4. Fitotoxicidad

Las plantas de pepino no presentaron síntomas visibles de fitotoxicidad originadas por la aplicación de los productos, por lo que se obtuvo un desarrollo normal de las plantas hasta el final del estudio, esto se corroboró con los valores de longitud de guía principal y peso fresco de raíz. Todos los tratamientos presentaron un valor de 0% en la escala de la EWRS.

2.4.2.5. Longitud de la guía principal (LG)

La longitud promedio de la guía principal en las plantas de pepino tratadas con nematocidas químicos no mostraron diferencias estadísticamente significativas ($\alpha=0.05$), fluctuando entre 97.80 a 113.40 cm (Cuadro 12). Estos resultados muestran un desarrollo normal de la guía principal comparada con las plantas control y corroborar la evaluación de la fitotoxicidad.

Cuadro 12. Efecto del fluensulfone y oxamil sobre la longitud de guía principal y peso fresco de raíz de pepino a los 60 ddt. Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013.

Tratamiento	Producto	Dosis (L·ha ⁻¹)	Lg [¶]	PFR [¶]
1	Oxamil	3	110.60 A	8.210 A
2	Fluensulfone	2	113.40 A	7.250 A
3	Fluensulfone	2.25	108.30 A	7.680 A
4	Fluensulfone	2.5	102.80 A	7.660 A
5	Fluensulfone	2.75	97.80 A	7.180 A
6	Control	-----	100.70 A	7.390 A
DMS			30.661	3.9894

[¶]Medias con la misma letra en la misma columna, son estadísticamente iguales ($\alpha=0.05$).

Lg= Longitud guía (cm); PFR= Peso fresco raíz (g). DMS= Diferencia mínima significativa.

Las guías principales más largas se presentaron en las microparcels tratadas con fluensulfone ($2 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$) con un valor promedio de 113.40 cm. Resultados similares fueron reportados por Westerdahl (2012) quien al observar un mayor crecimiento en las plantas de pepino tratadas con este producto.

2.4.2.6. Peso fresco de raíz (PFR)

El peso fresco de raíz no mostró diferencias significativas entre tratamientos ($\alpha=0.05$), con valores promedios de 7.180 a 8.21 g por raíz por planta. El mayor peso de raíz se obtuvo con el tratamiento de oxamil a la dosis de $3 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$, con un valor promedio de 8.21 g.

2.4.2.7. Producción de frutos por unidad experimental

El análisis estadístico no mostro diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($\alpha=0.05$). El número de frutos al primer corte fluctuó entre 8.5 y 9.25 frutos por planta de pepino, la mayor producción de frutos se presentó en la microparcels tratada con fluensulfone a dosis de $2.75 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Cuadro 13).

En cuanto al peso promedio de frutos al primer corte, encontramos que los valores fluctuaron entre 268.479 y 290.277 g por fruto; siendo los frutos más grandes los producidos en las plantas tratadas con oxamil. La producción de frutos por unidad experimental no mostró diferencias entre los tratamientos, siendo muy similar en todas las unidades experimentales (Cuadro 13).

Cuadro 13. Efecto del fluensulfone y oxamil sobre la producción de frutos en las plantas de pepino a los 56 ddt. Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013.

Tratamiento	Producto	Dosis (L·ha ⁻¹)	FPC [¶]		PFU [¶]		PPF [¶]	
1	Oxamil	3	8.5	A	2470.3	A	290.277	A
2	Fluensulfone	2	9.0	A	2446.0	A	271.479	A
3	Fluensulfone	2.25	9.0	A	2490.5	A	277.442	A
4	Fluensulfone	2.5	9.0	A	2448.3	A	272.634	A
5	Fluensulfone	2.75	9.25	A	2493.8	A	268.479	A
6	Control	-----	8.5	A	2429.5	A	286.273	A
DMS			3.6865		1058.3		29.231	

[¶]Medias con la misma letra en la misma columna, son estadísticamente iguales ($\alpha=0.05$).

FPC= Número frutos primer corte en gramos; PFU= Peso frutos por unidad experimental de cinco plantas en competencia completa en gramos; PPF= Peso promedio de los frutos en gramos. DMS= Diferencia mínima significativa.

El número de frutos al segundo corte, peso de frutos por unidad experimental y peso promedio de frutos de pepino fueron estadísticamente muy similares (Cuadro 14). Teniendo que el mayor número de frutos se obtuvo en la microparcela tratada con fluensulfone (2.75 L·ha⁻¹) con 19.75 frutos en promedio.

La mayor producción de frutos se presentó en las microparcels tratadas con fluensulfone a dosis de 2 y 2.5 L·ha⁻¹, con valores promedios de 6,109 y 6,180 g. Estos datos son similares a los reportados por Cabrera-Hidalgo (2014) quien al evaluar diferentes productos químicos para el control *N. aberrans* en el cultivo de

pepino logró obtener la mayor producción en microparcels tratadas con fluensulfone.

Cuadro 14. Efecto del fluensulfone y oxamil sobre el número de frutos segundo corte, peso frutos por unidad experimental y peso promedio de frutos de pepino a los 63 ddt, tratadas con oxamil y fluensulfone. Cojumatlán de Regules, Michoacán. 2013.

Tratamiento	Producto	Dosis (L·ha ⁻¹)	FSC [¶]		PFU [¶]		PPF [¶]	
1	Oxamil	3	18.750	A	6025.8	A	323.30	A
2	Fluensulfone	2	19.00	A	6109.0	A	321.54	A
3	Fluensulfone	2.25	18.750	A	5992.3	A	319.77	A
4	Fluensulfone	2.5	18.750	A	6180.3	A	330.26	A
5	Fluensulfone	2.75	19.750	A	6090.0	A	308.93	A
6	Control	-----	19.250	A	6072.3	A	312.41	A
DMS			6.5328		2223.2		42.279	

[¶]Medias con la misma letra en la misma columna, son estadísticamente iguales ($\alpha=0.05$).

FSC= Número frutos segundo corte en gramos; PFU= Peso frutos por unidad experimental de cinco plantas en competencia completa en gramos; PPF= Peso promedio de los frutos en gramos.

DMS= Diferencia mínima significativa.

Los resultados de esta investigación muestran, que el fluensulfone aplicado de manera pretrasplante ejerce un buen control sobre las poblaciones de nematodos agalladores, por lo cual se abre una nueva alternativa para los productores de utilizar este producto para el manejo de estos nematodos en cultivos hortícolas en México.

2.4.2.8. CONCLUSIONES

Bajo condiciones de campo abierto, la aplicación de fluensulfone en plantas de pepino a dosis de $2.75 \text{ L} \cdot \text{ha}^{-1}$ redujo en un 80% las poblaciones finales del nematodo en comparación al control.

La mayor protección contra *M. incognita* se obtuvo en las microparcels tratadas con fluensulfone ($2.25 \text{ L} \cdot \text{ha}^{-1}$), disminuyendo el agallamiento en las raíces de las plantas hasta en un 81.15%.

Ninguna de las dosis aplicadas de fluensulfone generó algún efecto fitotóxico en las plantas de pepino, bajo las condiciones de este ensayo.

La mayor producción en las plantas de pepino se obtuvo en las microparcels tratadas con fluensulfone a las dosis de 2 y $2.5 \text{ L} \cdot \text{ha}^{-1}$; con rendimientos promedio de 6,109 y 6,180 g de frutos de pepino por unidad experimental, respectivamente.

Fluensulfone es un nematicida que podría utilizarse como un componente en el manejo integrado de nematodos agalladores en el cultivo de pepino.

3.6. BIBLIOGRAFÍA

- Abbott, W. S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticides. *Journal of Economic Entomology* 18: 265-267.
- Acosta, N; Vincente, N; Abreu, E; Medina-Gaud, S. 1987. Chemical control of *Meloidogyne incognita*, *Rotylenchulus reniformis*, and *Anthonomus eugenii* in *Capsicum annuum* and *C. frutescens*. *Nematropica* 17:163-169.
- Amand, P.C. and T.C. Wehner. 1991. Crop loss to 14 diseases in cucumber in North Carolina for 1983 to 1988. *Cucurbit Genetic. Coop. Rpt.* 14:15-17.
- Ayala, A; Schewentesius. R; Carrera, B. 2012. Hortalizas en México: competitividad frente a EE.UU. y oportunidades de desarrollo. *Gcg George Town University Universia* 6:3.
- Babatola, J. O. 1988. Nematode control in the rehabilitation of plantain. *Musa sp. Pak. Journal of Nematology* 6: 25-30.
- Babatola, J.O; Omotade, M.A. 1991. Chemical control of the nematode pests of cowpea, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. *Crop Protection.* 10: 121-124.
- Barres M. T., Bello A., Jordá C. y Tello J., 2006. La eliminación del bromuro de metilo en la protección de cultivos como modelo mundial para la conservación del medio ambiente. Univ. Almería, MAPA, Madrid, 515 pp.
- Been, T.H y Schomaker, C.H. 2013. Distribution Patterns and Sampling. Pp. 331-358. *In: Perry, R.N. and Moens, M. (eds). Plant Nematology, 2nd Edition. CABI International, Wallingford, UK.*
- Bernard, E. C y Hadden, C.H. 1981. Influence of nematicides on southern root-knot nematode and tomato yields. *Fung. Nem. Tests* 36.

- Calvo, B; Lopez, R. 1980. Combate químico de *Meloidogyne incognita* en dos cultivares de tabaco Burley. *Agronomía Costarricense* 4 (2): 175-182.
- Cabrera- Hidalgo. 2014. *Nacobbus aberrans* en cultivos hortícolas del Centro del Bajío, México: Distribución, abundancia y caracterización molecular. Tesis Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Edo de México. México. 151 p.
- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal).2003. Guía técnica Cultivo del pepino N° 17, El Salvador. p 16-18.
- Cristóbal, A. J; Cid del Prado, V. I; Marbán, M. N; Sánchez, G. P; Mora, A. G; Manzanilla, L. R. H. 2001. Sobrevivencia de estadios biológicos de *Nacobbus aberrans* en condiciones de campo. *Nematropica* 31:229-235.
- Cruz, L. 2007. Calidad de semilla de tomate (*Lycopersicum esculentum*) por efecto de potenciales osmóticos, calcio y podas bajo condiciones de invernaderos. COLPOS. Montecillo, Texcoco. Edo. de México. 177 p.
- Csinos, A; Whitehead, J; Hickman, L.L; La Hue, S.S. 2010. Evaluation of fluensulfone for root knot nematode on tobacco, *Phytopathology* 100: S28-S28.
- Curtis, R; Robinson, A. F; Perry, R. 2009. Hatch and host location. In Pp. 139-162. *In*: Perry, R.N; Moens, M; Starr, J.L. (eds.). Root-knot Nematodes CABI International. London, UK.
- Cavelier, A. 1987. Le mode d'action des nematicidas non-fumigants. *Agronomie* 7(10):747-762.

- Davis, R. F; Earl, H.J; Timper, P. 2014. Effect of Simultaneous Water Deficit Stress and *Meloidogyne incognita* Infection on Cotton Yield and Fiber Quality. Journal of Nematology 46(2):108-118.
- Desaeger, J; Csinos, A; Timper, P; Hammes, G; Seebold, K. 2004. Soil fumigation and oxamil drip applications for nematode and insect control in vegetable plasticulture. Annals of Applied Biology 145: 59-70.
- Du Pont. 2014. Agroquímicos. Consultado el 12 de junio de 2014. En línea. Disponible en: www.dupont.com
- FAO. 2013. Estadísticas de la FAO (en línea). Consultado el 20 de diciembre de 2013. Disponible en: <http://faostat.fao.org>
- Giannakou, I.O., Karpouzas, D.G., Anastasiades, I., Tsiropoulos, N.G; Georgiadou, A. 2005. Factors affecting the efficacy of non-fumigant nematicides for controlling root-knot nematodes. Pest Management Science 61: 961-972.
- Hutton, D. G. 1993. Recognizing and Controlling Nematode Damage on Some Crops Grown in Jamaica. Hyde, Held & Blackburn. Kingston, Jamaica. 52 p.
- Ismail, M; Anwar, S.A; Riaz, A. 2012. Incidence of *Meloidogyne incognita* in Cucumber Fields. Pakistan Journal Zoology. 44 (5): 1383-1387.
- Jackson, G.V; Ruabete, T.K; Wright, J.G. 2003. Burrowing and lesion nematodes of bananas. Consultado el 12 de abril de 2014. En línea. Disponible en: <http://www.spc.int>
- Langston, D.B; Sanders, F.H. 2011. Reducing damage to root-knot nematode with fluensulfone (formerly thiazosulfene) in cucumbers and peppers. Phytopathology 101: S97-S98.

- Macías, 2010. Competitividad de México en el mercado de frutas y hortalizas de estados unidos de américa, 1989-2009. *Agroalimentaria* 16: 31-48.
- Marban-Mendoza, N., and R. H. Manzanilla-López. 2012. Chemical and non-chemical tactics to control plant-parasitic nematodes. Pp. 729-759. In: Manzanilla-López R. H. and N. Marban-Mendoza (eds.). *Practical plant nematology*. Mundi-Prensa, Colegio de Postgraduados.
- McGarvey, B. D; Potter, J. W; Chiba, M. 1984. Nematostatic activity of oxamil and N, N-dimethyl-1-cyanoformamide (DMCF) on *Meloidogyne incognita* juveniles. *Journal of nematology* 16(3):328-332
- Moens, T; Araya, M; Swennen, R; De Waele, D. 2003. Biodegradación acelerada de nematicidas de *Musa*. Pp. 105-118. In: Rivas, G; Rosales, F. (eds.). *Taller Manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nematodos y otras plagas asociadas al cultivo de Musáceas*. Guayaquil, Ecuador. INIBAP. MUSALAC. Montpellier, FR.
- Netscher, C; Sikora, R. A. 1990: Nematodes parasites of vegetables. Pp. 237-283. In: Luc, M.; Sikora, R. A.; Bridge, J. (eds.). *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture*. CABI International. London, UK.
- Oka, Y; Shuker, S; Tkachi, N. 2009. Nematicidal efficacy of MCW-2, a new nematicide of the fluoroalkenyl group, against the root-knot nematode *Meloidogyne javanica*. *Pest Management Science* 65: 1082-1089.
- Oka, Y; Shuker, S; Tkachi, N. 2012. Systemic nematicidal activity of fluensulfone against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* on pepper. *Pest Management Science* 68: 268-275.

- Oka, Y; Shuker, S; Tkachi, N. 2013. Influence of soil environments on nematicidal activity of fluensulfone against *Meloidogyne javanica*. Pest Management Science. 69: 1225-1234
- Opperman, C. H., and S. Chang. 1990. Plant parasitic nematode acetylcholinesterase inhibition by carbamate and organophosphate nematicides. Journal of nematology 22(4):481-488.
- Ornat, C., Verdejo-Lucas, S., Sorribas, F. J. 1997. Effect of the previous crop on population densities of *Meloidogyne javanica* and yield of cucumber. Nematropica 27: 85-90.
- Ornat, C; Sorribas, F.J. 2008. Integrated management of root-knot nematodes in Mediterranean horticultural crops. Pp. 295-320. In: Ciancio, A and Mukerji, K. G (eds.). Integrated Management and Biocontrol of Vegetable and Grain Crops Nematodes. Springer. Dordrecht, The Netherlands.
- Parsons, D. B. 1992. Cucurbitáceas: Manual para Educación Agronómica Reimpreso en TRILLAS. México. p 12-52.
- Perry, R.N. 2002. Hatching. Pp.147-169. In: Lee, D.L. (ed.). The Biology of Nematodes. Taylor and Francis, London, UK.
- Poveda, J. 1991. Determinación de la distribución y frecuencia de fitonematodos asociados al cultivo de melón (*Cucumis melo* L.) y evaluación de tácticas para combatir *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) (Chitwood) en la región de Azuero, Panamá. Tesis de Magister Scientiae. Turrialba, Costa Rica. 92 p.
- SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación., 2013. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta

- (SIACON). México. SAGARPA. Consultado el 25 de octubre de 2013. En línea. Disponible en: www.sagarpa.gob.mx
- SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación., 2014. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON). México. SAGARPA. Consultado el 12 de abril de 2014. En línea. Disponible en: www.sagarpa.gob.mx
- SAS Intitute. 2002. User´ guide. The SAS System software for Windows release 9.0. SAS Institute, Cary N.C. USA.
- Shurtleff, M.C; Averre III, C.W. 2000. Diagnosing Plant Diseases Caused by Nematodes. American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota: APS Press 187 pp.
- Taye, W; Sakhuja, P. K; Tadele Tefera, T. 2012. Evaluation of plant extracts on infestation of root-knot nematode on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). E3 Journal of Agricultural Research and Development 2 (3): 086-091.
- Taylor, A.; Sasser, J. 1978. Biology, identification and control of rootknot nematode (*Meloidogyne* species). Cooperative Publication of the Department of Plant Pathology. North Carolina State University and the United States Agency for International Development. 911 p.
- Thomason, I. J. 1985. Nematicides. Pp. 235-257. In: Marbán-Mendoza, N, and Thomason, I. J. (eds.). Fitonematología avanzada I. COLPOS, Montecillo, Estado de México. México.

- Westerdahl, B. B. 2012. MCW-2 (fluensulfone) for management of root-knot nematode on annual crops in California. Consultado el 22 de agosto de 2014. En línea. Disponible en: [www: nematology.ucdavis.edu](http://www.nematology.ucdavis.edu)
- Westerdahl, B.B; Schiller, C.T. 2011. MCW-2 for management of root-knot nematode on carrot, tomato and cucurbits. *Phytopathology* 10: S190-S190.
- Wilcox-Lee, D. A; Loria, R. 1987. Effects of soil moisture and root knot nematode, *Meloidogyne hapla* (Chitwood), on water relations, growth, and yield in snap bean. *Journal of the American Society of Horticultural Science* 112: 629-633.
- Wright, D.J., A. R. K. Blyth, and P. E. Pearson. 1980. Behaviour of the systemic nematicide oxamy in plants in relation to control of invasion and development of *Meloidogyne incognita*. *Annals of Applied Biology* 96: 323-334